

Frysting skógarplantna

Aðferðir til að meta lífsþrótt róta eftir vetrargeymslu

Rakel Jakobína Jónsdóttir



Landbúnaðarháskóli Íslands
Agricultural University of Iceland

Maí 2007

BS – ritgerð
2007

Maí

Frysting skógarplantna

Aðferðir til að meta lífsþrótt róta eftir vetrargeymslu

Rakel Jakobína Jónsdóttir



Leiðbeinendur:
Bjarni D. Sigurðsson
Hallur Björgvinsson
Hrefna Jóhannesdóttir

Landbúnaðarháskóli Íslands
Umhverfiseild

Yfirlýsing höfundar

Hér með lýsi ég því yfir að ritgerð þessi er byggð á mínum eigin athugunum, er samin af mér og að hún hefur hvorki að hluta né í heild verið lögð fram áður til hærri prófgráðu.

Rakel J. Jónsdóttir

Ágrip

Rótarkal á skógarplöntum ræktuðum í fjölpottabökkum er algengt vandamál hjá skógarplöntuframleiðendum á norðurlóðum. Þessar skemmdir eru ekki vel sýnilegar með berum augum og þess vegna er nauðsynlegt að þróa aðferðir til þess að greina skemmdir áður en til gróðursetningar kemur, því að rótarkal getur haft mikil neikvæð áhrif á vöxt og lifun plantna í felti. Tilraun þessa verkefnis fór fram í garðyrkjustöðinni í Furubrún, Árnessýslu, frá júní 2006 og fram í febrúar 2007. Í hana voru notaðar stafafuruplöntur af fyrri og seinni sáningu og einnig sitkagreni af fyrri sáningu. Mældur var lífsþróttur róta eftir frystingu í laup, kassa og eftir hefðbundna geymslu á plani.

Meginmarkmið verkefnisins var að bera saman þrjár aðferðir til að meta rótarkal: RGC-mælingu, jónalekamælingu og áframræktun. RGC-aðferðin reyndist áreiðanlegust. Aðferðir við að taka út rótarkal plantna eftir áframræktun verður að þróa betur áður en sú aðferð getur talist nothæf. Jónlekapróf á rótum reyndist ekki gefa sannfærandi niðurstöður. Annað markmið með verkefninu var að athuga hvort stafafura og sitkagreni þyldu frystingu í frystigeymslu og að bera rótarástand þeirra saman við rótarástand sambærilegra plantna sem geymdar voru á hefðbundinn hátt úti á plani. Bæði snemmsáða furan og grenið þoldu vel frystinguna en stafafura af seinni sáningu síður. Þriðja markmiðið var að rannsaka hvort myrkvun á plani, sem er mikið notuð aðferð til að flýta myndun frostþols í sprota, hefði einnig áhrif á frostþol róta. Erfitt var að svara þessari spurningu með afgerandi hætti þar sem að allar meðferðir, myrkvaðar og ómyrkvaðar, þoldu frystinguna vel. Greni í geymslu úti á plani hafði ekki rötarskemmdir og sömuleiðis myrkvuð fura. Aftur á móti sýndi ómyrkvuð fura rótarkal og þótti sennilegt að það mætti rekja til köfnunarefnisskorts í ræktuninni, en plöntuvefur sem líður næringarskort er verr í stakk búinn til að verjast frosti en sá sem ekki líður skort. Fjórdi markmiðið var að gera samanburð á því að frysta furuplöntur í kössum eða laupum í frystigeymslum. Plöntur í laup komu marktækt betur út í þeim samanburði. Fimmta markmiðið var að bera saman frostþol róta hjá snemmsáðum og seinsáðum stafafurum. Seinsáð stafafura sem tekin var beint úr húsi inn í frystigáma þoldi frystingu ekki vel.

Athyglisverðustu niðurstöður sem draga má af tilrauninni er að plöntur á frysti í Furubrún þoldu frystingu vel en hluti af sambærilegum plöntum skemmdist í hefðbundinni geymslu úti á plani. Því má segja að frystirinn hafi bætt gæði plantna.

Lykilorð: Rótarkal, RGC-próf, jónlekapróf, áframræktun, frysting skógarplantna, rötarfrostþol

Þakkir

Margir aðilar komu að þessu verkefni og veittu ómetanlega hjálp. Eftirtöldum aðilum kann ég bestu þakkir fyrir.

Suðurlandsskógar studdu verkefnið með ráðum og dád. Björn Bjarndal Jónsson framkvæmdastjóri, Hallur Björgvinsson og Hrönn Guðmundsdóttir aðstoðuðu með ráðgjöf og vinnu við verkefnið.

Tilraun verkefnisins fór fram í samstarfi við Sigurð Ásgeirsson, skógarplöntuframleiðanda í Furubrún sem gerði kleyft að rannsóknin gæti farið fram og aðstoðaði á allan hátt.

Skógrækt ríkisins studdi verkefnið einnig myndarlega, lagði til RGC-borðið og aðstoðu í kringum það auk þess sem starfsfólk að Vöglum í Fnjóskadal vann að ræktun í RGC-borði.

Starfsfólk LBHÍ, Reykjum í Ölfusi, aðstoðaði við ræktun og starfsfólk rannsóknarstofunnar LBHÍ á Hvanneyri aðstoðaði við rannsóknir. Steinunn Ingólfssdóttir á bókasafni LBHÍ galdraði fram heimildir af mikilli þolinmæði og Sigríður Júlía Brynleifsdóttir, Vesturlandsskógum, las yfir stafsetningu.

Ég vil nota tækifærið og þakka forráðamönnum skógarplöntuframleiðands Barra ehf á Egilstöðum fyrir einstakt tækifæri til að fá innsýn í frystingu skógarplantna síðasta haust en undirrituð fékk að fljóta með í skoðunarferð með fyrirtækinu til Svíþjóðar og Finnlands. Bæði Barri og Suðurlandsskógar veittu styrk til fararinnar.

Síðast en ekki síst vil ég nefna þátt leiðbeinenda minna í verkefninu. Þeirra, Bjarna Diðriks Sigurðssonar, LBHÍ, Halls Björgvinssonar hjá Suðurlandsskógum og Hrefnu Jóhannesdóttur hjá Skógrækt ríkisins sem aðstoðuðu af áhuga, þolinmæði og góðvild.

Hjartans þakkir öll

Efnisyfirlit

Yfirlýsing höfundar	iii
Ágrip	vii
Þakkir	viii
Efnisyfirlit	ix
1. Inngangur	1
1.1 Rótarfrostþol	2
1.2 Frostþol yfirvaxtar	4
1.3 Frysting skógarplantna	4
1.3.1 Rætur	5
1.3.2 Yfirvöxtur	6
1.3.3 Aðstæður í frystigeyslu	7
1.3.4 Tími sáningar	7
1.3.5 Áburðargjöf	7
1.4 Aðferðir við að meta frostþol skógarplantna fyrir geyslu	8
1.4.1 Þurrefnisinnihald	8
1.4.2 Jónalekapróf á sprota	8
1.4.3 Jónalekapróf á rótum	9
1.5 Aðferðir við að meta lífsþrótt plantna eftir vetrargeyslu	9
1.5.1 RGC-aðferðin	9
1.5.2 Jónalekapróf á rótum	10
1.5.3 Áframræktun	12
1.5.4 Aðferð Svía við mat á plöntum eftir vetrargeyslu	12
2. Efni og aðferðir	14
2.1 Uppsetning tilraunar	14
2.2 Frostþolsmælingar á yfirvexti	16
2.3 Vaxtargreining og efnagreiningar	16
2.4 Mat á lífsþrótti	17
2.4.1 RGC-próf	17
2.4.2 Jónalekamælingar	19
2.4.3 Áframræktun í bökkum	20
2.5 Tölfræðileg úrvinnsla	20
3. Niðurstöður	21
3.1 Efnagreining	21
3.2 Vaxtargreining	21
3.3 Niðurstöður úr frostþolsmælingum á yfirvexti í nóvember	22
3.4 Aðstæður fyrir frystingu	23
3.5 Aðstæður úti á plani á meðan frystingu stóð	24
3.6 Aðstæður í frystigeyslu	25
3.7 Aðferðir við að meta rôtarkal	26
3.7.1 Samband RGC-aðferðar og áframræktunnar	26
3.7.2 Samband RGC-aðferðar og jónaleka á rótum	26
3.7.3 Samband áframræktunnar og jónaleka á rótum	27
3.8 Rótargæði meðferða	28
3.8.1 Mismunur í rötargæðum milli meðferða sitkagreni	28
3.8.2 Mismunur á rötargæðum milli meðferða í stafafuru af fyrri sáningu	29
3.8.3 Mismunur í rötargæðum milli meðferða stafafuru í Furubrún og á Tumastöðum	29

3.8.4	Mismunur í rótargæðum milli seint sáðrar stafafuru og fyrri sáningar af ómyrkvaðri og myrkvaðri stafafuru í laup, í frysti.....	30
4.	Umræður	32
4.1	Útkoma mæliaðferðanna	32
4.1.1	RGC-próf	32
4.1.2	Jónalekapróf á rótum (REL).....	32
4.1.3	Áframræktun	33
4.2	Vaxtargreining.....	34
4.3	Efnagreiningar.....	34
4.4	Niðurstöður úr RGC-ræktun	35
4.4.1	Útkoma sitkagrenis.....	36
4.4.2	Mismunur í rótargæðum milli meðferða af fyrri sáningu stafafuru ...	36
4.4.3	Samanburður á ómyrkvaðri furu frystri í laup í Furubrún og frystri í kassa á Tumastöðum	38
4.4.4	Samanburður á furu sem seint var sáð til og myrkvaðri og ómyrkvaðri furu í laup, í frystigám.....	38
5.	Ályktanir / Lokaorð.....	40
6.	Heimildaskrá	41

1. Inngangur

Rótarkal er algengt vandamál í framleiðslu skógarplantna í bökkum á norðurhveli jarðar (Lindström & Mattson, 1989). Þessar skemmdir geta haft neikvæð áhrif á lifun og vöxt plantna þegar þær eru komnar út í feltið og þess vegna er mikilvægt að geta greint skemmdirnar áður en til gróðursetningar kemur (Coursolle, Bigras & Margolis, 2000). Rótarskemmdir eru algengastar þar sem bakkaplöntur eru yfirvetraðar utandyra (Bigras & Dumais, 2005). Hér á landi eru skógarplöntur í garðyrkjustöðvum yfirleitt geymdar utandyra að vetri þar sem erfitt er að stjórna hita- og rakastigi kringum plönturnar (Valgerður Jónsdóttir & Hrefna Jóhannesdóttir, 2006) því er töluverð hættu á frostskegndum plantna, sérstaklega á rótum (Lindström, 1996; Lindström & Nyström, 1987). Hækkandi hitastig og óstöðugt veðurfar yfir vetrarmánuðina undanfarin ár hefur haft þau áhrif að plöntur í gróðrarstöðvum missa frostþol snemma á vorin og líkurnar á kalskegndum í vorfrostum hafa aukist til muna (Valgerður Jónsdóttir & Hrefna Jóhannesdóttir, 2006).

Á Íslandi eru ræktaðar ýmsar norðlægar trjátegundir sem sumum hverjum er mjög hætt við vorkali. Vorkal verður þegar plöntuvefir lifna of snemma af vetrardvala vegna mildrar veðráttu (Guðmundur Halldórsson & Halldór Sverrisson, 2006). Vorið 2003 lifnaði lerki (*Larix sp.*) í Eyjafirði og á Héraði snemma vegna óvenju mikilla hlýjinda í apríl. Í byrjun maí gerði svo hret með allt að 6,6 °C frosti sem varð til þess að miklar skemmdir urðu á lerki á þessum svæðum (Lárus Heiðarsson, Þróstur Eysteinnsson og Brynjar Skúlason, 2004). Mikil veðurskipti frá mildu veðri til mikils kulda geta leitt til alvarlegra skaða á plöntum sem ekki hafa náð að byggja upp nægjanlegt frostþol að hausti eða hafa misst frostþol sitt þegar vöxtur hefst að vori (Lindström, 1996). Skemmdir á sitkagreni (*Picea sitchensis*) vegna haustfropa er töluvert vandamál í garðyrkjustöðvum á landinu, vorfrost eru sjaldgæfari en geta valdið meiri skemmdum þegar þau ríða yfir (Brynjar Skúlason, Aðalsteinn Sigurgeirsson, Bjarni Guðleifsson og Øyvind Melands Edvardsen, 2001).

Plöntur geta misst rötarfrostþol sitt fyrr en frostþol yfirvaxtar (Bigras & Dumais, 2005) og sá missir verður vegna hækkandi hitastigs með vorinu (Lindström & Nyström, 1987; Stattin, 1999a). Þetta er mikilvægt að hafa í huga sérstaklega þegar litið er til þess að loftslag í heiminum fer hlýnandi (Houghton, o.fl., 2001) og þau hlýjindi geta haft mikil áhrif á landbúnað. Hvað varðar skógræktina geta skapast mikil vandamál þegar plöntur ná ekki að mynda nægjanlegt frostþol á haustin vegna hlýjinda og snjóþekja sem hlífir plöntum yfir vetrartíman er í minna mæli (Bjarni Guðleifsson, 2004a). Einnig geta mildari vetur leitt til þess að trjáplöntur losi dvala ótímabært eða eyði orkuforða þannig að þær nái ekki að hefja vöxt á vorin (Bjarni E. Guðleifsson, 2004b). Það er því mikilvægt að landbúnaður, og þar með talin skógrækt, sé í stakk búinn til að mæta breyttu veðurfari (Bjarni Guðleifsson, 2004a).

Í skýrslu um afföll í nýskógrækt sem unnin var af Björgvin Eggertssyni (2004) fyrir Suðurlandsskógaverkefnið kemur fram að ein af ástæðum fyrir afföllum geti verið að rótarkalnar plöntur standist illa samkeppni þegar út í feltið er komið. Í skýrslunni er kallað eftir aðferðum sem kaupandi getur notað til að meta hvort þær plöntur sem

góðursetja á eru með heilbriggt rótarkerfi og einnig breyttum aðferðum til að geyma skógarplöntur yfir vetrartímann.

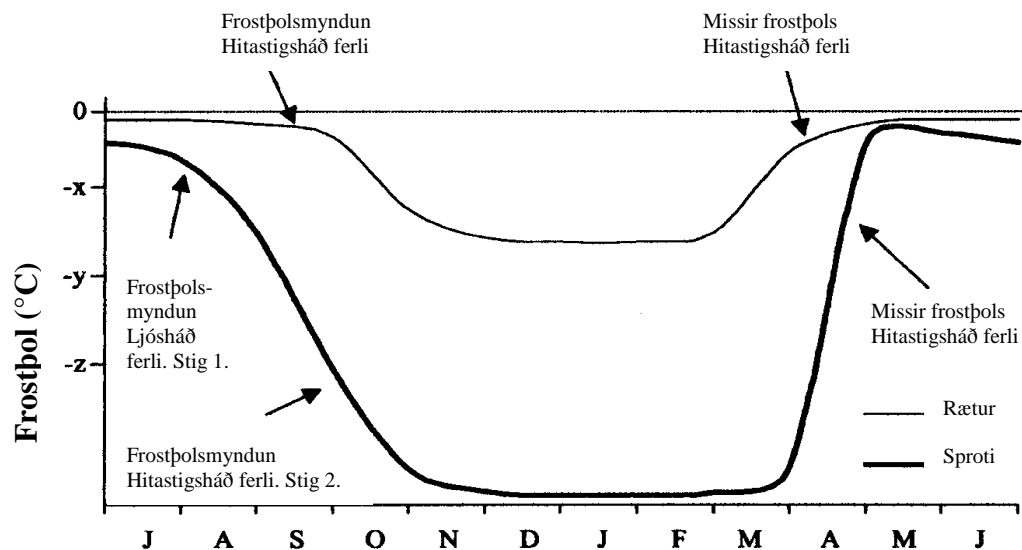
Til að forðast rótarkal hafa framleiðendur skógarplantna í Skandinavíu, Bretlandi, Kanada og Bandaríkjunum notað frystigeyslur til þess að yfirvetra plöntur sínar (McKay, 1994). Hér á landi er vakning í þessum efnum um þessar mundir. Sigurður Ásgeirsson, eigandi garðyrkjustöðvarinnar í Furubrún, Laugarási, frysti sínar fyrstu skógarplöntur í desember 2006 og þetta verkefni er unnið í samstarfi við hann, Suðurlandsskóga og Skógrækt ríkisins.

Meginmarkmið þessa verkefnis var að bera saman þrjár aðferðir til að meta rótarkal: RGC-mælingu, jónalekamælingu og áframræktun. Annað markmið var að athuga hvort stafafura (*Pinus contorta*) og sitkagreni þyldu frystingu í frystigeyslu og að bera rótarástand þeirra saman við rótarástand sambærilegra plantna sem geymdar voru á hefðbundinn hátt úti á plani. Þriðja markmiðið var að rannsaka hvort myrkvun á plani, sem er mikið notuð aðferð til að flýta myndun frostþols í sprota, hefði einnig áhrif á frostþol róta. Fjórða markmiðið var að gera samanburð á því að frysta furuplöntur í kössum eða laupum í frystigeyslum. Fimmta markmiðið var að bera saman frostþol róta hjá snemmsáðu og seinsáðum stafafurum. Rannsóknarspurning verkefnisins var: Bætir frystigeysla gæði skógarplantna?

1.1 Rótarfrostþol

Þær umhverfisaðstæður sem koma af stað myndun frostþols í rótum eru aðrar en koma af stað frostþoli í yfirvexti. Það er hitastig ræktunarefnisins (jarðvegsins) sem hefur mest áhrif á það hvenær frostþol róta myndast (Bigras & Dumais, 2005; Bigras, Ryppö, Lindström & Stattin, 2001; Stattin, 1999a). Það er misjafnt eftir tegundum hvert þetta hitastig er, en svo lengi sem hitinn helst yfir því hitastigi getur rótarvöxtur haldið áfram þó að vöxtur í sprota hafi hætt. Sýnt hefur verið fram á að hitastig undir 5 °C ýtir undir að frostþol í rótum myndist og að rótarvöxtur hætti hjá skógarfuru (*Pinus sylvestris*), hvítgreni (*Picea glauca*), rauðgreni (*Picea abies*) og svartgreni (*Picea mariana*), (Bigras & Dumais, 2005). Ljóslofa hefur aðeins lítillega áhrif á myndun frostþols róta hjá sumum tegundum og engin áhrif hjá öðrum (Bigras & Dumais, 2005; Lindström, 1987b; Bigras & D'Aoust, 1992). Það er fyrst og fremst hitastig sem er neðan við 5 °C sem framkallar frostþolið og umhleypingar leiða til minna frostþols róta samanborið við stöðugan kulda (Colombo, Menzies & O'Reilly, 2001).

Frostþol róta er árstíðabundið (1. mynd). Það kemur seinna að hausti en frostþol yfirvaxtar og byrjar að dvína fyrr að vori en frostþol yfirvaxtar (Coleman, Hincley, McNaughton & Smit, 1992; Stattin, 1999a; Bigras & Dumais, 2005). Þegar vorar minnkar frostþol róta með hækkandi jarðvegshita (Bigras o.fl., 2001).



1. mynd. Uppbygging og missir frostþols í rótum og sprotum barrtrjáa, ræktuðum í bökkum á norðlægum slóðum. Myndin er aðlöguð frá (Bigras & Dumais, 2005).

Rótavöxtur byrjar fyrir á vorin en yfirvöxtur því hann þarf ekki eins hátt hitastig til að fara af stað og yfirvöxturinn. Rótavöxturinn hættir líka seinna á haustin og því hefur rótin hámarks frostþol í styttri tíma en yfirvöxturinn (Bigras & Dumais, 2005). Rótarfrostþolið fer stigvaxandi eftir að vexti lýkur að hausti, eykst með meiri kulda og er mest yfir köldustu vetrarmánuðina (Bigras, o.fl., 2001). Frostþol róta er misjafnt eftir tegundum og kvæmum innan tegunda. Hversu miklu frostþoli plöntur ná að hausti fer eftir veðurfari undangenginna vikna og hvert hámarks eðlisbundið frostþol tegundar eða kvæmis er (Coleman, Hinckley, McNaughton & Smit, 1992). Rótarkerfi t.d. grenitegunda þolir oftast meira frost en rötarkerfi furutegunda (Bigras & Dumais, 2005). Anders Lindström (1987) sýndi fram á að rætur eins árs gamallar skógarfuru og stafafuru í ræktunarbökkum höfðu minna frostþol en rætur jafngamals rauðgrenis. Í tilraun McKay (1994) kom í ljós að eftir því sem kvæmi af stikagreni eru norðlægari því meira rötarfrostþoli nær kvæmið. Sambærilegar niðurstöður fengust í tilraun Anders Lindström (1987) þar sem árgamlar bakkaplöntur af skógarfuru og rauðgreni af norðlægum kæmum fengu fyrir meira rötarfrostþol að hausti en suðlægari kvæmi.

Frostþol róta fer eftir aldri plantna og frostþolið er misjafnt í mismunandi hlutum rötarkerfisins (Bigras & Dumais, 2005). Í tilraun Colombo, Zhao & Blumwald (1995) á svartgreni kom fram að frostþol róta þess var mest næst rötaráls en minnst í rötarbrotum. Til eru rannsóknir sem sýna að rötarendar ná aldrei frostþoli, en aðrar hafa leitt í ljós að frostþol þeirra er til staðar, en aðeins á lágu stigi (Bigras o.fl., 2001). Ungar rætur þola minna frost en þær sem eru eldri og þroskaðri. Sýnt hefur verið fram á að t.d. rötarendar 6-12 mánaða gamallar skógarfuru í bökkum geta þolað $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ á meðan korkkenndar rætur (e: suberized roots) sem voru um 0,8 mm í þvermál þoldu allt að $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Bigras & Dumais, 2005).

Í rannsókn sem Coleman o.fl. (1992) gerðu kemur fram að rætur hafa miklu minna frostþol en yfirvöxturinn. Yfirvöxtur stafafuru ræktaðri í bökkum þoldi um $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ frost yfir vetrartímamann en á sama tíma þoldu rætur sem voru minni en 2 mm í

Þvermál aðeins $-7,5$ °C frost. Stafafuran sem notuð var í tilraun Colemans var upprunin frá 46° - 48° N og 1000-1200 m hæð yfir sjávarmáli. Sú stafafura sem mest er ræktað á Íslandi, kvæmið Skagway, kemur hinsvegar frá 59° N og um 10 m (Aðalsteinn Sigurgeirsson, 1988) til 700 m hæð yfir sjávarmáli (Persónulegar upplýsingar; Böðvar Guðmundsson, áætlunarfulltrúi hjá Suðurlandsskógum, munnleg heimild, 26. apríl 2007).

Vaxtarferill og hæfileiki barrtrjáa til að mynda frostþol er bundinn í genum, en jafnframt stjórnað af umhverfisþáttum (Aitken & Hannerz, 2001; Bigras, o.fl., 2001). Eva Stattin (1999a) ræktaði skógarfuru upprunna frá Skotlandi, í Garpenberg í Svíþjóð og þar náðu plöntunar meira frostþoli en sama kvæmi af skógarfuru ræktað í Skotlandi. Þarna er talið að lægri jarðvegshiti í Garpenberg að hausti hafi framkallað meira frostþol skógarfuru þar. Það fer ekki bara eftir því frá hvaða breiddargráðu plöntur eru hvenær og hve mikið frostþol þær mynda heldur skiptir hæð yfir sjávarmáli líka miklu hjá sumum tegundum. Stafafura upprunnin frá nyrstu útbreiðslustöðum sínum í Bresku Colombíu og Yukon í Norður Ameríku myndar frostþol bæði eftir því á hvaða breiddargráðu og úr hvaða hæð yfir sjávarmáli hún kemur ef hún er gróðursett sunnar í álfunni. Haustun sprota virðist hinsvegar meira háð hæð upprunastaðar en breiddargráðu (Aitken & Hannerz, 2001).

1.2 Frostþol yfirvaxtar

Það sem hefur mest áhrif á myndun frostþols í yfirvexti er styttri ljóslota síðsumars (Bigras o.fl., 2001; Colombo o.fl., 2001). Þegar daginn tekur að stytta verða fítokróm plöntunnar smátt og smátt óvirk og það hvetur til vaxtarstöðvunar, myndunar endabrumms og frostþolsmyndunar. Til þess að flýta fyrir frostþolsmyndun yfirvaxtar skógarplantna í garðyrkjustöðvum er myrkvun því algeng í ræktunarferlinu, sérstaklega í gróðrarstöðvum á norðlægum slóðum þar sem sumardagar eru langir (Colombo o.fl., 2001).

Frostþolsmyndun yfirvaxtar hefur verið greind í þrjú stig fyrir marga barrviði (1. mynd). Fyrsta stigið er hvatað af styttri daglengd, en þá stöðvast vöxtur, brummyndun verður og dálítið frostþol myndast. Annað stigið hefst þegar hitastig nálgast 0 °C og af því leiðir talsvert meira frostþol. Þriðja stigið hefur aðeins verið skilgreint fyrir harðgerðustu barrtré enda verða plönturnar þá fyrir miklu lægra hitastigi, eða á milli -30 og -50 °C (Bigras & Dumais, 2005). Frostþolsmyndun yfirvaxtar sitkagrenis hefur verið greind upp í tvö fyrstu stigin (Bigras o.fl., 2001).

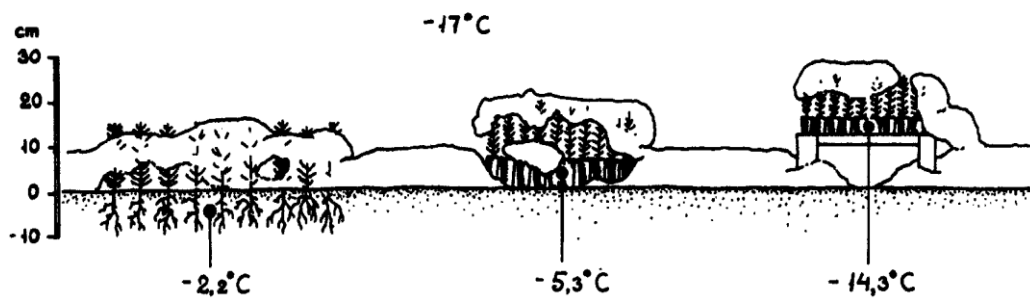
1.3 Frysting skógarplantna

Með því að frysta skógarplöntur innanhúss má draga úr þeim sveiflum í veðurfari sem eru þeim skaðlegar. Í geymslunni er hægt að stýra hitastigi þannig að bakkaplöntur (sérstaklega rætur þeirra) verði ekki fyrir eyðileggjandi frosti yfir vetrartímenn. Þannig má líka koma í veg fyrir að vorhret skemmi plöntur sem lifnað hafa of snemma vegna mildrar veðráttu (Colombo o.fl., 2001).

Til þess að frýsting komi ekki niður á gæðum verða plönturnar að hafa náð góðu frostþoli bæði í yfirvöxt og rætur áður en þeim er pakkað inn í frýstigeymslu (Lindström, 1996). Skemmdir aukast í geymslu hafi plöntur verið skemmdar við byrjun geymslutímans, hvort sem það er geymsla utandyra, í kæli eða í frýsti (Stattin, 1991). Það er því margt sem huga verður að við ræktun plantna sem frýsta á yfir vetrartímamann. Reynt er að haga ræktun og tímasetningu á þökkun þannig að plöntur skemmist ekki í frýstigeyslum. Í næstu köflum er hugað að helstu atriðum sem hafa ber í huga þegar yfirvetra á plöntur í frýstigeyslu.

1.3.1 Rætur

Rætur plantna hafa venjulega miklu minna frostþol en yfirvöxturinn. Í beðaræktun eru þær verndaðar af einangrandi jarðvegi og þar með frá frostskegmdum. Þegar skógarplöntur eru hinsvegar ræktaðar í bökkum er meiri hætta á frostskegmdum því bakkarnir sitja ofan á jarðveginum og eru því viðkvæmari fyrir frosti og þar af leiðandi rótarskegmdum (Colombo o.fl., 2001). Þessi hætta eykst ef plönturnar eru ræktaðar á upphækkun (2. mynd) og því er mælt með að bakkar séu teknir af þeim fyrir veturinn og látnir standa á jörðinni sem veitir ákveðna einangrun, auk þess sem einangrandi lag af snjó (eða öðru efni) yfir þeim er til mikilla bóta (Lindström, 1988).



2. mynd. Hitastig í rótarklumpi á köldum desembermorgni þegar 10 cm snjólag lá yfir. Frá vinstri á myndinni eru berrótaplöntur í beði, bakkaplöntur á plani og bakkaplöntur á upphækkun í 10 cm hæð (mynd úr Lindström, 1988).

Kalt loft, sem er þyngra en heitt, safnast saman undir plöntunum ef þær eru ræktaðar á upphækkun og hætta er á að ræturnar verði fyrir alltof miklu frosti. Á miðjum vetri þegar skógarfura og stafafura hafa hvað mest frostþol geta orðið rótarskegmdir við 10 °C frost og þar með dregið úr vexti og lifun á næsta vaxtartímabili. Rauðgreni getur hinsvegar staðið óskemmt við um -15 °C (Stattin, 2002). Það getur hinsvegar verið heppilegt að láta plönturnar standa á upphækkuninni eitthvað fram eftir hausti því loftun undir bakkana gerir það að verkum að hitastig ræktunarefnisins er lægra sem verður til þess að frostþol fæst í ræturnar fyrr (Bigras & Dumais, 2005).

Venjulega er hitastig í frýstum haft milli -3 og -5 °C og áður en plönturnar eru settar inn á frýstinn verða rætur þeirra að geta þolað það mikið frost. Rætur ná ekki hámarksfrostþoli fyrr en um miðjan vetur (Stattin, 2002), en bæði frostþol yfirvaxtar og róta eykst í frýstigeyslu (Stattin, Hellqvist & Lindström, 2000; Colombo o.fl., 2001). Rannsóknir Evu Stattin (1999a) sýndu að rauðgreni bætti við frostþol róta eftir að það hafði verið sett inn á frýsti og hafði meira frostþol en það sem var geymt á sama tíma í kæli eða úti á plani. Að meta hæfni plöntunnar til að fara inn á frýsti að

hausti með því að athuga aðeins frostþol yfirvaxtarins getur verið varasamt vegna þess að rætur fá frostþol seinna en yfirvöxtur (Colombo o.fl., 2001; Stattin, 2002).

Rauðgreni og skógarfuruplöntur sem hafa ekki náð nægjanlegu frostþoli um miðjan október er hægt að meðhöndla með 2-4 vikna kælingu sem næst 0 °C til þess að ná upp rótarfrostþoli áður en þær fara í frysti. Svo að þessi aðferð nýtist verður frostþolsmyndun yfirvaxtar að vera komin í gang og þurrefnismyndun (trénun) orðin nægjanleg (Stattin, 2002). Eva Stattin og Anders Lindström (2004) gerðu tilraun með að kæla skógarfuruplöntur í bökkum niður við 0 °C í 4-6 vikur og bera rótarfrostþol þeirra saman við rótarfrostþol plantna sem geymdar höfðu verið úti á hefðbundinn hátt. Niðurstaðan var sú að plönturnar sem fengu kælingu á þennan hátt höfðu meira frostþol í rótum en þær plöntur sem höfðu verið á sama tíma úti á plani og lifun þeirra sex mánuðum seinna var 100% á meðan lifun samanburðarplantnanna var 28%. Með kælingu í kæligeymslu er hægt að fá rótarfrostþol mánuði fyrir í rætur plantna og koma þannig enn frekar í veg fyrir hugsanlega skaða á plöntum sem geta orðið vegna frosta seint á haustin. Hana er líka hægt að nota til gera suðlæg kvæmi fyrir tilbúin til að fara inn á frysti.

Ef mælingar á frostþoli róta liggja ekki fyrir getur ræktandi stuðst við það að ef hitastig ræktunarefnis helst á milli 0 og +5 °C í um 4 vikur samfleytt má búast við að rætur hafi náð nægjanlegu frostþoli til að þola frystingu (Stattin, 2002). Síritandi hitamælar sem mæla hitastig ræktunarefnis eru gagnlegir við slíkt mat (Stattin, 1999a). Eins og áður sagði gildir það um ræturnar eins og yfirvöxtinn að norðlægari kvæmi mynda frostþol fyrir en suðlægari og eru því fyrir tilbúin til að fara inn á frysti. Það eru því fleiri vandamál tengd yfirvetrun suðlægra kvæma (Lindström, 1996), því norðlæg kvæmi sem ná frostþoli fyrir virðast einnig þola lengri geymslutíma en suðlægari kvæmi af sömu tegund (McKay, 1994).

1.3.2 Yfirvöxtur

Með því að myrkva plöntur í gróðrarstöðvum síðsumars er vaxtarstöðvun framkölluð og dvali byrjar fyrir en ella. Með vaxtarstöðvuninni kemur líka meira frostþol. Þegar myrkvað er í þeim tilgangi að koma frostþoli fyrir í plönturnar er nauðsynlegt að plönturnar fái um leið frekar hátt hitastig. Hvað varðar rauðgreni er þetta hitastig í kringum 20 °C og það tekur rauðgrenið um 2-3 vikur að mynda endabrum. Yfirleitt eru plöntur myrkvaðar í um 3-4 vikur (Dormling, 2001). Hrefna Jóhannesdóttir (2000) fann út í tilraun sinni hjá garðyrkjustöðinni Barra á Egilsstöðum að það gaf besta raun að myrkva sitkagreni í 14 daga til að ná upp frostþoli í sprota. Hún myrkvaði plöntunar annarsvegar 26. júlí og hinsvegar 10. ágúst en sá ekki mun á frostþoli sprota í september þegar hún gerði frostþolsprófanir á þeim.

Fyrsta stig frosþolsmyndunar sprota er eins og áður segir frekar hitakræft en svo er áframhaldandi myndun frostþols háð því að plöntur verði fyrir kulda (1. mynd) (Bigras & Dumais, 2005). Hér gildir að sproti norðlægari tegunda fá fyrir meira frostþol og en suðlægari því þær bregðast fyrir við styttri daglengd. Með myrkvun er því hægt að flýta fyrir þökkun inn í frysti (Lindström, 1996).

Þó að plöntur séu myrkvaðar verður að gæta þess að þær hafi nægilega langan dag til þess að geta ljóstillífað svo vöxtur róta og þvermálsvöxtur sprota sé mögulegur

(Colombo o.fl., 2001). Einnig verður að gæta þess vel að á því tímabili sem myrkvað er komist aldrei ljós að plöntunum því það getur brotið upp áhrif myrkvunartímabilsins og dvali endabrumanna sem myndast verður ekki viðvarandi. Hætta er þá á að plönturnar fari aftur af stað eftir að myrkvun lýkur, sem seinkar frostþolmyndun enn frekar (Colombo o.fl., 2001; Dormling, 2001).

1.3.3 Aðstæður í frystigeyslu

Eins og áður segir er hitastig í frystum oftast á milli -3 og -5 °C (Lindström, 1996) og mikilvægt er að geta stjórnað vel hitastiginu. Verði frost meira en -5 °C er sá möguleiki fyrir hendi að rætur (rótarendar) verði fyrir frostskaða. Einnig er mikilvægt að hitastig stígi ekki upp í -2 °C vegna þess að þá geta ýmsir myglusveppir farið að vaxa. Algengastur er grámygla (*Botrytis cinerea*) en hann hættir að geta vaxið við -2 °C (Nyström, 1998). Mælt er með að yfirvöxtur planta sé hreinn og þurr þegar plöntum er pakkað, því þá sé minni hætt á skemmdum vegna myglusveppa (Lindström, 1996).

Erfitt er að halda uppi nægjanlega góðu rakastigi við hitastig undir 0 °C. Það er því nauðsynlegt að pakka plöntunum í þéttar pakkningar svo að vefir þeirra þorni ekki upp í frostinu (Lindström, 1996). Í Svíþjóð eru kæligeyslur einnig notaðar til yfirvetrunar skógarplantna. Þar er reynt að halda hitastigi sem næst 0 °C og þar með tekst fekar að halda uppi góðu rakastigi, sérstaklega í svo kölluðum kápukælum þar sem geyslan er klædd innan með plasti (kápan) og kæli loftið blæs á milli þess og veggja geyslunnar, en ekki inn í því rými sem plönturnar eru geymdar í. Hreyfing á lofti er því engin þar sem plönturnar eru geymdar og því hægt að halda uppi góðum loftraka (Nyström, 1998).

1.3.4 Tími sáningar

Plöntur sem seint er sáð til eru viðkæmari fyrir frystingu en plöntur af fyrri sáningu (Stattin, 2002; Lindström, 1996). Það er bæði rótin og yfirvöxturinn sem þá eru viðkvæmari fyrir skemmdum. Orsökina fyrir þessu er ekki að fullu þekkt, en getur tengst því að seinsáðar plöntur fá of stutt tímabil til þess að mynda frostþol og fara þess vegna illa í frystigeyslu (Lindström, 1996). Í Svíþjóð eru smáar, seint sáðar plöntur oft geymdar á kælum yfir veturinn, en ekki í frystigeyslum, og eru svo ræktaðar áfram vorið eftir (Nyström, 1998).

1.3.5 Áburðargjöf

Lítið er vitað um áhrif áburðargjafar á myndun frostþols og rannsóknir þar um segja ýmist að köfnunarefnisgjöf (N) hafi enginn áhrif, hjálpi til við myndun frostþols eða dragi úr frostþoli (Bigras o.fl., 2005). Almenn er talað um að plöntuvefur sem líður næringarskort sé verr í stakk búinn til að verjast frosti en sá sem ekki líður skort (Lindström, 1996; Colombo, o.fl., 2001; Rikala & Repo, 1997). Einnig er talað um að mikil köfnunarefnisgjöf (N) geti seinkað myndun endabruma og seinkað þannig frostþolsmyndun yfirvaxtarins (Colombo, o.fl., 2001; Bigras o.fl., 2005). Slík

áburðaráhrif eru þekkt í ræktun alaskaaspar í foldu á Íslandi, jafnvel þegar borið er á að vori (Bjarni D. Sigurdsson, 2001).

1.4 Aðferðir við að meta frostþol skógarplantna fyrir geymslu

Til þess að komast að því hvort bakkaplöntur þoli að fara inn á frysti að hausti er nauðsynlegt að búa yfir aðferðum til þess að meta frostþol róta og sprota. Þetta gerir skógarplöntuframleiðendum kleift að vera öruggari með frystinguna (Colombo o.fl., 2001).

1.4.1 Þurrefnisinnihald

Í Svíþjóð er algengast að mæla þurrefnisinnihald eða trénun (TS-aðferð) í efstu 2 cm á yfirvextinum. Hversu hátt hlutfall þurrefnisins þarf að vera svo að planta sé geymsluhæf eða ekki fer eftir trjátegund, aldri, uppruna fræsins (kvæmi) og hvort plöntur hafi vaxið við hagstæðar eða óhagstæðar aðstæður til að mynda frostþol (Lindström, 1996).

Það hefur komið í ljós að þurrefnisprófið er ekki mjög næmt, þ.e. lítill munur á hlutfalli þurrefnis í plöntum getur gefið mikinn mun á frostþoli plantna. Þegar t.d. rauðgreniplöntur hafa um 33% þurrefni þola þær að einhverju leyti frost en þegar þær eru komnar með 35% þurrefnisinnihald mega þær fara inn á frysti. Þarna er lítill munur á og þess vegna er mælt með því að framleiðendur geri líka frostþolspróf á annan hátt á sama tíma (Dormling, 2001).

1.4.2 Jónalekapróf á sprota

Jónalekapróf á sprota (e: SEL test eða Shoot Electrolyte Leakage test) er notað til að ákvarða frostþol yfirvaxtar barrtrjáa og hefur notkun þess hjá framleiðendum skógarplantna aukist undanfarin ár (Burr, o.fl., 2001; Lindström & Mattson, 1994). Plöntufrumur sem skaddaðar eru af frosti leka meira af innihaldi sínu en frumur sem eru óskaddaðar. Hægt er að mæla þennan leka með því að láta plöntuvefinn liggja í afjönuðu vatni og mæla síðan leiðni vatnsins eftir ákveðinn tíma, venjulega 24 klst. Jónalekinn er svo sýndur sem prósentu af heildarjónamagni í vefnum, en heildarjónamagnið fæst með því að sjóða sýnið í autoclafa og mæla leiðni eftir suðuna (Lindström & Mattson, 1994).

Hlutfallslegur jónaleki = Leiðni eftir 24 klst/ leiðni eftir suðu *100

Því hærri sem hlutfallslegur jónaleki er því meira er plöntuvefurinn skemmdur (Lindström & Nyström, 1994). Fræðilega séð ætti hlutfallslegur jónaleki milli misstórra sýna ekki að vera mismunandi svo lengi sem sýnin eru tekin úr sömu vefjum og þannig ætti hlutfallslegur jónaleki að gefa til kynna hversu mikið eða lítið vefurinn var skaddaður (Stattin, 1999a).

Þegar jónalekaprófið er gert fyrir sprota eru efstu 2 cm yfirvaxtarins klipptir af og frystir niður í -25 °C á um sólarhring. Topparnir eru látnir liggja í afjönuðu vatni í

sólarhring og svo er leiðni vatnsins mæld og borin saman við leiðni frá ófrosnum plöntuhluta (Lindström & Nyström, 1994). Ef mismunur á hlutfallslegri leiðni viðmiðs og hlufallslegri leiðni frosinna plantna er að hámarki 5 er óhætt að setja plönturnar inn á frysti (Stattin & Lindström, 2004). Með rannsóknum hefur verið fundið sterkt samband á milli þess skaða sem verður við -25 °C og geymsluþols við -5 °C og þess vegna er fryst við -25 °C (Sundblad & Andersson, 2002). Athuganir á frostþoli sprota með þessari aðferð hafa verið gerðar hér á landi síðan 2002. (Persónulegar upplýsingar; Hrefna Jóhannesdóttir, skógfræðingur, tölvupóstur, 18. apríl 2007).

1.4.3 Jónalekapróf á rótum

Skotum hefur tekist að nota jónalekapróf á rótum (e: REL test eða Root Electrolyte Leakage test) til þess að ganga úr skugga um hvort rætur séu komnar með það mikið frostþol að þær þoli vetrargeymslu (Harrison, 2004). Sjá nánar kafla 1.5.2. Svíar hafa einnig sýnt aðferðinni áhuga til þess að geta metið t.d hvenær rætur plantna eru tilbúnar til að fara út úr gróðurhúsi á haustin (Lindström & Nyström, 1994). Það eru hinsvegar skiptar skoðanir um hversu næmt þetta próf er (Stattin, 1999a). Sjá nánar umfjöllun í næsta kafla.

1.5 Aðferðir við að meta lífsþrótt plantna eftir vetrargeymslu

Hér verða aðeins kynntar til sögunnar þær aðferðir sem notaðar eru í þessu verkefni. Til er fjöldinn allur af aðferðum sem reynast misvel. (Sundblad, Eriksson & Lindström, 1994).

1.5.1 RGC-aðferðin

RGC-aðferðin (e: Root Growth Capacity test) stendur fyrir hæfni rötanna til að vaxa í stöðugu umhverfi þar sem aðstæður eru eins og best verður á kosið fyrir rótur og sprotavöxt (Lindell, 1986). Hæfni rötanna til þess að vaxa eftir gróðursetningu er mikilvæg vegna þess að plantan verður að vera í stakk búin til að taka upp vatn og næringarefni þegar út í feltið er komið (Mattson, 1996). Þessi aðferð var fyrst notuð í V-Bandaríkjum en var tekin í notkun og þróuð áfram fyrir bakkaplöntur af Svíum (Mattson, 1986). Hún er nú notuð í Svíþjóð til þess að finna plöntur með alvarlega skemmt eða dautt rötarkerfi eftir vetrargeymslu (Lindström & Mattson, 1994).

Ýmsa hluti verður að hafa í huga þegar prófa á plöntur í RGC-borði. Til þess að fá traustar niðurstöður fyrir plöntugæði er mikilvægt að ræktunarumhverfið í og við RGC-borðið sé alltaf eins. Einnig er mikilvægt að plöntur séu valdar af handahófi í borðið. Um 20 plöntur alls úr hverri meðferð eða “partíi” sem dreift er af handahófi um borðið í fjórum hópum (Mattson, 1986).

Plöntur sem hafa ekki myndað neina hvíta rötarenda í RGC-borði eftir þriggja vikna ræktun eru skilgreindar með dautt rötarkerfi. Ræturnar eru þá oft svartar eða brúnsvartar og rötarbörkurinn laus frá rötarviðnum. Rötarviðurinn er brúnn eða brúnsvartur miðað við eðlilegan gulhvítan lit. Plöntur með alvarlega rötarskaða teljast þær plöntur þar sem hluti rötarkerfisins er dauður, venjulega neðri hluti

rótarkerfisins (Mattsson, 1986). Rótarvexti plantna í RGC-borði er gefin einkunn eftir ákveðnu kerfi (sjá Efni og Aðferðir).

Ýmsir þættir hafa áhrif á þau gildi sem koma út úr RGC-ræktun, svo sem plöntutegund, uppruni fræsins og kvæmi. Skógarfura fær t.d. ávallt miklu hærra RGC-gildi en rauðgreni þó tegundirnar séu ræktaðar við sömu aðstæður. Jafnvel ræktunartæknin í garðyrkjustöðinni getur haft áhrif á útkomuna úr RGC-borðinu. Sérstaklega sáningartíminn, en einnig tímasetning pökkunnar, lengd geymslutíma og hitastig í geymslurými. RGC-gildið sem fæst er samspil eiginleika plantnanna og fyrrnefndrar ræktunartækni (Lindell, 1986). Hátt RGC-gildi er ekki endilega ávísun á kröftugan rótarvöxt þegar út í feltið er komið heldur aðeins vísbinding um ákveðna hæfni plöntunnar í lok vetrargeymslu. Hvort reyndin er sú sama í feltinu fer síðan eftir ýmsum þáttum sem þar ríkjja, t.d. jarðvegshita og raka, lofthita, samkeppni og jarðvegsgerð, svo eitthvað sé nefnt (Lindell, 1986).

Í umfjöllun Anders Mattsson (1986) um RGC-aðferðina kemur fram að Svíar eru þá nýbúnir að taka í notkun þessa tækni og greinarhöfundur bendir á að til þess að komast að því hvað RGC-gildin þýði í raun og veru fyrir skógarfuru og rauðgreni þurfi að fara fram rannsóknir á sambandi útkomu úr RGC-borðinu og frammistöðu sömu plöntuhópa í felti við náttúrulegar aðstæður í Svíþjóð. Þannig geti byggst upp gagnagrunnur sem ganga megi í þegar bera á saman niðurstöður úr RGC-borðinu og þess vegna sé nauðsynlegt að halda ræktunarumhverfinu við RGC-borðið stöðugu svo niðurstöður séu ávallt sem sambærilegastar milli prófana.

Lindström og Nyström (1987) benda á það að þau RGC-gildi sem þeir fengu megi ekki heimfæra beint yfir á aðra plöntuhópa af sömu tegundum úr öðrum gróðrarstöðvum því að ræktunaraðferðir, sérstaklega það hitastig sem plöntur verða fyrir í ræktun, hafi áhrif á útkomu RGC-prófsins.

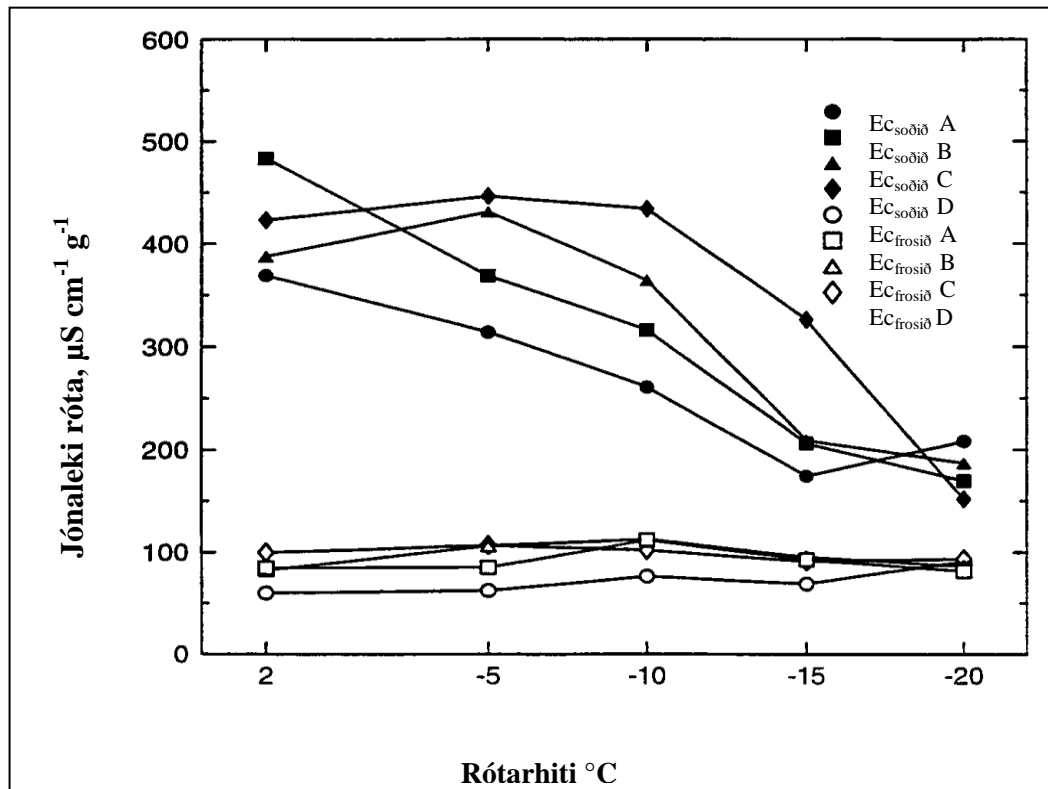
1.5.2 Jónalekapróf á rótum

Þessi aðferð byggist á sömu forsendum og jónalekamælingar á sprota sem lýst var í 1.4.2, þ.e. frumur leka innihaldi sínu verði þær fyrir frostsKemmdum. Til að hægt sé að mæla leiðni rótarvefja þarf fyrst að skola jarðveg af rótunum áður en rótarsýni er tekið (Stattin, 1999a). Þessi aðferð hefur þann kost að niðurstaða frá henni fæst eftir tvo daga, sem er mikill munur í tíma miðað við RGC-aðferðina sem tekur allt að þremur vikum (Stattin, 1999b) og á meðan getur ástand plantnanna, sérstaklega ef þær eru geymdar út á plani breyst mikið (Lindström & Mattson, 1994).

McKay (1994) tókst að nota þessa aðferð með ágætum árangri til að meta lífsþrótt plantna eftir geymslu. Hún fann gott samband á milli lifunar í felti og jónalekaprósentu. Eftir því sem jónalekinn frá rótunum var hærri því minni var lífsþrótturinn. En eins og Anders Lindström (1996) bendir á vann McKay með berróta plöntur en ekki plöntur ræktaðar í bökkum og hún þurfti því ekki að skola eins mikið.

Eva Stattin (1999a) mældi leiðni róta bakkaplantna sem hún hafði fryst við mismunandi mikið frost. Hún fékk ekki aukningu á leiðni ($EC_{frosið}$) í samræmi við

aukið frost sem plönturnar urðu fyrir, heldur breyttist heildarjónaleki ($Ec_{soðið}$) eftir því sem plönturnar voru frystar meira (3. mynd).



3 mynd. Jónaleki frá rótum skógarfuruplantna eftir frystingu ($Ec_{frosið}$) og suðu ($Ec_{soðið}$). Rætur voru frystar við -5, -10, -15, og -20 °C í september 1992. $N = 3$. Mynd aðlöguð frá Stattin (1999a).

Kenning Evu Stattin (1999a) varðandi þennan mismun milli meðferða er sú að þegar jarðvegur var skolaður burt af rótum bakkaplantnanna hafi jónir frá skemmdum frumum líka skolast burtu og þess vegna minnki heildarjónalekamagnið eftir því sem plönturnar voru frystar meira. Þannig bendir hún á að nota megi þetta próf til að fá skjóta niðurstöðu á ástandi róta en það þurfi að fara fram frekari rannsóknir á aðferðinni áður. Skoða þurfi hvernig magn jóna breytist á ársgrundvelli og hvernig það breytist eftir mismunandi plöntuvefjum. Hún vill því fremur nota heildarjónaleka en hlutfallslegan, en þá er mikilvæg að sýnin séu jafn stór.

Skotar hafa notað jónaleka til að meta ástand róta eftir geymslu í meira en 20 ár og hafa á þeim tíma safnað upplýsingum í gagnabanka sem nýtist þeim til að meta á áreiðanlegan hátt hvort plöntur hafi nægjanlegt frostþol til að fara í vetrargeymslu og eins til að meta ástand þeirra eftir geymslu. Jónalekinn er mismunandi eftir tegundum og eftir því hvort plöntur eru ræktaðar í bökkum eða berróta (Tafla 1) (Harrison, 2004). Þetta próf tekur það stuttan tíma að það hefur að mestu leyst RGC-aðferðina af hólmi í Skotlandi (Harrison, 2004).

Tafla 1. Gildi fyrir jónaleka á rótum (REL) sem notuð eru í breskum garðyrkjustöðvum til þess að leggja mat á hvort rætur séu komnar í dvala en einnig til þess að kanna hvort þær eru heilbrigðar. Taflan er aðlöguð frá (Harrison, 2004).

Tegundir	Í góðum dvala (%)	Ásættanlegt hámark (%)	
		Berrótaplöntur	Bakkaplöntur
Fura	10 – 15	25	30
Greni	10 – 15	25	30
Lerki	10 – 15	30	35
Þinur	15 – 20	30	35
Reynir	10 – 20	30	35
Birki	20 – 30	35	40

1.5.3 Áframræktun

Með þessari aðferð eru plöntur ræktaðar áfram í gróðurhúsi við stöðugar aðstæður í 5 vikur eftir að vetrargeymslu lýkur. Þessi prófun gefur fyrst og fremst upplýsingar um yfirvöxtinn. Athugað er hvort brum springi eðlilega út og hvort sjáanlegir séu sjúkdómar eða kal. Síðan eru plönturnar færðar í minni loftraka (út úr gróðurhúsi) en þær aðstæður reyna meira á rætur en í stýrðu umhverfi og fylgst er með hvort brumin og/eða sprotarnir láti á sjá við það vegna rötarskemmda.

1.5.4 Aðferð Svía við mat á plöntum eftir vetrargeymslu

Undanfarin tvö ár hefur ákveðin aðferð verið notuð í Svíþjóð við úttekt á gæðum skógarplantna. Gerð eru fjögur mismunandi próf á plöntunum eftir vetrargeymslu (þar á meðal RGC-próf og áframræktun) og niðurstöður úr þeim prófunum samanlagt segja svo til um gæði plantnanna. (Persónulegar upplýsingar; Jörgen Hajek, tilraunastjóri Skogforsk í Svíþjóð, munnleg heimild, 4. apríl 2007).

1. RGC-aðferðin. Það fer eftir því hve plantan er stór hvaða RGC-gildi er ásættanlegt. Gildi 4-7 er talið gott. Ef gildið er lægra en 4 er ráðlegt að gróðursetja plöntuna meðan hún er enn í dvala og í land sem hefur nægan raka.

2. Rótar-sprota hlutfall (R/S) er einnig mælt. Það ætti ekki að vera minna en 0.3 (a.m.k. miðað við rauðgreni). Hlutfallið 0.5 telst mjög gott. Þetta fer þó eftir RGC-gildinu, því herra sem það er, því lægra R/S hlutfall er ásættanlegt. Ekki er þó mælt með að gróðursetja plöntur sem hafa lægra gildi en 0.25. Ef bæði R/S og RGC gildin eru lág er ekki mælt með að gróðursetja þær plöntur, sérstaklega ekki þegar um er að ræða skógarplöntur úr 90-120 cm³ eða stærri. Hæð og þvermál plantna er líka mælt.

3. Áframræktun. Þessi prófun er fyrst og fremst notuð í Svíþjóð til að fá upplýsingar um það hvort yfirvöxtur komi heilbrigður út úr frystinum.

4. Næringarefnainnihald. Gerðar eru mælingar á næringarefnainnihaldi barrsins. Köfnunarefnishlutfallið (N%) á að liggja á milli 2.0 og 2.5 (a.t.h. tölur miðað við rauðgreni). (Persónulegar upplýsingar; Jörgen Hajek, tilraunastjóri Skogforsk í Svíþjóð, munnleg heimild, 4. apríl 2007). Nægjanlegt köfnunarefnisinnihald er talið sérstaklega mikilvægt því plöntur með of lítið N þola illa langa geymslu í frysti og hafa lítinn forða með sér út í feltið (Hajek, 2006).

Útkoman úr prófununum fjórum er skoðuð sem ein heildarmynd og það haft í huga að ef sömu plöntuhópar eru að fá lélegt mat út úr mörgum prófum geti þeir gallar samanlagt orðið að stóru vandamáli fyrir þann plöntuhóp í foldu. Ráðstafanir eru gerðar í samræmi við útkomu, t.d. er ekki mælt með að gróðursetja bakkaplöntur með lægstu ásættanlegu gildin í RGC og R/S-hlutfalli sem hafa hafið toppvöxt eða þar sem hætta er á þurrkstressi (Persónulegar upplýsingar; Jörgen Hajek, tilraunastjóri Skogforsk í Svíþjóð, munnleg heimild, 4. apríl 2007).

2. Efni og aðferðir

Tilraunin fór fram í gróðrarstöðinni Furubrún í Reykholti, Árnessýslu, hjá skógarplöntuframleiðandanum Sigurði Ásgeirssyni. Plöntutegundirnar sem notaðar voru í tilraunina voru sitkagreni (*Picea sitchensis*) af kvæminu Tumastaðir (frænr. 20 10 29) og stafafura (*Pinus contorta*) af kvæminu Skagway/Skorradalur/Seilugil (frænr. 20 30 26).

Greninu var sáð 10. mars 2006. Grisjað var í bökkum 6-10. apríl og sett á grindur 11-18. apríl. Sveppalyfið Previcur var gefið 11. maí. Plönturnar voru fluttar út á plan 12-15. júní. Myrkvun fór fram 15-31 ágúst. Plönturnar voru ekki settar á upphækkun þegar þær voru fluttar úr gróðurhúsi og því var þeim lyft upp á grindur 14. september til þess að rætur myndu ekki ná festu í jarðveginn. Plönturnar voru teknar af þeirri upphækkun snemma í október.

Stafafuru var sáð tvisvar. Fyrri sáningin fór fram 8. mars 2006. Grisjað var í bökkum 3-6. apríl og 18. apríl var lokið við að setja þær plöntur upp á grindur. Sveppalyfið Previcur var gefið 11. maí og þessar plöntur voru síðan fluttar út 12-15. júlí. Myrkvun fór fram 15-31 ágúst. Þær voru einnig settar á upphækkun 14. september og teknar af henni snemma í október.

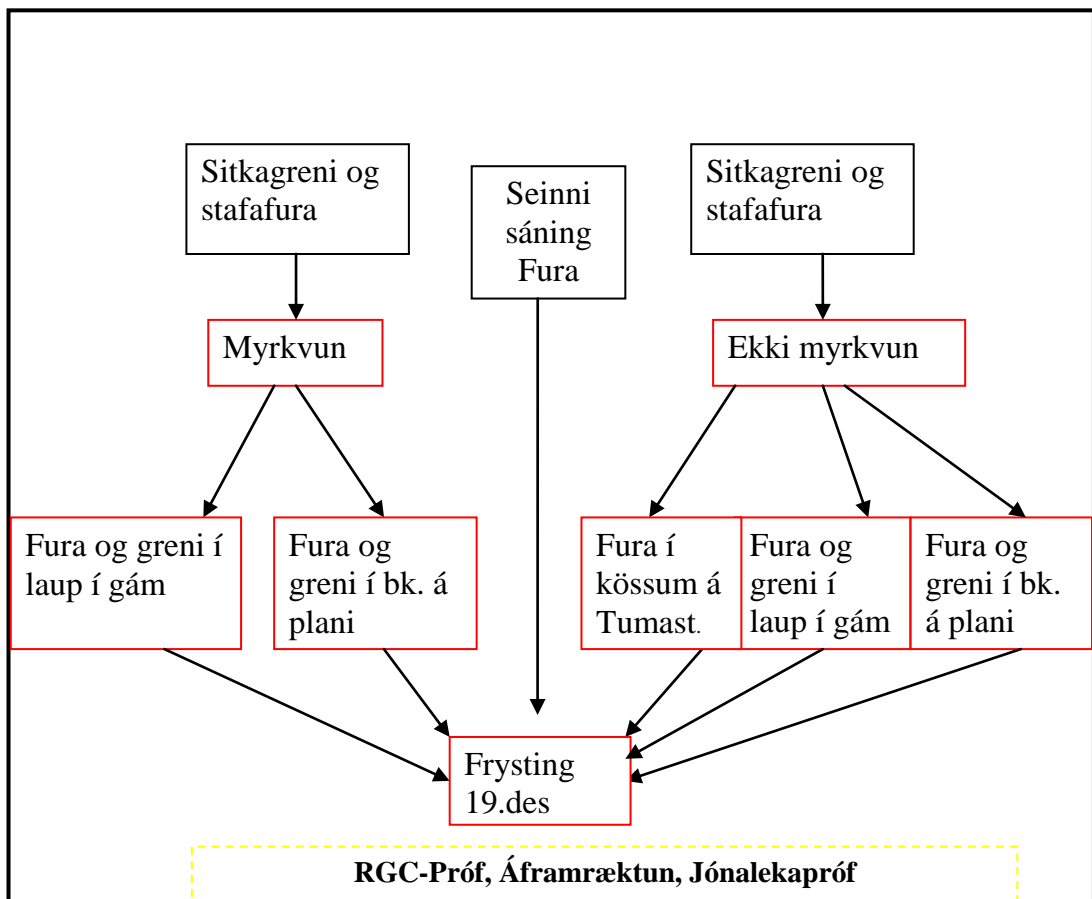
Seinni sáning á furu fór fram 6-7. júlí. Hún var úðuð með sveppalyfinu Previcur þann 3. ágúst og sett upp á grindur á tímabilinu 18-20. september. Plönturnar voru úðaðar með Topsin 23. október og 6. nóvember. Lýsing, 8 W/m² var notuð frá 16. ágúst – 29. september og svo aftur u.þ.b 45 W/m² frá 16. október og út nóvember. Plöntum af seinni sáningu var pakkað í frystigeymslu beint úr gróðurhúsinu.

2.1 Uppsetning tilraunar

Í byrjun tilraunarinnar 26. júní 2006 var greninu og furunni skipt upp í tvo hluta. Annar hlutinn yrði myrkvaður, hinn ekki. Síritandi hitamælum (HOB0 H8 Pro Temp/Temp External Data Logger, Onset Computer Corporation, Pocasset, MA, USA) var komið fyrir við báða meðferðarliði (4. mynd). Námu þeir báðir lofthita og jarðvegshita í rótarköggli. Meðferðarliðirnir voru umkringdir öðrum bökkum svo jaðaráhrifa gætti sem minnst á tilraunaplönturnar. Einnig var hitamæli komið fyrir við tilraunina í tveggja m hæð (4. mynd)



4. mynd. Uppsetning tilraunar í Furubrún. Rauðu hringirnir sýna staðsetningu hitamæla í tilrauninni.



5. mynd Skýringarmynd á fyrirkomulagi tilraunarinnar í Furubrún og þeim mælingum sem gerðar voru. Báðum tegundum var skipt upp í tvo hluta. Annar hlutinn var myrkvuður, hinn ekki. Seinni sáningin var ekki myrkvuð.

Þann 19. desember var fimm meðferðarliðum pakkað og þeir settir í kápufrysti í Furubrún. Þeir meðferðarliðir voru seint sáð fura, myrkvuð og ómyrkvuð fura og svo myrkvað og ómyrkvað greni. Einum meðferðarlið, ómyrkvaðri furu, var pakkað í pappakassa og fryst á Tumastöðum sem er hefðbundinn frystir með blásurum. Á planinu í hefðbundinni vetrargeymslu voru áfram myrkvuð og ómyrkvuð fura og myrkvað og ómyrkvað greni. Sírita var komið fyrir inni í kápufrystinum í Furubrún, hann nam bæði lofthita og raka. Samskonar mælir var settur inn í kassa með furu sem fór í frystingu á Tumastöðum.

2.2 Frostþolsmælingar á yfirvexti

Áður en hægt var að setja plöntur inn á frysti þurfti að ganga úr skugga um að þær hefðu náð nauðsynlegu frostþoli. Seinnipartinn í nóvember, u.þ.b. 20. nóv voru gerðar frostþolsmælingar á yfirvexti plantnanna með jónalekaprófi (SEL). (Persónulegar upplýsingar; Hrefna Jóhannesdóttir, skógfræðingur, tölvupóstur, 26. apríl 2007) Þegar prófið var gert voru efstu 4 cm yfirvaxtarins klipptir af. Viðmið var látið bíða í kæli við 5 °C á meðan verið var að frysta sýnið. Frystingin tók um sólarhring. Frostið var látið síga hægt niður að -3 °C en eftir það steig frostið niður um 2 gráður á klukkustund niður í -25 °C og síðan var það látið stíga upp um 2 gráður á hverri klukkustund. Plöntuhlutarnir, frystir og ófrystir, voru svo settir í plastglös með loki og 40 ml af afjónuðu vatni með. Síðan voru þau látin veltast um í jarðvegshristara (heimagerð vél í eigu Búnaðarfélags Eyjafjarðar, snýst um 38 hringi á hverri mínútu) í sólarhring. Þá var leiðni mæld (leiðnimælir, 4070, Jenway). Síðan fóru öll sýnin í autoklafa, soðin við 120 °C í 15 mínútur og voru mæld aftur þegar þau höfðu kólnað niður í stofuhita. Ef mismunur á hlutfallslegri leiðni var að hámarki um 5 var talið óhætt að setja plönturnar inn á frysti (Persónulegar upplýsingar; Hrefna Jóhannesdóttir, skógfræðingur, tölvupóstur, 26. apríl 2007).

2.3 Vaxtargreining og efnagreiningar

Til þess að komast að því hvort tilraunaplöntur hefðu náð þeim staðli sem kaupendur skógarplantna gefa út (Tafla 2) voru sverleiki við rótarhál og lengd sprota mæld áður en plöntur voru settar í frystigeymslu.

Tafla 2. Staðlar Suðurlandsskóga fyrir vöxt sem plöntur eiga að hafa náð við afhendingu (Ríkiskaup, 2005).

Tegund	Bakkagerð	Markmiðs-hæð (cm)	Lágmarks-hæð (cm)	Hámarks-hæð (cm)	Lágmarks þvermál við rótarhál (mm)
Sitkagreni	Fp-40	20	15	30	3
Stafafura	Fp-40	14	10	20	2,5

Til þess að athuga næringarefnaástand við upphaf tilraunar voru fimm plöntur af hvorri tegund teknar til efnagreininga þann 6. ágúst 2006. Þann 19. desember voru aftur teknar fimm plöntur af hverri meðferð til að gera vaxtargreiningu og til að athuga hvort næringarefnaástand væri sambærilegt milli allra meðferða sem höfðu verið aðgreindar í ágúst.

Sýnin voru geymd í frysti við -18 °C þar til svokölluð vaxtargreining gat farið fram, sem getur auk þess að gefa R/S-hlutfall leitt í ljós langtímabreytingar á næringarefnaástandi (Bjarni D. Sigurðsson, Halldór Þorgeirsson & Sune Linder, 2001). Vaxtargreiningin fór þannig fram að ofanjarðarvöxtur við rótarháls var klipptur af. Rót og sprota af hverri plöntu haldið til haga með merkingu. Ef plönturnar voru greinóttar var stofni og greinum haldið aðskildum í þurrkofninum. Öll sprota- og greinasýnin voru þurrkuð í þurrkofni 85 °C í 24 klst. Þá voru þau tekin út úr ofninum og barr strokið af greinum og stofni. Barrið fór í sér ílát fyrir hverja plöntu og allt þurrkað aftur við sömu aðstæður í aðrar 24 klst. Öll sýni voru vegin til 0,0000 g (Mettler, AE 260, DeltaRange). Þegar búið var að vigta barrið af hverjum 5 plöntum úr hverri meðferð var það sett saman í bréfpoka fyrir hverja meðferð og sent í efnagreiningu á Efnagreiningum Keldnaholti. Til þess að geta metið þurrvigta róta þurfti fyrst að fjarlægja vikur og jarðveg varlega af hverri rót undir volgu vatni. Rótarsýnin voru síðan þurrkuð við 85 °C í 24 klst og vegin.

Áður en barrið var sent í efnagreiningu á Keldnaholti voru sýnin möluð í hamrakovörn þar sem notað var 1 mm sigti. Síðan voru vigtuð tæp 0,2 g af hverju sýni og þau soðin í 20 klst í 5 ml af fullsterkri saltpéturssýru (HNO₃). Mæling steinefnanna í þessari lausn er framkvæmd með tæki (Spectroflame D sequential instrument, Spectra) sem mælir atómútgeislun frá plasma, ICP OES (optical emission spectrometry).

Köfnunarefnismæling byggði á svokallaðri Dumas aðferð þar sem sýnin eru brennd og N numið í loganum. Mæling fór fram í C/N greini (Elementar Vario MAX CN, Elementar analysensysteme GmbH, Hanau, Þýskalandi). Notuð voru 0.22 g í mælinguna.

Í öllum ferlinum voru einnig mæld staðalsýni til að staðfesta öryggi mælinganna. Notaður var vottaður staðall (Leaves of Poplar NCS CC 73350). Mælt var þurrefni í sýnunum á sama tíma og mælingin fór fram. Vigtuð voru u.þ.b. 1 g og þurrkað í ofni yfir nótt við 100 °C. Mælingin var leiðrétt með þessu þurrefni og gefið upp sem efnamagn (hér var notað %) miðað við þurrefni. Efnagreiningarnar voru framkvæmdar af Efnagreiningum Keldnaholti.

2.4 Mat á lífsprótti

Þær aðferðir sem notaðar voru til að meta lífsprótt plantna (rótarskemmdir) eftir frystingu í frystigeymslu voru RGC-aðferðin, jónalekamælingar á rótum og áframræktun. Fura var metin einum mánuði eftir frystingu en mælingar á sitkagreni voru gerðar eftir sjö vikna frystingu.

2.4.1 RGC-próf

Eftir 30 daga frystigeymslu eða 18. janúar var öllum meðferðarliðum af stafafuru komið fyrir í RGC-borði sem staðsett var í starfsstöð Skógræktar ríkisins á Vöglum í Fnjóskadal. Úr hverri meðferð voru teknar 20 plöntur sem skipt var niður í 4 blokkir.

Ræktunarefnið sem notað var í borðið var 50% barnamosamold og 50% sandur blandað saman og bleytt upp þannig að köggull af efninu héldist saman væri hann kreistur í hnefa. Skúffurnar úr borðinu voru klæddar að innan með plasti svo auðveldar væri að lyfta plöntum og jarðvegsefni upp úr þeim eftir ræktunina. Göt voru stungin á plastið svo drekaði frá plöntunum og svo var plaströri stungið niður með plastinu svo hægt væri að ná upp afgangsvatni eftir að vökvað hafði verið yfir plönturnar.

Skúffurnar voru fylltar af ræktunarefninu og plönturnar gróðursettar þar í, fimm í hverja skúffu. Skúffunum var svo komið fyrir í vatninu í borðinu (6. mynd). Haft var 2 cm borð á vatninu svo það flæddi ekki ofan í skúffurnar. Hitinn á vatninu var stilltur á 20 °C og daglengdin sem plönturnar fengu var 18 tímar. Lofthiti var um 20 °C. Plönturnar voru vökvaðar tvisvar í viku. Klukkustund eftir vökvun var afgangsvatni sem þá hafði sigið niður á botn skúffunnar sogað upp með þar til gerðu áhaldi. Með því var komið í veg fyrir ofvökvun þannig að ræktunarefni yrði súrefnissnautt.



6. mynd. Stafafuran við upphaf ræktunar í RGC-borðinu á Vöglum í Fnjóskadal.

Eftir þriggja vikna ræktun í RGC-borði var plöntum og ræktunarefni lyft upp úr skúffunum með því að lyfta plastinu og allur jarðvegur var hreinsaður varlega frá rótunum. Síðan voru allar nýjar rætur sem voru 1 cm á lengd eða lengri taldar og plöntunni gefin einkunn eftir einkunnaskala (Tafla 3). Á meðan verið var að rækta furuna í RGC-borðinu var grenið allt áfram í frýstinum (frá 19. des til 8. feb). Eftir að furan hafði verið tekin úr RGC-borðinu, 9. febrúar, voru um 20 plöntur af hverri meðferð af greni settar í borðið og það síðan metið 2. mars eftir 3 vikna ræktun.

Tafla 3. Einkunnarskali róturvaxtar skógarplantna í RGC-borði. Einkunnarskalinn var fenginn úr grein eftir Martin Lindell (1986).

Rótartilvaxtareinkunn (Index)	Nýjar rætur
0	engar
1	nokkrar, engar > 1 cm
2	1-3 > 1 cm
3	4-10 > 1 cm
4	11-30 > 1 cm
5	31-100 > 1 cm
6	101 -300 > 1 cm
7	Yfir 300 > 1 cm

2.4.2 Jónalekamælingar

Eftir að furan hafði verið í frystigeymslu í 30 daga voru einnig teknar 15 plöntur af hverri meðferð til jónalekamælinga á rótum eftir aðferð sem McKay (1992) lýsti. Sýni voru tekin af fínrotum (< 2 mm) furuplantna sem höfðu verið láttnar þiðna. Rætur voru þvegnar varlega í köldu vatni til þess að fjarlægja af þeim jarðveg (7. mynd) og þær svo skolaðar í afjónuðu vatni til að hreinsa burtu jónir af yfirborði þeirra. Rótarsýnin voru tekin úr rótarmassanum u.þ.b. miðja vegu milli rótarháls og rótarenda. Þyngd sýna var um 250 mg úr fyrri sáningu en um 170 mg úr seinni sáningu.

Rótarsýnin voru sett í tilraunaglös með tappa og bætt í þau 15 ml af afjónuðu vatni. Glösunum var lokað, þau hrist, og látin standa í myrkri við stofuhita í um 22 °C í 24 klst. Þá var leiðnin í sýnunum mæld með leiðnimæli (DiST, WP 3, HANNA instruments). Að því loknu voru sýnin sett í autoklafa við 110 °C í 10 mínútur. Þegar sýnin höfðu kólnað niður fyrir 22 °C var leiðnin aftur mæld í þeim. Jónaleki var síðan metinn sem prósentu fyrri leiðnitölu af þeirri síðari. Gerðar voru samskonar mælingar á sitkagreni sem tekið var úr frysti 8. febrúar.



7. mynd. Búið að þvo jarðveg af rótum stafafuruplöntu til vinstri.

2.4.3 Áframræktun í bökkum

Þriðja aðferðin til að meta lífsþrótt skógarplantna eftir frystingu fólst í áframræktun í gróðurhúsi sem var gerð í Garðyrkjuháskólanum að Reykjum í Ölfusi. Í þessari tilraun var áframræktun einnig notuð til þess að meta gæði róta. Plönturnar, 50 af hverri meðferð voru teknar úr frystigeymslu um leið og plöntur sem notaðar voru í RGC-próf og jónalekapróf og ræktaðar áfram í 40 gata bökkum í 4 vikur við 20 °C hita og 18 tíma lýsingu á dag. Notaður var sami einkunnaskali við að taka út rótargæði eftir áframræktunina og notaður var við RGC-prófið (Tafla 3).

2.5 Tölfræðileg úrvinnsla

Tölfræði forritið SAS 9.1 (SAS Institute Inc.) var notað til að vinna tölfræði í verkefninu. Notuð var einpátta ferveikagreining til þess að athuga hvort marktækur munur væri milli meðferða í greni og furu. Ef marktækur munur reyndist á milli meðferða voru meðferðir síðan bornar saman með Fisher's Least Significant Difference prófi (LSD test). Munur meðaltala var metinn sem marktækur ef $P < 0.05$. Aðhvarfsgreining í Excel, Microsoft var notuð til að kanna hvort samband væri milli útkomu aðferðanna sem notaðar voru til að meta rótargæði.

3. Niðurstöður

3.1 Efnagreining

Niðurstöður efnagreininga sýna að næringarástand plantna 6. ágúst, fyrir myrkvun, var mjög gott (Tafla 4). Hlutfall næringarefna lá á því bili sem mælt er með samkvæmt Ingestad & Kähr, 1985 og Bjarna D. Sigurðssyni o.fl., (2001). Þann 19. desember var köfnunarefnisstaða allra meðferða hinsvegar undir þeim mörkum sem ráðlögð eru, að undanskilinni furu af seinni sáningu. Köfnunarefnishlutfall annarra steinefna í plöntunum var fullnægjandi (Tafla 4).

Tafla 4. Styrkur köfnunarefnis (N) og köfnunarefnishlutföll annarra steinefna (P, K, Ca, Mg, S) í stafafuru og greni í ágúst áður en tilraun var skipt upp og í desember þegar helmingur meðferða var settur á frysti. Neðst eru sýnd styrkleiki N og köfnunarefnishlutföll annarra steinefna í barri plantna við kjöraðstæður samkvæmt niðurstöðum Ingestad & Kähr, (1985) og Bjarna D. Sigurðssonar o.fl., (2001).

	N (mg/g)	P:N	K:N	CA:N	MG:N	S:N	NA:N
Ágúst							
Stafafura	25,32	13,00	59,37	14,71	5,94	16,28	0,30
Sitkagreni	20,82	12,79	63,60	17,00	6,19	13,60	0,13
Desember							
Myrkvað greni	17,31	26,69	13,78	7,65	80,94	0,73	14,79
Ómyrkvað greni	15,22	15,73	97,03	27,69	8,80	21,07	0,74
Myrkvað fura	16,16	13,59	65,55	21,37	7,20	14,71	1,52
Ómyrkvað fura	14,76	12,87	63,42	23,48	8,38	15,15	2,28
Seint sáð fura.	25,78	15,08	77,01	14,55	6,68	10,93	0,55
OPT RATIO	20-25	>10	>35	>2,5	>4	>5	

3.2 Vaxtargreining

R/S hlutfall stendur fyrir hlutfall þurrefnis róta og sprota. Samkvæmt Hajek (2006) er ákjósanlegt að R/S hlutfall sé minnst 30% þegar plöntur fara í vetrargeymslu. Í byrjun ágúst náði stafafura vel þessu hlutfalli en ekki sitkagreni (Tafla 5). Stafafura var enn yfir þessum mörkum í desember en sitkagreni var á svipuðu róli eða aðeins undir þeim mörkum sem ákjósanleg eru.

Tafla 5. Niðurstaða af vaxtargreiningu planta sem annarsvegar eru síðan í ágúst 2006, áður en plöntur voru myrkvaðar og hinsvegar þegar búíð var að myrkva 19. des þegar plöntur fóru í frystingu. R/S hlutfall þýðir hlutfall rótarþurrefnis af heildarþurrefni.

	R/S Hlutfall
Ágúst	
Stafafura	0.44
Sitkagreni	0.26
Desember	
Stafafura ómyrkvað	0.37
Stafafura myrkvað	0.35
Stafafura, seint sáð	1.35
Sitkagreni ómyrkvað	0.26
Sitkagreni myrkvað	0.25

Tafla 6. Meðaltal af hæð og þvermáli fyrir hverja meðferð. Fimm plöntur voru í hverju sýni úr hverri meðferð. Sýnin voru tekin 6. ágúst og 19. ágúst.

Meðferð	Hæð cm	Þvermál mm
Plöntusýni frá 6. ágúst		
Sitkagreni	13.6	2.4
Stafafura	10.1	2.1
Plöntusýni frá 19. des		
Sitkagreni myrkvað	17.8	2.9
Sitkagreni ómyrkvað	18.9	3.5
Stafafura myrkvað	12.9	2.9
Stafafura ómyrkvað	14.1	3.1
Stafafura seint sáð	4.8	1.6

Í ágúst höfðu plöntur ekki náð þeim lágmarks stærðum sem Suðurlandsskógar gera kröfu um (Tafla 6). Lágmarkstölur eru birtar í Töflu 2. í kafla 2.3. Þann 19. des höfðu plöntur af fyrri sáningu náð þessum lágmarksmörkum að undanskildu myrkvaðu sitkagreni. Stafafura af seinni sáningu átti langt í land með að ná lágmarkskröfum um stærð.

3.3 Niðurstöður úr frostþolsmælingum á yfirvesti í nóvember

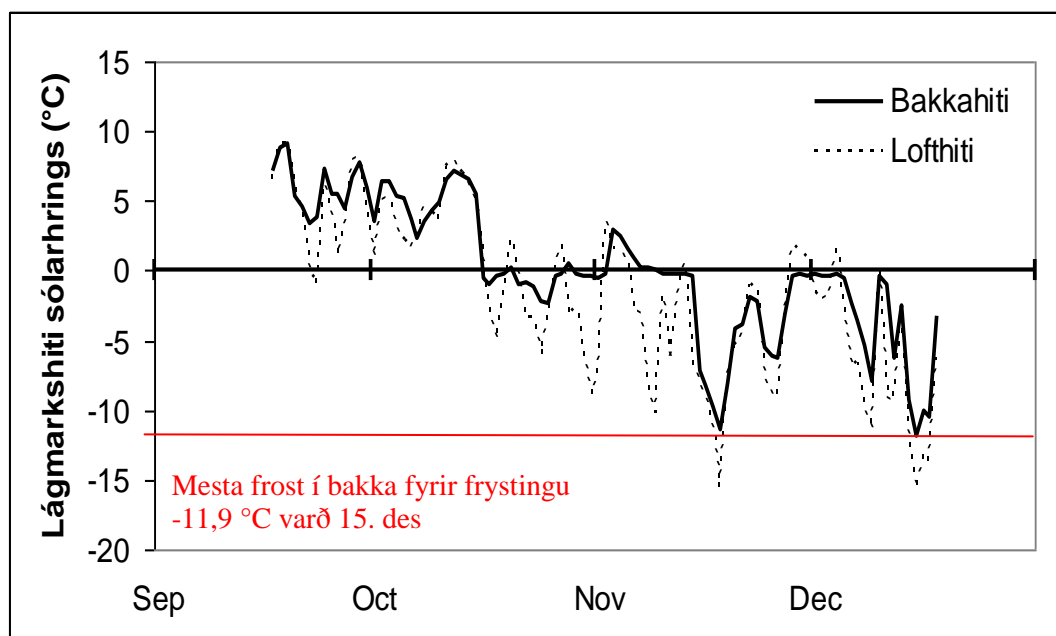
Þegar frostþolsmælingar voru gerðar á sprota 20. nóvember hafði sitkagreni náð þeim mörkum sem teljast nauðsynleg þegar yfirvetra á plöntur í frystigeymslu (Tafla 7), eða -25 °C frost. Stafafura af fyrri sáningu hafði ekki náð þessum mörkum, en hún var þó ekki langt frá því. Stafafura af seinni sáningu var langt frá því að vera tilbúin til að fara inn í frystigeymslu (Tafla 7).

Tafla 7. Frostþolspróf á sprotum tilraunaplantna 20. nóv 2006. Sýnd eru meðaltöl 5 plantna úr hverri meðferð. Meðferðirnar eru ómyrkvað greni og fura (óm), myrkvað greni og fura (m) og seint sáð fura (seint). Ef mismunur jónaleka viðmiðs og jónaleka plantna frystra niður í -25 °C er meiri en 5 (sjá Skaði) telst plantan ekki vera með nægjanlegt frospól til að fara inn á frysti.

	Viðmið		Jónaleki	Fryst til - 25 °C		Jónaleki	Skaði
	Fyrir suðu	Eftir suðu		Fyrir suðu	Eftir suðu		
	Leiðnitala		Viðmið (%)	Leiðnitala		-25	
Meðferð	Fyrir suðu	Eftir suðu	(%)	Fyrir suðu	Eftir suðu	(%)	Skaði
Greni óm	22.4	794.2	2.85	32.6	755.0	4.35	1.50
Greni m	22.2	796.6	2.77	29.0	717.4	4.05	1.28
Fura óm	43.8	878.2	4.96	133.8	1057.6	12.51	7.55
Fura m	31.0	816.6	3.81	83.4	762.8	10.70	6.88
Fura seint	18.7	643.7	2.90	296.2	720.7	40.69	37.79
			SEL _{kontr.}			SEL _{-25.}	SEL _{-diff.}

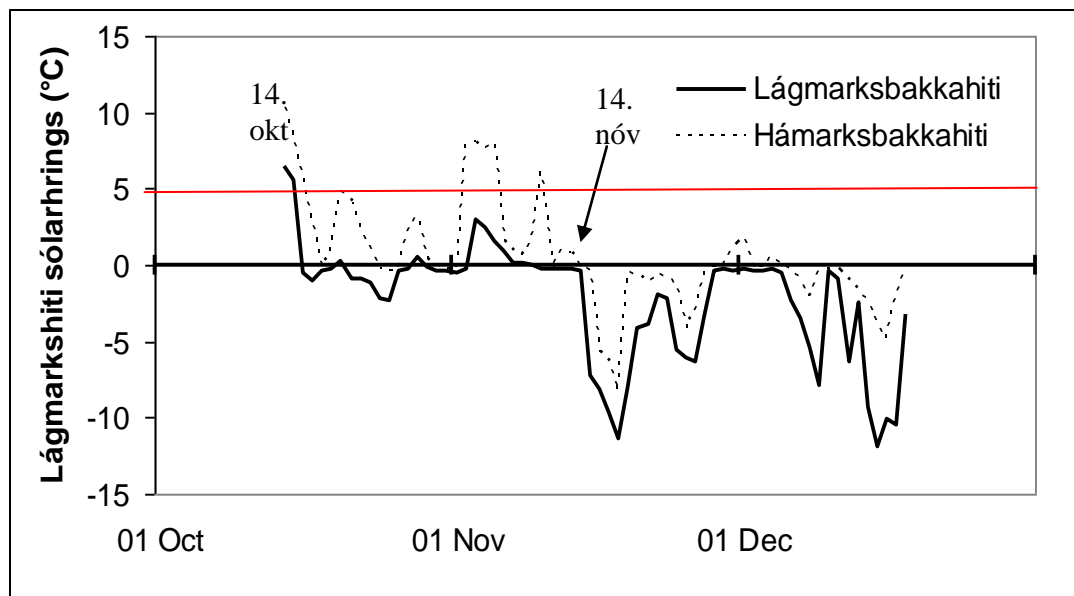
3.4 Aðstæður fyrir frystingu

Fyrsta mikla frost sem rætur plantna á planinu í Furubrún urðu fyrir varð 18. nóv (7. mynd) en þá fór frost niður í -11,4 °C og þann dag fór lofthiti niður í -15,5 °C. Mesta frost sem var í bökkum úti á plani varð -11,9 °C þann 15 des (7. mynd).



7. mynd. Hiti í bökkum (—) og lofthiti (---) á planinu í Furubrún frá 16. sept til 19. des 2006. Rauða línan (—) sýnir mesta frost sem varð í bökkunum áður en helmingi tilraunaplantna var pakkað inn á frystigeymslu þann 19. des.

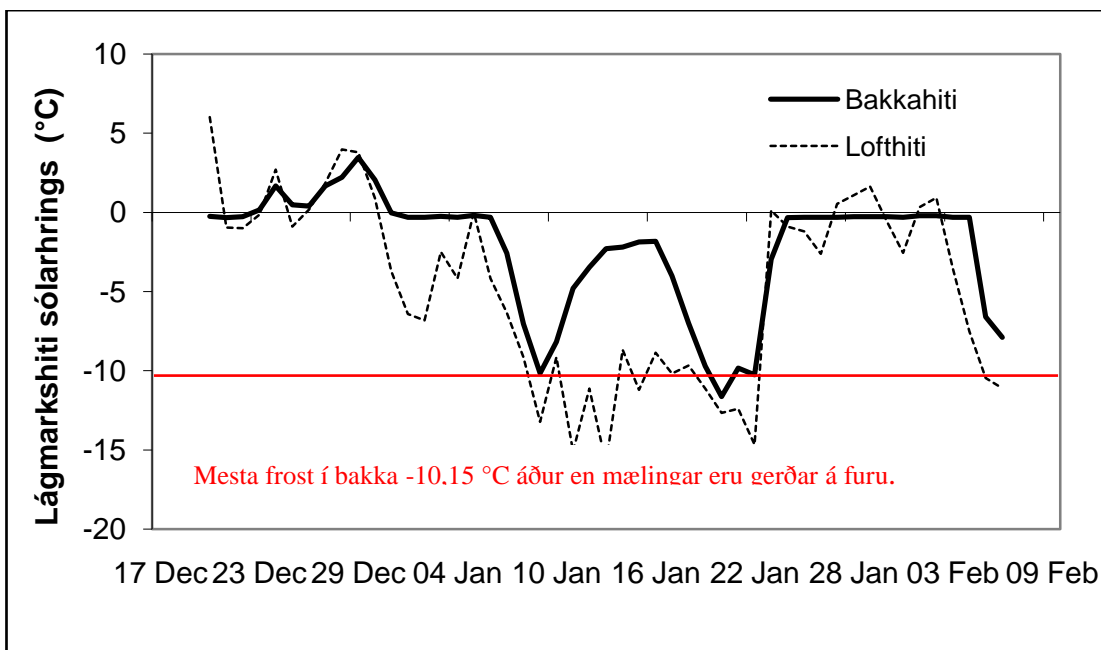
Á rúmlega fjögurra vikna tímabili eða frá 14. okt – 14. nóv 2006 hélst hitastig tiltölulega stöðugt í bökkum á ræktunarplaninu í Furubrún (8. mynd). Hitastig á þessu tímabili fór sjaldan yfir 5 °C. Þetta var mikilvægt svo að forstþol gæti myndast í rótum.



8. mynd. Lágmarkshiti í bökkum (—) og hámarkshiti í bökkum (---) á planinu í Furubrún frá 14. okt. til 19. des 2006. Afmarkað er fjögurra vikna tímabil, milli 14. okt og 14. nóv. Rauða línan (—) er við 5 °C og sýnir að hiti fer sjaldan yfir þau mörk.

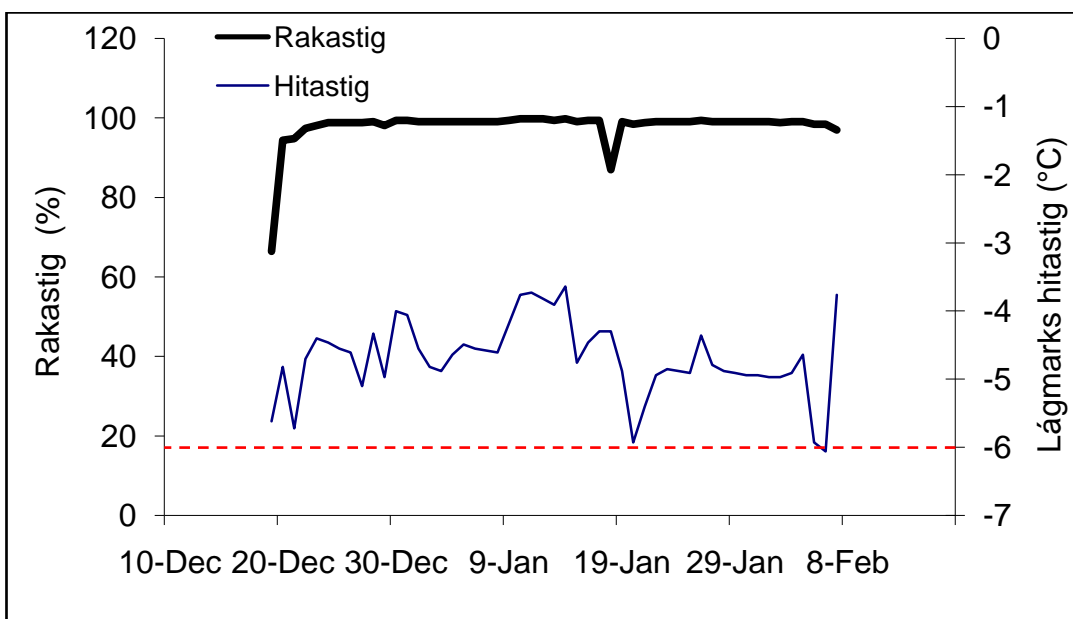
3.5 Aðstæður úti á plani á meðan frystingu stóð

Á meðan frystingu stóð frá 19. des til 7. feb urðu plöntur úti á plani fyrir meiri loftslagssveiflum en þær sem voru inni á frysti (9. mynd). Stafafura úti á plani sem fór í prufur 18. jan hafið fengið á sig -10,15 °C, 9. jan. Frost fór svo niður í -11,2 °C, 20. jan, áður en greni var tekið í prufur.



9. mynd. Hiti í bökkum (—) og lofthiti (---) á planinu í Furubrún frá 19. des 2006 til 7. feb 2007. Rauða línan (—) sýnir mesta frost sem varð í bökkunum áður gerðar voru mælingar á furunni.

3.6 Aðstæður í frystigeymslu



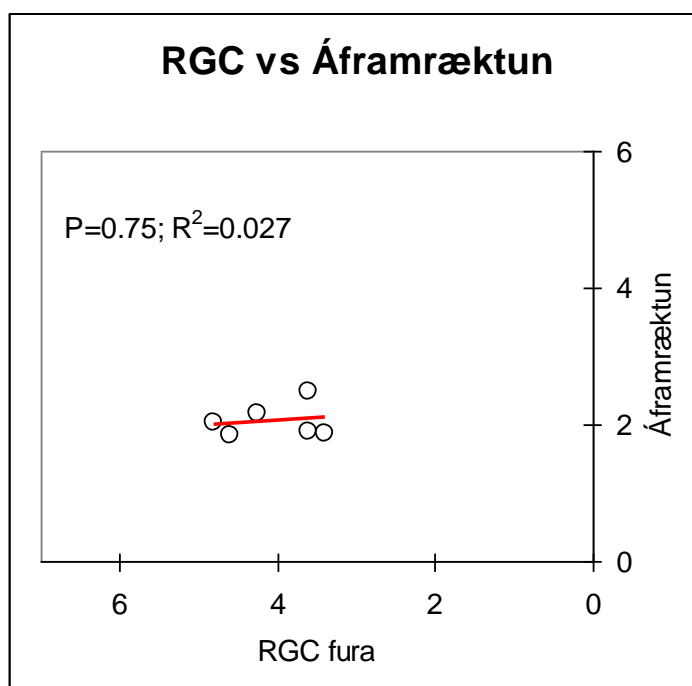
10. mynd. Loftraki (—) og hitastig (—) í frystigámnum frá 19. des 2006 til 7. feb 2007. Vinstri x-ásinn sýnir rakastig í prósentum og hægri x-ásinn sýnir hitastig í frystigámnum. Rauða línan (- - -) sýnir mesta frost sem varð í gámnum eða $-6,06$ °C.

Rakastig í frystigeymslunni í Furubrún hélst mjög nálægt 100% (10. mynd), en það er kjörrakastig við geymslu plantna. Hitastig fór í fáum tilfellum niður fyrir -5 °C í frystinum en hætta er á rótarskemmdum fari hitastigið neðar.

3.7 Mat á rótarkali – samanburður aðferða

3.7.1 Samband RGC-aðferðar og áframræktunnar

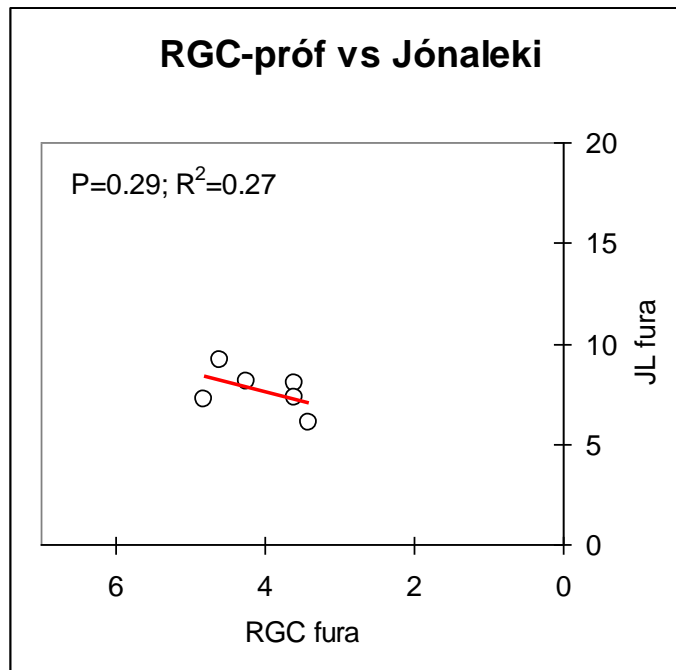
RGC-prófið gaf einkunn á rótargæðum á milli 3,5 og 5 fyrir mismunandi meðferðir. Áframræktunin gaf hinsvegar bara einkunnir á bilinu 1,9 og 2,5 fyrir sömu meðferðir (11. mynd). Kannað var með aðhvarfsgreiningu hvort línulegt samband væri milli RGC-aðferðar og áframræktunnar (11 mynd). Sambandið reyndist aðeins hafa skýringarhlutfallið (r^2) 0.027, sem er mjög lágt og það reyndist ekki tölfræðilega marktækt. Þetta þýðir að þegar RGC-aðferðin gefur mismunandi rótargæði var ekki marktækur munur á útkomu áframræktunarinnar fyrir rótargæði. RGC-prófið reyndist áreiðanlegasta aðferðin til að meta rótargæði plantna í þessari rannsókn.



11. mynd. Samband milli útkomu úr RGC-borðinu og áframræktunar.

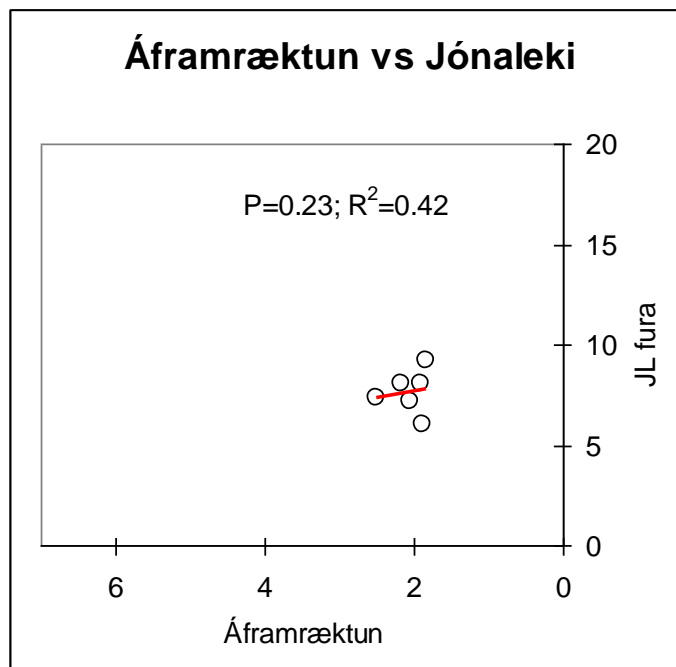
3.7.2 Samband RGC-aðferðar og jónaleka á rótum

Samband RGC-aðferðar og jónaleka á rótum reyndist ekki heldur tölfræðilega marktækt (12. mynd). Þetta þýðir að ekki er hægt að treysta að þó að RGC-aðferðin sýni mismikið rótarkal að jónaleka-aðferðin sýni neinn mun. Reyndar var það þannig að þær meðferðir sem sýndu minnst rótargæði samkvæmt RGC-aðferð komu best út í jónalekaprófinu og tvær bestu meðferðirnar samkvæmt RGC-aðferðinni voru ýmist næst lélegust eða best samkvæmt jónalekaprófinu.



12. mynd. Samband milli útkomu úr RGC-borðinu og útkomu úr jónalekaprófi á rótum.

3.7.3 Samband áframræktunar og jónaleka á rótum



13. mynd. Samband milli útkomu úr áframræktun og útkomu úr jónalekaprófi á rótum.

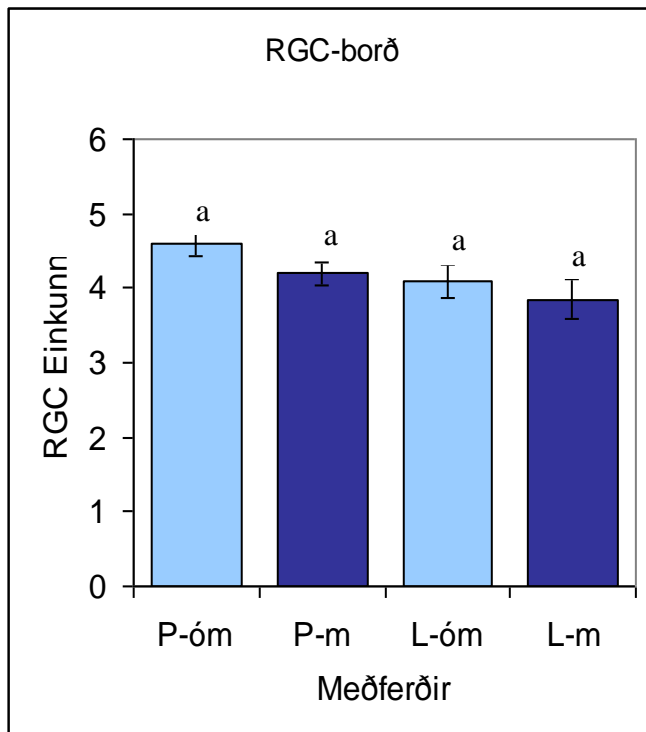
Með aðhvarfsgreiningu kom í ljós að ekki reyndist heldur vera línulegt samband milli áframræktunar og jónaleka á rótum (13. mynd).

3.8 Rótargæði meðferða

Hér verður aðeins greint frá niðurstöðum RGC-aðferðarinnar þar sem sú aðferð reyndist áreiðanlegust.

3.8.1 Mismunur í rótargæðum milli meðferða sitkagrenis

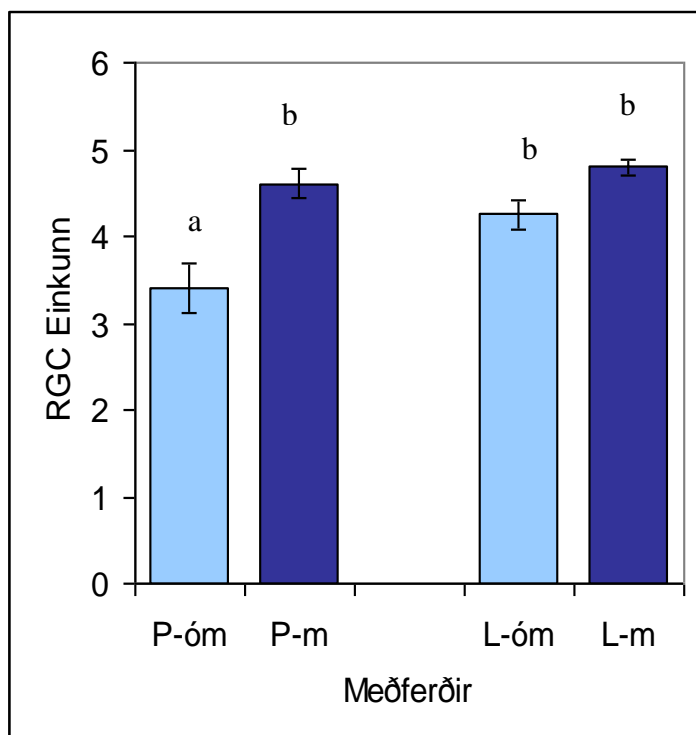
Einþátta ferveikagreining leiddi í ljós að ekki var marktækur munur í rótargæðum milli meðferða sitkagrenisins sem voru myrkvaðar og ómyrkvaðar á plani og í frystigámi (14. mynd).



14. mynd. RGC-gildi róta ómyrkvaðs sitkagrenis (óm) og myrkvaðs grenis (m) sem var yfirvetrað á plani (P) eða í laup í frystigámi (L). Sýnd eru meðaltöl og staðalskekkja 20 plantna í meðferð. Mismunandi stafir fyrir ofan súlur tákna marktækan mun á milli meðferða samkvæmt Fisher's Least Significant Difference prófi (LSD; $P < 0.05$).

3.8.2 Mismunur á rótargæðum milli meðferða í stafafuru af fyrri sáningu

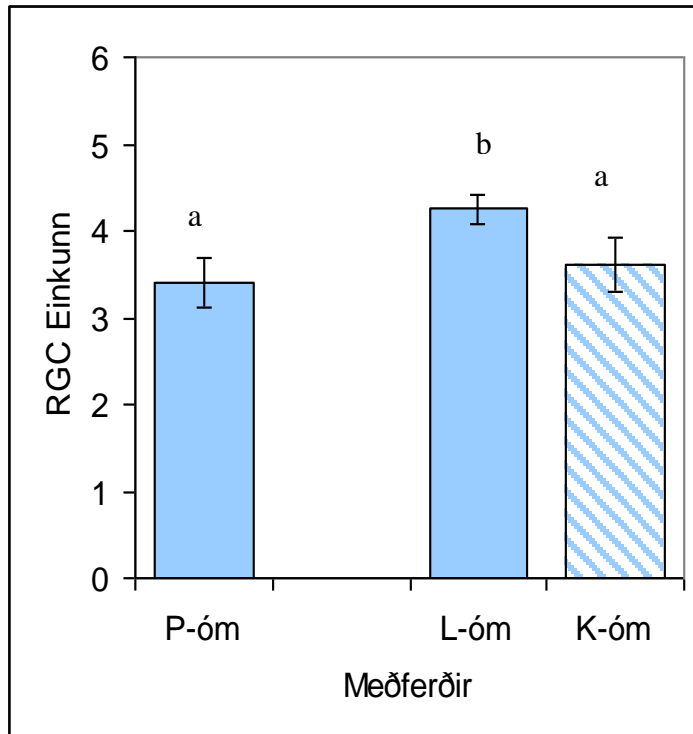
RGC-einkunn ómyrkvuðu furunnar var 3,4 en hinar þrjár meðferðirnar höfðu 4.2-4.8 í einkunn (15. mynd). Þessi munur reyndist vera marktækur milli meðferða stafafuru af fyrri sáningu (15. mynd). Ómyrkvuð stafafura sem geymd var úti á plani hafði með öðrum orðum marktækt minni rótargæði en hinar meðferðirnar.



15. mynd. RGC-gildi róta ómyrkvaðrar stafafuru (óm) og myrkvaðrar furu (m) sem var yfirvetruð á plani (P) eða í laup í frystigámi (L). Sýnd eru meðaltöl og staðalskekkja 20 plantna í meðferð. Mismunandi stafir fyrir ofan súlur tákna marktækan mun á milli meðferða samkvæmt Fisher's Least Significant Difference prófi (LSD; $P < 0.05$).

3.8.3 Mismunur í rótargæðum milli meðferða stafafuru í Furubrún og á Tumastöðum.

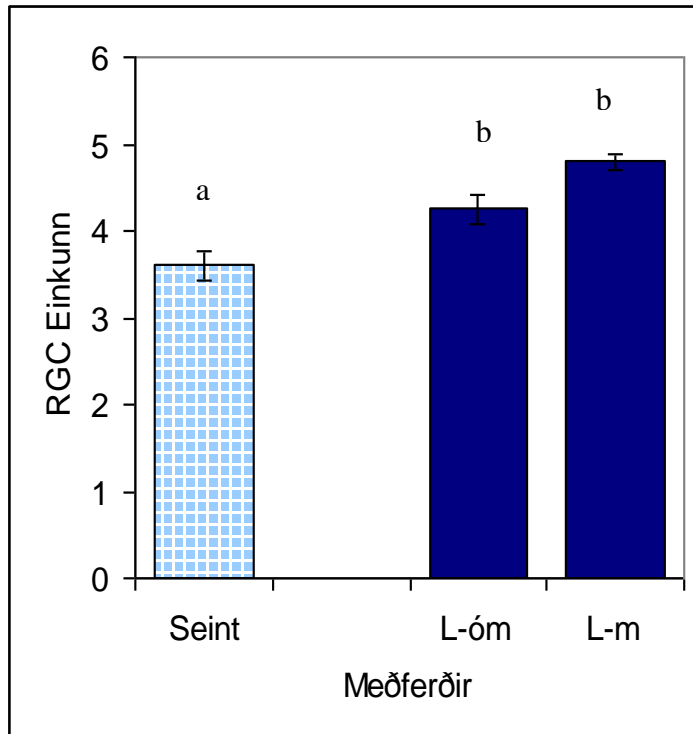
Marktækur munur var einnig milli ómyrkvaðar stafafuru (af fyrri sáningu) sem geymd var í laup og á plani í Furubrún og ómyrkvaðar stafafuru sem geymd var í pappakassa í frysti á Tumastöðum (16. mynd). Ómyrkvaða furan á planinu hafði 3,4 í einkunn á meðan furan í kössunum hafði 3,6 og furan í laupunum 4,2. Svo virðist sem geymsla í kössum hafi komið verr út en geymsla í laup. Þess ber þó að geta að munurinn á milli meðferðanna var ekki mikill og rótargæði plantna sem geymdar voru í kössum voru ekki marktækt frábrugðin rótargæðum plantna sem ekki höfðu verið geymdar í frystigeymslu.



16. mynd. RGC-gildi róta ómyrkvaðrar stafafuru (óm) sem var yfirvetruð á plani (P), í laup í frystigámi (L) eða í kassa í frysti á Tumastöðum (K). Sýnd eru meðaltöl og staðalskekkja 20 plantna í meðferð. Mismunandi stafir fyrir ofan súlur tákna marktækan mun á milli meðferða samkvæmt Fisher's Least Significant Difference prófi (LSD; $P < 0.05$).

3.8.4 Mismunur í rótargæðum milli seint sáðrar stafafuru og fyrri sáningar af ómyrkvaðri og myrkvaðri stafafuru í laup, í frysti

Marktækur munur var á milli seint sáðrar ómyrkvaðrar stafafuru og fyrri sáningar af ómyrkvaðri og myrkvaðri stafafuru sem geymd var í laup, í frysti (17. mynd). Fura af seinni sáningu var með 3,6 í einkunn á meðan ómyrkvuð fura af fyrri sáningu var með 4,2 og myrkvuð fura var með 4,8. Rótarskemmdir seint sáðu furunnar voru samt minni en búist var við.



17. mynd. RGC-gildi róta stafafuru sem sáð var seint (Seint) og ómyrkvaðrar (óm) og myrkvaðrar (m) stafafuru yfirvetruð í laup (L) í frystigámi. Sýnd eru meðaltöl og staðalskekkja 20 plantna í meðferð. Mismunandi stafir fyrir ofan súlur tákna marktækan mun á milli meðferða samkvæmt Fisher's Least Significant Difference prófi (LSD; $P < 0.05$).

4. Umræður

4.1 Útkoma mæliaðferðanna

4.1.1 RGC-próf

Útkoman úr RGC-borðinu var sýnileg og ápreifanleg og var því talin áreiðanlegust af þeim þremur aðferðum sem voru reyndar í þessu verkefni. Hinar mæliaðferðirnar voru ekki að gefa samskonar (jónalekapróf) eða jafn öruggar niðurstöður (áframræktun). Notkun RGC-aðferðar hefur einnig langa reynslu í Skandinavíu og Skotlandi og er ekki umdeild eins og jónalekaprófið (Eva Stattin, 1999a). Sá galli er þó á RGC-aðferðinni að hún tekur langan tíma. Á þeim þriggja vikna ræktunartíma sem aðferðin krefst getur ástand plantna breyst í gróðrarstöð, sérstaklega ef þær eru geymdar á hefðbundinn hátt úti á plani.

Eins og Anders Mattsson (1986) bendir á þurfa að fara fram rannsóknir á því hvað RGC-gildin þýða í raun og veru. Hvernig standa plöntur með mismunandi RGC-gildi sig í mismunandi landgerðum? Það hlýtur því að vera verkefni sem bíður okkar Íslendinga að kanna hver eru ásættanleg RGC-gildi fyrir þær tegundir sem við ræktum mest hér á landi og hvernig plöntur með mismunandi RGC-gildi standa sig eftir gróðursetningu. Með þeim rannsóknum gætum við byggt upp gagnagrunn sem myndi nýtast í framtíðinni við mat á gæðum skógarplantna.

Verði RGC-aðferðin meira notuð hér á landi er mikilvægt að umhverfi í og við ræktunarborðið sé alltaf hið sama svo hægt sé að bera saman útkomu hina ýmsu plöntuhópa og byggja þannig upp upplýsingabanka um RGC-gildi á traustum grunni.

4.1.2 Jónalekapróf á rótum (REL)

Samband jónalekaprófsins við hinar aðferðirnar reyndist ekki tölfræðilega marktækt (12. og 13. mynd). Þ.e. jónalekinn var ekki að gefa eins mynd af ástandi plantnanna og RGC-prófið. Eva Stattin (1999a) dregur í efa að hægt sé að nota þessa aðferð við að meta skaða á rótum bakkaplantna því að þegar jarðvegur er skolaður burt af rótum við undirbúning sýnatöku skolist jónir frá skemmdum frumum líka í burtu og þess vegna hafi hún ekki fengið neinn mun á leiðni í sinni tilraun (3. mynd) þó hún frysti plönturnar mismunandi mikið eða frá -5 niður í -25 °C.

Eins og Anders Lindström (1996) bendir á hafa Skotar notað aðferðina á áreiðanlegan hátt til að meta rötarskaða á berróta skógarplöntum, en þær rætur þarf að skola minna fyrir undirbúning sýna en bakkaplantna. Skotar gefa upp mismunandi gildi á jónaleka eftir því hvort plöntur eru ræktaðar í bakka eða eru berróta (Tafla 1). Þeir virðast því ná að nota aðferðina með árangursríkum hætti bæði fyrir berróta- og

bakkaplöntur. Þegar Tafla 1 er skoðuð sést að þau gildi sem gefin eru upp sem ásættanlegt hámark jónaleka hjá bakkaplöntum eru öll yfir þeim gildum sem fengust í þessari tilraun, en þau lágu að meðaltali á bilinu 5–15% (12. og 13. mynd). Samkvæmt Töflu 1 eru plönturnar í tilrauninni ekki skemmdar sem eru í raun sömu niðurstöður og RGC-prófið er að gefa. Það getur því verið að jónalekaprófið myndi virka ef skemmdirnar væru meiri.

Það er ekki óalgengt að jónalekapróf og RGC-próf á rótum sýni ekki línulegt samband (Persónulegar upplýsingar; Alan Harrison, Verkefnisstjóri Establishment & Nurseries, hjá Forest Research, Skotlandi, tölvupóstur 19. mars 2007). Þar spili inn í að breytileiki innan sömu meðferða geti verið töluverður en einnig séu skalar mæliaðferðanna einfaldlega of ólíkir til að hægt sé að bera þá beint saman

Vegna þess hversu jónalekaprófið tekur stuttan tíma væri mjög æskilegt að ná að nota það á jafn árangursríkan hátt og Skotar og vel þess virði að athuga betur í framtíðinni með notkun þess. En vegna þess að það gaf í raun ekki niðurstöður í samræmi við RGC-aðferðina í þessari tilraun telst það ekki gefa rétta mynd hér. Frekari rannsókn er þörf hér á landi til að reyna að ná tókum á aðferðinni. Annar samanburður milli RGC-prófsins og jónalekaprófsins verður unninn vorið 2007 í tengslum við meistaraverkefni höfundar.

4.1.3 Áframræktun

Samband áframræktunar og RGC-aðferðar reyndist ekki tölfræðilega marktækt (11. mynd). Áframræktunin virðist ekki vera eins næm á ástand róta og RGC-borðið, en er samt fýsilegur kostur vegna þess að ræktendur gætu mögulega gert þetta próf sjálfir. Hún hefur líka þann kost að hana má gera í ræktunarbökkum. Það má því meta marga plöntuhópa á sama tíma með aðferðinni á meðan RGC-borðið rúmar aðeins prófanir á sjö plöntuhópum í einu.

Það kom í ljós að stafafura setti út kröftugar, grófar rætur beint niður úr hnausnum í RGC-borðinu (18. mynd) en það gat hún ekki gert vegna í áframræktuninni loftopsins neðan á ræktunarbökkunum. Þær rætur voru þó sýnilegar en náðu ekki að verða lengri en 1 cm, sem dró niður einkunn plantnanna. Einnig var áberandi í áframræktuninni að mikið sást af stuttum, hvítum rótarendum á rótarhnaus bæði greni og furu sem er ágætt einkenni róta með lífsþrótt (Mattson, 1986). Þeir rótarendar fá lágt tölulegt gildi sama hversu margir þeir eru með þeim einkunnaskala sem notaður var í þessari tilraun. Hér mætti athuga að þróa betri aðferð til þess að taka plönturnar út eftir áframræktun, þ.e. nota annan skala en gerður var í þessari tilraun. Hér skal tekið fram að áframræktunin í þessari tilraun var gerð til þess að meta rætur auk þess sem yfirvöxtur var athugaður, Svíar nota aðferðina hinsvegar eingöngu til að athuga ástand yfirvaxtar (Hajek, 2006).



18. mynd. Myndin sýnir stafafuruplöntur sem ræktaðar voru í RGC-borðinu. Þar setti hún út kröftugar rætur beint niður úr hnausum en það gat hún ekki gert í sama mæli í áframræktuninni.

4.2 Vaxtargreining

Við eftirlit með skógarplöntum í Svíþjóð er gerð krafa um að hlutfall róta á mótí sprota (R/S-hlutfall) eigi að vera $>30\%$ (Hajek, 2006). Stafafuran í tilrauninni uppfyllti þá kröfu en ekki sitkagrenið (Tafla 5). Grenið var með meiri yfirvöxt en talið er heppilegt miðað við rótina. Mjög lágt R/S-hlutfall getur skapast ef áburðargjöf er úr hófi mikil, og það er þekkt að þær plöntur sem fá hóflega köfnunarefnisgjöf mynda stærra rótarhlutfall en þær sem eru köfnunarefnismettaðar (Bjarni D. Sigurðsson, 2001). Þetta lága R/S-hlutfall í greninu bendir á að áburðargjöf hafi verið síst of lítil yfir sumarið, þó að hún hafi verið of lítil í ágúst þegar sprotavexti var að mestu lokið.

Allar meðferðir höfðu náð þeim stöðlum um vöxt skógarplantna við afhendingu sem Suðurlandsskógar gera kröfu um nema seint sáða furan (Tafla 6). Hún hafði hvorki náð lágmarks þvermáli né hæð (Tafla 2).

4.3 Efnagreiningar

Samkvæmt Ingestad & Kähr (1985) má búast við því að köfnunarefni í sprota sé alltaf aðeins lægra en í bari. Þ.e ef hlutfallið sé ca. 20 mg N/g í sprotanum megi búast við um 25 mg N/g í bari (Roberntz, 1998). Ástæðan er að viðarkenndi hluti skógarplantna inniheldur minna N en bari. Ef allur sprotinn er tekinn til efnagreininga lækkar því meðalstyrkur N smátt og smátt eftir því sem plönturnar stækka og magn bari minnkar í hlutfalli við heildarlífsmassa. Því er oft betra að meta

næringarefnaástand skógarplantna með því að efnagreina eingöngu barr eða lauf. Hinsvegar er mjög misjafnt hvort menn hafa efnagreint allan sprotann eða barrið eingöngu þegar niðurstöður eru skoðaðar (Robertntz 1998).

Samkvæmt niðurstöðum Ingestad & Kähr (1985) er N í ungum stafafuruplöntum sem vaxa við kjöraðstæður, þ.e engan köfnunarefnisskort, um 23 mg N/g af barri. Í sænskum viðmiðunum kemur fram að N í rauðgreniplantna í fyrstigeymslum á að vera á bilinu 20-25 mg N / g (Persónulegar upplýsingar; Jörgen Hajek, tilraunastjóri Skogforsk í Svíþjóð, munnleg heimild, 4. apríl 2007; sjá kafla 1.5.4). Styrkur N í barri stafafuru í byrjun ágúst, við upphaf tilraunar, var 25,3 mg N/g barrs (Tafla 4). Þetta var nálægt efri mörkum sem ráðlögð eru. Í desember var hinsvegar N í barri komið niður í um 14,8 mg/g í ómyrkvaðri furu og 16,2 mg/g í myrkvaðri (Tafla 4). Þetta var talsvert lægri styrkur N en ráðlagður er. Stafafura sem líður það mikinn N-skort að það dregur helming úr vaxtarhraða hefur um 17 mg/g í barri samkvæmt rannsóknnum Ingestad & Kähr (1985). Stafafura sem líður svo mikinn N-skort að vöxtur nánast stöðvast hefur um 10 mg/g í barri (Ingestad & Kähr, 1985). Af þessum niðurstöðum má draga þá ályktun að N-innihald stafafuru úti á plani hafi verið lélegt í desember, og jafnframt að munur hafi verið á áburðargjöf á milli plantna sem voru myrkvaðar og ómyrkvaðar í ágúst. Þegar litið er á aðrar niðurstöður efnagreininganna á stafafuru kemur í ljós að það var eingöngu skortur á köfnunarefni, en áburðargjöf annarra steinefna (P, K, Ca, Mg, S) hafði verið nægileg (Bjarni D. Sigurðsson o.fl, 2001). Áburðargjöfin var þó í góðu lagi í byrjun ágúst, eins og sjá má á N í barri (Tafla 4), en of mikið var dregið úr henni við enda vaxtartímans.

Seint sáða furan sem ræktuð var inni í gróðurhúsi þangað til henni var pakkað 19. des var í góðu köfnunarefnisástandi í desember, eða með 25,8 mg/g í barri (Tafla 4). Sú tala liggur á því bili sem Bjarni D Sigurðsson o.fl. (2001) gefa upp sem ákjósanlegt magn fyrir lauftré, en er aðeins hærra en sænsku ráðleggingarnar (Ingestad & Kähr, 1985; Hajek, 2006). Það má líklega þakka því að seintsáða furan var ræktuð innanhúss í meira stýrðu umhverfi en plöntur úti á planinu. Áburðarmagni innanhúss var stýrt með áburðarblandara út í vökvunarvatnið og vökvað með bómu á meðan kornuðum áburði var dreift með höndum á plöntunar úti á plani.

Roberntz (1998) og Ingestad & Kähr (1985) gefa upp að N í barri ungra rauðgreniplantna eigi að vera heldur hærra en fyrir stafafuru, eða 24-27 mg/g. Í desember var ómyrkvaða grenið með 15,2 mg/g í barri en myrkvaða með 17,3 mg/g. Sú niðurstaða er langt undir þeim mörkum sem mælt er með. Sami munur var á N-ástandi myrkvaðs og ómyrkvaðs sitkagrenis og fékkst fyrir stafafuruna. Efnagreiningar á öðrum steinefnum bentu ekki til skorts (Tafla 4).

4.4 Niðurstöður úr RGC-ræktun

Áður en umfjöllun um samanburð á meðferðum hefst er rétt að taka fram að yfirvöxtur allra meðferða var ágætur, aðeins einstaka plöntur voru með kalin brum (óbirt gögn). Yfirvöxtur plantnanna virtist ekki hafa orðið fyrir neinum skaða, jafnvel þó þær hafi allar (nema seint sáða furan) orðið fyrir -15,5 °C, 18. nóvember (7. mynd). Frostpolsprófanir á yfirvexti (Tafla 7) í nóvember sýndu að greni þoldi um

-25 °C á þessu tímabili, fura af fyrri sáningu var ekki komin með það mikið frostþol en var nálægt því.

Þó að greni og fura af fyrri sáningu hafi verið nálægt því að vera komin með nægjanlegt frostþol þegar frostþolsmælingar fóru fram í nóvember var ekki hægt vegna óviðráðanlegra aðstæðna að pakka þeim inn á frysti fyrr en 19. desember. Þegar plöntunum var pakkað má teljast líklegt að þær hafi allar verið komnar með nægjanlegt frostþol, því lítið sást á yfirvexti eftir RGC-próf og áframræktun (gögn ekki sýnd). Þó að yfirvöxtur sé kominn með nægilegt frostþol er ekki hægt að treysta því að rætur nái sínu frostþoli samtímis (Stattin, o.fl., 2000). Því er nauðsynlegt að gera próf á rótarskemmdum þegar plöntur eru afhentar út af frysti.

Hvað varðar rætur voru engar af meðferðunum mikið skemmdar. Þær meðferðir sem fengu hvað verstan dóm fengu aðeins yfir 3 í RGC-einkunn og það eru plöntur sem best er að gróðursetja snemma á vorin þegar það er enn mikill raki í jörðu (Persónulegar upplýsingar; Jörgen Hajek, tilraunastjóri Skogforsk í Svíþjóð, munnleg heimild, 4. apríl 2007). RGC-einkunn 0 gefur til kynna að plönturnar séu dauðar og einkunn 1–2 gefur til kynna að plönturnar nái sér ekki á strik í felti. Um leið og RGC-einkunnin er búin að ná 4 má segja að plönturnar séu í góðu ástandi hvað röturvöxt varðar.

EKKI varð vart við neina grámyglu í plöntunum hvorki á áframræktun eða ræktun í RGC-borði (óbirt gögn).

4.4.1 Útkoma sitkagrenis

Enginn marktækur munur var milli meðferða grenisins (14. mynd). Það fékk góða einkunn í RGC-prófinu eða að meðaltali á bilinu 4-5. Plöntur sem geymdar voru úti á plani höfðu jöfn rötargæði á við plönturnar sem höfðu verið frystar. Þegar borin er saman niðurstaða þess og stafafurunnar þar sem gæði róta óskyggðar furu á plani voru marktækt minni en annarra meðferðaliða styður það heimildir um að grenitegundir hafi meira frostþol en furutegundir (Bigras & Dumais, 2005; Lindström & Nyström, 1987).

Köfnunarefnishlutfall grenisins var fyrir neðan uppgefin kjörmörk, en þrátt fyrir það virðist sá skortur ekki hafa orðið til þess að plönturnar hafi ekki náð að mynda nægjanlegt frostþol. Þó að hlutfall rötar á móti yfirvexti hafi verið undir ákjósanlegum mörkum (Tafla 5) virðist það ekki hafa áhrif á þessu stigi, enda reynir fyrst af alvöru á rótina þegar búin er að gróðursetja plöntuna í felti þar sem aðstæður eru ekki stýrðar eins og í umhverfi RGC-borðsins (Persónulegar upplýsingar; Jörgen Hajek, tilraunastjóri Skogforsk í Svíþjóð, tölvupóstur, 18. apríl 2007).

4.4.2 Mismunur í rötargæðum milli meðferða af fyrri sáningu stafafuru

Marktækur munur var milli meðferða stafafuru af fyrri sáningu (15. mynd). Þar sýndi ómyrkvuð fura sem geymd var á hefðbundinn hátt úti á plani lakari rötargæði en hinar meðferðirnar, þar með talið myrkvuð fura á plani. Sýnt hefur verið fram á að myrkvun stafafuru hefur ekki áhrif til aukningar frostþols róta (Lindström, 1987b).

Myrkvunin ein á því sennilega ekki þátt í því að myrkvuð stafafura stóð sig betur á planinu, heldur var það ef til vill séður mismunur í næringarástandi meðferðanna sem orsakaði þetta. Eins og fram hefur komið er talað um að plöntuvefur sem þjáist af næringarskortri sé verr í stakk búinn til að verjast frosti en sá sem ekki líður skort (Lindström, 1996; Colombo, o.fl., 2001; Rikala & Repo, 1997).

Þegar litið er til aðstæðna sem voru úti á planinu áður en plönturnar fóru í frystingu sést að rótarhiti féll niður í $-11,4$ °C þann 18. nóv (7. og 8. mynd). Líklegt má teljast að rôtarskemmdir á ómyrkvaðri furu hafi orðið á þessu tímabili, en um miðjan vetur eiga plöntur að vera komnar í mestan dvala (Bigras, o.fl., 2001). Það er því ólíklegra að það frost sem varð á furuplöntum úti á plani þann 9. jan, $-10,15$ °C, beri ábyrgð á skemmdum ómyrkvaðri furu á plani (9. mynd). Hafi plönturnar skaðast í frostinu sem gerði 18. nóv má búast við að bæði frostin 15. des og 9. jan (7. og 9. mynd) hafi aukið skemmdir því líklegt er að skemmdir plantna aukist í geymslu hafi þær verið skemmdar við byrjun geymslutímans hvort sem það er geymsla utandyra, í kæli eða í frysti (Stattin, 1991). Samt sem áður má segja að rætur plantnanna hafi fengið góðar aðstæður til að mynda frostþol áður en frostið 18. nóv varð. Þegar rótarhiti á planinu var skoðaður kemur í ljós að hann hélst á milli $+5$ og 0 °C í rúmar 4 vikur áður en frostakaflann gerði (8. mynd). Sá tími er þó ekki alveg samfelldur því hámarksbakkahiti fór yfir $+5$ °C í um fjóra daga á tímabilinu. Samkvæmt rannsóknum er kjörhiti til þess að rötarfrostþol myndist undir $+5$ °C (Bigras & Dumais, 2005; Colombo o.fl., 2001). Eva Stattin (1999a) bendir á þann kost að fylgjast með ræktunarefnishitastigi í ræktunarferlinu til þess að geta betur fylgst með því hvort rætur hafi lent í áföllum. Út frá þeim mælingum megi líka gera sér mynd af því frostþoli sem búast má við að plönturnar hafi enda haldist í hendur hitastig ræktunarefnis og það rötarfrostþol sem plönturnar nái að byggja upp. Eva Stattin (2002) bendir einnig á að ræktandi geti stuðst við að ef hitastig ræktunarefnis er milli $+5$ og 0 °C í um fjórar vikur megi búast við að rætur hafi náð nægjanlegu frostþoli.

Sú aðferð að kæla plöntur niður við 0 °C þegar yfirvöxtur hefur náð nægjanlegu frostþoli virðist vera mjög fýsilegur kostur fyrir skógarplöntuframleiðendur hérlendis. Með því væri hægt að flýta myndun rötarfrostþols og um leið að draga verulegu úr hættunni á því að fá mikið frost of snemma á rætur plantnanna úti á plani. Plönturnar eru teknar inn í stýrt umhverfi fyrr og þeim komið úr kælingunni beint á frystinn. Það drægi líka úr þeim erfiðleikum sem geta skapast við pökkun þegar snjór liggur á plöntunum úti og plönturnar eru jafnvel frosnar fastar í bakkana og getur dregið úr álagi við pökkun í gróðrarstöðinni á haustin (Lindström, 1996). Nauðsynlegt er þó að gera rannsóknir á kælingunni áður en framleiðendur fara að nota hana. Sérstaklega hvað varðar þá tímalengd sem er nauðsynleg svo plöntur nái frostþoli í ræturnar fyrir helstu tegundir og kvæmi sem notaðar eru hérlendis, s.s. rússalerki (*Larix sukaczewi*), sitkagreni og stafafuru. Einnig þarf að rannsaka geymslulengdina, með það í huga að samkvæmt Evu Stattin o.fl. (2000) má hún ekki verða of löng, því þá fer að ganga á orkuforða plantna vegna öndunar og það kemur niður á geymsluþoli þeirra. Notkun kæla gæti líka verið gagnleg við að yfirvetra plöntur fyrri veturinn í ræktun plantna sem afhenda á tveggja ára (Nyström, 1998).

4.4.3 Samanburður á ómyrkvaðri furu frystri í laup í Furubrún og frystri í kassa á Tumastöðum

Þessi samanburður var gerður vegna þess að Svíar og Finnar frysta skógarplöntur í pappakössum en Norðmenn nota frekar laupa til að frysta plöntur sínar í (19. mynd). Marktækur munur var milli ómyrkvaðrar furu sem fryst var í kössum á Tumastöðum og ómyrkvaðrar furu sem fryst var í laup í Furubrún (16. mynd). Því miður var hita- og rakamælir sem settur var í kassa með plöntunum sem fóru að Tumastöðum bilaður, þannig að ekki fengust nauðsynlegar upplýsingar um hita- og rakastig í kössunum. Mögulegt er að plöntur í kössum hafi ekki fengið jafn hátt rakastig og plönturnar í Furubrún fengu (10. mynd), vegna þess að á Tumastöðum er frystirinn útbúinn með blásurum sem halda loftinu á hreyfingu en við slíkar aðstæður er erfiðar að halda uppi háu rakastigi (Nyström, 1998). Þó að plöntunum væri pakkað í kassa er mögulegt að rakastig í loftinu hafi verið það lítið að rætur plantnanna hafi þornað. Þó að munur milli meðferðanna væri marktækur var hann ekki mjög mikill. Aftur verður gerður samanburður á milli þessara tveggja meðferða í lok frystingar vorið 2007, og verður fróðlegt að sjá hvort þá verður sami munur á meðferðunum.



19. mynd. Sitkagreniplöntur sem búið er að pakka og raða í laup.

4.4.4 Samanburður á furu sem seint var sáð til og myrkvaðri og ómyrkvaðri furu í laup, í frystigám

Marktækur munur var á milli seint sáðrar ómyrkvaðrar stafafuru og fyrri sáningar af ómyrkvaðri og myrkvaðri stafafuru sem geymd var í laup, í frysti (17. mynd). Fura af seinni sáningu var með lakari rótargæði en fura af fyrri sáningu í frysti þótt næringarástand hennar væri gott (Tafla 4). Seinni sáningunni var pakkað í laup og hún sett inn á frysti beint úr gróðurhúsinu sem hún var ræktuð í. Gróðurhúsinu var haldið frostfríu haustið 2006, þó það væri kælt niður yfir daginn til að ná upp

frostþoli plantnanna. Rætur seint sáðu furunnar urðu því aldrei fyrir frosti áður en henni var pakkað í frystigeysluna. Niðurstöður mælinga á sprota sýndu líka að hún var langt frá því að vera búin að fá nægjanlegt frostþol í desember (Tafla 7).

Skemmdir í seint sáðri furu voru mun minni en búist var við. Anders Lindström og Christer Nyström (1987) fengu svipaða niðurstöðu í rannsókn sinni á stafafuru og skógarfuru. Þar voru plöntur af seinni sáningu (sáð í júlí) viðkvæmari fyrir frosti en plöntur sem sáð var til í maí. Nyström (1998) bendir á að smáar, seint sáðar skógarplöntur séu viðkvæmari fyrir frosti en stærri plöntur af fyrri sáningu og eigi erfiðar með að þola geyslu í frysti. En eins og komið hefur fram höfðu seint sáðu plönturnar ekki náð þeim stærðum sem staðlar gera kröfu um (Tafla 6). Það má teljast líklegt að ef seint sáð fura hefði verið sett út til geyslu á plani hefði hún skemmst meira. Meðalhitastigið í gámnum þann tíma sem á frystingunni stóð var -4,3 °C, en mest varð frostið í geyslunni -6 °C (10. mynd). Frostið á planinu varð mest -10,15 °C á sama tíma, eins og áður sagði.

5. Ályktanir / Lokaorð

Athyglisverðustu niðurstöðurnar eru að plöntur af fyrri sáningu þoldu frystingu vel, en hluti af sambærilegum plöntum skemmdist í hefðbundinni geymslu úti á plani. Því má segja að frystirinn hafi bætt gæði plantna.

RGC-prófið reyndist gefa áreiðanlegustu niðurstöðu hvað varðaði ástand róta í tilrauninni. Áframræktun verður að þróa betur áður en sú aðferð getur talist nothæf. Jónlekapróf á rótum reyndist ekki gefa sannfærandi niðurstöður.

Bæði myrkvað og ómyrkvað greni og fura af fyrri sáningu þoldu stuttan geymslutíma í frysti vel. Seint sáð fura þoldi hinsvegar frystinguna ver þó næringarástand hennar væri gott.

Ómyrkvað og myrkvað greni sem geymt var úti á plani var óskemmt, einnig myrkvuð fura á plani, en ómyrkvuð fura á plani hafði rötarskemmdir. Sennilega má rekja þær skemmdir til lélegs næringarástands. Ekki var talið að myrkvun ein og sér hefði haft áhrif til aukningar rötarfrostþols plantna í tilrauninni.

Við fyrstu sýn ætti frysting skógarplantna að vera vel möguleg hér á landi. Hér ræktum við norðlæggar tegundir og kvæmi sem ná meira frostþoli en suðlæggar og hafa þar með meira geymsluþol. Með rannsókninni kom í ljós að við höfum svöl haust sem geta kallað fram það rötarfrostþol sem er æskilegt. Aftur á móti eru plöntur viðkvæmar fyrir frostum snemma á haustin, en sá möguleiki er fyrir hendi að nýta aðferðir við kælingu plantna innandyra þegar frostþol yfirvaxtar er orðið nægjanlegt. Með því mætti forða plöntum frá haustfrostum og auka í leiðinni rötarfrostþol þeirra áður en þeim er pakkað inn á frysti. Það kom einnig í ljós að það eru margir þættir sem verða að vera í góðu lagi svo frysting heppnist vel. Þar má telja næringarástand plantna og aldur.

Með því að nýta frystingu við yfirvetrun skógarplantna geta framleiðendur gert rekstrarumhverfi sitt öruggara og minnkað stórlega vandamál vegna ótímabærrar lifnunar að vori og skemmda af völdum haust- og vorfropa. Með eftirliti á gæðum skógarplantna væri hægt að útiloka þátt rötarkals í afföllum í nýskógrækt.

6. Heimildaskrá

Aðalsteinn Sigurgeirsson (1988). Stafafura á Íslandi. *Ársrit Skógræktarfélags Íslands* 1988(1), 3-36.

Aitken, S. N. & Hannerz, M. (2001). Genecology and gene resource management strategies for conifer cold hardiness. Í: F. J. Bigras & S. J. Colombo (ritstj.) *Conifer Cold Hardiness* (bls. 23-53). Holland: Kluwer Academic Publishers.

Bigras, F. J. & D'Aoust, A. L. (1992). Hardening and dehardening of shoots and roots of containerized black spruce and white spruce seedlings under short and long days. *Canadian Journal of Forest Research* 22, 388-396.

Bigras, F. J. & Dumais D, (2005). Root-freezing damage in the containerized nursery: impact og plantation sites. *New Forests* 30, 167-184.

Bigras, F. J., Ryyppö, A., Lindström, A. & Stattin, E. (2001). Cold acclimation and deacclimation of shoots and roots of conifer seedlings. Í: F. J. Bigras & S. J. Colombo (ritstj.) *Conifer Cold Hardiness* (bls. 57-88). Holland: Kluwer Academic Publishers.

Bjarni D. Sigurðsson (2001). Environmental control of carbon uptake and growth in a *Populus trichocarpa* plantation in Iceland. Doktorsritgerð. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria*. 174, 64 bls.

Bjarni D. Sigurðsson, 2001. Elevated [CO₂] and nutrient status modified leaf phenology and growth rhythm of young *Populus trichocarpa* trees in a three-year field study. *Trees* 15, 403-413.

Bjarni D. Sigurðsson, Halldór Þorgeirsson & Sune Linder (2001). Growth and dry-matter partitioning of young *Populus trichocarpa* in response to CO₂ concentration and mineral nutrient availability. *Tree Physiology* 21, 941-950.

Bjarni Guðleifsson (2004a). Virkningen av forventa klimaendringer på landbruk í Norden. Skýrsla frá Nordisk Ministerråd. NKO-FJSL-01/04 Workshop 4 - J-Nr: 60001.15.001/04, 5 bls.

Bjarni Guðleifsson (2004b). Áhrif væntanlegra loftslagsbreytinga á landbúnað á Íslandi. *Fræðaging landbúnaðarins 2004*, 17-25.

Björgvin Örn Eggertsson (2005). *Úttekt 2004*. Óútgefin samantektarskýrsla frá Suðurlandsskógum, Selfossi, 23 bls.

Brynjar Skúlason, Aðalsteinn Sigurgeirsson, Bjarni Guðleifsson og Øyvind Melands Edvardsen (2001). Frost tolerance among provenances and families from the *Picea* complex in Alaska. *Ársrit Skógræktarfélags Íslands* 2001(1), 188-190.

Burr, K. E., Hawkins, C. D. B., L'Hirondelle, S. J., Binder, W. D., George, M. F. & Repo, T. (2001). Methods for measuring cold hardiness of conifers. Í: F.J Bigras & S.J Colombo (ritstj.) *Conifer Cold Hardiness* (bls. 369–401). Holland: Kluwer Academic Publishers.

Coleman, M. D, Hinckley, T. M., McNaughton, G. & Smit, B.A. (1992). Root cold hardiness and native distribution of subalpine conifers. *Canadian Journal of Forest Research* 22, 932-938.

Colombo, S. J., Menzies, M. I. & O'Reilly, C, (2001) Influence of nursery cultural practices on cold hardiness of coniferous forest seedlings. Í: F.J Bigras & S.J Colombo (ritstj.) *Conifer Cold Hardiness* (bls. 223–252). Holland: Kluwer Academic Publishers.

Colombo, S. J., Zhao, S. & Blumwald, E. (1995). Frost hardiness gradients in shoots and roots of *Picea mariana* seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 10, 32–36.

Coursolle, C., Bigras, B. J. & Margolis, H. A. (2000). Assessment of root freezing damage of two-year-old White spruce, Black spruce and Jack pine spruce. *Scandinavian journal of forest research* 15, 343-353.

Dormling, I. 2001. Fytotronforskning. *Plantaktuellt* 2001(2), 2-7.

Guðmundur Halldórsson & Halldór Sverrisson (2006). Skógarheilsa. Í: Guðmundur Halldórsson (ritstj.), *Skógarbók Grænni skóga* (bls. 81-96). Ásprent, Akureyri: Landbúnaðarháskóli Íslands.

Harrison, A. J. (2004). *Species specific storage*. Óútgefið erindi flutt á ráðstefnunni “Övervintring af plantor” í mars, 2004, Garðyrkjuskóli Ríkisins, Reykir, 3 bls.

Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J. & Xiaosu, D. (2001). *Climate Change 2001*. Cambridge: Cambridge University Press.

Hrefna Jóhannesdóttir (2000). *Kortdagsbehandling av sibirsk lerk, sitkagran, sitkaor og vanlig gran*. Óútgefin meistaraþrófsritgerð. Norges landbrukshøgskole.

Ingestad, T. & Kähr, M. (1985). Nutrition and growth of coniferous seedlings at varied relative nitrogen addition rate. *Physiologia Plantarum* 65, 109-116.

Jörgen Hajek (2006). Skaffa ett friskintyg. *Plantaktuellt* 2006(1), 3 bls.

Lárus Heiðarsson, Þröstur Eysteinnsson og Brynjar Skúlason (2004). Hretskemmdir á lerki í Eyjafirði og á Héraði vorið 2003. *Ársrit Skógræktarfélags Íslands* 2004(1), 85–87.

Lindell, M. (1986). *RGC som testmetod*. Skýrsla frá Frö- och plantproduktionsavdelingen, Skogstyrelsen í Svíþjóð, 19.03.1986, 4 bls.

- Lindström, A. (1996). Hur minimerar vi lagringsskadorna. Í: M. Hannerz (ritstj.) *Plantproduktion och skador*. Uppsala: Skogforsk. 34-44.
- Lindström, A. & Mattson, A. (1989). Equipment for freezing roots and its use to test cold resistance of young and mature roots of *Picea abies* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4, 59-66.
- Lindström, A. & Mattsson, A. (1994). Cultivation of containerized seedlings in Sweden – systems for frost protection and methods to detect root injuries. *Acta Horticulturae* 361, 429-440.
- Lindström, A. & Nyström, C. (1994). Elektolytisk konduktans – ett sätt att beköma frystolerans och lagringsbarhet hos skogsplantor. *Plantnytt* 1994(4), 4 bls.
- Lindström, A. (1987a). *Winter storage and root hardiness of containerized conifer seedlings*. Doktorsritgerð. Swedish University of Agricultural Sciences, Garpenberg.
- Lindström, A. (1987b). *Effekter av nattlängdsreglering på plantröters köldhärdighet*. Skýrsla frá Institutionen för skogsproduktion, Garpenberg, nr 41, 16 bls.
- Lindström, A. (1988). Köldhärdighet hos plantrötter. *Skogsfakta* 52, 4 bls.
- Mattsson, A. (1986). RGC-metoden – ett hjälpmedel för att upptäcka rotskador. *Plantnytt* 1986(5), 4 bls.
- Mattsson, A. (1996). Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests* 13, 223-248.
- McKay, H. M. (1992). Electrolyte leakage from fine roots of conifer seedlings: a rapid index of plant vitality following cold storage. *Canadian Journal of Forest Research* 22, 1371–1377.
- McKay, H. M. (1994). Frost hardiness and cold-storage tolerance of the root system of *Picea sitchensis*, *Pseudotsuga menziesii*, *Larix kaempferi* and *Pinus sylvestris* bare-root seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9, 203-213.
- Nystöm, C. (1998). Vinterlagring. *Plantaktuellt* 1998(4), 2 bls.
- Rikala, R. & Repo, T. (1997). The effect of late summer fertilization on the frost hardening of second-year Scots pine seedlings. *New Forests* 14, 33-44.
- Ríkiskaup (2005). Útboð nr. 13950, Skógarplöntur fyrir Suðurlandsskóga. Ríkiskaup. 15 bls.
- Roberntz, P. (1998). *Effects of elevated CO₂ and nutrition on gas exchange and foliar chemistry in Norway spruce*. Ph.D. thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 46 bls.
- Stattin, E. & Lindström, A. (2004). Metodutveckling för tidig upptagning och säker fryslagring af täckrotsplantor av tall. *Plantproduktion/Skogsetablering* 34, 7 bls.

- Stattin, E. (1991). Plantor með köldskadade rötter dör í lagret. *Plantnytt* 1991(3), 4 bls.
- Stattin, E. (1999a). Root freezing tolerance and storability of scots pine and Norway spruce seedlings. Doktorsritgerð. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria* 105, 9-31.
- Stattin, E. (1999b). Köldhærdighet och lagringsbarhet hos gran- och tallplantor. *Plantaktuellt* 1999(2), 2 bls.
- Stattin, E. (2002). *Lagring av plantor*. Óútgefið erindi flutt á ráðstefnunni: „Skador på plantor och ungskog”, september 2002, Falkenberg, Svíþjóð. 6 bls.
- Stattin, E., Hellqvist, C. & Lindström, A. (2000). Storability and root freezing tolerance of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 30, 694-970.
- Sundblad, L. G. & Andersson, B. (2002). Om frystester och hærdighet. *Plantaktuellt* 2002(4), 4-6.
- Sundblad, L. G., Erikson, U. & Lindström, A. (1994). Metoder för testning av skogsplantor – en översikt. *Restultat* 1994(13), 4 bls.
- Valgerður Jónsdóttir & Hrefna Jóhannesdóttir (2006). Framleiðsla skógarplantna. Í: Guðmundur Halldórsson (ritstj.), *Skógarbók Grænni skóga* (bls. 155-165). Ásprent, Akureyri: Landbúnaðarháskóli Íslands.