

Nr 46/2022
ISSN 2298-9994

Rit Mógilsár

Rannsóknasviðs
Skógræktarinnar

**Frostþol skógarplantna og frostþolsmælingar
- verklýsing á jónalekaaðferðinni**

Rakel J. Jónsdóttir

Efnisyfirlit

SAMANTEKT/ABSTRACT	3
INNGANGUR	4
MYNDUN FROSTÞOLS	4
HVAÐ GERIST Í FRUMUNUM VIÐ FROSTÁLAG	5
VERKLÝSING JÓNALEKAPRÓFS	6
Undirbúningur sýna	6
Ferill frystingar	6
Mæling á leiðni	6
Útreikningar niðurstaðna	7
FRAMSETNING NIÐURSTAÐNA	7
RANNSÓKNIR AÐ BAKI JÓNALEKAAÐFERÐINNI	8
UM NIÐURSTÖÐUR JÓNALEKAPRÓFANA HÉRENDIS	10
NIÐURLAG	11
ÞAKKIR	11
HEIMILDIR	12
VIÐAUKI 1	14

Rit Mógilsár Nr 46-2022 — www.skogur.is/mogilsarrit

Titill Frostþol skógarplantna og frostþolsmælingar – verklýsing á jónalekaaðferðinni

English title Frost tolerance of forest seedlings and methods for measuring frost tolerance – a description of the Shoot Electrolyte Leakage (SEL) method

ISBN 2298-9994

Höfundur Rakel J. Jónsdóttir

Ábyrgðarmaður Edda S. Oddsdóttir

Ritnefnd Björn Traustason, Ólafur Eggertsson, Pétur Halldórsson

Textavinnsla og umbrot Pétur Halldórsson

Forsíðumynd Ræktunarhús í Sólskógum Kjarnaskógi: Rakel J. Jónsdóttir

Útgefandi Skógræktin, júlí 2022

Öll réttindi áskilin

Frostþol skógarplantna og frostþolsmælingar – verklýsing á jónalekaaðferðinni

Rakel J. Jónsdóttir¹

Samantekt

Yfirvetrun skógarplantna á frystigeyslum er algeng á norðurhveli jarðar. Þessi geymsluaðferð verndar gæði skógarplantna fyrir skaðlegum breytingum í veðurferi yfir vetrartímann. Ef plöntum er hins vegar pakkað inn á frysta án þess að hafa nægjanlegt frostþol, hafa þær lítið geymsluþol til þess að lifa af geymsluna. Fundist hefur sterkt samband á milli þess frostþols sem plöntur ná á haustin og lifunar og rótarvaxtar eftir geymslutímann. Árangur í skógrækt byggist m.a. á gæðum skógarplantnanna sem eru gróðursettar. Heilbrigðar, þróttmiklar plöntur eru líklegri til að komast á legg en þær sem laskaðar eru. Því er nauðsynlegt að framleiðendur hafi aðgengi að áreiðanlegri aðferð til þess að meta frostþolið áður en til pökkunar inn á frysta kemur. Jónalekaaðferðin (SEL; Shoot Electrolyte Leakage), sem lýst er í þessu riti, hefur verið notuð til að meta frostþol skógarplantna í framleiðslu í Skandinavíu um áratugaskeið og á Íslandi síðan 2004. Aðferðin er byggð á rannsóknnum á rauðgreni og skógarfuru en hefur verið heimfærð yfir á aðrar tegundir. Rannsóknir hafa leitt í ljós að ræktunarferlar innan gróðrarstöðva hafa úrslitaáhrif á það hvort skógarplöntur ná góðu frostþoli á haustin. Þar spilar inn í sáningartími, myrkvun, uppruni fræsins og kæling að hausti til svo eitthvað sé nefnt. Niðurstöður íslenskra jónalekamælinga eru dregnar saman í greininni og fjallað um hvaða lærdóm megi draga af þeim.

Abstract

Title: Frost tolerance of forest seedlings and methods for measuring frost tolerance – a description of the Shoot Electrolyte Leakage (SEL) method

Storage of forest seedlings in freezers is common practise in the northern hemisphere. This storage method protects the quality of forest seedlings from harmful changes in weather during winter. If seedlings are stored in freezer, without sufficient frost tolerance, their storability is low. A strong relationship has been found between the frost tolerance of conifer seedlings in autumn and survival and root growth after the storage. Success in forestry is based on e.g. quality of forest seedlings planted. Healthy, vigorous seedlings are more likely to thrive than damaged ones. It is therefore essential that nursery managers have access to a reliable method for assessing frost tolerance before packing into the freezers. The shoot electrolyte leakage method (SEL), described in this paper, has been used to assess frost tolerance of forest seedlings in Scandinavia for decades and in Iceland since 2004. The method is based on research on Norway spruce and Scots pine but has also been applied to other species. Research has shown that cultivation regimes in nurseries have a decisive effect on whether forest seedlings gain good frost tolerance in the autumn. To name a few, factors like sowing time, short-day-treatment, origin of the seed and chilling hours in the autumn play an important role in the development of frost tolerance. Results of Icelandic SEL measurements are summarised in the article and discussed.

¹Skógræktin, Gömlu-Gróðrarstöðinni, is-600 Akureyri, rakel.jonsdottir@skogur.is

Inngangur

Yfirvetrun skógarplantna á frystigeymslum hefur fyrst og fremst þann tilgang að forða plöntunum frá skemmdum. Hörd haustfrost, umhleyplingar yfir vetrartímamann og sein vorfrost geta orsakað skemmdir sem hafa neikvæð áhrif á vöxt og lifun eftir gróðursetningu (Carole Coursolle o.fl., 2000; Steven C Grossnickle o.fl., 2020; Steven C Grossnickle og Joanne E Macdonald, 2018; Anders Lindström, 1986).

Forsenda þess að geymsla á frystum skógarplöntum heppnist er að hafa aðgengi að aðferð sem metur með öruggum hætti hvort plöntur eru tilbúnar til frystingar eða ekki (Francine J Bigras o.fl., 2001; Eva Stattin o.fl., 2000; Ulfstand Wennström o.fl., 2016). Rannsóknir hafa sýnt að fari plöntur inn á frysta án þess að hafa tilhlýðilegt frostþol getur dregið úr lifun og rótarvaxtarþrótti eftir geymsluna (Anders Lindström og Lars Håkansson, 1996). Það er m.ö.o. sterkt samband á milli frostþols og getu skógarplantna til þess að þola langtímageymslu í frysti (Anders Lindström o.fl., 2014; Cecilia Malmqvist o.fl., 2017). Auk þess hefur komið í ljós að skógarplöntur sem ekki hafa gott frostþol áður en þeim er pakkað í vetrargeymslu eru útsettari fyrir skemmdum vegna grámyglu (*Botrytis cinerea*) meðan á geymslu stendur (Ulfstand Wennström o.fl., 2016).

Jónaleki (SEL; Shoot Electrolyte Leakage) hefur verið notaður til að meta frostþol skógarplantna í framleiðslu á Íslandi frá árinu 2004 en Hrefna Jóhannesdóttir hjá Skógrækt ríkisins tók upp aðferðina og studdist við aðferðafræði og rannsóknir frá Svíþjóð. Aðferðin byggist á því að þegar plöntufrumur eru skaddaðar af frosti leka þær meira af innihaldi sínu en óskaddaðar frumur. Hægt er að mæla þennan leka með því að mæla styrk jóna í vatni sem plöntuvefur er látinn liggja í, fyrir og eftir stýrða frystingu. Því meira sem hlutfallslegur styrkur jóna í vatnslausninni eykst eftir frystingu, því meira er plöntuvefurinn skaddaður sem bendir til þess að plöntur hafi ekki byggt upp nægjanlegt frostþol (Karen E Burr o.fl., 2001).

Í þessu riti verður farið lauslega yfir hvaða þættir hafa áhrif á myndun frostþols í yfirvexti og rötum barrviða í skógarplöntuframleiðslu og hvernig plöntur verjast frostálagi. Verklaginu við jónalekaaðferðina er lýst og greint frá rannsóknum sem hún byggist á. Einnig eru teknar saman helstu niðurstöður jónalekamælinga sem framkvæmdar hafa verið hérlandis og fjallað um hvaða lærdóm megi draga af þeim.

Myndun frostþols

Árlegur vaxtartaktur trjágróðurs er bundinn í genum en stjórnað af umhverfisþáttum (Sally N Aitken og Mats Hannerz, 2001). Þannig hefur stytting ljóslotu síðsumars mest áhrif til myndunar frostþols í yfirvexti barrviða í skógarplöntuframleiðslu á norðurlöndum (Francine J Bigras o.fl., 2001; Stephen J Colombo o.fl., 2001). Þegar daginn tekur að stytta verða fitókróm plantna smátt og smátt óvirk og það hvetur til vaxtarstöðvunar, myndunar endabrumms og frostþolsmyndunar. Til þess að flýta fyrir frostþolsmyndun í yfirvexti er því algengt að nota myrkvun í ræktunarferli skógarplantna, sérstaklega í gróðrarstöðvum á norðlægu slóðum þar sem sumardagar eru langir (Stephen J Colombo o.fl., 2001).

Frostþol plantna er skilgreint sem þol gagnvart hitastigi undir frostmarki, með öðrum orðum lægsta hitastigi undir frostmarki sem plöntuvefur þolir án þess að skemmast (Steven C. Grossnickle, 2000). Frostþolsmyndun yfirvaxtar hefur verið flokkuð í þrjú stig fyrir marga barrviði. Fyrsta stigið er hvatað af styttingu daglengdar eins og áður segir. Annað stigið hefst þegar hitastig nálgast 0°C og af því leiðir talsvert meira frostþol. Frostþolsmyndun sitkagrenis (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.), rauðgrenis (*Picea abies*

(L.) Karst.) og skógarfuru (*Pinus sylvestris* L.) hefur verið flokkuð upp í þessi tvö stig. Þriðja stigið hefur aðeins verið skilgreint fyrir harðgerðustu barrtrén en dögglingsviður (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) er t.d í þeim hópi. Þetta stig næst aðeins ef plöntur fá á sig mjög hart frost, á milli -30°C og -50°C (Francine J Bigras o.fl., 2001).

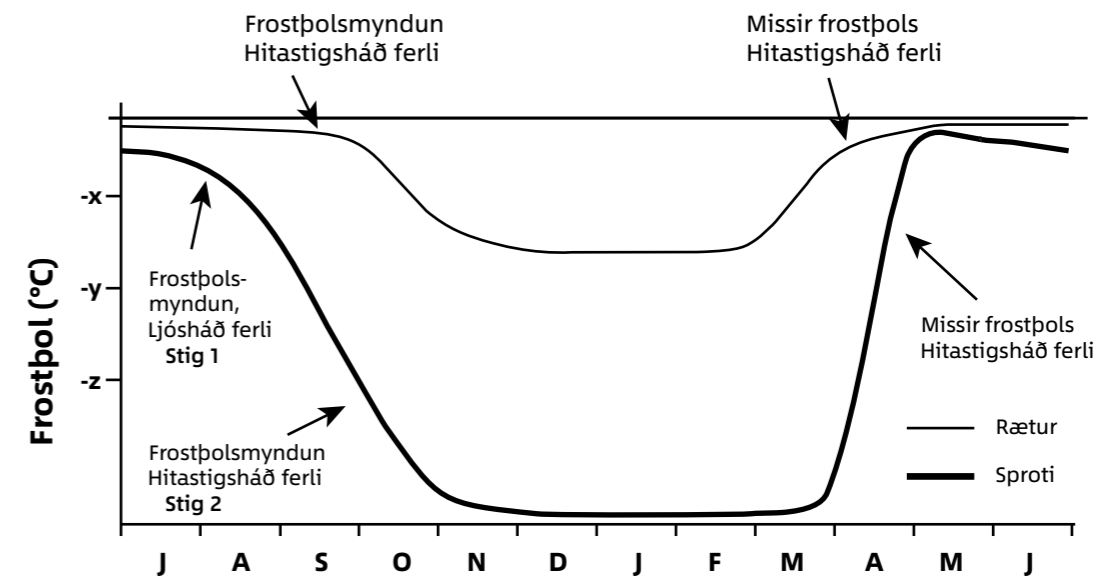
Rætur hafa venjulega miklu minna frostþol en yfirvöxtur og myndun frostþols róta er aðallega háð kælingu ræktunarefnisins en ekki ljóslotunni (1. mynd) (Francine J Bigras og Daniel Dumais, 2005; Aija Ryyppö o.fl., 1998; Eva Stattin og Anders Lindström, 1999). Það er því mikilvægt að plöntur í framleiðslu fái kælingu til þess að örva frostþolsmyndun í bæði yfirvexti og rötum þegar líður að geymslu á frysti á haustin (Cecilia Malmqvist o.fl., 2017; Eva Stattin o.fl., 2000; Elisabeth Wallin o.fl., 2019).

Þar sem rætur ná minna frostþoli, og að einhverju marki seinna en yfirvöxtur, er meiri hætta á að rætur skemmist áður en plöntum er pakkað á frystigeymslu. Rannsóknir hafa sýnt að kæling við sem næst 0°C í 3-6 vikur gerir að verkum að rætur rauðgrenis (Eva Stattin o.fl., 2000), skógarfuru (Eva Stattin og Anders Lindström, 1999) og dögglingsviðar (Cecilia

Malmqvist o.fl., 2017) ná fyrir frostþoli. Það er fyrst og fremst hitastig undir 5°C sem framkallar frostþol í rötum og umhleyplingar leiða til minna frostþols róta samanborið við stöðugan kulda (Francine J Bigras og Daniel Dumais, 2005; Stephen J Colombo o.fl., 2001). Frostþol róta dvínar ef meðalhiti dags fer yfir 5°C og tap rótarfrostþols gengur mun hraðar fyrir sig en tap frostþols í yfirvexti (Francine J Bigras o.fl., 2001). Þetta ber að hafa í huga við þökkun plantna inn á frysta. Oft eru skógarplöntur fluttar inn í gróðurhús til þess að bræða snjó af þeim svo hægt sé að koma þeim í geymsluumbúðir. Varast skyldi að geyma plönturnar lengi við hitastig yfir 0°C heldur flytja inn plöntur í smærri skömmtum sem næst

að vinna upp á skömnum tíma. Að öðrum kosti er hætta á að rætur skógarplantnanna fari inn á frysta með of lítið frostþol. Algengasta hitastig í frystum liggur á milli -2°C og -5°C. Varast ber að hitastigið fari niður fyrir -5°C til þess að tryggja að rætur verði ekki fyrir skemmdum (Anders Lindström, 1996; Ulfstand Wennström o.fl., 2016).

Þegar að þökkun kemur er einnig mikilvægt að barrið sé laust við vætu því eftir því sem yfirvöxtur plantna er rakari, því meiri hætta er á að mygla nái sér á strik í vetrargeymslunni (Raija-Liisa Petäistö, 2006; Raija-Liisa Petäistö o.fl., 2004).



1. mynd. Skýringarmynd af uppbyggingu og missi frostþols í rötum og sprotum barrtrjáa, ræktuðum í bökkum á norðlægu slóðum. Myndin er aðlöguð frá (Francine J Bigras og Daniel Dumais, 2005).

Hvað gerist í frumunum við frostálag?

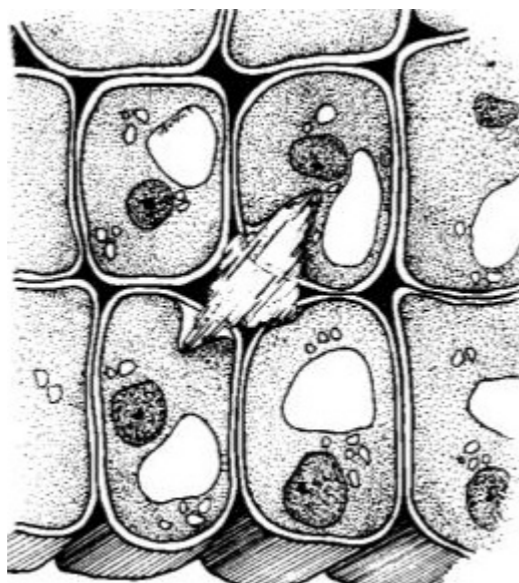
Þegar plöntuvefur verður fyrir frostálagi geta myndast ískristallar innan hans, annars vegar utan frumna (e. extracellular) og hins vegar innan frumna (e. intracellular). Ískristallamyndun utan frumna gerist í rýminu milli frumnanna (e. intercellular spaces). Í því rými er efnainnihald minna en inni í frumsekk frumna þar sem ljóstíllifun fer fram og því byrjar ískristallamyndunin þar. Ískristallar hafa verulega sækni í vatn og því dregst vatn til þeirra úr frumum, gegnum gegndræpar frumuhimnur og frumuveggi, með þeim afleiðingum að ískristallar stækka á milli frumnanna, frumurnar dragast saman og styrkur efnainnihalds í eftirstandandi frumuvökva hækkar, sem leiðir af sér enn meira frostþol. Þannig virka uppleystar sykrur og sölt sem frostillögur í frumum. Þegar þetta gerist þolir plöntufruman og vefurinn í heild meira frost. Hafi plöntuvefurinn hins vegar ekki

myndað nægjanlegt frostþol eða ef frýs mjög hratt, getur ískristallamyndunin orðið það mikil og ör að frumuveggi rofna, innihald frumu lekur úr frumsekk og því eykst styrkur jóna utan frumunnar (2. mynd) (t.d. Landis o.fl., 2010; Akira Sakai og Walter Larcher, 1987; Marja-Liisa Sutinen o.fl., 2001). Ef plöntuvefur hefur myndað frostþol, skemmir ískristallamyndun utan frumu ekki vefinn. En þegar ískristallar myndast inni í frumunum í vef sem hefur takmarkað frostþol, með þeim afleiðingum að frumuhimnur rofna, hefur það hins vegar eyðileggjandi áhrif á plöntuvefinn (Steven C. Grossnickle, 2000; Akira Sakai og Walter Larcher, 1987).

Þegar heilbrigður, óskemmdur plöntuvefur er látinn liggja í afjönuðu vatni má mæla aukna leiðni í vatninu vegna þess að efnainnhald (jónir) frumna

seytlar út í vatnið, en í afar litlum mæli (Karen E Burr o.fl., 2001). Í þessu riti er vísað til þessa fyrirbæris sem náttúrulegs jónaleka. Ef frumhinnur eru hins vegar skemmdar, eykst leiðnin í vatninu verulega því efnainnihald frumnanna lekur út. Á þessu byggist jónalekaprófið (SEL, Shoot Electrolyte Leakage) sem

notað er til að mæla frostþol. Það getur með öðrum orðum mælt jónaleka frumna fyrir og eftir frystingu plöntuvefs og er í raun mælikvarði á skaðann sem hefur orðið á frumhinnum við frystinguna (H.M. McKay, 1992). Aðferðinni er lýst hér að neðan.



2. mynd. Ískristallamyndun milli frumveggja rýfur frumur. Mynd aðlöguð frá Wayne L. Handlos (2022).

Verklýsing jónalekaprófs

Framleiðendur skógarplantna senda sýni til frostþolsprófana seint á haustin og fram í desember, þegar verulega er farið að kólna í veðri. Sökum þess að plöntur missa frostþol við hækkandi hita (1. mynd) verður að passa að sýni fari strax í kæli og séu ekki lengi á leiðinni á þann stað þar sem unnið er úr þeim (G. Richard Strimbeck o.fl., 2007). Velja ætti plöntur í sýnin sem eru lýsandi fyrir plöntuhollið í heild, ekki lægstu plönturnar eða þær hæstu, heldur plöntur af meðalhæð. Sýnin eru sett í plastpoka og merkt með tegundaheiti, kvæmi og sáningartíma. Komi sýni inn á fimmtudegi eða föstudegi má búast við að niðurstaða liggja fyrir seinnipartinn á þriðjudegi.

Undirbúningur sýna

Í hvert frostþolspróf þarf 30 plöntur sem skipt er í tvo hluta. Helmingur plantnanna er frystur, hinn helmingurinn þjónar hlutverki viðmiðs og er ekki frystur. Efstu 4 cm toppsprotans eru klipptir af. Notuð er flísatöng til þess halda utan um þrjá toppsprota og skola þá, fyrst með því að dýfa þeim þrisvar í kravatn, en síðan þrisvar í afjónað vatn. Eftir skolon eru 3 sprotar settir í plastflösku með skrúftappa sem þolir bæði suðu og frost, alls 5 flöskur fyrir hvorn hluta, fryst og ófryst.

Ferill frystingar

Plöntusýnin eru fryst niður í -25°C. Frystikistan er látin vera í 4°C þegar sýnin eru sett í. Hitinn lækkar á þremur klst. niður í 0°C. Síðan lækkar hitinn á fimm klst. niður í -3. Eftir það lækkar hitastigið um tvær gráður á klst. niður í -25°C. Þegar því hitastigi er náð er kistan látin halda því í tvær klst. til þess að tryggja að plöntusýnin frjósi örugglega niður í markmiðshitastig. Þá er hitastigið látið síga upp um tvær gráður á klst. þangað til 4°C er náð aftur. Plöntusýni til viðmiðunar eru látin bíða við fjórar gráður í þessar 36 klst. sem frystiferlið tekur.

Mæling á leiðni

Eftir frystingu er 40 ml af afjónuðu vatni bætt í allar flöskur, bæði frýstra sýna og ófrýstra, og þeim komið fyrir í hristara. Hristarinn er látinn ganga í 20-24 klst. Eftir það er leiðni í sýnunum mæld og skráð (fyrir suðu). Þegar leiðni er mæld á að hrista sýnið í flöskunni og hella vökvannum af í hreint tilraunaglas. Þá er nemi á leiðnimælinum skolaður í afjónuðu vatni og það látið drjúpa af honum. Síðustu droparnir eru teknir af nemanum með pappírspurrku. Honum er svo dýft í sýnið og hann hreyfður til, til þess að útiloka að loftbólur inni í nemanum hafi áhrif á

mælinguna. Bíða skal þangað til gildið á mælinum er stöðugt. Gildið á að lesa af í µS (míkrósímens). Vökvannum er svo hellt aftur í plastflöskuna og henni lokað. Neminn er skolaður á ný áður en honum er dýft í nýtt sýni sem hellt er í hreint glas, skolað upp úr afjónuðu vatni.

Því næst eru sýnin soðin í átóklafa til þess að sprengja allar frumur í plöntusýnunum og fá út heildarleiðni (eftir suðu). Áður en sýnum er komið fyrir í átóklafanum er skrúftappi losaður um hálfan hring svo glösin afmyndist ekki í suðunni. Sýnin eru soðin við 120°C í 15 mín. Þegar sýnin hafa kólnað niður í stofuhita má mæla leiðni aftur með sama hætti og lýst er áður.

Útreikningar niðurstaðna

Við útreikninga eru notaðar þrjár jöfnur, sjá jöfnur 1-3 aðlagðar frá Lindström og fl. (2014). Hlutfallslegur jónaleki frýstra plantna er reiknaður með því að deila leiðni eftir suðu upp í leiðni sem fékkst úr sýninu fyrir suðu (jafna 1). Þar sem komið hefur í

ljós mögulegur náttúrulegur jónaleki frá plöntum, verður að einangra þá tölu frá heildarleiðnitölu eftir frystingu (jafna 2). Síðan er náttúrulegi jónalekinn dreginn frá heildarjónaleka eftir frystinguna (jafna 3). Ef munurinn á þessum gildum liggur á bilinu 0%-4% teljast plönturnar vera komnar með frostþol og hæfar til langrar vetrargeymslu. En því hærra sem jónalekinn er eftir frystinguna, því meira hefur sýnið skemmt og frostþolið er takmarkaðra.

$$(1) SEL_{-25} = \frac{\text{Jónaleki eftir frystingu}}{\text{Jónaleki eftir suðu}} * 100$$

$$(2) SEL_{\text{viðmið}} = \frac{\text{Náttúrulegur jónaleki}}{\text{Jónaleki eftir suðu}} * 100$$

$$(3) SEL_{\text{mismunur}} = SEL_{-25} - SEL_{\text{viðmið}}$$

Framsetning niðurstaðna

Niðurstöðum er skilað í Excel-skjali til framleiðanda (3. mynd) þar sem kemur fram heiti og kvæmi tegundarinnar sem um ræðir, auk tölulegra gilda fyrir hverja endurtekningu sýna. Ef mikill breytileiki reynist koma fram milli endurtekninga er ástæða til þess að vera á varðbergi með niðurstöðurnar.

Ef SEL-mism. er meira en 4% hefur sýnið ekki náð frostþoli. Fá framleiðandi þá niðurstöðu úr prófinu verður yfirleitt að bíða með þökkun í 2-4 vikur og endurtaka frostþolspróf þangað til þau gefa grænt ljós á frystingu.

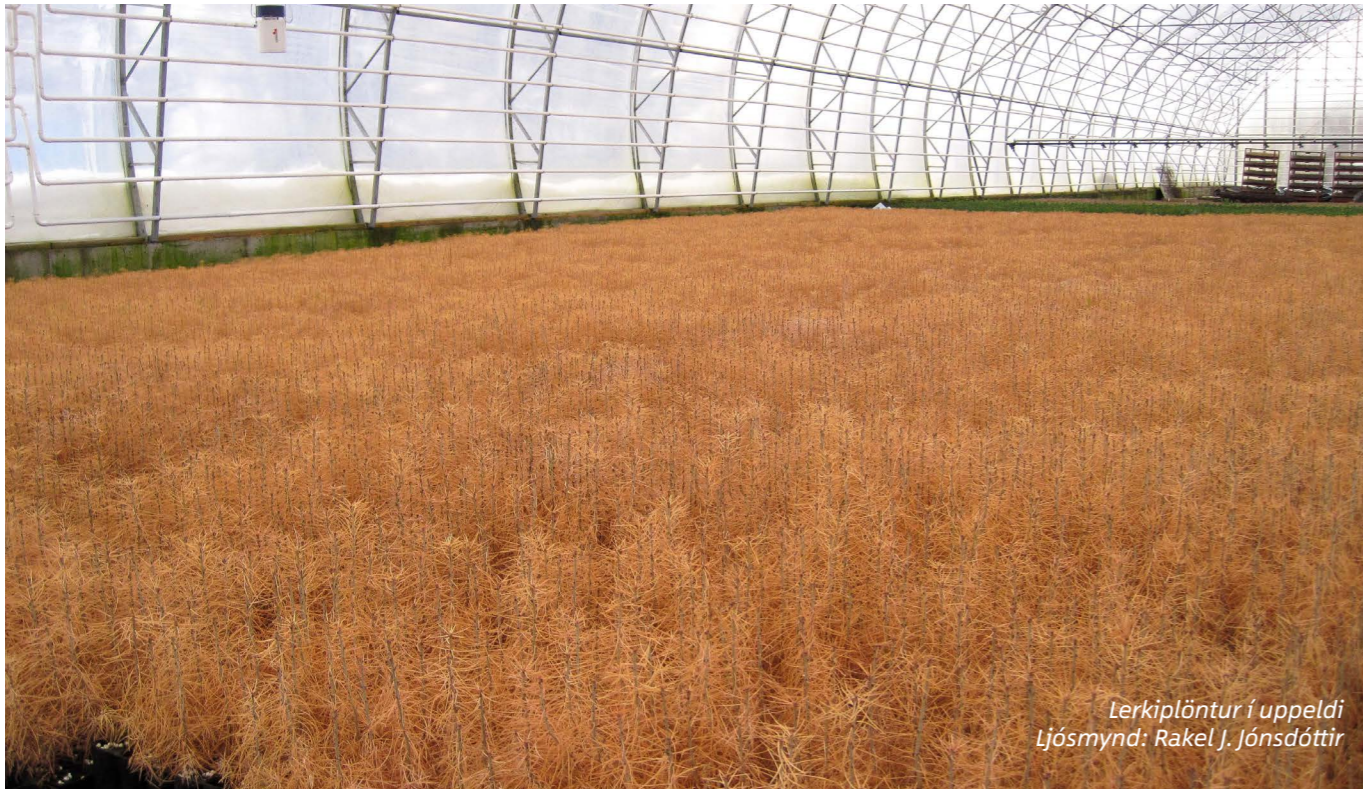
Tegund: Sitkagreni Tumastaðir	Viðmið			Fryst í -25°C					
	Sýni nr	Leiðnitala		RC Viðmið (%)	Sýni nr	Leiðnitala		RC -25 (%)	Skade index
	Fyrir suðu	Eftir suðu			Fyrir suðu	Eftir suðu			
	1	15	554	2,707581	6	16	416	3,846154	1,138573
	2	12	382	3,141361	7	17	445	3,820225	0,678863
	3	18	608	2,960526	8	26	493	5,273834	2,313307
	4	14	422	3,317536	9	22	551	3,99274	0,675205
	5	15	461	3,253796	10	25	450	5,555556	2,301759
Meðaltal		14,8	485,4	3,07616		21,2	471	4,497702	1,421542
				SEL viðmið				SEL -25	SEL - mism.

Meðaltal hlutfallslegs jónaleka hjá ófrýstu viðmiði

Meðaltal hlutfallslegs jónaleka hjá frýstum plöntum

Mismunur meðaltala er minni en 4% og því telst frostþoli náð

3. mynd. Dæmi um framsetningu niðurstaðna úr frostþolsprófunum



Lerkiplöntur í uppeldi
Ljósmynd: Rakel J. Jónsdóttir

Rannsóknir að baki jónalekaaðferðinni

Aðferðin sem notuð er við jónalekapróf á Íslandi er byggð á sænskum rannsóknum Anders Lindström og Lars Håkonsson sem þeir birtu árið 1996. Enn er hún mest notaða frostpolsprófið í Noregi (Eleonora Høst, ræktunarstjóri gróðrarstöðvarinnar Skogsplanter Østnorge, munnleg heimild, 26. október 2021) og einnig í Svíþjóð (Ulfstand Wennström o.fl., 2016).

Í tilraun Lindström og Håkonsson (1996) voru bornar saman tvær aðferðir við að meta frostþol í rauðgreni og skógarfuru, annars vegar þurrefnisinnihald sprota og hins vegar jónalekaaðferðina á bæði sprota og rætur. Þegar frostpolsmyndun í sprota eykst minnkar vatnsmagn í plöntuvefnum. Við framkvæmd þurrefnisprófs er fylgst með hlutfalli þurrefnis í sprota yfir ákveðinn tíma á haustin með því að mæla mun á ferskvigt og þurrvigt sprotanna. Þegar þetta hlutfall mælist á ákveðnu bili telst framleiðslan hafa náð frostþoli (Ulfstand Wennström o.fl., 2016). Hversu hátt hlutfall þurrefnisins þarf að vera svo að planta sé metin geymsluhæf eða ekki, fer eftir trjátegund, aldri, uppruna (kvæmi) og hvort plöntur hafa vaxið við aðstæður sem voru hagstæðar eða óhagstæðar til að mynda frostþol (Anders Lindström, 1996). Það hefur komið í ljós að þurrefnisprófið er ekki mjög næmt, þ.e. lítill munur á hlutfalli þurrefnis í skógarplöntum getur gefið mikinn munur á frostþoli. Þegar t.d. rauðgreniplöntur mælast með 33% þurrefni þola þær að einhverju leyti frost, en þegar þurrefnisinnihald hefur hækkað í 35% mega þær fara inn á frysti. Þarna er lítill munur á og þess

vegna er mælt með því að framleiðendur geri líka frostpolspróf á annan hátt á sama tíma (Anders Lindström o.fl., 2014).

Lindström og Håkonsson (1996) gerðu frostpolspróf á mismunandi efniviði af rauðgreni og skógarfuru sem hafði ólíkan uppruna og ræktunarsögu.

Til þess að komast að frostþoli hverrar meðferðar var notuð stýrð frysting. Plöntur af hverjum meðferðarlið voru frystar. Fryst var frá byrjun september til enda nóvember á tveggja vikna fresti. Yfirvöxtur var frystur niður í fjögur mismunandi hitastig í hvert skipti (-10°C, -15°C, -20°C og -25°C) og plöntur af viðmiði geymdar við 2°C á meðan. Rætur voru aðeins frystar niður í tvö frystistig, -5°C og -10°C (sjá lýsingu á frystingarferli í verklýsingu á jónalekaprófi). Við allar frystidagsetningar voru plöntur af samsvarandi meðferð settar í geymslu á frysti við -3°C. Lifun þeirra var tekin út í maí árið eftir og sömuleiðis rótarvaxtarþróttur (e. root growth capacity). Plönturnar voru ræktaðar í sandblönduðum jarðvegi í gróðurhúsi í þrjár vikur. Þurrvigt þeirra róta sem vaxið höfðu út í jarðvegin eftir ræktunartímann var mæld og notuð sem mælikvarði á vaxtarþrótt plantna eftir geymslutímann. Ef engar rætur uxu út í ræktunarefnið á tímabilinu var plantan úrskurðuð dauð. Með þessari aðferð var hægt að komast að frostþoli plantnanna á hverjum tíma og kanna hvort samband væri milli frostpolsins og getu plantnanna til að þola mislangan geymslutíma í frysti.

Helstu niðurstöður úr verkefninu fyrir yfirvöxt:

- Myrkvaðar rauðgreniplöntur náðu frostþoli fyrr en ómyrkvaðar.
- Rauðgreni sem seint var sáð til náði nægjanlegu frostþoli mánuði seinna en það sem sáð var fyrr.
- Ef dregið hafði verið úr köfnunarefni um helming í haustunarkerfinu seinkaði það frostþolsmyndun í rauðgreni.
- Norðlægari kvæmi rauðgrenis náðu frostþoli fyrr en þau suðlægari og gátu því farið fyrr á frysti.
- Gott samband var á milli jónalekagildisins og lifunar eftir geymslu á frysti. Þegar plöntur þoldu -25°C komu þær best út úr vetrargeymslunni. Átti það við bæði um rauðgreni og skógarfuru.
- Þegar jónalekaprófið gaf til kynna gott frostþol var þurrefnisinnihald sjaldan innan þeirra marka sem mælt er með fyrir plöntur sem eiga að vera komnar með frostþol. Þurrefnisinnihaldið á það til að sveiflast upp og niður og gefur því ekki eins góða mynd af frostþoli og jónaleki.
- Ófrystar plöntur (viðmið) sýndu mismunandi gildi hvað varðaði náttúrulegan jónaleka. Þess vegna er það gildi dregið frá því gildi sem kemur út þegar plöntur eru frystar niður í -25°C, sjá jöfnur á bls. 8 og 3. mynd. Ef mismunurinn lá á milli 0% og 5% sýndi sig að frostþolið/geymslupolið var mjög gott. Þegar aðferðin hafði verið notuð í nokkur ár var hámarksgildið lækkað niður í 4% til þess að tryggja betur að plöntur væru tilbúnar fyrir langan geymslutíma (Anders Lindström o.fl., 2014).

Í könnun á rótarfrostþoli rauðgrenis voru aðeins notaðir meðferðarliðir með snemma sáðu (sáð um miðjan mars) og seint sáðu rauðgreni (sáð í byrjun júlí). Helstu niðurstöður fyrir rætur voru að rauðgreni sem sáð var fyrr jók frostþol sitt stöðugt frá

tímabilinu 22. sept. til 3. nóvember. Á síðustu 14 dögum rannsóknarinnar jókst frostþolið hægar, en það þoldi að lokum -10°C. Hjá greni sem var sáð seint voru ræturnar mun viðkvæmari fyrir frosti á öllu tímabilinu og náðu aldrei því marki sem fyrr sáðar plöntur náðu. Rannsókn þeirra Lindström og Håkonsson (1996) sýndi hversu erfitt er að ná frostþoli í seint sáðar plöntur, hvort heldur í yfirvöxt eða rötarkerfi. Hún sýnir líka að frostþol næst seinna í rætur en yfirvöxt. Þetta hefur verið staðfest í fleiri rannsóknum og fyrir aðrar tegundir svo sem dögglingsvið (Cecilia Malmqvist o.fl., 2017), skógarfuru, hvítgreni (*Picea glauca* (Moench) Voss) og svartgreni (*Picea mariana* (Mill.) BSP) (Francine J Bigras og Daniel Dumais, 2005).

Þar sem rætur bakkaplantna eru einangraðar af ræktunarefninu og bökkum raðað þétt saman í ræktun eru þær, ólíkt sprotanum, síður útsettar fyrir kulda sem hvetur frostpolsmyndun. Þess vegna geta komið upp þær aðstæður að hausti að sprotinn sé komin með frostþol en ekki rætur (Aija Ryyppö o.fl., 1998). Jónalekamælingar á frostþoli róta hafa ekki verið innleiddar í eftirlit með frostþoli skógarplantna af ýmsum ástæðum (K. Radoglou o.fl., 2007; Tapani Repo og Aija Ryyppö, 2008; Eva Stättin o.fl., 2000). En rannsóknir hafa sýnt að ef hitastig ræktunarefnis hefur legið á milli milli 0°C og 5°C í um 4 vikur samfleytt má búast við að rætur skógarfuru hafi náð nægjanlegu frostþoli (Eva Stättin og Anders Lindström, 1999). Fyrir rauðgreni er 6 vikna kæling við sama hitastig nægjanleg fyrir rötarkerfið (Eva Stättin o.fl., 2000). Ræktendur skógarplantna geta því nýtt síritandi hitamæla sem mæla hitastig í ræktunarefni til þess að gera sér grein fyrir hve líklegt er að rætur hafi myndað frostþol áður en til pökkunar inn á frystigeymslu kemur (Eva Stättin, 1999).



Lerki- og greniplöntur sem frystar hafa verið í kössum.
Ljósmynd: Pétur Halldórsson

Um niðurstöður jónalekaprófana hérlendis

Eins og áður segir hafa jónalekamælingar verið gerðar á skógarplöntum á Íslandi frá 2004. Þær mælingar hafa þó sjaldan verið framkvæmdar á rauðgreni og skógarfuru heldur fyrst og fremst á þeim kvæmum barrtegunda sem mest eru nýtt við skógrækt á Íslandi. Aðferðina má þó líka nota á lauffellandi tegundir s.s. hengibjörk (*Betula pendula* Roth) (Jaana Luoranen o.fl., 2004) og sífjalerki (*Larix x eurolepis* Henry) (C O'reilly o.fl., 2001) en þá er efsti hluti stofnsins nýttur í sýnin. Í Viðauka 1 sem unninn er upp úr gögnum frá Hrefnu Jóhannesdóttur, Brynhildi Bjarnadóttur og Brynjari Skúlasyni má sjá að prófin hafa flestöll verið framkvæmd í nóvember til desember í gegnum árin og þá er í flestum tilfellum komið frostþol. Undantekningar eru þó á því. Hér á eftir eru nokkrir punktar um þann lærdóm sem draga má af niðurstöðum fyrri ára. Lítið er vitað um ræktunarsögu þessara plantna.

- Frostþol hefur frekar náðst þegar komið er fram í nóvember miðað við próf sem tekin eru í október (tafla 1). Þá hafa plöntur væntanlega náð meiri kælingu eftir því sem líður á haustið.
- Stafafura (*Pinus contorta* Douglas ex Loudon) sem seint er sáð, myndar í einhverjum tilfellum, frostþol seinna en sú sem sáð er til fyrr á árinu (tafla 1, 3, 6 og 10).
- Í heildina má segja að grenitegundir séu fyrr komnar með frostþol en stafafura. Þó má sjá í töflu 4 að árið 2007 gekk illa að ná frostþoli í sitkagreni. Þar er líklegt að sein sáning og ræktunarsaga spili inn í niðurstöður (Hrefna Jóhannesdóttir, munnleg heimild, 12. janúar 2022).
- Í töflu 3 má sjá niðurstöður frostþolsprófana sem gerðar voru í tengslum við tilraun þarsem könnuð

voru m.a. áhrif myrkvunar og sáningartíma á frostþolsmyndun. Þar hefur sitkagreni sem sáð var í mars náð góðu frostþoli í nóvember, hvort sem það var myrkvað í ágúst eða ekki. Stafafura sem sáð var á svipuðum tíma hefur hins vegar ekki alveg náð markinu, hvort sem hún var myrkvað eða ekki. Sömu niðurstöður sýna að stafafura sem sáð var í júlí er langt frá því að ná frostþoli. Rótavöxtur þessarar furu var marktækt minni en hjá fyrr sáðu furunni eftir vetrargeymslu á frysti (Rakel J. Jónsdóttir, 2007).

- Þegar flytja þarf plöntur út úr góðurhúsum á haustin getur verið erfitt að meta hvort þær þola fyrstu haustfrostin vel. Þá er hægt að grípa til þess ráðs að nota jónalekaprófin til þess að kanna upp að hvaða marki yfirvöxtur plantanna þolir frost. Þetta á sérstaklega við þegar margar tegundir eru ræktaðar saman í húsi og halda þarf hitastigi uppi til þess að plöntustöðlum hvað varðar hæð og þvermál verði náð. Þá er ekki víst að fullnægjandi frostþol sé komið í plöntur sem ekki hafa fengið nauðsynlega kælingu, sbr. 1. mynd. Í töflu 10 má sjá niðurstöður frostþolsprófana á sitkabastarði 'Haukadalur' og tveimur sitkagrenikvæmum 'Cordova' og 'Tumastaðir' sem framkvæmdar voru í október 2022. Öll kvæmin og tegundir höfðu verið geymd í köldu gróðurhúsi en hluti af sitkagreni 'Tumastaðir' var líka geymt í upphituðu gróðurhúsi og fékk því minni kælingu. Þær plöntur reyndust ekki hafa nægjanlegt frostþol fyrir -16°C í október, ólíkt Tumastaðakvæminu af sitkagreni sem hafði verið geymt í köldu gróðurhúsi. Líklegt má telja að minni kæling í heitu húsi hafi orsakað þennan mun á frostþoli yfirvaxtar plantna af Tumastaðakvæminu sem höfðu þó sama sáningartíma.



Ungar furuplöntur í bakka.
Ljósmynd: Rakel J. Jónsdóttir



Yfirvetrun á pláni.
Ljósmynd: Rakel J. Jónsdóttir

Niðurlag

Af ofangreindu má sjá að ræktunarsaga getur haft mikil áhrif á getu skógarplantna til þess að mynda frostþol. Spilar þar sterkt inn í t.d. sáningartími og sú kæling sem plöntur fá að hausti, næringarástand og uppruni kvæma. Það kallar á miklar áskoranir fyrir skógarplöntuframleiðendur að finna jafnvægið

á milli hagkvæmni í rekstri og allra verkþátta sem sinna þarf í gróðrarstöðvum almennt. En hafa þarf í huga um leið að plöntulífeðlisfræði skógarplantna í framleiðslu lýtur eigin lögmálum og er háð því ræktunarumhverfi sem er til staðar hverju sinni.

Þakkir

Vinnufélagar mínir, Brynjar Skúlasyn, Hrefna Jóhannesdóttir, Hallur Björgvinsson og Valgerður Jónsdóttir hjá Skógræktinni, lásu yfir texta og komu með

gagnlegar athugasemdir. Kann ég þeim bestu þakkir fyrir.

Heimildir

- Aija Ryyppö, Tapani Repo og Elina Vapaavuori (1998). Development of freezing tolerance in roots and shoots of Scots pine seedlings at nonfreezing temperatures. *Canadian journal of forest research*, 28(4), 557-565.
- Anders Lindström (1986). Outdoor winter storage of container stock on raised pallets—effects on root zone temperatures and seedling growth. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1(1-4), 37-47. doi: 10.1080/02827588609382399
- Anders Lindström (1996). *Hur minimerar vi lagrings-skadorna*. Ráðstefnurit: Seedling production and seedling damages, Uppsala, Sweden.
- Anders Lindström og Lars Håkansson (1996). EC-metoden - et sätt att bestämma skogsplantors lagringsbarhet *Stencil nr 95*. Garpenberg: Institutionen för skogsproduktion, Sveriges lantbruksuniversitet, 1-30.
- Anders Lindström, Eva Stattin, Daniel Gräns og Elisabeth Wallin (2014). Storability measures of Norway spruce and Scots pine seedlings and assessment of post-storage vitality by measuring shoot electrolyte leakage. *Scandinavian journal of forest research*, 29(8), 717-724.
- C O'reilly, CP Harper, N McCarthy og M Keane (2001). Seasonal changes in physiological status, cold storage tolerance and field performance of hybrid larch seedlings in Ireland. *Forestry*, 74(5), 407-421.
- Carole Coursolle, Francine J Bigras og Hank A Margolis (2000). Assessment of root freezing damage of two-year-old white spruce, black spruce and jack pine seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15(3), 343-353.
- Cecilia Malmqvist, Kristina Wallertz og Anders Lindström (2017). Storability and freezing tolerance of Douglas fir and Norway spruce seedlings grown in mid-Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 32(1), 30-38.
- Elisabeth Wallin, Daniel Gräns, Eva Stattin, Nathalie Verhoef, Grzegorz Mikusiński og Anders Lindström (2019). Evaluating methods for storability assessment and determination of vitality status of container grown Norway spruce transplants after frozen storage. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34(6), 417-426. doi: 10.1080/02827581.2019.1622036
- Eva Stattin (1999). Root freezing tolerance and storability of Scots pine and Norway spruce seedlings [dissertation]. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Eva Stattin og Anders Lindström (1999). Influence of soil temperature on root freezing tolerance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings. *Plant and soil*, 217(1), 173-181.
- Eva Stattin, Claes Hellqvist og Anders Lindström (2000). Storability and root freezing tolerance of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 30(6), 964-970. doi: 10.1139/x00-016
- Francine J Bigras og Daniel Dumais (2005). Root-freezing damage in the containerized nursery: impact on plantation sites-A review. *New Forests*, 30(2), 167-184.
- Francine J Bigras, Aija Ryyppö, Anders Lindström og Eva Stattin (2001). Cold acclimation and deacclimation of shoots and roots of conifer seedlings. Í: *Conifer cold hardiness* (ritstj. F. J. Bigras og S. J. Colombo). Springer: 57-88.
- G. Richard Strimbeck, Trygve D. Kjellsen, Paul G. Schaberg og Paula F. Murakami (2007). Cold in the common garden: comparative low-temperature tolerance of boreal and temperate conifer foliage. *Trees*, 21(5), 557-567. doi: 10.1007/s00468-007-0151-1
- H.M. McKay (1992). Electrolyte leakage from fine roots of conifer seedlings: a rapid index of plant vitality following cold storage. *Canadian Journal of Forest Research*, 22(9), 1371-1377.
- Jaana Luoranen, Tapani Repo og Juha Lappi (2004). Assessment of the frost hardiness of shoots of silver birch (*Betula pendula*) seedlings with and without controlled exposure to freezing. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(5), 1108-1118.
- K. Radoglou, R. Cabral, T. Repo, N. Hasanagas, M. L. Sutinen og Y. Waisel (2007). Appraisal of root leakage as a method for estimation of root viability. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 141(3), 443-459. doi: 10.1080/11263500701626143
- Karen E Burr, Christopher DB Hawkins, Sylvia J L'Hirondelle, Wolfgang D Binder, Milon F George og Tapani Repo (2001). Methods for measuring cold hardiness of conifers. Í: *Conifer cold hardiness* (ritstj. F. J. Bigras og S. J. Colombo). Springer: 369-401.
- Raija-Liisa Petäistö (2006). Botrytis cinerea and Norway spruce seedlings in cold storage. *Baltic Forestry*, 11(2), 24-33.
- Raija-Liisa Petäistö, Juha Heiskanen og Anumari Pulkkinen (2004). Susceptibility of Norway spruce seedlings to grey mould in the greenhouse during the first growing season. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19(1), 30-37.
- Rakel J. Jónsdóttir. (2007). *Frysting skógarplantna - Aðferðir til að meta lífsþrótt róta eftir vetrargeymslu*. B.Sc.-lokariðgerð. Umhverfiseild. Landbúnaðarháskóli Íslands.
- Sally N Aitken og Mats Hannerz (2001). Genecology and gene resource management strategies for conifer cold hardiness. I . Í: *Conifer cold hardiness* (ritstj. F. J. Bigras og S. J. Colombo). Springer: 23-53.
- Stephen J Colombo, Michael I Menzies og Conor O'Reilly (2001). Influence of nursery cultural practices on cold hardiness of coniferous forest tree seedlings. Í: *Conifer cold hardiness* (ritstj. F. J. Bigras og S. J. Colombo). Springer: 223-252.
- Steven C Grossnickle og Joanne E MacDonald (2018). Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New forests*, 49(1), 1-34.
- Steven C Grossnickle, Steven B Kiiskila og Diane L Haase (2020). Seedling Ecophysiology: Five Questions To Explore in the Nursery for Optimizing Subsequent Field Success. *Tree Planters' Notes*, 63, 112-127.
- Steven C. Grossnickle (2000). *Ecophysiology of Northern Spruce Species: The Performance of Planted Seedlings*. Ottawa, Ontario, Canada: NRC Research Press.
- Tapani Repo og Aija Ryyppö (2008). The electrolyte leakage method can be misleading for assessing the frost hardiness of roots. *Plant Biosystems*, 142(2), 298-301.
- Ulfstand Wennström, Karin Johansson, Anders Lindström og Eva Stattin (2016). *Produktion av frö och plantor*. Skogsskötselserien, del 2. Skogsstyrelsen.
- Wayne L. Handlos. (2022). Geraniumsonline. *Frost and Freezing*. Retrieved 20 January, 2022, from <http://www.geraniumsonline.com/freeze1.htm>

Texti er að hluta til unninn upp úr B.Sc.-lokaverkefni höfundar, *Frysting skógarplantna - aðferðir til þess að meta lífsþrótt róta eftir vetrargeymslu*.



Nýspröttin lerkiplanta
Ljósmynd: Pétur Halldórsson

Viðauki 1

Yfirlit yfir hluta af niðurstöðum íslenskra frostþolsprófunum frá 2004 til 2022. Gögnin eru aðallega byggð á vinnu Hrefnu Jóhannsdóttur, frá 2004 til 2010, Brynhildar Bjarnadóttur árið 2011 og Brynjars Skúla-sonar árið 2012. Nöfnum gróðrarstöðva hefur verið

breytt í bókstafina X, Y, Z, Q, C og Ö til aðgreiningar og nafnleyndar. Þegar plöntur hafa fengið SEL - 25°C gildi undir 4% teljast þær hafa nægjanlegt frostþol/ geymsluþol fyrir yfirvetrun á frysti.

Tafla 1. Niðurstöður úr íslenskum frostþolsprófunum frá árinu 2004. Sama númer fyrir aftan tegundarheiti gefur til kynna að frostþolsprófun hafi verið endurtekin á viðkomandi plöntum vegna þess að frostþoli var ekki náð í fyrri prófun. Bókstafirnir X, Y, Z, Q, C og Ö vísa til mismunandi gróðrarstöðva.

Mán.	Ár	Tegund	Kvæmi	Sáningartími og aðrar aths.	Gróðrarstöð	Plöntu-aldur	SEL -25°C %
Okt.	2004	Sitkagreni (1)	Taraldsöy	Seinni sáning	X		-9,00
Nóv.	2004	Sitkagreni (1)	Taraldsöy	Seinni sáning	X		0,66
Okt.	2004	Sitkagreni (2)	Taraldsöy/ Hallormsstaður		X	1/0	8,93
Nóv.	2004	Sitkagreni (2)	Taraldsöy/ Hallormsstaður		X	1/0	3,10
Okt.	2004	Hvítgreni (3)	Kenai		X	2/0	7,06
Nóv.	2004	Hvítgreni (3)	Kenai		X	2/0	0,51
Okt.	2004	Stafafura (4)	Taraldsöy	Seinni sáning	X	1/0	9,15
Nóv.	2004	Stafafura (4)	Taraldsöy	Seinni sáning	X	1/0	5,11
Okt.	2004	Rússalerki (5)	Lassinmaa		X	1/0	9,16
Nóv.	2004	Rússalerki (5)	Lassinmaa		X	1/0	2,74
Okt.	2004	Rússalerki	Lassinmaa	Seinni sáning	X	1/0	-2,44
Okt.	2004	Ilmbjörk (6)	Bæjarstaður	2. sáning	X	1/0	13,37
Nóv.	2004	Ilmbjörk (6)	Bæjarstaður	2. sáning	X	1/0	4,33
Des.	2004	Sitkagreni			Y		2,16

Tafla 2. Niðurstöður úr íslenskum frostþolsprófunum frá árinu 2005. Bókstafirnir X, Y, Z, Q, C og Ö vísa til mismunandi gróðrarstöðva.

Mán.	Ár	Tegund	Kvæmi	Sáningartími og aðrar aths.	Gróðrarstöð	Plöntu-aldur	SEL -25°C %
Nóv.	2005	Hengibirki	Sävar		X	1/0	10,07
Nóv.	2005	Sitkagreni	Seward		X	1/0	1,03
Nóv.	2005	Sitkagreni	Taraldsöy		X	1/0	2,16
Nóv.	2005	Sitkagreni	Taraldsöy		X	2/0	0,95
Nóv.	2005	Sitkagreni	Tumastaðir		X	1/0	1,98
Nóv.	2005	Rauðgreni	Leirfjord		X		0,81
Nóv.	2005	Rússalerki	Lassinmaa		X	1/0	0,83

Tafla 3. Niðurstöður úr íslenskum frostþolsprófunum frá árinu 2006. Bókstafirnir X, Y, Z, Q, C og Ö vísa til mismunandi gróðrarstöðva. Stjörnumerkar plöntur voru hluti af tilraun.

Mán.	Ár	Tegund	Kvæmi	Sáningartími og aðrar aths.	Gróðrarstöð	Plöntu-aldur	SEL -25°C %
25. okt.	2006	Sitkabastarður			Z		4,92
25. okt.	2006	Stafafura			Z		8,16
25. okt.	2006	Stafafura			Z		5,14
Nóv.	2006	Sitkagreni	Seward		X		1,29
Nóv.	2006	Sitkagreni	Seward		X		0,76
Nóv.	2006	Stafafura	Skagway		X		10,10
Nóv.	2006	Sitkagreni	Taraldsöy		X		0,46
Nóv.	2006	Sitkagreni	Tumastaðir		X		2,83
Nóv.	2006	Sitkagreni	Tumastaðir		X		1,46
Nóv.	2006	Sitkagreni*	Tumastaðir	Sáð 10. mars, myrkvað	Q	1/0	1,50
Nóv.	2006	Sitkagreni*	Tumastaðir	Sáð 10. mars, ómyrkvað	Q	1/0	1,27
Nóv.	2006	Stafafura*	Skagway	Sáð 8. mars, ómyrkvað	Q	1/0	7,55
Nóv.	2006	Stafafura*	Skagway	Sáð 8. mars, myrkvað	Q	1/0	6,88
Nóv.	2006	Stafafura*	Skagway	Sáð 7. júlí/ ræktuð inni	Q	1/0	37,79

Tafla 4. Niðurstöður úr íslenskum frostþolsprófunum frá árinu 2007. Sama númer fyrir aftan tegundarheiti gefur til kynna að frostþolsprófun hafi verið endurtekin á viðkomandi plöntum vegna þess að frostþoli var ekki náð í fyrri prófun. Bókstafirnir X, Y, Z, Q, C og Ö vísa til mismunandi gróðrarstöðva.

Mán.	Ár	Tegund	Kvæmi	Sáningartími og aðrar aths.	Gróðrarstöð	Plöntu-aldur	SEL -25°C %
Des.	2007	Stafafura (1)			Y		14,2
21. des.	2007	Stafafura (1)			Y		15,16
10. jan.	2007	Stafafura (1)			Y		20,33
Des.	2007	Sitkagreni (2)			Y		16,15
21. des.	2007	Sitkagreni (2)			Y		14,81
10. jan.	2007	Sitkagreni (2)			Y		28,80
25. jan.	2007	Sitkagreni (2)			Y		6,96
14. feb.	2007	Sitkagreni (2)			Y		0,66
Des.	2007	Rauðgreni	BÖ/3		X		0,21
Des.	2007	Sitkagreni	Tumastaðir		X	1/0	1,03
Des.	2007	Sitkabastarður	Seward		X	2/0	1,91
Des.	2007	Sitkagreni	Tumastaðir		X	1/0	0,60
Des.	2007	Sitkabastarður	Seward		X	1/0	0,43
Des.	2007	Sitkagreni	Seward		X	2/0	1,00

Tafla 5. Niðurstöður úr íslenskum frostþolsprófunum frá árinu 2008. Sama númer fyrir aftan tegundarheiti gefur til kynna að frostþolsprófun hafi verið endurtekin á viðkomandi plöntum vegna þess að frostþoli var ekki náð í fyrri prófun. Bókstafirnir X, Y, Z, Q, C og Ö vísa til mismunandi gróðrarstöðva.

Mán.	Ár	Tegund	Kvæmi	Sáningartími og aðrar aths.	Gróðrarstöð	Plöntu-aldur	SEL -25°C %
Okt.	2008	Sitkagreni	Binna		X		1,04
Okt.	2008	Blágreni	Rio Grande		X		0,51
Okt.	2008	Sitkagreni	Seward		X		2,71
Okt.	2008	Sitkabastarður	Seward		X		0,64
30. okt.	2008	Sitkagreni			Z	1/0	2,78
30. okt.	2008	Sitkagreni			Z	2/0	17,96
30. okt.	2008	Stafafura (1)			Z		13,45
26. nóv.	2008	Stafafura (1)			Z		12,07

Tafla 6. Niðurstöður úr íslenskum frostþolsprófunum frá árinu 2009. Bókstafirnir X, Y, Z, Q, C og Ö vísa til mismunandi gróðrarstöðva.

Mán.	Ár	Tegund	Kvæmi	Sáningartími og aðrar aths.	Gróðrarstöð	Plöntu-aldur	SEL -25°C %
6. nóv.	2009	Blágreni	Rio Grande		X		0,62
6. nóv.	2009	Sitkabastarður	Seward		X		1,22
6. nóv.	2009	Sitkagreni	Seward		X		4,41
6. nóv.	2009	Stafafura	Skagway		X	1/0	2,28
6. nóv.	2009	Rússalerki	Metsä-Ihala		X		-1,62
6. nóv.	2009	Stafafura	Cordova		Z	1/0	18,16
6. nóv.	2009	Sitkagreni			Z	1/0	3,83
6. nóv.	2009	Sitkagreni			Z	2/0	1,88

Tafla 7. Niðurstöður úr íslenskum frostþolsprófunum frá árinu 2010. Bókstafirnir X, Y, Z, Q, C og Ö vísa til mismunandi gróðrarstöðva.

Mán.	Ár	Tegund	Kvæmi	Sáningartími og aðrar aths.	Gróðrarstöð	Plöntu-aldur	SEL -25°C %
10. nóv.	2010	Sitkabastarður	Seward	Sáð í apríl,	X	1/0	0,06
10. nóv.	2010	Sitkagreni	Seward	Sáð í apríl	X	1/0	3,43
10. nóv.	2010	Stafafura	Skagway	Sáð í júlí	X	1/0	5,34
10. nóv.	2010	Sitkabastarður	Seward	Sáð í júní	X	2/0	0,28
22. nóv.	2010	Sitkagreni	Seward		Q	1/0	1,98
22. nóv.	2010	Sitkagreni	Seward		Q	2/0	3,24
22. nóv.	2010	Stafafura	Cordova	Sáð í apríl	Z	1/0	8,9
22. nóv.	2010	Stafafura	Skagway	Sáð í apríl	Z	1/0	2,01
22. nóv.	2010	Sitkagreni	Homer	Sáð í apríl	Z	1/0	1,88
22. nóv.	2010	Sitkagreni	Seward	Sáð í júlí	Z	2/0	3,22
22. nóv.	2010	Sitkagreni	Seward	Sáð í júlí	Z	3/0	1,18

Tafla 8. Niðurstöður úr íslenskum frostþolsprófunum frá árinu 2011. Bókstafirnir X, Y, Z, Q, C og Ö vísa til mismunandi gróðrarstöðva.

Mán.	Ár	Tegund	Kvæmi	Sáningartími og aðrar aths.	Gróðrarstöð	Plöntu-aldur	SEL -25°C %
Nóv.	2011	Rauðgreni	Bo		X	2/0	0,5
Nóv.	2011	Sitkagreni	Seward		X	2/0	-0,21
Nóv.	2011	Sitkagreni	Copper River		X	1/0	0,85
Nóv.	2011	Stafafura	Skagway	fp 67	X	1/0	12,64
Nóv.	2011	Rússalerki	Metsä Ihala	fp 67	X	1/0	6,79
Nóv.	2011	Stafafura	Skagway		Z	1/0	2,33
Nóv.	2011	Stafafura	Cordova		Z	1/0	6,29
Nóv.	2011	Sitkabastarður	Seward		Z	2/0	0,55
Nóv.	2011	Sitkagreni	Homer		Z	1/0	0,87
Nóv.	2011	Sitkabastarður	Seward		Z	3/0	-0,14

Tafla 9. Niðurstöður úr íslenskum frostþolsprófunum frá árinu 2012. Bókstafirnir X, Y, Z, Q, C og Ö vísa til mismunandi gróðrarstöðva.

Mán.	Ár	Tegund	Kvæmi	Sáningartími og aðrar aths.	Gróðrarstöð	Plöntu-aldur	SEL -25°C %
Nóv.	2012	Sitkagreni	Tumastaðir		Z	1/0	1,34
Nóv.	2012	Sitkagreni	Þjórsárdalur		Z	1/0	1,50
Nóv.	2012	Sitkabastarður	Seward		Z	2/0	1,34
Nóv.	2012	Stafafura	Cordova		Z	1/0	4,95

Tafla 10. Niðurstöður úr íslenskum frostþolsprófunum frá árinu 2021 og byrjun árs 2022. Sama númer fyrir aftan tegundarheiti gefur til kynna að frostþolsprófun hafi verið endurtekin á viðkomandi plöntum vegna þess að frostþoli var ekki náð í fyrri prófun. Bókstafirnir X, Y, Z, Q, C og Ö vísa til mismunandi gróðrarstöðva. Stjórnumerkta plöntur voru frystar niður í -16°C. Annars var fryst niður í -25°C eins og hefðbundið er.

Mán.	Ár	Tegund	Kvæmi	Sáningartími og aðrar aths.	Gróðrarstöð	Plöntu-aldur	SEL -25°C %
Okt.	2021	Sitkagreni *	Cordova	Úr köldu húsi	C	1/0	1,4
Okt.	2021	Sitkagreni (1)*	Tumastaðir	Úr heitu húsi	C	1/0	4,4
Okt.	2021	Sitkagreni *	Tumastaðir	Úr köldu húsi	C	1/0	3,2
Okt.	2021	Sitkabastarður*	Haukadalur	Úr köldu húsi	C	1/0	2,1
Des.	2021	Sitkagreni	Cordova/ Þjórsárdalur	Sáð 29. mars	Ö	1/0	0,90
Des.	2021	Sitkabastarður	Haukadalur	Sáð 31. mars	C	1/0	1,13
Des.	2021	Sitkagreni (1)	Tumastaðir	Sáð 31. mars	C	1/0	1,33
Des.	2021	Stafafura (2)	Närlinga	Sáð 21. júní	C	1/0	6,64
Des.	2021	Stafafura (3)	Skagway	Sáð 21. júní	C	1/0	10,26
Jan.	2022	Stafafura (2)	Närlinga	Sáð 21. júní	C	1/0	5,72
Jan.	2022	Stafafura (3)	Skagway	Sáð 21. júní	C	1/0	6,03
Jan.	2022	Stafafura	Skagway	Sáð 15. apríl	C	1/0	2,04
Jan.	2022	Stafafura	Närlinga	Sáð 15. apríl	C	1/0	0,84



Bakkplöntur á plani.
Ljósmynd: Rakel J. Jónsdóttir

