

Rotutveckling och stabilitet

Konferens i Garpenberg

30 september – 1 oktober 1997

Root development and stability

Conference held at Garpenberg, Sweden, 30 September–1 October, 1997

Vetenskaplig redaktör/Scientific editor: Curt Almqvist



Abstract

Root development and stability

Conference held at Garpenberg, Sweden, 30 September–1 October, 1997

This proceedings is a compilation of all presentations given at a Nordic conference dealing with causes and effects as well as possible solutions to improve root development and seedling stability in coniferous seed plants. The report gives an up-to-date description of the knowledge and state of art of the problem in Sweden, Finland, Norway, Denmark and Iceland.

Keywords: Forest; plantation; potted plants; root deformation; seedling production; windfirmness; wind stability.

Ämnesord: Rotutveckling, plantering, plantproduktion, skog, stabilitet, täckrotsplantor, vindstabilitet.

Redaktör: Gunilla Frumerie

Omslag: Anna Marconi

Teckningar: Anna Marconi

Översättning: Raymond W. Lipton

Ansvarig utgivare, VD: Jan Fryk

Tidigare Redogörelser från SkogForsk

1997

- Nr 1 Rosvall, O., Sennerby-Forsse, L.: Framtider i skogen – resultat av ett scenarioprojekt.
- Nr 2 Ring, E.: Miljöeffekter av bränder i skogsekosystem – en litteraturoversikt med Norden i brännpunkten.
- Nr 3 Stener, L.-G.: Förflyttning av björkprovenienser i Sverige.
- Nr 4 Hellström, C.: Dra åt skogen med IT.
- Nr 5 von Hofsten, H.: Plantsättning, plantöverlevnad och planttillväxt – en jämförande studie av manuell plantering kontra maskinell plantering med Silva Nova.
- Nr 6 Aldentun, Y.: Vegetationsregioner i Sverige – en historisk betraktelse.
- Nr 7 Hallonborg, U., von Hofsten, H., Mattsson, S., Thorsén, Å.: Planteringsmaskiner i skogsbruket – en beskrivning av metoder och maskiner.
- Nr 8 Brunberg, T.: Underlag för produktionsnorm för engreppsskördare i gallring.
- Nr 9 Pettersson, F.: Regionala avverkningsberäkningar med olika skogsskötsel- och naturvårdsalternativ – en analys av de produktionsmässiga effekterna av dagens skogsbruksmetoder och miljöanpassning.

1998

- Nr 1 Rosvall, O., Andersson, B., Ericsson, T.: Beslutsunderlag för val av skogsodlingsmaterial i norra Sverige med trädslagsvisa Guider.
- Nr 2 Granlund, P., Andersson, G.: Möt våren med CTI – Studier av virkesfordon utrustade med CTI våren 1997.
- Nr 3 Norin, K., Lidén, E.: Samverkan – den nya entreprenadstrategin.
- Nr 4 Stener, L.-G.: Länsvisa uppgifter om areal och virkesförråd för lövträd – uppgifter baserade på riksskogstaxeringarna 1990–1995.
- Nr 5 Utvecklingskonferens 1998
- Nr 6 Brunberg, B. m.fl.: Uppdragsprojekt Skogsbränsle – slutrapport.

SkogForsk

— Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut

arbetar för långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom SkogForsk står de stora skogsbolagen, skogsägareföreningarna, stift, gods, allmänningar m.fl. som betalar årliga intres-
sentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som
avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder
som ger projektbundet stöd.

Forskning

Centrala framtidsfrågor:

- Produktvärde och produktions-
effektivitet
- Skogsodlingsmaterial
- Miljöanpassat skogsbruk
- Nya organisationsstrukturer

Uppdrag

På de områden där SkogForsk har särskild kompetens utför vi i stor omfattning uppdrag åt
skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter. Det kan gälla speciella utredningar eller an-
passning av utarbetade metoder och rutiner till lokala förhållanden.

Information

För en effektiv spridning av resultaten utnyttjas olika kanaler: Personliga kontakter, kurser, fack-
press, filmer samt egna publikationer i olika serier.

Beställning/distribution

**SKOG
FORSK**

Science Park

751 83 UPPSALA

Tel: 018–18 85 00, Fax: 018–18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

<http://www.skogforsk.se>

© SkogForsk 1998, ISSN 1103–4580

Rotutveckling och stabilitet

Konferens i Garpenberg

30 september – 1 oktober 1997

Root development and stability

Conference held at Garpenberg, Sweden, 30 September–1 October, 1997

Vetenskaplig redaktör/Scientific editor: Curt Almqvist

Förord

Ett mål för alla producenter av skogsplantor är att kunna odla plantor som ger upphov till friska, välväxande och vitala ungskogar. Produktionen av skogsplantor har förändrats radikalt de senaste årtiondena i och med övergången till täckrotsodling och i dag är täckrotsplantor den helt dominerande planttypen i alla de nordiska länderna utom Danmark. Täckrotsplantsystemen har dock brottats med problem med rotutformningen hos plantorna. Plantornas rotutveckling har blivit störd vilket givit problem med rotsnurr och som en följd därav uppkommer stabilitetsproblem. Forskning och utveckling inom området har resulterat i nya plantsystem som har goda förutsättningar att bemästra problemen.

Denna redogörelse är dokumentationen av föredrag och posters från en konferens som anordnades av SkogForsk i samarbete med Nordiska skogsbrukets frö- och plantråd och Högskolan Dalarna för att belysa omfattningen av problemen men rotutveckling och stabilitet i de nordiska länderna samt ge en bild av var forskningen inom detta område står i dag. Konferensen hölls den 30 september – 1 oktober i Garpenberg och 100 personer deltog från plantskolor, myndigheter och andra organisationer i alla de nordiska länderna.

Från SkogForsks sida är vi mycket tacksamma över de stora insatser som de konferensaktiva bidragit med. Vi är också tacksamma för de medel från Nordiska skogsbrukets frö- och plantråd som gjorde att konferensen och denna Redogörelse kunde förverkligas.

Curt Almqvist

Uppsala februari 1998

Innehåll

Sammanfattning	6
Summary	10
Sammanfattning av diskussioner och synpunkter i samband med föredragen	15
Landsvisa genomgångar	
Rotutveckling och stabilitet – problemets omfattning och art i Sverige, <i>Lennart Ackzell</i>	18
Stabilitet i finska ungskogar, <i>Markus Lassbeikki</i>	20
Rotsystem och stabilitet – Statusrapport för Danmark, <i>Bjerne Ditlevsen</i>	23
Rotutveckling och stabilitet – Plantproduktion för överlevnad, växt och stabilitet i Norge, <i>Ketil Kohmann</i>	25
Problem med stabilitet på Island, <i>Sigvaldi Ásgeirsson</i>	29
Föredrag och artiklar	
Rotsystemets stabilitetsmekanik ställer krav på plantodlingsbehållares utformning, <i>Ola Rosvall</i>	32
Rotkomponenter hos plantor av tall- och contortatall odlade i behållare och fritt utvecklade, <i>Ola Rosvall, Tore Ericsson</i>	37
Rotdeformationer och deras konsekvenser för täckrotsplantors etablering och framtida kvalitetsutveckling, <i>Anders Lindström</i>	53
Mykorrhizas roll för rotutvecklingen, <i>Håkan Hultén</i>	63
Barrotsplantornas kvalitet påverkar vindstabiliteten, <i>Christian Nørgård Nielsen</i>	68
Från planta till slutprodukt – Presentation av ett forskningsprojekt, <i>Bengt Persson, Mats Nylinder, Erik G. Ståhl, Anders Lindström</i>	74
Posters	
Rotstudier av planterad gran, <i>Anders Lindström, Lars Håkansson</i>	78
Självbärande substrat för skogsplantodling, <i>Birger Eriksson</i>	82
Rotutveckling hos sådd och planterad contortatall, <i>Göran Rune, Mikael Mattson</i>	86
Rotutformning hos sticklingar och fröplantor av gran, <i>Mats Hannerz, Anders Lindström</i>	92
Är planterade contortataller mer instabila för att plantorna har mer rötter?, <i>Ola Rosvall</i>	97

Contents

Summary	10
Summary of discussions held and comments made during the proceedings ..	15
Reviews by country	
Root development and stability—the scope and nature of the problem in Sweden, <i>Lennart Acksell</i>	18
Stability in young stands in Finland, <i>Markus Lassheikki</i>	20
Root systems and stability—the current situation in Denmark, <i>Bjerne Ditlevsen</i>	23
Root development and stability—producing seedlings for survival, increment and stability in Norway, <i>Ketil Kohmann</i>	25
Seedling-stability problems in Iceland, <i>Sigvaldi Ásgeirsson</i>	29
Papers and other contributions	
Requirements imposed by root-system stability mechanics on container design, <i>Ola Rosvall</i>	32
Root components of containerized and free-growing seedlings of Scots pine and lodgepole pine, <i>Ola Rosvall, Tore Ericsson</i>	37
Root deformation and its implications for container-seedling establishment and future quality development, <i>Anders Lindström</i>	53
The importance of mycorrhiza in root development, <i>Håkan Hultén</i>	63
Wind stability as affected by the quality of bare-root seedlings, <i>Christian Nørgård Nielsen</i>	68
From seedling to end product—a research project, <i>Bengt Persson, Mats Nylinder, Erik G. Ståhl, Anders Lindström</i>	74
Posters	
Studies on the roots of planted Norway spruce, <i>Anders Lindström, Lars Håkansson</i>	78
Self-supporting substrates for seedling systems, <i>Birger Eriksson</i>	82
Root development in lodgepole pine from direct seedling and planting, <i>Göran Rune, Mikael Mattson</i>	86
Root development in cuttings and seedlings of Norway spruce, <i>Mats Hannerz, Anders Lindström</i>	92
Are planted lodgepole pines more unstable because their seedlings have more roots?, <i>Ola Rosvall</i>	97

Sammanfattning

Sammanfattning av konferensföredragen, posters samt av en artikel som ingår i Redogörelsen men inte presenterades vid konferensen.

Landsvisa genomgångar

Rotutveckling och stabilitet – problemets omfattning och art i Sverige

Lennart Acksell

Täckrotsplantor började i användas praktisk skala i Sverige under slutet av 1960-talet. Andelen täckrotsplantor av de producerade plantorna har stadigt ökat från 33 % 1975 till ca 90 % 1995.

Problematiken med rotutveckling och stabilitet började uppmärksammas i slutet av 1970-talet och i början av 1980-talet var Paperpot och plast containrar med slät insida i stort sett borta från marknaden. Den "kritiska" planteringsperioden kan således sägas vara 1970–1983.

I Skogsstyrelsens enkätundersökning 1989 av planteringar 1970–83 framgick att 2 % av den skogsodlade arealen var undermålig p.g.a. problem med instabilitet. Problemet är främst ett norrländskt problem och störst för tall- och contortatall.

Erfarenheterna om eftersläpningen av kunskap om biologiska konsekvenser av denna introduktion av ny teknik bör stämma till försiktighet vid framtida introduktioner av nya tekniker och metoder.

Stabilitet i finska ungskogar

Markus Lassheikki

För ett drygt tjugotal år sedan var "lutningsfenomenet" i tallplanteringar ett debatterat ämne i Finland. Debatten ledde till en kartläggning av problemets omfattning och olika hypoteser framlades om orsaker till fenomenet. Utredningen visade att problemets omfattning var mycket begränsad. Enligt nuvarande uppfattning finns det inte något stabilitetsproblem i de finska ungskogarna. Uppfattningen grundar sig närmast på att det varken finns erfarenheter från praktiken eller forskningsresultat som skulle tyda på ett omfattande problem.

Rotsystem och stabilitet – Statusrapport för Danmark

Bjerne Ditlevsen

I Danmark används nästan uteslutande barrrotsplantor. Barrplantor omskolas vanligen i plantskolan och detta påverkar rotsystemets utformning. Rötterna placeras i en fåra och växer därefter främst längs fåran, vilket leder till ett asymmetriskt och sammanklämt rotsystem.

I skogen planteras plantorna med spade eller med planteringsutrustade lantbruksmaskiner, vilka skär upp en fåra i marken. Vid båda metoderna blir rotsystemet sammanklämt och ensidigt vid planteringen. Detta förstärker den asymmetriska utformningen som rotsystemet fått

redan i plantskolan. Vid maskinell plantering tenderar rötterna dessutom att växa ut mest längs fåran.

I Danmark saknas övergripande sammanställningar av stabilitetsproblem i relation till rotsystemets utformning. I september 1997 utfördes därför en stickprovsundersökning av rotutvecklingen i 2–8 åriga praktiska planteringar av gran och tall. Undersökningen visade att gran utvecklar nya rötter från stambasen inom loppet av några år, speciellt om plantan sattes djupt. Rotdeformationer till följd av planteringen översteg i många fall de som uppkommit i plantskolan. Tallen saknar förmåga att bilda adventivrötter varför existerande rötter fortsätter att tillväxa efter plantering. Så gott som alla tallplantor hade tydligt asymmetrisk rotutveckling. Även för tall spelade planteringsmetoden en viktig roll för rotutvecklingen.

Granen verkar inte få stabilitetsproblem som kan relateras till rotsystemets utveckling tack vare förmågan att bilda adventivrötter.

För tall tar det 10 till 20 år innan den har utvecklat ett symmetriskt rotsystem. Instabiliteten under denna tid leder sällan till stormfällning men påverkar ofta stamformen negativt. På längre sikt verkar tallen kunna bilda ett rotsystem som ger hög stabilitet.

Rotutveckling och stabilitet – Plantproduktion för överlevnad, växt och stabilitet i Norge

Ketil Kohmann

Utvecklingen av täckrotsplantsystemet Pottebrett startade i Norge 1971. Pottebrett, en odlingskassett i polyeten, försågs från och med 1979 med styrlistor. I dag produceras årligen ca 50 millioner plantor varav huvuddelen är tvåårig gran.

Instabila plantor är ett välkänt problem i Norge. Fenomenet har främst observerats i planteringar med tall och contortatall och sällan i granplanteringar och då endast på tung lerjord. Contortatallen är speciellt känslig vid plantering på våta uppfrysningbenägna marker och särskilt då plantorna inte planterats tillräckligt djupt.

I en noggrann undersökning av fem planteringar där 340 contortaplantor och 100 granplantor grävdes upp kunde inget samband mellan rotsymmetri och stabilitet hittas.

Författaren tycker också att plantmetod och plantredskap har fått för lite uppmärksamhet och är speciellt betänksam vad avser det omfattande bruket av plantröret Pottiputki som kan lämna plantorna med mycket lite fysiskt stöd de första månaderna.

Problem med stabilitet på Island

Sigvaldi Ásgeirsson

Under 1980-talet planterades i genomsnitt ca 1,1 miljoner plantor per år på Island, och under 90-talet bedöms att planteringen kommer att fördubblas. Andelen contortatall är knappt en fjärdedel. Andelen täckrotsplantor har stadigt ökat för att i slutet på 80-talet vara helt dominerande.

Det trädslag som man är mest oroad för stabiliteten hos är contortatallen. De äldsta planteringarna med täckrotsplantor är ännu bara 2–3 meter höga och de har ännu inte observerats några stabilitetsproblem. I äldre barrotsplanteringar av contortatall är det undantagsvis noterat problem med stabilitet.

Jordarten och typen med markberedning antas ha stor påverkan på rotutveckling och stabilitet hos plantorna. Då jordartsförhållandena på Island är speciella kan inte erfarenheter från Skandinavien direkt överföras till ön.

Föredrag och artiklar

Rotsystemets stabilitetsmekanik ställer krav på plantodlingsbehållares utformning

Ola Rosvall

För att ett träd skall uppnå god stabilitet måste en odlingskassett gynna utvecklingen av själva grundstrukturen i rotsystemet så att första ordningens lateralerötter blir odeformerade, allsidigt riktade och av lämpligt antal, 4-5 stycken. Detta kan uppnås genom att beskära eller retardera lateralerötternas tillväxt (mekaniskt, kemiskt eller genom uttorkning) så att de vid regenereringen efter plantering blir horisontellt riktade från huvudroten.

I föredraget lämnas en översikt över mekaniken i rotsystemets förankring och dess motståndskraft mot vind och snöbelastning. Betydelsen av stagfunktionen i vindsidans rötter betonas både för unga träd med mjuka rötter och äldre träd med styva rötter. För stora träd tillkommer stödfunktionen i läsidans rötter varvid grovleken är avgörande. Eftersom rotmassan är någorlunda konstant ger få rötter bättre stöd än många, medan antal och grovlek har mindre betydelse för dragmotståndet.

Hos ett ostört rotsystem utvecklas grundstrukturen med vitt utbredda horisontella lateralerötter i radiell symmetri från en vertikal huvudrot redan de första åren. De finare rötterna ökar markkontakten och därmed den sammanlagda vikten av rot-jordsystemet. Allt som hämmar denna utveckling, t.ex. hög vattenhalt i marken, diken eller rotdeformation vid odling i behållare, förändrar rotsystemets grundstruktur och därmed dess mekaniska stag- och stödfunktion. Hos vissa arter t.ex. gran kan deformationer repareras genom nybildning av lateralerötter. Tallarter saknar emellertid denna förmåga, varför defekter från plantodling och plantering blir bestående under avsevärd tid, kanske trädets hela livslängd.

Rotkomponenter hos plantor av tall- och contortatall odlade i behållare och fritt utvecklade

Ola Rosvall och Tore Ericsson

Rotutvecklingen i behållare jämfört med fri rotutveckling studerades på plantor av tall och contortatall av vardera tre olika proveniensier. Contortatall med lägre fröviktt men högre tillväxthastighet hade samma totala biomassa som tall efter 7 veckor och mellan 11 och 161 % högre biomassa vid odlingsssäsongens slut. Reducerat växtutrymme och luftbeskärning av rötterna i upphöjda behållare med styrlister reducerade kraftigt den totala biomassan, rotbiomassan och rotlängden.

Huvudroten nådde behållarens botten före 8 veckor och behöll samma längd under resten av odlingen. Lateralrötterna nådde botten efter 12 veckor, behöll samma längd i ytterligare 4 veckor men hade i det närmaste dubbel längd efter 24 och 30 veckor. Om sådana rötter, odlade i en behållare med diametern 4,4 cm, sträcks ut, motsvarar de en diameter om 40 cm, att jämföra med rotsystem efter fri rotning, vilka på samma tid får diametern 100 cm.

Behållarodlad contortatall hade, jämfört med tall, liknande rot/skottkvot och rotlängder men större total rotbiomassa, vilket var mer uttalat i lateralerötterna än i huvudroten, och högre rotvikt per längdenhet. Fritt växande plantor av contortatall fick lammasskott och producerade mycket mera total biomassa men med reducerad rot/skottkvot. Artskillnaden var likartad för alla proveniensier men varierade i storlek.

Contortatallens snabba rottillväxt kan vid behållarodling ge värre rotdeformation med påföljande reduktion av trädets stabilitet.

Rotdeformationer och deras konsekvenser för täckrotsplantors etablering och framtida kvalitetsutveckling

Anders Lindström

Uppsatsen sammanfattar resultat och slutsatser som framkommit under årens lopp från svensk forskning kring instabilitet och rotdeformation i unga täckrotsplanteringar.

Orsakerna till rotdeformationer och därav orsakade stabilitetsproblem är mycket komplexa. Ett flertal faktorer samverkar och påverkar varandra. Hur plantorna odlas i plantskolan (odlingssystem, odlingstid, rotbeskärningsteknik m.m.) påverkar förutsättningarna för plantor att kunna etablera ett väl fungerande rotsystem efter plantering.

Planteringsmetod, val av planteringspunkt, markbehandling, marktyp m.m. är också faktorer som påverkar trädets framtida stabilitet.

Effekterna av rotdeformationer är flera. Fiberstörningar i stambasen ger ökad risk för brott i infästningen mellan rot och stam, ökad risk för svampinfektioner och kan orsaka tillväxtnedsättningar. Instabiliteten leder också till basala stamkrökar eller högre belägna krökar.

Det saknas i dag prognoser på det framtida kvalitetsutfallet av planteringar med olika grad av instabilitet orsakade av rotdeformationer.

Mykorrhizas roll för rotutvecklingen

Håkan Hultén

Anförandet fokuserar mykorrhizasymbiosen och dess effekter på rotutvecklingen under plantskoletiden och hur detta kan påverka tallplantans framtida stabilitet.

Vid institutionen för skogsproduktion, SLU, har rotdeformationer och plantors stabilitetsproblem studerats under lång tid. Grundläggande kunskapsuppbyggnad och omfattande teoribildningar inom plantetableringsområdet har nu nått så långt att vi känner oss mogna att kunna söka förklaringar till bl.a. varför och hur rotdeformationer uppstår på plantorna i plantskolan, vilket senare leder till instabilitet hos de planterade plantorna.

I våra skogar samarbetar alla tallar (inklusive de flesta övriga trädslag) med mykorrhizasvampar. Det är med svamparnas hjälp som träden får tillgång till vatten och mineralnäring. Mykorrhizasvamparna är en del av "rotsystemet" och påverkar också rotens utseende och morfologi. Roten kommer att omfatta ett stort antal kortrötter men bara en mycket begränsad mängd långrötter. Samarbetet mellan värd och svamp startar normalt tidigt och mycket tyder på att detta också är anledningen till att en självföryngrad tallplanta har så få stödjande sidorötter.

När tallen odlas som täckrotsplanta i våra skogsplantaskolor tillämpar vi sådana odlingssätt som medför att vi hämmar mykorrhizasvamparnas möjligheter att infektera rötterna. Rotsystemet kommer därigenom att fungera på ett helt annat sätt än i skogen. Utan infektion och med den avvikande rotfunktionen utbildas inte heller kortrötter utan rotsystemet kommer att bestå av en stor mängd långrötter. Denna typ av avvikande rotmorfologi misstänks vara en viktig anledning till att rotdeformationer uppstår under odlingstiden vid täckrotsodling och som efter plantering kan ge upphov till stabilitetsproblem.

Ett projekt har startat vid institutionen för skogsproduktion vid SLU som bl.a. testar de uppställda hypoteserna.

Barrotsplantornas kvalitet påverkar vindstabiliteten

Christian Nørgård Nielsen

Uppsatsen sammanfattar resultat från undersökningar av rotsystemets symmetri hos planteringar av barrotsplantor av gran, tall och ädelgranarter i Danmark.

Av största betydelse för ett trädets stabilitet är förankringssystemets elastiska belastningsgräns, vilket är det största moment systemet kan klara utan att bli skadat. Förankringssystemets styrka består av flera komponenter:

- ♦ Trädets förmåga att bilda en stor och tung rot-jord-platta.
- ♦ Rötternas dragstyrka på vindsidan.
- ♦ Rötternas böjmotstånd på läsidan av trädet.

För alla förankningskomponenterna är rotsystemets symmetri mycket avgörande. Överstiger vinkeln mellan huvudrötterna 120 grader minskar alla komponenter drastiskt i storlek.

En markant och generell förbättring av rotsystemets symmetri kan iakttagas med trädens stigande ålder. Även

en minskad variation i rotsymmetri inom ett bestånd erhålls med trädens stigande ålder.

Förbättringen av rotsystemets symmetri på lång sikt är en följd av följande mekanismer:

- ♦ Bildning av nya rötter.
- ♦ Differentiering mellan rötter, d.v.s. nya huvudrötter utkristalliseras.
- ♦ Adaptiv rottillväxt som kompenserar för oregelbunden rotfördelning.

Granarterna ersätter i de flesta fall det rotsystem som de har med sig från plantskolan med ett nytt rotsystem, uppbyggt av adventivrötter, under de första 5 åren efter utplantering. Det nya rotsystemet får oftast en godtagbar symmetri.

Tall- och ädelgranarterna har ingen eller liten förmåga att bilda adventivrötter. Hos dessa arter kan nya rötter uppstå på följande sätt hos barrotsplantor:

- ♦ Vilande rotprimordier (anlag till sidorötter) utvecklas under goda förhållanden.
- ♦ Bakom en död rotspets på långrötterna bildas i regel två eller flera nya rötter.
- ♦ Vid barrotsproduktion rotbeskärs plantorna. Från den därigenom bildade kallusvävnaden uppstår nya rötter vid den fortsatta odlingen. Kanske kan nya rötter bildas från sådan kallusvävnad även efter utplantering i fält (oprövad hypotes).

Efter 20–30 år i fält har de flesta plantor utvecklat ett tillfredsställande symmetriskt rotsystem, vad beträffar antal och fördelning av rötter. Denna slutsats bekräftas av att det i Centraleuropa, Storbritannien och Danmark inte har iakttagits några väsentliga stabilitetsproblem som kan hänföras till barrotsplantorna.

Från planta till slutprodukt – Presentation av ett forskningsprojekt

Bengt Persson, Mats Nylinder, Erik G. Ståhl och Anders Lindström

Anförandet beskriver tankarna bakom ett pågående samarbetsprojekt mellan forskargruppen vid skogsindustriella enheten, Högskolan Dalarna och institutionen för virkeslära vid SLU. Målet med projektet är att:

- ♦ Utveckla odlings- och planteringssystem så att framtida stabilitetsproblem kan minimeras.
- ♦ Kvantifiera omfattningen av stabilitetsproblem samt deras effekter på trädens utveckling samt ved- och massaegenskaper.
- ♦ Utveckla mätmetoder för att på unga plantor prognostisera framtida kvalitetsutfall.
- ♦ Utforma skötsel- och åtgärdsprogram som optimerar förräntningen av instabila bestånd.

Posters

Rotstudier av planterad gran

Anders Lindström och Lars Håkansson

Gran anses vara mindre känslig för rotdeformationer än tall, vilket kan bero på dess förmåga att bilda adventivrötter. Olika behållarsystem för täckrotsodling kan dock

ge olika rotutveckling hos plantorna. I studien undersöktes förekomsten av rotdeformationer hos planterad gran. Man jämförde också rotutvecklingen i fält hos gran som odlats i olika behållarsystem.

Resultaten visar att gran har lägre frekvens stamkrökar än vad tall haft i tidigare utförda motsvarande studier. Granens rotsystem påverkas dock av odlingsbehållarens utformning och i vissa fall kan rotdeformationer iaktas 12 år efter plantering. Granplantor vars rötter beskars i plantskolan fick få rotdeformationer i fält. Frekvensen ytliga rhizomorfer av *Armillaria spp.* var högre i bestånd med rotdeformationer.

Självbärande substrat för skogsplantodling

Birger Eriksson

Ett plantodlingssystem för skogsplantor där odlingssubstratet är självbärande och dimensionsstabil skulle kunna innebära många fördelar. Rätt använt skulle det t.ex. kunna innebära mindre rotdeformationer jämfört med dagens täckrotsodlingssystem, lägre plantodlingskostnader och bättre förutsättningar för en lyckad utveckling av maskinell omskolning och maskinell plantering.

I dag finns det några plantodlingssystem där odlingsenheten skulle kunna karakteriseras som självbärande. Studier och tester av dessa odlingsystem i svenska skogsplantaskolor och i praktiskt svenskt skogsbruk är mycket sparsamt förekommande. En biologisk, teknisk och ekonomisk utvärdering av dessa system är därför önskvärd.

Det har på många håll gjorts prov och tester med att armera torv på olika sätt. Olika typer av bindemedel, syntetiska och biologiska fibrer med olika fiberlängder är substanser som använts i dessa tester. Inget försök har dock lett fram till någon produkt som är optimal från både grönings-, odlings- och dimensionsstabilitetssynpunkt. De försök som gjorts har dock gett en sådan baskunskap inom området att det är troligt att en FoU-satsning skulle leda fram till ett dimensionsstabil, biologiskt och tekniskt bra plantodlingssubstrat.

Rotutveckling hos sådd och planterad contortatall

Göran Rune och Mikael Mattson

Syftet med denna undersökning var att studera det biologiska resultatet av de två metoderna manuell plantering och maskinell radsådd av contorta. De undersökta bestånden var mellan 7 och 12 år gamla. Undersökningen omfattar 4 sådder (sådd X) och 3 planteringar (plant X) i Hälsingland och 5 sådder (sådd Z) och 3 planteringar (plant Z) i Härjedalen.

Rotkvaliteten var betydligt bättre för de sådda plantorna. Planterade plantor hade störst antal snurrade rötter i förhållande till totala rotantalet. Plant X med största andelen rotsnurr hade 21 gånger så många snurrade rötter som sådd Z som hade lägst andel. Rotansvällning saknades helt hos de sådda plantorna medan plant X och plant Z uppvisade rotansvällning hos 87 respektive 65 % av plantorna. Utvecklad pålrot förekom hos 70 % av de sådda plantorna jämfört med endast 35 respektive 10 % för

plant X och plant Z. De sådda plantorna hade även större andel grova rötter i förhållande till stamdiametern 10 cm ovan jordbandet. Sådda plantor i både Hälsingland och Härjedalen hade cirka 45 % fler rötter med diameter >15 % av stubbdiametern än de planterade plantorna

De sådda plantorna uppvisade en bättre stabilitet än de planterade. Vid stabilitetstestet noterades ingen påverkan hos de sådda plantorna. Nästan hälften av plant X-plantorna uppvisade någon form av defekt. Cirka 7 % av plant Z-plantorna drabbades av defekter.

De sådda bestånden hade cirka 70 % fler raka stammar än de planterade bestånden. Plant X hade basalkrök hos 27 % av plantorna, medan den saknades helt hos sådd X. I Härjedalen var motsvarande siffror 50 respektive 4 %.

Rotutformning hos sticklingar och fröplantor av gran

Mats Hannerz och Anders Lindström

I denna studie jämförs rotsystemen hos sticklingar och fröplantor i ett 15-årigt fältförsök för att se om skillnader i rotsystemens utformning föreligger mellan de båda planttyperna, och om denna skillnad i så fall kan förväntas påverka stabiliteten hos träden. I försöket ingår täckrotsodlade sticklingar och fröplantor odlade i olika kruksystem. Försöket anlades våren 1982 i Salsta, 2 mil norr om Uppsala. Provtagningar för rotanalyser gjordes våren 1997 för två av systemen – Hiko V-50 (volym 50 cm³) respektive Paperpot 608 (volym 173 cm³).

Sticklingarna var i genomsnitt något högre och hade signifikant större brösthöjdsdiameter än fröplantorna. Denna storlekskillnad avspeglar sig också i att sticklingarna hade signifikant högre rotvikt och rotarea. En tendens fanns att sticklingarna hade mindre avsmalning från rothals till brösthöjd än fröplantorna. Sticklingarna hade en något större rotarea vid samma rothalsdiameter. Ensidighet och rotantal skilde sig inte mellan planttyperna. Rötternas fördelning i djupled visade inte heller något skillnad mellan sticklingar och fröplantor.

En slutsats av studien är att det inte föreligger några sådana skillnader i rotsystemen mellan sticklingar och fröplantor att de kan påverka trädens stabilitet. Denna slutsats stöds av en tjeckisk studie, där rötter hos sticklingar och fröplantor analyserades efter 25 år i fält.

Är planterade contortatallar mer instabila för att plantorna har mer rötter?

Ola Rosvall

Vid jämförande studier av contortatall och tall fann man att contortatallens rotsystem utvecklas snabbare och blir större än tallens. Contortatallens rotsystem blir därigenom mer deformerat vid utplantering om de odlats lika länge som tallplantor i plantskolan. Contortatallen uppvisar också en större variation i tillväxten mellan olika rötter, vilket tillsammans med dess snabba skotttillväxt kan vara en förklaring till minskad stabilitet.

Summary

Reviews by country

Root development and stability—the scope and nature of the problem in Sweden

Lennart Acksell

The use of container seedlings on a practical scale in Sweden started at the end of the 1960s. The proportion of nursery seedlings accounted for by container seedlings grew from 33% in 1975 to approximately 90% in 1995.

The problems associated with root development and stability started to become apparent in the late 1970s and, by the early 1980s, Paperpot and plastic containers with smooth inner surfaces had almost disappeared from the market. So we can say that the critical planting period is 1970–1983.

In 1989, the National Board of Forestry conducted a questionnaire survey on plantings carried out during that critical period. The findings showed that 2% of the planted area was below the required standard owing to problems of instability. The problem was mainly confined to plantings in the north of the country and largely affected Scots pine and lodgepole pine.

The inadequate knowledge of the biological consequences resulting from the introduction of the new container-seedling technique should serve to underline the need for caution when new technology and methods are implemented in future.

Stability in young stands in Finland

Markus Lassheikki

Twenty years ago or so, the problem of leaning trees in plantations of Scots pine was being widely discussed in Finland. Work was therefore carried out to determine the scope of the problem and a number of hypotheses on the causes were advanced. The study concluded that the extent of the problem was very limited and, today, the generally held view is that stability in young stands in Finland is not a problem. This view is largely based on there being neither practical experience nor any research findings to indicate the existence of the problem on a large scale.

Root systems and stability—the current situation in Denmark

Bjerne Ditlevsen

In Denmark, bare-root seedlings are used almost exclusively. The seedlings are usually transplanted in the nursery, which influences the development of the root system. The roots are placed in a furrow and tend to grow along it, which gives rise to asymmetrical and compacted root systems.

In the field, the seedlings are planted out either by spade or by farm machinery equipped with planting units that cut a furrow in the soil. Both methods result in compacted, asymmetrical root systems, which reinforces the asymmetry that the roots acquired in the nursery. Mechanized planting also tends to result in the roots growing along the furrow.

No general research had been done in Denmark on the problem of stability in relation to root development. Therefore, a survey based on random sampling of root development in commercial plantations of Scots pine and Norway spruce, between two and eight years old, was carried out in September 1997. It was found that spruce seedlings often develop new roots from the base of the stem after a few years, particularly if the seedlings have been planted deeply. Root deformity after outplanting was often greater than that occurring in the nursery. Because pine seedlings are not able to develop adventitious roots, the existing roots continue to grow after outplanting. Almost all of the pine seedlings exhibited pronounced asymmetrical root development and, as for spruce, the planting method used affected root development.

Spruce seedlings do not seem to be affected by stability problems related to the development of the root system, thanks to their ability to develop adventitious roots.

It takes 10–20 years for pine trees to develop a symmetrical root system. Instability during this period seldom results in windthrow, but often has an adverse effect on stem form. In time, it seems that pine can develop root systems that give high stability.

Root development and stability—producing seedlings for survival, increment and stability in Norway

Ketil Kohmann

Work on the development of a container-seedling system known as Pottebrett started in Norway in 1971. The Pottebrett system, which consists of a polyethylene germination tray, was equipped with ribs or guide strips in 1979. Some 50 million seedlings are produced a year, the majority of which are two-year-old spruce seedlings.

Seedling instability is a recognized problem in Norway. It has mainly been seen in plantations of Scots pine and lodgepole pine, and has seldom been observed in Norway-spruce plantations and then only on heavy, clayey soils. Lodgepole pine is particularly vulnerable on marshy land, especially if the seedlings have not been planted deeply enough.

No correlation between root symmetry and stability could be found in a comprehensive study of five plantations, in which 340 lodgepole-pine seedlings and 100 Norway-spruce seedlings were dug up.

The author claims that too little attention has been drawn to the planting methods and the equipment and is especially concerned about the extended use of the planting tube "Pottiputki" which might leave the plants with little physical support the first months.

Seedling-stability problems in Iceland Sigvaldi Ásgeirsson

Approximately 1.1 million seedlings a year were planted in Iceland during the 1980s, a figure that is likely to have doubled in the 1990s. Lodgepole pine accounts for about a quarter of these. The proportion of container seedlings used increased steadily and container seedlings were totally dominant by the end of the 1980s.

Instability problems are mostly a worry in lodgepole pine. The oldest plantations of container seedlings are still only 2–3 metres in height and, so far, no stability problems have been observed. In older plantations of bare-root seedlings of lodgepole pine, stability problems have been the exception.

The soil type and the nature of the scarification employed are assumed to have an important influence on root development and seedling stability. However, since the soil conditions in Iceland are very different to those in the rest of Scandinavia, the experience gained in the other countries cannot be applied "as is" to Iceland's forest land.

Papers and other contributions

Requirements imposed by root-system stability mechanics on container design

Ola Rosvall

For a tree to achieve good stability, the seedling container must promote sound development of the basic structure of the root system, i.e., with the optimal number (4 or 5) of first-order lateral roots in radial symmetry and free from deformity. This can be achieved in the nursery by pruning, or by retarding the growth of the laterals (mechanically, chemically or by desiccation), so that they will be aligned horizontally relative to the primary root after outplanting.

This conference address also gives an outline of the anchoring mechanics of a root system and its resistance to wind and snow loads. The importance of the stay function of the roots on the windward side is underlined for young trees with soft roots and for older trees with stiff roots. The bending resistance function of the leeward roots is also important in large trees, with the thickness of the roots being decisive here. Since the root mass is fairly constant, a small number of roots will give greater stability than a large number, while the number and thickness are of lesser importance to tensile resistance.

In an untouched root system, the basic structure consisting of widely spread horizontal lateral roots, which exhibit radial symmetry around a vertical primary root is reached within a few years. Finer roots increase the area of contact with the ground and thereby the combined weight of the root-soil mass. Anything that impedes this development, e.g., high soil moisture content, ditches or

root deformity resulting from container-grown stock, will change the basic structure of the root system and thus its mechanical stabilizing and support functions. Root deformity is repaired naturally in some species, e.g., Norway spruce, through the sprouting of new laterals. Pine species, however, lack this ability, which means that defects occurring during the nursery stage and on outplanting will persist for a long time, possibly throughout the life of the tree.

Root components of containerized and free-growing seedlings of Scots pine and lodgepole pine

Ola Rosvall & Tore Ericsson

Seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm.) growing in containers and trays (free-rooted) were compared in terms of root development using three provenances of each species. Lodgepole pine, which has a lower seed weight but faster growth rate, had the same total biomass as Scots pine after 8 weeks but had 11–161% more biomass by the end of the season. Limited growing space in containers with steering ribs together with air pruning of the roots at the bottom of elevated container-sets strongly reduced the total biomass, root biomass and root length.

The primary root reached the bottom of the container within 8 weeks, whereupon its length growth stopped. The lateral roots reached the bottom after 12 weeks and remained the same length for another 4 weeks, but then started growing again and had almost doubled in length by weeks 24 and 30. When spread out, root systems of seedlings grown in the 4.4-cm-diameter container had a diameter of 40 cm, whereas free-rooted seedlings had a root system diameter of 100 cm.

Container-grown lodgepole pine and Scots pine had a similar root/shoot ratio and mean root length, but the former had a larger total root biomass and a larger weight per unit root length. The difference in total root biomass was more pronounced for the lateral roots than for the primary root. Free-grown lodgepole pine showed lammas growth and produced much more biomass but had a reduced root/shoot ratio. The species difference was consistent for all provenances although it varied in magnitude.

When lodgepole pine is grown in containers, its fast root growth can lead to more severe root deformation with a consequent reduction in tree stability compared with Scots pine.

Root deformation and its implications for container-seedling establishment and future quality development

Anders Lindström

This article summarizes the results and conclusions of Swedish research over the years on instability and root deformity in young container-seedling plantations.

The causes of root deformation and the resultant stability problems are highly complex, with many factors

interacting. How the seedlings are cultivated in the nursery (production system, growing time, root pruning system, etc.) obviously affects the chances for the seedling to develop an effective root system after outplanting.

The method of planting, the choice of planting spot, scarification, soil type and so on are other factors that can influence the future stability of the trees.

Root deformation has a number of effects. Abnormality in the fibre direction in the stump increases the risk of breakage where the root joins the stem. Root deformation may also increase, and also the risk of fungal infections and retarded growth. Instability also leads to crooks in the base of the stem or higher up.

No predictions have been made of the impact on the future quality yield of plantations having varying levels of instability caused by root deformation.

The importance of mycorrhiza in root development

Håkan Hultén

The lecture deals with mycorrhizal symbiosis and its effects on root development in the nursery, and how this can influence the future stability of pine seedlings.

The Department of Forest Yield Research at the Swedish University of Agricultural Sciences has studied root deformation and seedling stability for many years. Accumulated knowledge and theoretical developments in the field of seedling establishment have now reached a point at which we can begin to explain why and how root deformities occur in the nursery, which later lead to instability after seedlings have been planted out.

In Swedish forests, all pines (as well as most other tree species) exhibit mycorrhizal symbiosis. With the help of the fungal component, trees gain access to water and mineral nutrients. Mycorrhizal fungi are part of the “root system”, and also influence its appearance and morphology. The root system will eventually consist of a large number of short roots, but only a very limited number of long roots. The association between host and fungus usually begins early, which suggests that this is why naturally regenerated pine seedlings have few supporting lateral roots.

When pine plants are produced as container seedlings in the nursery, the methods used interfere with the ability of the mycorrhizal fungus to infect the roots. Such root systems will consequently function very differently from those in the forest. In the absence of fungal infection and with a deviant root function, the root system fails to develop short roots, but does develop a large number of long roots. We suspect that such deviant root morphology contributes largely to the development of root deformities during the production of container seedlings, and after planting-out, may give rise to instability.

The department has started a research project, one of the aims of which is to test these hypotheses.

Wind stability as affected by the quality of bare-root seedlings

Christian Nørgård Nielsen

This paper summarizes the findings of studies carried out in Denmark on the symmetry of root systems in plantations of bare-root seedlings of Norway spruce, Scots pine and some noble species of spruce.

The elastic limit of the anchoring system, i.e., the maximum moment that the system can withstand without sustaining damage, is of critical importance to the stability of a tree. The strength of the anchoring system consists of several components:

- ♦ The ability of the tree to form a large and heavy mass of roots and soil
- ♦ The tensile strength of the roots on the windward side of the tree
- ♦ The bending strength of the roots on the leeward side of the tree

The symmetry of the root system is important and influences all the anchorage components. If the angle between the dominating roots is greater than 120°, the magnitude of all the components will be greatly reduced.

A marked, general improvement in the symmetry of the root system can be seen as a tree gets older. Similarly, the variation in root symmetry in a stand decreases with increasing stand age.

The improved root symmetry that occurs over a long period is attributable to the following mechanisms:

- ♦ Development of new roots
- ♦ Differentiation of roots, i.e., the primary roots crystallize out
- ♦ Adaptive root growth that compensates for irregular root configuration

During the first five years after outplanting, the majority of spruce species replace the root system developed in the nursery with a new one, made up of adventitious roots, the symmetry of which is usually satisfactory.

Scots pine and the noble species of spruce have either no—or a very limited—ability to develop adventitious roots. On bare-root seedlings belonging to these species, new roots can develop as follows:

- ♦ Development of new “normal” lateral roots on an existing root is initiated in the pericycle of the root.
- ♦ Two or three new roots usually grow behind the dead root cap on a long root
- ♦ Root-pruning is performed during the production of bare-root seedlings. During subsequent development, new roots spring from the calluses caused by the pruning. It is conceivable that new roots could also develop from the calluses after outplanting (untested hypothesis).

After 20–30 years in the field, most of the seedlings will have developed a symmetrical root system that has both enough roots and a satisfactory configuration. Confirmation of this conclusion is given by the fact that no significant stability problems that can be attributed to bare-root seedlings have been observed in central Europe, Britain or Denmark.

From seedling to end product—a research project

Bengt Persson, Mats Nylinder, Erik G. Ståhl & Anders Lindström

This paper explains the thinking behind an ongoing collaborative project between the department of forest industri at Högskolan Dalarna and the department of wood technology at the Swedish University of Agricultural Sciences (SLU). The objectives of the project are as follows:

- ♦ To develop seedling-production and planting systems that will minimize future problems of stability.
- ♦ To quantify the extent of stability problems and their effects on tree development and the properties of timber and pulp.
- ♦ To develop measuring methods that can be used on young trees for the prediction of quality yield.
- ♦ To formulate management plans that will optimize the return from unstable stands.

Posters

Studies on the roots of planted Norway spruce

Anders Lindström & Lars Håkansson

Norway spruce is considered to be less sensitive to root deformation than Scots pine, which is believed to be associated with the ability of spruce to develop adventitious roots. However, different seedling-container systems can give rise to a different pattern of root development on the seedlings. We investigated the occurrence of root deformation on planted seedlings of Norway spruce and compared the root development in the field of spruce seedlings from different container systems.

We found that the frequency of crooked stems was lower for spruce than had been found for pine in other similar studies. However, the root system of spruce seedlings is affected by the design of the container, and root deformation can sometimes be observed 12 years after planting. Spruce seedlings that had their roots pruned in the nursery exhibited little root deformity in the field. The incidence of surface rhizomorphs of *Armillaria spp.* was higher in stands with root deformation.

Self-supporting substrates for seedling systems

Birger Eriksson

A production system for forest-tree seedlings in which the growing substrate is both self-supporting and dimensionally stable would offer many advantages. Used properly, it could reduce the extent of root deformity compared with today's container-seedling systems, reduce production costs and facilitate the development of successful mechanized transplanting and outplanting.

A few seedling-production systems in which the rooting medium could be termed self-supporting do exist today, although studies and tests of these systems in Swedish

nurseries and in practical forestry are thin on the ground. A biological, technical and economic assessment of these systems is therefore desirable.

Numerous trials and tests on various types of reinforcement for peat rooting compound have been carried out. A variety of bonding agents and synthetic and natural fibres of different lengths have been used in the tests. However, none of the tests has resulted in a product that is optimal in terms of germination, growth and dimensional stability. Yet the basic knowledge that we have accumulated from the tests makes it likely that such a product could be found if an R & D programme were initiated.

Root development in lodgepole pine from direct seeding and planting

Göran Rune & Mikael Mattson

The aim of this project was to study the biological results of two methods for establishing lodgepole-pine stands, i.e., manual planting and mechanized sowing (drilling). The stands studied were between seven and twelve years old. The sites studied were located in two counties in northern Sweden: four seeded stands (Drill-X) and three planted stands (Plant-X) in Hälsingland, and five seeded stands (Drill-Z) and three planted stands (Plant-Z) in Härjedalen.

The quality of the roots was much higher on seedlings from drilling. The planted seedlings had a higher proportion of spiralled roots relative to the total number of roots. Plant-X, which had the highest incidence of root spiralling, had 21 times the number of spiralled roots as Drill-X, which had the lowest proportion. There was no root swelling among the seedlings in the seeded stands, whereas Plant-X and Plant-Z exhibited root swelling in 87% and 65% of the seedlings. Taproots had developed on 70% of the seedlings in the seeded stands, as against 35% and 10% in Plant-X and Plant-Z. The seedlings in the seeded stands also had a higher proportion of thick roots relative to the stem diameter 10cm above the ground. In both Hälsingland and Härjedalen, the seedlings in the seeded stands had approximately 45% more roots with a diameter greater than 15% of the stem diameter than the planted seedlings.

The seedlings in the seeded stands exhibited greater stability than the planted ones. No effects at all were noted in the stability tests from the seedlings in the seeded stands, whereas almost half of the seedlings in Plant-X, and 7% of those in Plant-Z, exhibited some form of defect.

The seeded stands had some 70% more straight stems than the planted stands. Twenty-seven per cent of the seedlings in Plant-X exhibited basal crooks, whereas there were none at all in Drill-X. The corresponding figures for Plant-Z and Drill-Z were 50% and 4%.

Root development in cuttings and seedlings of Norway spruce

Mats Hannerz & Anders Lindström

This study compared the root systems of cuttings and seedlings in a 15-year trial to determine whether there were differences between the root systems of the different plant types and, if so, whether the difference is likely to affect the stability of the trees. The trial involved containerized cuttings and seedlings grown in different pot systems. It was set up in spring 1982, at a site 20 km north of Uppsala in central Sweden. Sampling for root analysis was carried out in spring 1997 for two of the systems: the Hiko V-50 (50 cm³) and the Paperpot 608 (173 cm³).

On average, the cuttings were taller and had a significantly larger breast-height diameter than the seedlings. This difference in size was also reflected in the greater root mass and root area of the cuttings. The cuttings tended to exhibit less taper from the root collar to breast height than the seedlings, and also had a slightly larger root area at the same collar diameter. There were no differences between the plant types in asymmetry or root number, nor in the distribution of the roots in depth.

One conclusion to be drawn from the study is that there were no differences between the root systems of the cuttings and seedlings that could impact on stability. This finding is also supported by a Czech study, in which the roots of cuttings and seedlings were analysed after 25 years in the field.

Are planted lodgepole pines more unstable because their seedlings have more roots?

Ola Rosvall

Comparative studies of lodgepole pine and Scots pine have revealed that the root system of lodgepole pine develops faster than that of Scots pine and quickly outgrows it. This means that the root system on lodgepole pine exhibits greater deformity on outplanting if the seedlings have been grown for the same time in the nursery. Similarly, lodgepole pine has a wider variation in growth between different roots, which, coupled with its fast-growing shoots, could explain its inferior stability.

Sammanfattning av diskussioner och synpunkter i samband med föredragen

Henrik von Hofsten

I de inledande anförandena av representanter från de nordiska ländernas skogsbruk antyds att problemet med rotsnurr och därav följande stabilitetsproblem inte betraktas som särskilt stort. I Sverige däremot, anses problemen på vissa håll vara så omfattande att det äventyrar förnyringarnas framtid.

Förklaringen till de olika synsätten kan sannolikt sökas på flera olika håll där odlingsystemet bara är en del av det komplexa problemområdet. Andra faktorer såsom planteringsmetod, markberedning, jordart och trädslag påverkar rotutvecklingen på ett komplext och många gånger svårförutsägbart sätt.

Vad gäller trädslag finns en avgörande skillnad mellan tallarterna (*Pinus sp.*), ädelgranarna (*Abies sp.*) och gran (*Picea abies*). Gran tycks närmast regelmässigt utveckla ett helt nytt rotsystem efter plantering. Detta utgår från en punkt på stammen strax under marknivån och sprider sig symmetriskt från plantan. Granens förmåga att bilda dessa adventivrötter underlättas av djup plantering, då en större del av stammen kommer under marknivån, vilket ger en längre rothals varifrån rötterna kan sprida sig. Tallarterna, däremot, bildar aldrig adventivrötter, vilket medför att tallen måste bygga vidare på det rotsystem den hade med sig från plantskolan. Ett ofta mer eller mindre påverkat rotsystem, vad gäller spridning och symmetri. Ädelgranarna bildar adventivrötter men endast i begränsad omfattning och betydligt långsammare än (*Picea abies*) gran (Nielsen, Ditlevsen, Lindström)

Ett nyckelord vad gäller plantans, och senare trädets, stabilitet är just symmetri; att ett lagom antal huvudrötter sprider sig symmetriskt utifrån stambasen, och att dessa rötter är väl ansatta (d.v.s. rakfibrigt) vid stammen så att inga brottanvisningar bildas. Rötterna på den unga plantan stabiliserar genom sin elasticitet och ”drar” plantan mot upprätt läge, medan det vuxna trädets rotsystem i stället stöttar trädet och håller det upprätt genom sitt böjmotstånd (Rosvall).

Alla plantor som odlas i plantskola för vidare plantering i fält får sina rotsystem mer eller mindre påverkade av odlingsättet (Lindström). Man vill gärna tro att barrotsplantors rötter inte påverkas i nämnvärd grad, men alltför många tecken tyder på att så inte är fallet. En vanlig form av deformation av barrotsplantans rotsystem är enkelsidigheten, det vill säga rötterna följer det spår som planterings- och/eller omskolningsmaskinen gjort. Resultatet blir ett endimensionellt rotsystem med dålig stabiliseringsförmåga (Nielsen, Ditlevsen).

För täckrotsplantorna uppkommer rotdeformationen något annorlunda. I plantskolan växer rötterna ut tills de möter ett fast föremål – odlingsbehållarens vägg – där de börjar följa odlingskrukans vägg vertikalt eller horisontellt.

Ett sätt att hindra detta växtsätt är att låta rötterna växa fritt mellan odlingskrukorna och sedan säga av dem (mekanisk beskärning) i samband med paketering eller stoppa rötterna då de når odlingskrukans kant. Det senare kan ske genom luftbeskärning eller genom kemisk beskärning (Lindström).

Vad dessa beskärningsmetoder betyder för det fullvuxna trädet är ännu inte tillfullo klarlagt, då inga plantor odlade i sådana behållare nått mogen ålder. De studier som gjorts antyder dock att rotsystemen utvecklas, om inte normalt så åtminstone, mycket bättre än med tidigare odlingsystem (Lindström). Vad gäller den mekaniska beskärningen finns vissa farhågor vad gäller den framtida stabiliteten. En avsågad rot bildar vanligen två nya rötter, utgående från en punkt strax innanför kapstället. Efter kapningen bildas således dubbelt så många huvudrötter, men med den nackdelen att de bara blir hälften så grova som den enda huvudroten skulle ha blivit. Fysikens lagar gör gällande att de två rötterna, på grund av den mindre tvärsnittsarean, bara har cirka hälften så stort böjmotstånd som den enda huvudroten, vilket kan leda till stabilitetsproblem. Detta är dock ännu inte påvisat i empiriska försök.

I det tidigare har huvudsakligen odlingskrukans och odlingsättets inverkan på rotsystemet diskuterats, men det finns en rad andra faktorer som också påverkar rötternas utbredning i olika omfattning.

Planteringsmetoden kan påverka rotsystemet på många olika sätt beroende på vilken metod som används. En vanlig rotdeformation som uppstår vid plantering, främst av barrotsplantor, är att rotsystemet blir platt sett i vertikallängd. Anledningen är ofta att man med en hacka eller motsvarande tar upp ett hål eller närmast en spricka i marken där rötterna pressas ner, i värsta fall dubbelvikta. Därefter trampas ”sprickan” igen med resultat att rotsystemet plattas ut än mer mellan två komprimerade jordsidor. Den naturliga tillväxtriktningen för rötterna blir då i ”sprickans” längdriktning, vilket än mer förvärrar rotdeformationen. Maskinell plantering på åkermark leder ofta till ovan beskrivna deformation (Nielsen, Ditlevsen).

Liknande problem kan även uppstå vid plantering av täckrotsplantor med rör. Sedan den koniska spetsen slagits ner i marken pressas konen ut till att bilda en cylinder innan plantan släpps ner och tilltryckning sker. Tilltryckningen sker ofta från en av de två sidor som redan kompakterats då spetsen öppnades.

Markberedningen och plantans placering i markberedningen kan i vissa situationer påverka rötternas utbredning. Rötterna på en planta som placeras i ”gångjärnet” på en markberedd hög växer i regel in i den luftiga, näringsrika och varma högen i stället för ned under gropen

på motsatta sidan. Resultatet blir gärna en ”ankfot” med rötter åt endast ett håll. Fenomenet kan accentueras kraftigt vid t.ex. hyggesplöjning, där plantorna satts på terrassen nära diket. Detta närmast omöjliggör rottillväxt åt dikesidan till (Lindström).

För att återvända till början av detta diskussionsavsnitt kan det tänkas att en del av skillnaden i uppfattning av rotsnurr mellan de nordiska länderna kan härledas till de dominerande trädslagen i respektive land. Bland de nordiska länderna utanför Sverige har granen varit det huvudsakliga trädslaget i samband med föryngring genom plantering. Granens förmåga att bilda adventivrötter har då sannolikt lett till att rotdeformationer inte uppmärksammas som något stort problem i dessa länder, medan Sverige och Åland föryngrat med en relativt hög andel tall, varför problemet uppmärksammas mer här.

En nytillkommen potentiell risk för rotdeformationer är den ökade användningen av mekaniska snytbaggskydd. Flera av dessa består av någon form av hylsa eller liknande, vilken träs över plantan och en bit ner på rotklumpen. Hur detta påverkar rotsystemet är i dagsläget inte känt, men hypotetiskt kan man befara en viss risk för rotdeformationer inte minst hos gran som skjuter adventivrötter från rothalsen. Dessa rötter kommer då i direkt kontakt med skyddet, vilket är konstruerat för att hålla i två

till tre år och torde under denna tid vara mer eller mindre ogenomträngligt för plantans rötter.

Vad leder då rotdeformation till förutom till den självklara risken att trädet blåser omkull?

Ett fenomen som flera av föredragshållarna behandlat är uppkomsten av stambaskrök (Lindström, Nielsen, Rosvall, Nylinder m.fl.). Denna uppstår i ett tidigt skede och beror dels på att den ännu inte helt rotade plantan böjs av väder och vind, dels på dålig plantering. Stammen rätar sig dock snart men med en tydlig krök längst ner. I olyckliga fall kan plantan krökas på flera ställen och i olika riktningar. Orsaken torde helt och hållet kunna tillskrivas det deformerade rotsystemet som inte förmår att stabilisera plantan tillräckligt. Följden av dessa krökar är ännu inte helt utredd men en tydlig tendens till tjurved, ovalitet och mörkgrön färg framträder redan i förstagallringar (Nylinder m.fl.).

En annan skada som direkt kan hänföras till det deformerade rotsystemet är angrepp av olika svampar främst honungsskivling (*Armillaria spp.*). Då det unga trädet svajar i vinden bildas små sprickor kring rothalsen på grund av den störda fiberriktningen. Honungsskivlingen angriper i dessa sprickor och kan i vissa fall helt strangulera trädet (Lindström).

Hur kan vi motverka rotdeformation?

Att odlingen av de unga plantorna betyder mycket för det framtida rotsystemets utseende är ställt utom all tvivel. Dock finns i dagsläget tillräcklig kunskap om rötternas morfologi för att de värsta deformationerna skall kunna undvikas.

Med moderna odlingsbehållare där rötterna beskärs eller hindras att växa i stället för att styras kan problemet avstyras under den tid det tar för plantan att växa upp till planteringsbar storlek (Lindström). Men även i de modernaste odlingskrukorna är det av största vikt att inte odlingstiderna för aktuell krukstorlek överskrids.

En möjlig väg att minska rottillväxten till såväl längd som antal kan vara att gynna tillkomsten av mykorrhiza redan i plantskolan. Mykorrhizainfektionerade plantrötter får ett helt annat utseende och även funktion än icke infekterade rötter, eftersom mykorrhizan sköter en stor del av det näringsupptag plantan annars måste klara med egna rötter (Hultén). Den totala rotmassan blir på så sätt betydligt

mindre än hos normalt odlade plantor. Mykorrhizans effekt på rotutvecklingen i plantskolemiljö är dock ännu inte helt utforskad.

Avslutningsvis kan konstateras att kunskapen i stort om rotdeformationens orsaker och inverkan är god, även om många detaljer återstår att klarlägga. Det kan dock konstateras att rotdeformationer nästan helt kan undvikas om

- ♦ plantan odlas i en modern odlingsbehållare med beskärning av rötterna i stället för styrning.
- ♦ plantorna inte odlas för länge i en för liten behållare.
- ♦ planteringen sker på ett sätt som inte kompakterar planteringshålets väggar.
- ♦ planteringspunkten väljs så att rötterna har fritt spelrum åt alla håll.
- ♦ markbehandling utförs på täta, kalla jordar.

Landvisa genomgångar

Rotutveckling och stabilitet – problemets omfattning och art i Sverige

Lennart Ackzell

Inledning

Problemen med rotdeformationer och stabilitet är viktiga att uppmärksamma. Plantering är en viktig metod och därför viktig för svensk skogsföryngring. Detta är ett mycket väsentligt område för den svenska skogspolitiken.

Bakgrund

I samband med att det svenska skogsbruket genomförde en omfattande mekanisering på avverkningssidan under 60-talet undersöktes även möjligheterna inom återväxtarbetet till rationaliseringar. Detta utmynnade i slutet av 60-talet till att täckrotsplantan introducerades. Denna fick snabb ökad användning främst för tall i vår norra landsända. Täckrotsplantan tredubblade planteringsprestationen och vann snabbt popularitet. Tidiga tester på Skogshögskolan visade inte på några problem.

Planteringsutveckling

Plantering som skogsodlingsmetod tredubblades under perioden 1955–1985 (150 milj. respektive 450 milj. planter), se figur 1. Därefter sjönk plantätgången till ca 300 miljoner planter till mitten av 90-talet.

Andelen täckrotsplanter av de producerade plantorna ökade från den 1 mars 1975 till 1995 med ca 90 %, se figur 1. De plantodlingssystem som användes för täckrotsodling under 70-talet var främst Paperpot (70 %), Kopparfors (25 %) och Cellpot (2 %). Under 70-talet planterades ca 150 miljoner täckrotsplanter årligen.

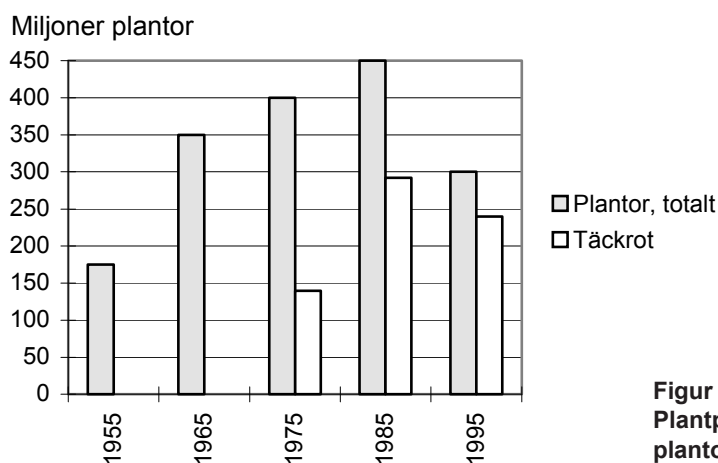
När problemen med rotutveckling och stabilitet började påtalas ersattes dessa behållartyper av andra eller av utvecklade varianter. I början av 80-talet var Paperpot och plastcontainrar med slät insida i stort sett borta från marknaden. Den ”kritiska” planteringsperioden kan således sägas vara 1970–1983.

Problem och orsaker

Skogsstyrelsen utförde 1989 en enkät där planteringar utförda 1970–1983 omfattades. Det framgick att 2 % av den skogsodlade arealen var undermålig beroende på instabilitetsproblem. Här togs inte hänsyn till andra konsekvenser av täckrotsplantering som stambaskrök och inte heller till möjliga framtida instabilitetsproblem.

Problemet är främst norrländskt. Där var det främst planteringar med tall och contortatall som drabbats.

Orsakerna till uppkomna stabilitetsproblem är förmodligen ofta en komplicerad kombination av olämplig behållarutformning, för lång odlingstid i plantskolan, olämplig planteringsteknik, olämplig ståndort för trädslaget, uppfrysning m.m. En aldrig så bra behållare för ettåriga plantor blir dålig om man av någon anledning odlar 3- eller 4-åriga plantor i samma behållare. Dessutom är problemet trädslagsberoende, då granrötter har förmågan att bilda nya adventivrötter, vilket tallarterna saknar. Skogsstyrelsen anser att det lokalt och kanske även regionalt är ett stort problem, men i ett nationellt perspektiv är dåliga självföryngringar och vilt- och insektsskador ett större föryngringsproblem.



Figur 1. Plantproduktionsutvecklingen och andelen täckrotsplanter i Sverige mellan 1955 och 1995.

Kunskapsbehov

Mer kunskap om rotutveckling och orsakssamband vid rotdeformationer behövs. Detta är ett mer framåtsiktande angreppssätt än att t.ex. utföra inventeringar i stor skala. Det viktiga är att vi lär för framtiden.

Skogsstyrelsen har i år finansierat en utvärdering av försök utlagda 1991 ”Stabil framtidskog” för att ge ökad kunskap om de olika samspelande faktorerna vid rotdeformationer. Skogsstyrelsen beklagar att vi inte längre har forskningspengar som med fördel kunde ha använts för ytterligare utredningar i frågan.

Erfarenheter

Erfarenheterna av problematiken kring 70-talets plantproduktion skall användas för att liknande, förhastade introduceranden av icke färdigutprovad teknik undviks. En vanligt använd referens är Wibäck från 1923, som beskriver tyska rationaliseringssträvanden med spettplantering, vilka ledde till rotdeformationer.

Vi lever i en värld där ekonomin trycker på, tekniken ger möjligheter medan kunskapen om de biologiska konsekvenserna inte hinner med.

Stabilitet i finska ungskogar

Markus Lassheikki

Debatten på 1970-talet

Tidpunkten för debatten i mitten av 1970-talet sammanföll med en period av intensiv skogsodling då planteringen som en omfattande skogsodlingsmetod var rätt ny (figur 1). Från mitten av 1960-talet ökade planteringen på såddens bekostnad. Inom loppet av några år ökade plantproduktionen med nästan 100 miljoner plantor (figur 2). Att det uppstår kvalitetsproblem vid perioder av snabb produktionsökning är ett bekant mönster från de flesta branscher. Andelen täckrotsplantor ökade markant först under 1980-talet (figur 3). Odling av contortatall har inte uppnått någon nämnvärd omfattning i Finland.

Utredning om omfattningen

Till följd av den livliga debatten påbörjade Skogsforskningsinstitutet år 1974 i samarbete med privatskogbruket, statsskogarna och skogsindustriolen en utredning av lutningsfenomenets omfattning och art i olika delar av Finland. Utredningen omfattade 94 %, d.v.s. 441 av landets städer och kommuner.

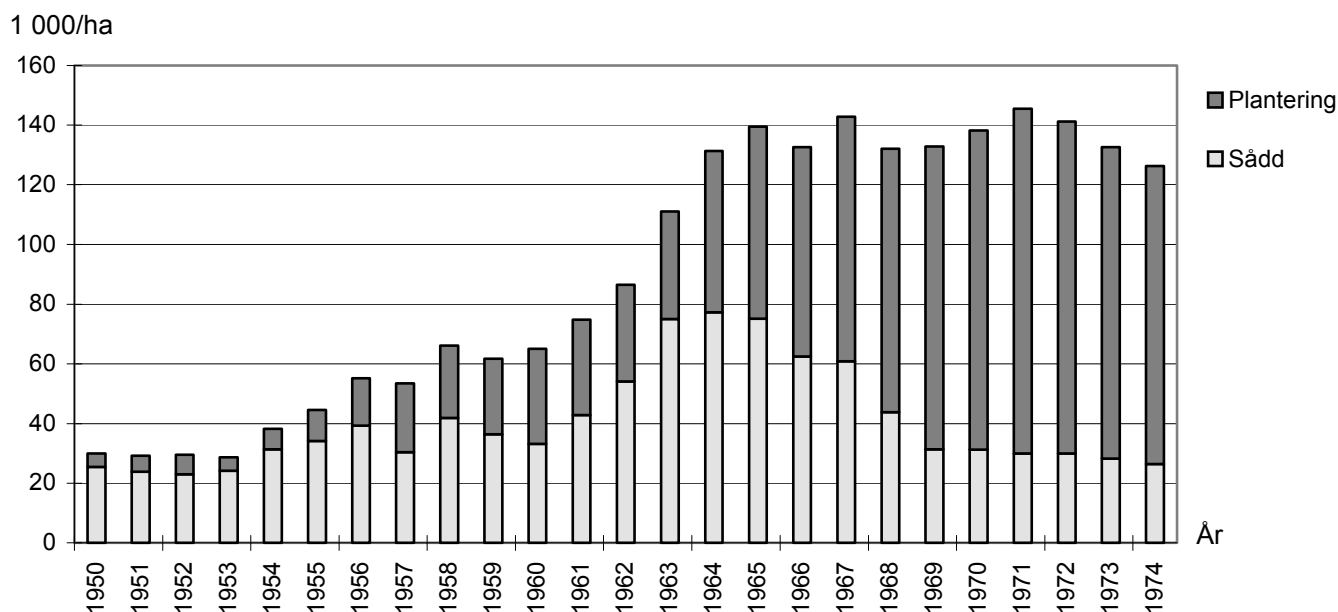
Utredningen är återgiven i en särskild publikation (Huuri, 1976) och dess huvudresultat är följande:

- ♦ Av de 441 kommuner som var med i utredningen kunde 70 % inte observera någon lutning på planterade tallar. I en fjärdedel av de kommuner och städer

i vilka det förekom lutning, meddelade man att fenomenet förekom i högst var tionde tallplantering. Oftare än så förekom lutningsfenomenet i endast 5,5 % av de kommuner där lutning observerats.

- ♦ Lutande plantor förekom över hela Finland, men med en klar koncentration i sydvästra och nordöstra delarna av landet. I en del kommuner kunde lutningsfenomenet observeras i t.o.m. 40–60 % av alla tallplanteringar.
- ♦ I drygt 20 % av alla de kommuner där lutning observerades, förekom lutning i så liten utsträckning att lutande stammar kunde avlägsnas i samband med gallring, utan risk för en för stor utglesning. I 6,6 % av kommunerna förekom lutande träd så allmänt att avlägsnande av lutande stammar hade lämnat plantbestånden luckiga. I endast 0,6 % av kommunerna hade avlägsnande av stammarna medfört ett behov att återplantera området. I de flesta kommuner (92,8 %) saknade fenomenet praktisk betydelse enligt fältpersonalens synpunkt.

Man ansåg att lutningsfenomenet vanligen berodde på en felaktig plantering med hacka. En annan bidragande orsak ansågs vara plantering för nära plogfåran på markberedda ytor. Lutningsfenomenet förknippades därtill med fuktiga, finfördelade och steniga jordar. Åtminstone i sydvästra Finland var det till stor del frågan om åkerplanteringar med tall på finfördelade jordar.



Figur 1.
Skogsodling i Finland 1950–1974.

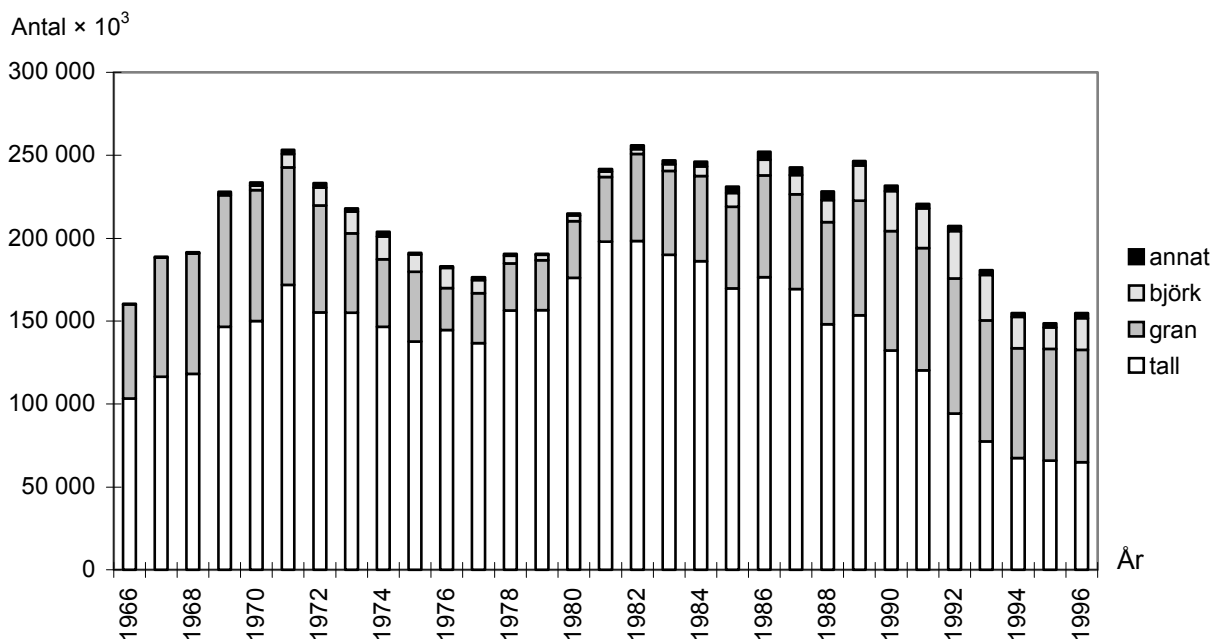
Resultaten från utredningen visade alltså, att problemets omfattning var mycket begränsad. Man kan anta, att denna utredning i stor utsträckning tog luften ur diskussionen med följden att diskussionen inte heller senare kommit igång.

Fortlöpande uppföljningsverksamhet

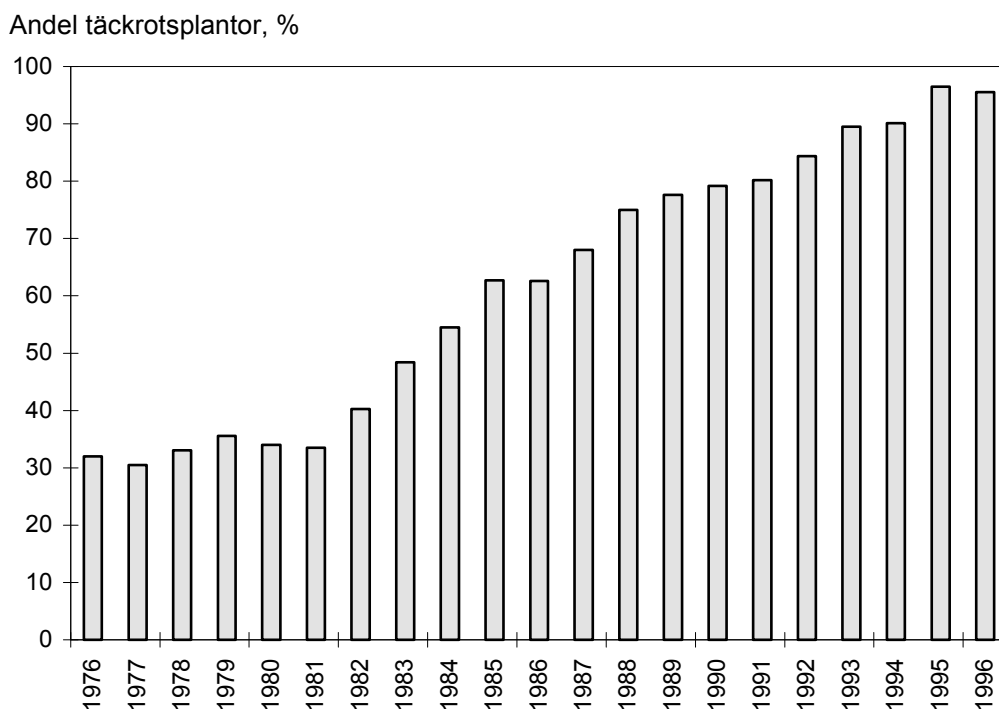
Från början av 1997 gäller ny skogslagstiftning i Finland. Skogsmyndigheten, d.v.s. de regionala skogscentralerna har sedan länge verkställt en uppföljning av de arbeten som

utförs i skogarna. För vissa arbetslag, t.ex. vård av ungskog och stamkvistning kan utbetalas finansiellt bidrag enligt den s.k. finansieringslagen, som ersätter den gamla skogsförbättringslagen. Bland annat för att garantera en ändamålsenlig medelsanvändning och ett kvalitativt bra arbete, tillämpas en regelbunden uppföljningsverksamhet. Därtill finns en regelbunden uppföljning av gallringsavverkningar, som grundar sig på obligatorisk avverkningsanmälan.

Uppföljningen utförs enligt ett system som utvecklats och koordineras av Tapio. År 1996 inventerades ungefär 600 beståndsavdelningar plantskogsskötsel och drygt 400



Figur 2. Plantproduktion per trädslag i Finland åren 1966–1996.



Figur 3. Andel täckrotsplantor av tallplantproduktionen i Finland åren 1976–1996.

avdelningar av arbetslaget ”vård av ungskog”. Resultaten från uppföljningsverksamheten visar, att vid en röjning vid fyra meters höjd är den kvarstående planttätheten cirka 2 000 plantor/ha. Tätheten är således god. I fråga om vård av ungskog är den kvarstående tätheten i allmänhet på nivå god. Allmänt taget är bestånden snarare något för täta än för glesa.

Uppföljningen utförs inte med samma exakthet som arbetsmetodiken inom forskningen, men den ger i alla fall vid handen, att det skogsvårdsmässiga läget både vad beträffar kvalitet och täthet i allmänhet är bra i de skogar som behandlats med skogsvårdsåtgärder. Om stabiliteten vore ett stort problem, vore det naturligt att detta skulle ta sig uttryck i glesa och kvalitativt dåliga ungskogar. Detta är som sagt inte fallet.

En snabb kontroll hösten 1997 med de skogscentraler på vars områden problemet upplevdes vara värst i mitten av 1970-talet gav vid handen, att man numera inte uppfattar att det skulle finnas ett stabilitetsproblem i ungskogarna.

Inga forskningsresultat

Den skadeinventering som utförs av Skogsforskningsinstitutet i samband med riksskogstaxeringen ger inte indikationer på att det skulle finnas ett stabilitetsproblem.

Enligt riksskogstaxeringen är de vanligaste skogsskadorna toppskador (8,4 %), rotstående döda träd (3,3 %), rötskador (2,8 %) och defoliering (2,1 %). Omkullfallna och brustna träd finns på 1,6 % av skogsmarkens areal.

Av skadeorsakerna är det framför allt snö, vind och andra klimatfaktorer som har betydelse, men även svampsjukdomar och däggdjur är betydande skadegörare på skog. Dessvärre är det svårt att urskilja vad som kan vara förorsakat av ett svagt utvecklat rotsystem. Man kan anta, att åtminstone en del av snö- och stormskadorna beror på svaga rotsystem.

Markberedningen viktig

I en nyligen publicerad finsk forskningsrapport (Rautiainen och Kubin, 1997) hade man utrett rotsystemets utveckling med fyra olika planttyper i ej markberedd samt i harvad och i plöjd mark. Plantslagen var Paperpot utan och med papper, Ecopot samt Vapo-plantans prototyp.

Rotsystemet var bäst i Vapo-systemet och mest deformerat i Paperpot, i vilket papperet begränsade rotsystemets utveckling. Avlägsnande av papperet ökade inte rotsystemets tillväxt i ej markberedd jord och minskade inte deformationen av rotsystemet. Rotsnurr förekom i ringa utsträckning hos alla planttyper.

Markberedningen hade en positiv effekt för rotsystemets utveckling. En månad efter utplantering hade plantorna i plöjd mark dubbelt så mycket rötter som gått igenom papperet som plantorna på provytor som fläckmarkberetts med hacka. En ökning av andelen fina jordpartiklar minskade rotsystemets penetrering genom papperet, vilket var tydligast i icke markberedd jord. Avlägsnande av paperpotplantans papper påverkade inte märkbart plantans överlevnad, längdtillväxt eller stabilitet.

Slutsats

Uppföljningsverksamheten och riksskogstaxeringen ger inte indikationer som skulle tyda på ett omfattande stabilitetsproblem. Sammanfattningsvis kan konstateras, att det enligt nuvarande uppfattning inte finns ett stabilitetsproblem i de finska ungskogarna, eller snarare, man har inte sådan erfarenhetsmässig kunskap eller sådana forskningsresultat som skulle påvisa att det är ett allvarligt problem.

Utvecklingen av ny plantodlingsmetodik och -teknik, ett noggrannare planteringsarbete och en bättre ståndortsanpassning kan emellertid anses vara följder av stabilitetsdiskussionen på 1970-talet.

Referenser

- Huuri, O. 1976. Kallistumisilmiö istutusmänniköissä; tiedustelun tuloksia. Tilting of planted pines; survey results. *Folia Forestalia* 265.
- Rautiainen, E. & Kubin, E. 1997. Männyn paakkutaimien juuriston rakenne eri tavoin muokatussa metsämaassa Pohjois-Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja-Folia Forestalia* 1/1997.

Rodsystem og stabilitet – Statusrapport for Danmark

Bjerne Ditlevsen

Planteproduktion

I Danmark anvendes næsten udelukkende barrodsplanter. For nåletræsarterne foretages der almindeligvis en omprikling i produktionsprocessen, hvorimod løvtræplanterne normalt produceres færdigt på såbeddet.

Specielt ompriklingen har indflydelse på rodsystemets udformning. Rødderne placeres i en rille, og der er tendens til fortsat vækst på langs i rillen. Resultatet er ofte et "sammenklemt" rodsystem. Herudover er der en tendens til at rødderne udvikles ensidigt som følge af maskinpriklingen.

Rodbeskæringen vil med den nuværende teknik ikke beskære rødderne i rillerne. Resultatet af denne produktionsmetode vil derfor i mange tilfælde være et asymmetrisk (ensidigt, "sammenklemt") rodsystem.

Plantemetoder

I skovene, hvor der ikke kan anvendes plantemaskine¹, er det normalt at plante med spade (skripning). Planterne sættes ned i en smal revne i jorden og trampes fast. Hvis planterne i forvejen har et "sammenklemt" rodsystem, vil denne plantningsmetode medføre en yderligere sammenpresning af rodsystemet, og den asymmetriske udformning vil blive forstærket. Ved anvendelse af skrippeplantning opstår meget let yderligere deformation af rødderne i forbindelse med selve plantningen. Dette gælder først og fremmest i de tilfælde, hvor planterne har for lange rødder.

Ved anvendelse af plantemaskine vil der være den samme tendens, idet planterne placeres i en smal fure. Udover en sammenpresning af rødderne er der tendens til en ensidig rodspølse i plantefuren.

Stikprøveundersøgelse af eksisterende plantninger

Der foreligger ikke i Danmark en tværgående sammenstilling af stabilitetsproblemer i relation til rodsystemets udformning. I begyndelsen af september 1997 blev der foretaget stikprøvevise undersøgelser af rodsystemets udvikling i 4–8 år gamle plantninger med rødgran hhv. skovfyr. Tilsammen blev der taget stikprøver i 24 plantninger fordelt på 4 jyske skovdistrikter. Undersøgelsen er simpel i sit oplæg og tjener udelukkende formålet at få en indikation af rodudviklingen efter udplantning samt dermed en vurdering af evt. stabilitetsproblemer.

¹ Avser planteringsutrustede landbruksmaskiner som pløjer en fåra i vilken plantorna sätts. (Reds .anm.)

Rødgran

Stikprøverne viste, at rødgran (som forventet) i løbet af få år udvikler nye rødder fra stammebasis. Rodsystemet fra planteskolen var efter få år vanskeligt at erkende. Mange af planterne var plantet dybt, og adventivroddannelsen ved stammebasis var betydelig.

Selve plantningsmetoden ser ud til at kunne påvirke rodsystemets udformning i længere tid. Både skripningen og maskinplantningen sammenpresser rødderne, og selv med en kraftig ny roddannelse er der tendens til, at rodvæksten sker i skrippen eller på langs i plantefuren.

Undersøgelsen gav i øvrigt mange eksempler på, at der ved selve plantningen opstår roddeformationer som i omfang ofte overstiger deformationer fra planteskolen. Specielt i tilfælde med længere rødder fra planteskolen er det, eksempelvis ved skripning, i praksis næsten umuligt at undgå deformationer. Disse deformationer kan være tæt sammentrykkede rødder i bunden af skrippen eller det kan være næsten u-formede rødder.

Skovfyr

Stikprøverne viste, at skovfyr i de første år efter udplantninger har rodvækst ud fra de eksisterende rødder. Der var kun enkelte tilfælde af sammensnøring af rødder om stammebasis.

I så godt som alle de undersøgte planter var der en tydelig assymetrisk rodudvikling. Dette må delvis tilskrives det forhold, at rodvæksten sker ud fra de eksisterende rødder, hvilket indebærer, at et ensidigt rodsystem fra planteskolen "fastholdes" i de første kulturår.

Som for rødgran spiller plantemetoden også her en betydelig rolle for rodudviklingen. Deformationerne som opstår ved plantningen "repareres" ikke så let som for rødgran.

Problemerkens omfang

For rødgran synes der ikke at være stabilitetsproblemer som kan relateres til rodsystemets udvikling. Rødgranens tendens til i løbet af få år at danne nye rødder må forventes at resultere i udvikling af et symmetrisk rodsystem.

For skovfyr er tendensen til dannelse af nye rødder svagere og rødderne dannes ud fra de eksisterende rødder. Der må derfor forventes at gå en længere periode inden rodsystemet er yderligere udviklet. Der er ved barrodsplanter ringe tendens til rodsnøre. Både roddeformationer, som opstår i planteskolen og deformationer, som

opstår ved selve plantningen, bliver derfor ikke udbedret lige så hurtigt som rødgran. Praktisk erfaring viser, at der går mellem 10 og 20 år, inden der er udviklet et symmetrisk og mere stabilt rodsystem. Ustabiliteten i denne mellemliggende periode fører sjældent til stormfald; men stammeformen påvirkes i mange tilfælde. På lidt længere

sigt vil skovfyrrens rodudvikling give en høj stabilitet. Praksis bekræfter da også, at der ikke forekommer stabilitetsproblemer i fyrreskovene.

For øvrige træarter foreligger der ikke nærmere vurderinger af stabilitetsproblemer i relation til planternes rodsystem.

Rotutvikling og stabilitet – planteproduksjon for overlevelse, vekst og stabilitet i Norge

Ketil Kohmann

Planting i Norge

I forhold til Europa ellers, inkludert Sverige og Danmark, var vi sent ute med skogplanting i Norge. Noe planting med fremmede bartrær er kjent fra siste halvpart av 1700-tallet. Planting av noe omfang startet først fra midten av det 19. århundret. Den første planteskolen ble anlagt i 1868 på Vestlandet. Fra århundreskiftet begynte ”den rasjonelle bledningen” å vinne mer innpass i skogbruket, og både såing og planting ble mer og mer forlatt. Plantingen i skogstrøkene ble minimal; i kyststrøkene kunne produksjonen ligge på ca 10 mill. planter, – i skogstrøkene på ca 5 mill. planter. Etter som bestandsskogbruket så smått begynte å vinne innpass kom plantetallet etter siste verdenskrig opp i ca 20 mill. planter pr. år. I 1964 hadde antallet nådd 100 mill. planter pr. år som ble satt ut på 350 km². Fra 1970–1990 lå plantetallet ganske jevnt på ca 70 mill. planter satt ut på ca 300 km². Dette er godt under halvparten av det areal som årlig legges ut til foryngelse. Mesteparten er gran. I 1996 var ca 4–5 % av plantetallet på ca 50 mill., furu. Andelen av pluggplanter etter direkte såing er pr. 1996 ca 95 % (Fig.1).

Plantetypene

Oppsettet under viser i svært korte trekk de siste 30 års produksjonstyper.

- 1960 Barrotplanter
 - Torvbandplanter
 - Jiffypotplanter
- 1971 Pluggplanter (styroporbrett M83)
 - Paperpot

- 1972 Pluggplanter (polyetylenbrett M95)
 - tallerkenformet bunn, ikke styreribber
 - Torvbrikettplanter
 - KF-planter
- 1979 Pluggplanter (polyetylen/polypropylen M95)
 - bunn som kulesegment
 - styreribber
- 1987 Pluggplanter (polyetylenbrett M60)

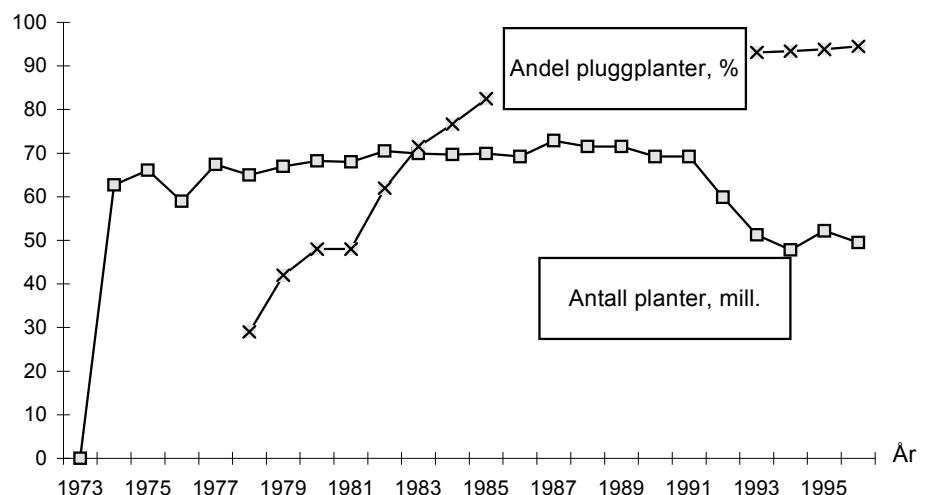
Barrotplanten

Plantetypen var enerådene før 1973, men utgjorde mindre enn 20 prosent av leveransene 10 år senere. I dag er andelen ca 5 prosent og hovedsakelig gran.

Torvbandplante

Torvbandplanten, har vært produsert i liten skala her i landet fra 1967 (Sandvik 1966, Froland 1969, Niiranen 1972) og frem til 1980. Produksjonen er også kjent som Nisula-metoden, etter finnen som tok patent på den maskinelle opprullingsmetoden. Prikleplanter ble rullet inn i en kontinuerlig torvstreng på et plastband. I 1974 ble det imidlertid laget en maskin i Norge som delte opp torvbandet og la plast på begge sider av torv og prikleplante. Plasten ble så sveiset sammen (Froland 1973, Froland 1975). Betegnelsen pottebelte kunne derfor vært en mer beskrivende betegnelse enn torvband. Betegnelsen ble imidlertid torvbrikettplante. Utviklingen foregikk ved Sønsterud planteskole og ble til slutt avløst av nok et priklesystem, KF-planten.

Figur 1.
Antall planter (mill.) og andel pluggplanter (%) produsert i Norge.



KF-planten

Den såkalte KF-planten (Froland 1979) har en del til felles med torvbrikettplanten, men her blir det priklet i ”strips” (i polystyren). Disse ble kjørt etter hverandre på prikke- og torvfyllingsbåndet. Stripsene blir satt inn i en ramme slik at de til sammen utgjør et pottebrett med firkantete potter. KF-pottebrettet ble også laget i styropor. Etter introduksjonen av systemet viste det seg vanskelig å få plantene ferdige på 1 år (2/1 plante) slik intensjonen var, – fordi en vanlig prikkeplante trenger det første år å rote seg på, og den overjordiske utviklingen blir da som regel svak. Plantene har derfor ofte blitt levert som 2/2. I de praktiske opplegg viste det seg imidlertid at etter 2 år var det meste av rotsystemet etablert under pottebrettet og dette førte til at for liten del av rotsystemet ble med ut i skogen, – rotbeskjæringen ble for radikal. Det ble også en del rotsammenvokninger fra potte til potte som voldte teknisk besvær. Dette ført til at det ble lagt inn beskjæringsrutiner på de enkelte strips før levering.

Tilslag og vekst av KF-plantene så ut til å være like variabel som selve produksjonen. Furuproduksjonen (2/1) kunne gi opphav til svært instabile planter, registrert ved 2–3 m høyde.

Paperpot

Paperpot-produksjonen stilte en del spesielle produksjonstekniske krav på grunn av variabel pottegeometri og fordi pottene ikke var selvberende. I tillegg viste det seg at rotsystemet ikke trengte godt nok gjennom ”papiret” etter utplanting (Sandvik, 1972). Det ga derfor opphav til dårlige rotsystem og deformasjoner. I Norge ble paperpot derfor bare prøvet i svært liten utstrekning.

Jiffypotter

Jiffypotter var litt i bruk på 60-tallet. De var laget av komprimert torv som ble fylt med jord eller torv samtidig som det ble priklet inn en toårig prikkeplante. De ble vanligvis dyrket videre i 2 år. Plantene ble dyre i produksjon, transport og utplanting, og på grunn av priklemåten var det lett å lage deformerte rotsystemer. Et slikt felt med instabile lerkeplanter ble registrert på Vestlandet (Sandvik pers. com.). Dersom potten ikke kom helt under bakken, kunne selve torvpotten stikke opp og fungere som en veke som trakk fuktigheten ut. Potteveggen kunne derfor også bli nokså ugjennomtrengelig i en lengre periode.

Jiffy-7

I dag er Jiffy A/S på markedet med sin Jiffy-7 som er en frittstående plugg som sveller opp ved oppvanning. I Canada brukes den en del til skogplanteproduksjon og har vært noe testet i Norge de siste årene.

Pluggplanten M95 og M960

I dagens Norge er det hovedsakelig én plantetype som produseres. Mer enn 90 % av plantene er ”pluggplanter”. Av pluggplanter lages imidlertid vidt forskjellige kvaliteter, delvis bestemt av ”pottebrettet”, og delvis bestemt av dyrkingsmåte for det aktuelle treslag.

Pr. dags dato er det hovedsakelig to bretttyper som er i bruk. Hovedproduksjonen tas i typene M95 og M60 som har målene:

Før 1979 hadde pottebrettet M95 ikke styretribber og hadde mere tallerkenformet bunn.

Fra pluggplantene ble introdusert på markedet har det vært et absolutt ufravikelig krav at det bare skal leveres én plante pr. potte. Det har også vært klare regler for maksimalt tillatt dyrkingstid; Ett år for furu og lerk, to år for gran og edelgran.

Fra undertegnede er det også påpekt det uheldige i sen vårleveranse av ettårige furu fra friland, hvor da nytt årsskudd og store rotmengder da allerede er dannet. Denne veksten bør skje etter utplanting.

Erfaringer og undersøkelser av planter med hensyn på stabilitet

Ettersom det er få undersøkelser på vitenskapelig basis i Norge, kan jeg tillate meg å referere fritt fra en observasjon fra IUFRO-møtet i Vancouver i 1978. Instabilitet var oppe til diskusjon, og en britiske proveniensforsker og genetiker hevdet med styrke at instabilitet i bestandene hadde sin rot (!) i feil og altfor sydlig proveniens, – utlagt: for stor vekst på overjordiske deler i forhold til rotsystemet. Plantedyrkeren la vekt på riktig dyrkingsform, potte og rotform, og det var jo betimelig i hjemlandet til ”the bullet”. Til slutt kom skogbrukere med sine synspunkter på plantemåte, planteredskap og jordsmonnsfaktorene.

Undersøkelser om stabilitet i relasjon til plantetype og plantemåte har lange tradisjoner; Von Ducker (1883) gikk imot bruk av omskolte planter og faktisk mot planting av

Tabell 1

Produksjonstype	M95	M60
Ytre mål	30 x 40 x 8,5 cm	30 x 40 x 8,5 cm
Øvre diameter	32 mm	40 mm
Pottebunn	avrundet kulesegment	avrundet kulesegment
Drenshell	11 mm	11 mm
Styretribber	fra 1979: 5 stk	5 stk
Volum	50 cm ³	75 cm ³
Plantetetthet	792 pl/m ²	500 pl/m ²
Antall pl. i brettet	95	60

fur overhodet. I stedet anbefalte han såing eller bruk av "klumpplanting" med uomskolte planter, altså direkte såing i potte. Siden da har diskusjonen dukket opp med mellomrom, for eksempel i Sverige, Lindberg, (1920) og Wibeck (1923), og så igjen fra 1970-tallet (f.eks. Hultén, H. & Jansson, K.-Å., 1978).

I 1981 var det forrige Nordisk Symposium med emne "Rotdeformasjoner hos Skogsplanter". Den norske plante- og etableringsforsker fra midten på 50-årene, Martin Sandvik fulgte særlig de svenske stranguleringshypotesene og etterhvert stabilitets- og rotbrudds- observasjoner og teorier årvåkent. På dette symposiet la han imidlertid frem forsøksresultater om faktorer som er i inngrep med problemene; "Rotvekstkapasitet og rotvekstbetingelser".

Sandvik (1978) skriver at "rotdeformasjoner forekommer ved alle former for planting, og at det er store variasjoner både mellom og innen forskjellige typer enten det gjelder dekkrot – eller barrot-planter. Dette forteller at heller ikke stabilitetsproblemet kan løses ved valg av produksjonstype".

I 1979 skriver Kohmann (1979) at "dagens rotsnurrdebatt i hovedsak dreier seg om betydningen av forkultiveringsmetode og pottetype. I sin mest outrerte form føres debatten isolert fra treslag, jordsmonnstype og plantemåte. Det ville være rimelig om utplantingsteknikk og planteredskap i større grad ble sett i sammenheng med eventuelle etableringsproblemer og rotdeformasjoner". Det refereres til plantedybden som helt vesentlig. I forsøk hadde dypt plantet gran langt bedre overjordisk utvikling enn planter som var satt grunt, – samtidig som rotsystemet hadde utviklet nye lateralrøtter over hypocotylen. Også contortaplantar som ikke har adventivrottdannelse fra frøbladpunktet, slik som gran, hadde i en praktisk planting rette skudd ved dyp planting og slengete skudd ved grunn planting, der pluggen hang løst i det øvre (rå)humuslaget. Feltet kunne senere oppvise store stabilitetsproblemer. Ved grunn planting eller oppfrost (ikke sjelden ved markberedning) vil plantene dessverre opprettholde livet så sant bare en liten del av rotsystemet har kontakt med jord.

Etter litteraturstudium i 1987 skriver Sandvik:

1. Rotetablering og stabilitet varierer mellom treslag. Furuartene er mest følsomme på grunn av rask toppvekst i ungdomsfasen og manglende evne til å danne adventivrøtter. Innen furuartene er *P. contorta* særlig utsatt for instabilitet i en viss utviklingsfase.
2. Rotdeformasjoner – eller rotlesjoner – forekommer etter alle former for utplanting. Graden av rotdeformasjon varierer med pottetypeforming og dyrkingssystem for øvrig, jordart og planteutførelse.
3. Hos pluggplanter skjer rot-etableringen etter utplanting i alt vesentlig fra underkant og/eller overkant av pluggen, avhengig av treslag, plantingsdybde samt porøsitet og dreneringsforhold i jorda. I dyrkingssystemer uten hel vegg derimot, skjer rotetablering i alle nivåer fra "pluggen". Dette gir en sikrere forankring i alle retninger.
4. Instabilitet er et fenomen som opptrer i den første utviklingsfasen i en planting, opp til 1–2 m høyde. Tett jord, dårlig dreneringsforhold og utførelse av plant-

ingen er de viktigste årsaksfaktorene. Rotdeformasjoner under forkultiveringen kan spille en rolle hos furuplanter.

Det hele er i fullstendig overensstemmelse med hva Grene (1977) konkluderte med ti år tidligere hvor han blant annet mente at det ikke var noen prinsipiell forskjell på rotdeformasjoner hos henholdsvis barrotplanter og containerplanter, men han hadde også den hypotese at "skovenes stabilitet sannsynligvis kunne økes vesentlig ved anvendelse av plantefremstillings- og plantemetoder, der bedre befordrer en naturlig rotutvikling."

I 1988 kom arbeidet med "Bartreplanters rotsymmetri i felt" (Langerud et al. 1988). Det omtales innledningsvis en undersøkelse basert på 18 forsøksplantninger med i alt vel 4 000 contortaplantar og 14 000 granplanter som var plantet fra 1973 og til 1980. Det var ingen velte planter på de undersøkte feltene, men noen få skjeve planter ble observert. I en grundigere undersøkelse av rotsymmetrien på fem av disse feltene med oppgraving av 340 contorta- og 100 granplanter, kunne det ikke finnes sammenheng mellom rotsymmetri og stabilitet. De siste ord i meldingen lyder: "The problem is marginal and restricted to critical periods, and species, with a shoot/root-imbalance. Detailed studies are, however, needed to quantify (anm.: *understreking av denne forfatter*) the risks for species of which stability problems are serious enough for this kind of effort."

Et omfattende forsøk for å undersøke rotsystemer hos gran, furu og contorta ble etablert i 1991 på to steder i landet. Flere ulike pottesystemer og dyrkingsmåter skulle testes. Så langt er det ikke tatt interesse (= personer x midler) fra noen parter til å revidere forsøksserien.

Det siste bidrag i denne debatten i Norge kommer indirekte fra Strand et al. (1997) i et arbeide om "Tømmerkvalitet – naturlig foryngelse eller planting av furu". Alderen på de undersøkte bestand varierer fra 11–40 år, men de fleste er eldre enn 20 år, og én av de undersøkte faktorer er stammeretthet. Det er ikke beskrevet hvilke plantetyper som har vært benyttet; men størstedelen må utgjøres av barrotplanter (til ca 1974) og av pluggplanter fra brett uten styrelister (til 1980). Resultatet var som følger: "Det er ingen signifikante forskjeller i stammeretthet mellom planta og naturlig foryngte trær i Vegårshei. I Sør-Trøndelag er det heller ingen signifikante forskjeller i andelen krok mellom planta og naturlig foryngte trær. (Anm.: I dette materialet er det også pluggplanter fra brett m/ styrelister.) Det var heller ikke signifikante forskjeller i andelen rotkrok. I Alvdal og Tynset samt Rendalen og Stor-Elvdal derimot har de planta trærne signifikant større andel krok enn de trærne som er naturlig foryngte."

Konklusjon

Jeg vil konkludere med at vi i Norge har hatt en stabil utvikling mot pluggplantetypene med de samme typer pottetre. Man har ikke prøvd å løse skogkulturproblemene med å skifte fra pottetre til pottetre eller fra dyrkingssystem til dyrkingssystem. Oppgaven har snarere vært å perfektionere seg innenfor sikre erkjennelser. Det er

på den andre siden heller ikke mangel på hverken enkeltobservasjoner eller endog felt hvor det er, eller har vært, stabilitetsproblemer. Det dreier seg hovedsakelig om *P. contorta*, ofte på våt eller grunn mark. I våre produksjonsopplegg har vi unngått en del av de helt uheldige rutiner som f.eks. flere planter i samme potte, og det ble tidlig fokusert på betydningen av dyp setting av plantene som jo også har en direkte fysisk betydning for stabilitet av planten under den første og andre sommer hvor nye røtter har liten innvirkning på stabiliteten. Det er også allmen forståelse for betydningen av å bruke et planteredskap hvor plantøren må følge planten fysisk ned i bakken med hånden. Den mekaniske stabiliteten som fast jordsmonn gir i den første viktige etableringsfasen må ikke undervurderes. Planterøret har derfor bare vært brukt i liten utstrekning. Når det gjelder furu og contorta har det

heller ikke vært anbefalt å plante på høsten. Dette er også med å redusere faren for oppfrost med instabilitet som resultat.

Målet i planteproduksjonen har vært å lage en plante som gir optimal etablering og stabilitet, – ikke å lage en plante som etter visse, til dels helt subjektive, kriterier besitter en optimal rotkvalitet.

Kanskje også fordi hovedsortimentet er gran, har debatten om rotutforming og stabilitet ikke nådd de samme høyder, eller hatt de samme følger som i enkelte av våre naboland. Der er vi fortsatt vitne til stadige utprøvinger av nye pottebrett, med utall av varianter av spalter, slisser, hjørner, lister, bunnutforming og avsmaling. Det meste i stor grad basert på tro og tvil. Utviklingen av dyrkingsformer er et godt marked for kvikke resonnementer.

Referanser

- Froland, Å. 1969: Produksjon av skogplanter i torvband. Årsskrift for norske skogplanteskoler 1969: s.86–92.
- Froland, Å. 1973: Maskin for prikling i torvbriketter. Årsskrift for norske skogplanteskoler 1973: s. 27–32.
- Froland, Å. 1975: Praktiske erfaringer med torvbrikettmetoden. Årsskrift for norske skogplanteskoler 1975: s.33–41.
- Froland, Å. 1979: Ny type dekkrotplante, KF-plugg. Årsskrift for nordiske skogplanteskoler 1979: s.97–100.
- Grene, S. 1977: Roddeformationer og stabilitet. Dansk Skovforen. Tidsskr. 62:235–90.
- Hultén, H. & Jansson, K.-Å. 1978: Stabilitet och rotdeformation hos tallplanter. Rapporter och Uppsatser (93):84 s., 20 bilag.
- Kohmann, K. 1979: Plant pluggplanter dypt nok! Norsk Skogbruk (5):3–5.
- Langerud, B., Sandvik, M. og Sjøvold, A. 1988: Bartreplanters rotsymmetri i felt. Medd. Nor. inst. skogforsk. 40(12):1–20.
- Lindberg, F. 1920: Sådd eller plantering. Om faran för rotdeformering vid omskolning och barrotsplantering, särskilt spettplantering av barrotsplanter. Skogen 7(4)97–114.
- Niiranen, J. 1972: Användning av torvrullar vid produktion av skogsplanter. Årsskrift for norske skogplanteskoler 1972: s.58–65.
- Sandvik, M. 1966: Nye produksjonsmetoder for skogplanter. Årsskrift for norske skogplanteskoler 1966: s. 162–168.
- Sandvik, M. 1972: Kopparfors metodens, paperpot metodens og torvband metodens anvendelighet under forskjellige forhold. Årsskrift for norske skogplanteskoler 1972. 10 s.
- Sandvik, M. 1982: Rotvekstkapasitet og rotvekstbetingelser. Nordisk Symposium. Garpenberg 1982. Inst. f. Skogproduktion. Avdelning för skogsförnyelse. Rapport nr 8:69–81.
- Sandvik, M. 1987: Dekkrotplantenes etablering og vekst etter utplantning. NISK-notat. 17 s.
- Sandvik, M. 1987: Rotdeformasjoner hos skogsplanter. Undersøkelser over etablering, stabilitet og vekst av forskjellige typer dekkrotplanter. NISK-notat. 2 s.
- Strand, S., Sines, H og Dietrichson, J. 1997: Tømmerkvalitet – naturlig foryngelse eller planting av furu (*Pinus sylvestris*). Rapport fra Skogforsk (5): 13 s.
- Von Ducker, 1883: Ist die Pflanzung junger Kiefern mit entblösster Würzel eine empfehlenswerte Kulturmetode? Z. Forst-u. Jagdw. 15(2):65–82.
- Wibeck, E. 1923: Om missbildning av tallens rotsystem vid spettplantering. Meddn. St. SkogförsAnst. (20):261–303.

Problemer med stabilitet på Island

Sigvaldi Ásgeirsson

I årene 1971–1980 plantet man på Island i gjennomsnitt 665.000 planter i året hvor av 152.000 var contorta, eller 23%. 1981–1990 plantet man i gjennomsnitt 1.140.000 planter i året, hvor av 272.000, eller 24%, var contorta. I slutten av åttiåra hadde man helt gået bort fra barrot og Nissula-ruller og indført pluggplanter. I dette århundreds siste tiår har den gjennomsnittlige årlige plantningen blitt firedoblet fra forrige tiårs, og tendensen har endvidere blitt anvendelse av større plugg, dvs. 50cm³ plugg brukes alt mindre, mens andelen 100cm³ og 150cm³ øker. Andel contortafuru har i samme tid synket til i underkant av 20% (Ársrit Skógræktarfélags Íslands 1972–1996, skriftlige opplysninger fra “Fossvogsstöðin” 1997 og “Kjarni” 1997).

På Island har man vært bekymret for mulige stabilitetsproblemer i plantninger med pluggplanter, spesielt hvor man har plantet pluggplanter av contortafuru. De eldste plantninger med pottetrettplanter stammer ifra år 1981. Contortæen har rukket at opna 2–3m høyde i disse eldste plantager. Man har ennå ikke observert nevneverdige problemer (Sigurður Skúlason, 1997). Det faktum, at de eldste plantninger av contorta ikke alt har begynt at vælte i nevneverdig omfang, har ikke vært nok til at dempe bekymringerne, dersom man mener, at problemet først kan bli alvorlig når trærne har rukket at vokse opp i større høyder.

Man har ikke utført nøyaktige kvantitative vurderinger av graden av de spe stabilitetsproblemer man allikevel har på Island. I eldre plantninger av contorta (barrotplanter) er det undtagsvis observert problemer med stabilitet, men frekvensen af rotveltede planter antas i de fleste tilfeller at være mindre end 10% (Ágúst Árnason, Böðvar Guðmundsson og Sigurður Skúlason, 1997). Et viktig undtag er en contortaplantning på Hallormsstad, Øst-Island. For sent inngrep ved felling av skjerm, er antagelig hovedårsaken til at ca. 50% av trærne rotveltede i en plantning der man hadde anvendt barrotplanter. På Hallormsstad har man trukket den slutning av tilfellet, at man i overtette contortabevoksninger bør tynne i flere omganger. (Skúli Björnsson, 1997). Forhåpentlig slutter man også her at forsøke dyrkning av contorta under skjerm.

Jordart ser ut til at spille rolle for stabilitet. Undertegnede antar uti fra egne iagttagelser og med støtte i en undersøkelse utført av Aðalsteinn Sigurgeirsson, at des våtere og/eller frodigere jord, desto større fare for rotvelte i det mindste når det gjelder contortæen. Høsten 1986 vart det utført en grundig vurdering av de største plantninger av contorta på Island 20 år gamle og eldre, med hensyn til vækst og generell trivsel. Herunder gikk at man noterte stammekroker av to slag, j-formede og s-formede. Om man går ut i fra,

at j-kroken er en indikator på stabilitetsproblemer de første årene efter utplantning, viste det seg i denne undersøkelse, at stabilitet i disse eldste plantninger med arten på Island, som utelukkende var barrotplanter ved plantning, varierte ganske mye efter landsdeler og avstand fra kysten, men at den også forværres på frodigere jord (Aðalsteinn Sigurgeirsson, 1988). I Storbritannien har man observert stor variasjon i stabilitet, bl.a. efter jordarter og type markberedning.

I Skorradal på Vest-Island har skogvokteren observert store problemer med stabilitet af *Salix alaxensis*, der man har plantet denne arten i blottlagt morena, som nylig er blitt dekket med *Lupinus nootkatensis* (Ágúst Árnason, 1997). Siden 1990 har man i stigende grad satset på tilplantning av eroderte arealer med pluggplanter. Denne observasjonen fra Skorradal tilsiger at man muligens kan forvente stabilitetsproblemer på hardt pakket morenejord, der denne ikke over hovedet er dekket med jordsmonn ved plantningstidspunkt.

I Storbritannien har man observert stor variasjon i stabilitet, bl.a. efter jordarter og type markberedning.

I påvente av problemer med stabilitet i plantninger med pluggplanter av contorta i de nærmeste årene, eftersom de eldste plantningerne av dette slag gror opp i faresonen, følger vi diskusjon og forskning omkring dette problem i Skandinavien med interesse. P.g.a. jordsmonnets spesielle egenskaper på Island, kan erfaringer fra Skandinavien ikke uten videre overføres til øya. Når dertil kommer hensynet til den økte satsingen på skogreisning på eroderte arealer og disse arealers spesielle jordbundsforhold, samt fortsatt satsing på pluggplanter av contorta, synes behovet for egne undersøkelser av problemets art og omfang at være til stede.

Referenser

Aðalsteinn Sigurgeirsson: *Stafafjura á Íslandi, vöxtur, ástan og möguleikar*, Ársrit Skógræktarfélags Íslands 1988 s. 3–36.

Ágúst Árnason, muntlige meddelelser 1997.

Ársrit Skógræktarfélags Íslands 1972–1996: Rapporten fra Skógrækt ríkisins.

Böðvar Guðmundsson, muntlige opplysninger 1997.

“Fossvogsstöðin”, skriftlige opplysninger 1997.

“Kjarni” skriftlige opplysninger 1997.

Sigurður Skúlason, muntlige opplysninger 1997.

Skúli Björnsson, muntlige opplysninger 1997.

Föredrag och artiklar

Rotsystemets stabilitetsmekanik ställer krav på plantodlingsbehållares utformning

Ola Rosvall

Inledning

Om trädets stabilitetsmekanik kan förstås, underlättas utvecklingen av odlingsbehållare som ger plantor och träd med motståndskraft mot vind- och snöbelastning. Då kan behållarens inflytande på den framtida trädstabiliteten bedömas tidigt genom rotstudier på plantor. Syftet är här att redovisa på vilka sätt träd belastas av vind och snö och hur de motstår belastningen samt härleda de villkor ett plantodlingssystem bör uppfylla för att ge stabila träd. Framställningen bygger framförallt på tidigare litteratursammanställningar (Rosvall, 1994 samt Quine m.fl., 1995) samt en konferensrapport (Coutts and Grace, 1995) till vilka läsaren hänvisas för referenser till originalarbeten.

Vind och snöskador på rot och stam

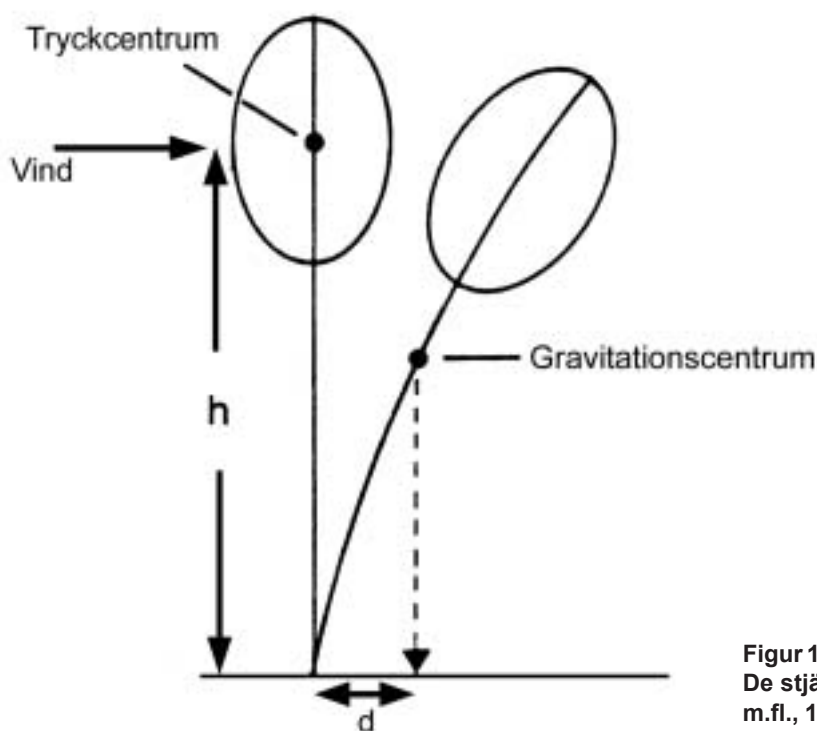
I tidiga utvecklingskedan upp till 2–3 m trädhöjd leder vind- och snöbelastning till böjning av de unga trädens ännu elastiska stambas eller rot och/eller till att roten delvis dras loss och ändrar läge. I båda fallen strävar trädet att återta sin vertikala huvudriktning och skadan kan bli krökar på stammen. Beroende på skadans omfattning kan tidigt uppkomna böjar bli bestående i olika grad. Träd med permanenta basala krökar eller som lutar är mer

känsliga för fortsatt snö- och vindbelastning. Under senare utvecklingsstadier när stambasen är mer styv, resulterar kraftiga rotrörelser i att de större lateralerötterna antingen bryts eller dras loss och trädet stjälpes eller att stammen bryts.

Träd med basala krökar ger problem både vid virkesfångst, genom lägre utbyte och högre kostnader, och vid vidareförädlingen, genom tjurved med sämre formstabilitet och styrka. Vindfällan och snöbrott fördröjar avverkningen, ger lagringsskador och virkesförluster samt sänkt tillväxt genom att bestånden blir luckiga eller avverkas i förtid.

Vindfällningsmekanik

Vindfällning uppträder när det sammanlagda vridmomentet från dels vindens kraft och dels det böjda trädets tyngd överskrider de motverkande krafterna i stammens elasticitet och rotens förankring i marken. Den första komponenten i vridmomentet orsakas av vindens kraft i en tänkt angreppspunkt multiplicerad med dess höjd (figur 1). Den andra momentkomponenten utvecklas när trädet väl böjts och orsakas av den förskjutna massan hos stam och krona. Dess storlek bestäms av det horisontella avståndet mellan trädets stödpunkt och gravitationens tänkta angreppspunkt multiplicerad med vikten. När t.ex. en 20 m



Figur 1.
De stjälpande momentkrafterna (efter Quine m.fl., 1995).

gran är på gränsen att falla utgör denna momentkraft 30 % av det totala momentet. Blöt snö kan tredubbla kronans vikt och är då den viktigaste orsaken till skada. Snö ökar även angreppsytan för vinden.

Motståndskraften vid vind och snöbelastning uppkommer huvudsakligen ur rotens förankring och ur kontakten mellan trädkronor. För en redovisning av den dynamiska process där vind- och snökrafter uppfångas och överförs genom trädet samt dämpas och hur meteorologiska förhållanden samt träd- och beståndsegenskaper inklusive beståndsbehandling inverkar hänvisas till Rosvall, 1994 samt Quine m.fl., 1995. De viktigaste faktorerna som bestämmer trädets uppträdande i dessa sammanhang är dess vikt, stammens styvhet, den effektiva belastningsytan (träd blir strömlinjeformade i vinden och grenar böjs av snö) höjden till belastningscentrum och graden av dämpning. Trädets avsmalning som bestäms av förband, gallring etc. är den faktor som mest påverkar motståndskraften mot böjning, varvid stor avsmalning ökar motståndskraften. Dämpningen uppkommer genom att värme bildas i stammen vid böjning och av friktionen av grenar mot luften och av kronkontakter.

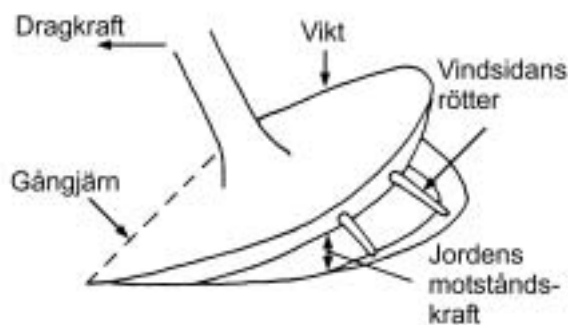
Rotförankring

Styrkan i rotens förankring bestäms av de mekaniska beståndsdelarna i rötter och jord samt av storlek och struktur hos rotsystemet. För ytligt rotade träd kan motståndskraften delas in i fyra komponenter (figur 2): vikten hos roten med vidhäftad jord; jordens sammanhållande kraft i gränsytan mot rot-jordplattan; rötternas dragstyrka på vindsidan samt rötternas böjmotstånd på läsidan i "gångjärnet". På läsidan utsätts rot-jordssystemet för böjande och tryckande krafter mot den underliggande jordens bärande yta. På vindsidan utsätts jord-rotplattan för lyftande dragkrafter, men där finns ingen bärande yta som motverkar den uppåtriktade rörelsen.

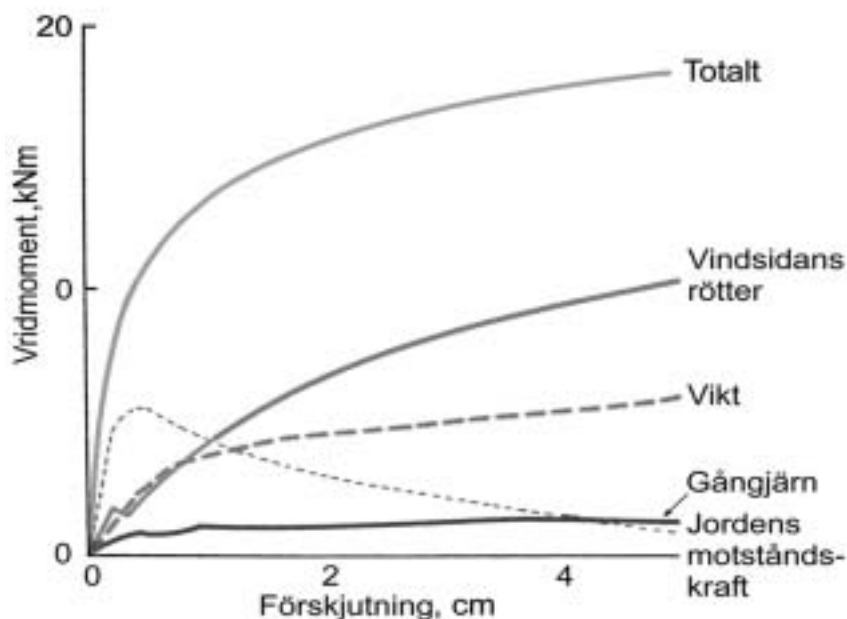
Den totala draghållfastheten på vindsidan bestäms av den samlade effekten av jordens och rötternas styrka samt

friktionen mellan rot och jord. Dragstyrkan i rötter varierar mellan och inom arter men den är tre till fem gånger större än för jord. Vid brottytan är emellertid jordytan ca tre gånger större än rotytan, varför jordens styrka är viktig. Rötter tänjs 10–20 % av sin längd innan de brister, medan jorden tänjs mindre än 2 %, varför jorden brister före rötterna. Sammantaget förklarar detta varför jorden har stor betydelse i de första stadierna av vindfällningsprocessen, varefter betydelsen avtar när jorden brustit (figur 3). Jordens styrka varierar med textur, vattenhalt och innehåll av organiskt material. Flera förhållanden påverkar således var vindsidans rotbrott inträffar och hur stor jord-rotmassa som motverkar vridmomentet.

På grund av den stora betydelsen av vindsidans rötter (figur 3) minskar stabiliteten av alla faktorer som hämmar utvecklingen av rotsystemet, t.ex. diken, eller minskar kontakten med jorden, t.ex. hög vattenhalt. Rent teoretiskt har antal lateralerötter vid given rotyta ingen betydelse för dragstyrkan, men i praktiken minskar dragstyrkan vid få (grova) rötter eftersom belastningen blir ojämn. Böjning på läsidan i "gångjärnet" utgör en mindre del av motståndskraften (figur 3) men avståndet till vridpunkten har



Figur 2. Fyra komponenter i ett träds förankring (från Coutts, 1986).



Figur 3. Det relativa bidraget av de fyra förankringskomponenterna för ytligt rotad sitkagran (från Coutts, 1986).

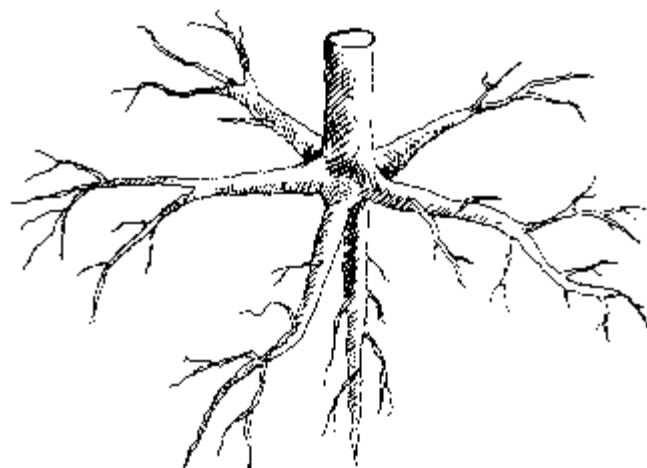
stor betydelse för det stjälpande momentet. Styvheten i läsidans rötter bestäms främst av deras tjocklek. Om en rot delar sig med bibehållen sammanlagd area halveras den totala styvheten. Hävarmen till vridpunkten förkortas alltså av att rötterna förgrenas eller av asymmetri. Alltför få grova jämnt fördelade rötter förkortar också den genomsnittliga hävstångsarmen. Det optimala tycks vara 4–5 jämnt fördelade lateralerötter.

Den totala massan av jord-rotplattan kan vara större än ovanjordsdelen och uppgick t.ex. till 850 – 2 900 kg för ytligt (30–40 cm) rotad sitkagran och 3 000 – 4 000 kg för djupt (1 m) rotad contortatall. Finrotsystemet är betydelsefullt för den totala markkontakten. Lösgöring av rotsystemet genom gungning anses viktig, och utsträckta eller upprejade stormar kan öka risken för stjälpning. Alla stabilitetskomponenter (figur 2 och 3) ökar med rotsystemets storlek så att idealt rotsystem skall vara så vitt som möjligt och åtminstone en meter djupt.

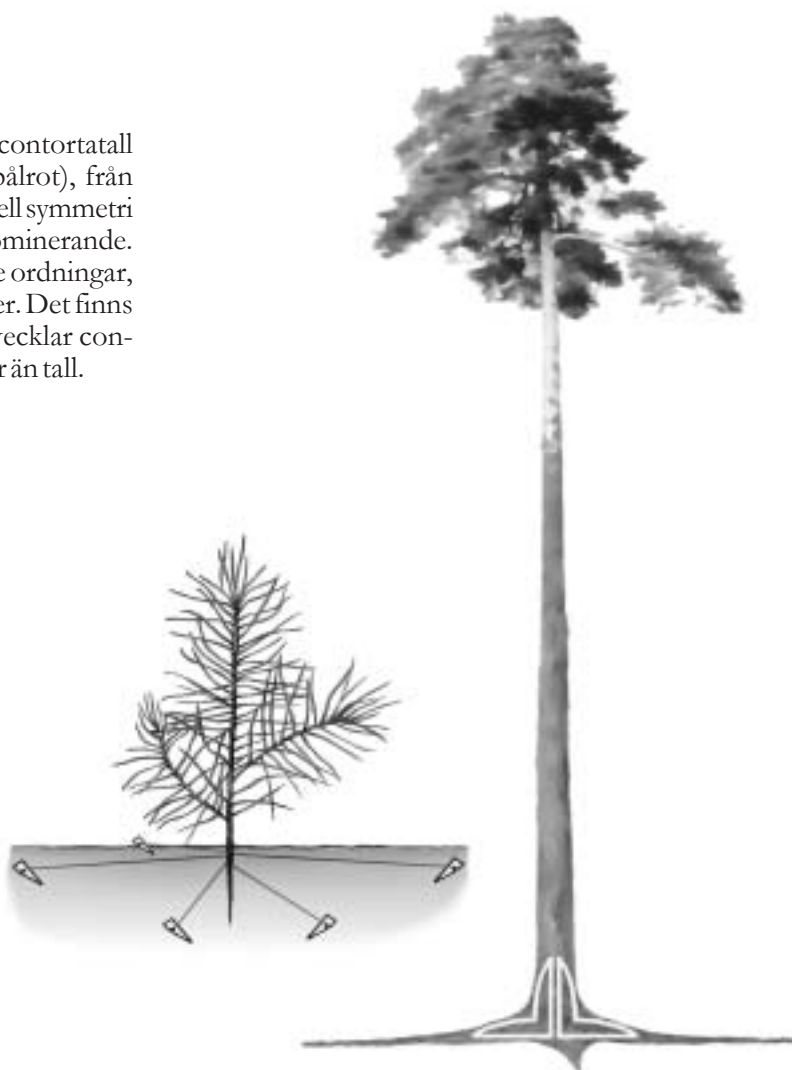
För unga träd ger läsidans lateralerötter inte mycket *stöd*, eftersom de ännu är mjuka och ger litet böjmotstånd. Sträckningen i lateralerötterna på vindsidan blir avgörande för att motverka vridmomentet genom deras funktion som *stag* men en viss rotation uppkommer genom att rötterna tänjs ut (figur 4). Hos unga planterade träd med deformerade lateralerötter kan de mer vertikalt växande rötterna fungera stabiliserande.

Rotsystemets utveckling

En naturligt utvecklad barrträdsplanta (tall, contortatall och gran) har en väl utvecklad huvudrot (pålrot), från vilken lateralerötter utgår horisontellt och i radiell symmetri (figur 5). Med tiden blir lateralerötterna mer dominerande. Från detta system utgår finare rötter av högre ordningar, som ger rotsystem av olika täthet för olika arter. Det finns också andra skillnader mellan arter, t.ex. utvecklar contortatallen med tiden mer vertikala sänkrötter än tall.



Figur 5. Strukturen hos ett fritt utvecklat rotsystem hos en tallplanta.



Figur 4. Rötternas funktion som stag och stöd.



Figur 6.
Lateralrötternas tillväxt efter sådd hos tall.

Rottillväxten är inledningsvis mycket stor och rotsystemets radie är avsevärt större än kronans radie (figur 6). Därför bestäms den grundläggande formen (horisontell och vertikal utbredning) hos ett trädets rotsystem redan under de första åren.

Oavsett art kan träd utveckla god stabilitet. Instabilitet uppkommer genom olämpliga eller plötsligt förändrade markförhållanden och av olika typer av skogsskötselåtgärder. Rötterna reagerar mycket plastiskt på miljöförhållanden i marken och även den naturliga rotstrukturen blir sällan helt symmetrisk. Markberedning kan underlätta eller begränsa rötternas utbredning. Plogning av torvmarker medför att rötterna utvecklas längs tiltorna, vilket ger ett mycket asymmetriskt rotsystem, särskilt om grundvattnet står högt. På liknande sätt ger hyggesplogning på vissa marker starkt asymmetriska rotsystem med långsiktig

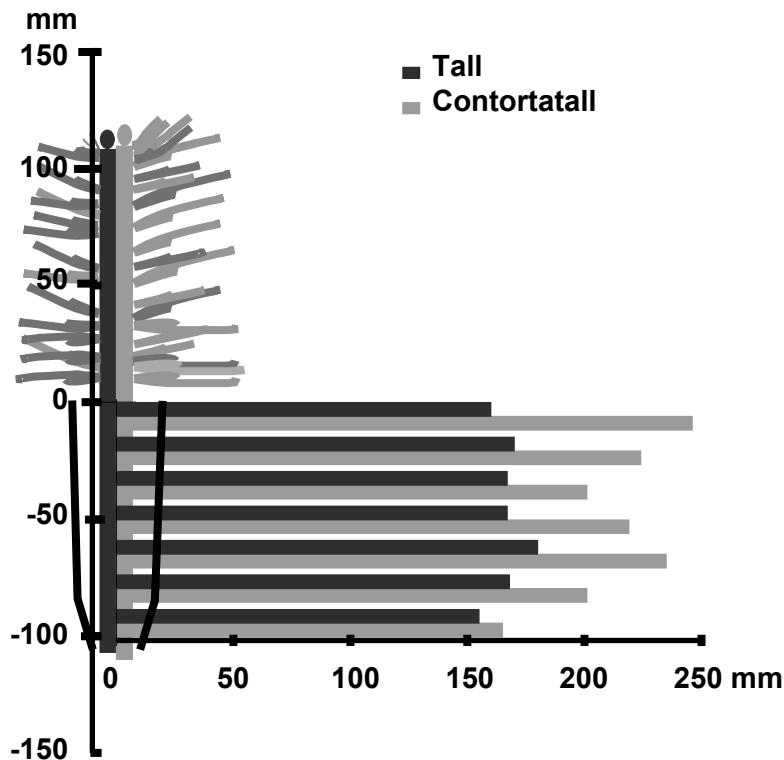
stabilitetsnedsättning om planteringen skett på terrassen, medan rotutvecklingen förbättras vid plantering i tiltan. Uppluckring av kompakta jordar kan underlätta utvecklingen av ett vitt och symmetriskt rotsystem och dränering kan öka jordens styrka.

Trädet och rötterna anpassar sig inom ramen för de tidigt anlagda rotsystemet till med tiden ändrade belastningsförhållanden. Genom att t.ex. primärt cirkelrunda rötter tillväxer på ovan- och undersidan på sidornas bekostnad och antar formen av en I-balk ökar böjmotståndet trefaldigt. Efter gallring tillväxer även rötterna i proportion till de nya belastningskraven men stabiliteten är reducerad under tiden. Rotsystemets tidigt anlagda grundstruktur kan däremot inte ändras. Genom förgrening sker dock förbättringar av asymmetrin.

Rotdeformation hos täckrotsplantor

Lateralrötter hos plantor som odlas i behållare med hårda väggar kan inte utvecklas horisontellt, utan måste antingen växa runt i behållaren eller vertikalt, främst nedåt (figur 7).

Dessa rötter kan växa vidare horisontellt efter plantering, men eftersom de har snurr eller är Z-formade kan de inte motverka rörelser i stam och pålrot, när de töjs ut vid dragbelastning. Alla dessa rotdeformationer minskar lateralrötternas stagande verkan. Rotsnurr hos träd odlade i behållare medför även sammanväxning av rötterna och ökar risken för rotbrott. Risken ökar med behållarstorleken eftersom rötterna hinner bli grövre innan de kom-



Figur 7.
Schematiserad bild av skott- och rotlängder hos tall och contortatall efter upphöjd odling i behållare med styrlistor (från Rosvall,1995).

mer i kontakt med varandra och med huvudroten. Upphöjd odling och styrlister minskar förekomsten av rot-snurr, men rötterna blir fortfarande starkt deformerade (figur 7).

För flera arter, t.ex. gran, övervinns negativa effekter av plantproduktions- och planteringsmetod genom att nya lateralerötter bildas efter planteringen (adventivrötter). Många tallarter, t.ex. tall och contortatall, förlorar denna förmåga redan inom några veckor efter groningen.

Rotsystemet hos unga planterade träd skiljer sig påtagligt från naturföryngrade. För t.ex. contortatall finns följande sammanställning: ensidigare utbredning, onormal vertikal orientering, sammanpressning och sammanväxning, fler rötter med större avsmalning och klenare dimension och mindre massa, vridna rötter, ingen pålrot, rotklump. Dessa förändringar minskar stabiliteten i ungdomen. Även äldre planterad contortatall har ett smalare rotsystem med klenare rötter vid samma rotbiomassa, vilket kan vara en effekt av den tidiga deformationen och förklara den bibehållna större instabiliteten.

Eftersom grundstrukturen i ett träds rotsystem bestäms under de första åren har plantrötternas morfologi samt planterings- och markberedningsmetod avgörande betydelse för det framtida rotsystemets utformning. Asymmetri och deformationer av rotstrukturen blir således bestående. Det kan medföra instabilitet under en lång tidsperiod. Även om instabiliteten sedan avtar kan det inte uteslutas att den blir bestående under hela livstiden för vissa trädslag och miljöförhållanden.

Villkor för stabilitet

För rotsystemets stagfunktion krävs att lateralerötterna växer rakt ut med allsidig orientering från trädet och för stödfunktionen att de dessutom är grova. Eftersom rotmassan är oberoende av antalet rötter innebär många rötter att de samtidigt är klena. Ett optimalt böjmotstånd uppkommer vid 4–5 lateralerötter. Detta antal gör också att momentarmen till rotsystemets vridpunkt blir maximal när trädet utsätts för belastning.

Krav på odlingskassetten funktion för hög trädstabilitet

En odlingskassett måste gynna utvecklingen av själva grundstrukturen i rotsystemet så att första ordningens lateralerötter blir:

- ♦ odeformerade,
- ♦ allsidigt riktade,
- ♦ optimalt 4–5 till antalet.

Åtgärder för att förhindra rotdeformation hos planterade träd

Kanske är det enda sättet att undvika negativa effekter på stabiliteten av skogskultur att använda metoder som inte ger några bestående förändringar av rotutvecklingen. Det kan ske genom sådd eller plantering av några veckor gamla plantor som kan bilda nya lateralerötter av första ordningen.

Alternativet är att beskära eller retardera lateralerötternas tillväxt, så att de vid regenereringen blir horisontellt riktade från huvudroten. Rötterna kan beskåras mekaniskt, kemiskt eller genom uttorkning i spetsarna. När rötterna träffar en behållarvägg målad med t.ex. kopparkarbonat slutar de växa på längden. Hämningen av lateralerötter stimulerar inte bildningen av nya primära lateralerötter, däremot stimuleras bildningen av lateralerötter av högre ordning och en flaskborstliknande rotsystem bildas. Vid plantering återtar de kemiskt hämmade rötterna sin tillväxt och ett rotsystem utvecklas som mycket liknar ett naturligt. Liknande effekter uppnås med odlingsbehållare där rötterna styrs mot vertikala spalter där de möter luft. Även om uppföljningar av stabiliteten hos de nya odlingsystemen visar på mer naturliga rotsystem och god stabilitet, finns det inga studier som visar att alla tre ovan uppställda villkor verkligen uppfylls.

Referenser

- Coutts, M. P. 1986. Components of Tree Stability in Sitka Spruce on Peaty Gley Soil. *Forestry* 59.173–197.
- Coutts M. P., Grace, J (eds). 1995. *Trees and Wind*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Quine, C., Coutts, M., Gardiner, B, Pyatt, G. 1995. *Forests and Wind: Management to minimise Damage*. The Forestry Authority. Forestry Commission Bulletin 114. 24 s. London.
- Rosvall, O. 1994. Contortatallens stabilitet och motståndskraft mot vind och snö. *SkogForsk Redogörelse nr 2*, 1994. 47 s. Uppsala.
- Rosvall, O., 1995. Rotstruktur hos täckrotsplanter av contortatall och tall. *SkogForsk Arbetsrapport nr 299*. 17 s. Uppsala.

Root components of containerized and free-growing seedlings of Scots pine and lodgepole pine

Ola Rosvall, Tore Ericsson

Sammanfattning på svenska

Rotkomponenter hos plantor av tall och contortatall odlade i behållare och fritt utvecklade

Rotkomponenterna hos tall och contortatall odlade i behållare och fritt utvecklade undersöktes. Total rotmassa, rotareal, rotvolym och antal rötter per plantor mättes. Resultatet visar att rotmassan hos tall odlade i behållare är betydligt större än hos tall odlade fritt. Rotarealen och rotvolymen är också större hos tall odlade i behållare. Antalet rötter per plantor är också större hos tall odlade i behållare. Detta gäller även för contortatall. Resultatet visar att rotmassan hos contortatall odlade i behållare är betydligt större än hos contortatall odlade fritt. Rotarealen och rotvolymen är också större hos contortatall odlade i behållare. Antalet rötter per plantor är också större hos contortatall odlade i behållare. Detta gäller även för tall. Resultatet visar att rotmassan hos tall odlade i behållare är betydligt större än hos tall odlade fritt. Rotarealen och rotvolymen är också större hos tall odlade i behållare. Antalet rötter per plantor är också större hos tall odlade i behållare. Detta gäller även för contortatall. Resultatet visar att rotmassan hos contortatall odlade i behållare är betydligt större än hos contortatall odlade fritt. Rotarealen och rotvolymen är också större hos contortatall odlade i behållare. Antalet rötter per plantor är också större hos contortatall odlade i behållare. Detta gäller även för tall.

Rotkomponenterna hos tall och contortatall odlade i behållare och fritt utvecklade undersöktes. Total rotmassa, rotareal, rotvolym och antal rötter per plantor mättes. Resultatet visar att rotmassan hos tall odlade i behållare är betydligt större än hos tall odlade fritt. Rotarealen och rotvolymen är också större hos tall odlade i behållare. Antalet rötter per plantor är också större hos tall odlade i behållare. Detta gäller även för contortatall. Resultatet visar att rotmassan hos contortatall odlade i behållare är betydligt större än hos contortatall odlade fritt. Rotarealen och rotvolymen är också större hos contortatall odlade i behållare. Antalet rötter per plantor är också större hos contortatall odlade i behållare. Detta gäller även för tall. Resultatet visar att rotmassan hos tall odlade i behållare är betydligt större än hos tall odlade fritt. Rotarealen och rotvolymen är också större hos tall odlade i behållare. Antalet rötter per plantor är också större hos tall odlade i behållare. Detta gäller även för contortatall. Resultatet visar att rotmassan hos contortatall odlade i behållare är betydligt större än hos contortatall odlade fritt. Rotarealen och rotvolymen är också större hos contortatall odlade i behållare. Antalet rötter per plantor är också större hos contortatall odlade i behållare. Detta gäller även för tall.

Introduction

Planted lodgepole pine is more unstable than planted Scots pine (Fryk, 1980; Persson, 1982; see also references in Rosvall, 1994), whereas naturally regenerated or sown lodgepole pine with a natural root system is stable (Burdett, 1979; Burdett et al., 1986; Pfeifer, 1982; Mattsson & Rune, 1992; Halter et al., 1993). Therefore it should be possible to explain this difference in stability in terms of site choice, seedling type, and planting method, which all influence tree morphology (Burdett, 1979; Burdett et al., 1986).

The prerequisites for tree stability are well described in the literature (Burdett, 1979; Coutts, 1983, 1986; Blackwell et al., 1990; see also Rosvall, 1994). The horizontal, radially directed lateral roots have an important function. When a tree seedling is young the lateral roots function first as a stay owing to their tensile strength. As the tree continues to develop and the roots become thicker and stiffer they will also function as support as a result of their bending resistance. To function as a stay the lateral roots must grow straight out in all directions, and to achieve bending

resistance they must also be thick. Bending resistance is proportional to root diameter raised to the fourth power (Coutts, 1983). Since root mass is fairly independent of the number of roots, trees with many roots will tend to have thin roots and, consequently, a low bending resistance. Bending resistance is maximum in trees with 4 or 5 dominating lateral roots (Coutts, 1983). Furthermore, in trees with this number of thick lateral roots the length of the lever to the hinge of the root system will be greatest when the tree is subjected to a lateral force.

The root system of naturally regenerated lodgepole pine has a well-developed primary root from which a limited number of thick, long lateral roots emerge in a symmetrical, horizontal array. With time, it develops a greater number of sinker roots compared with Scots pine, resulting in a heart-shaped root system (Horton, 1958; Bishop, 1962; Smith, 1964; Eis, 1970; Burdett, et al., 1986; Burdett, 1979; Martinsson, 1986a). Seedling production in a nursery and planting in the field alter the lodgepole pine's root system to a large degree (Burdett, 1979; Brunnsden, 1979; Pfeifer, 1982; Martinsson, 1985; Sundkvist, 1988;

Coutts et al., 1990; Mattsson & Rune, 1992; Halter & Chanway, 1993; Halter et al., 1993). It is often found that the planted root system has more lateral roots which tend to be thinner and show more tapering, but there are also reports of planted seedlings having fewer lateral roots. Lateral roots of planted seedlings are also situated deeper and are somewhat more downward directed with asymmetrical horizontal spread. Various types of deformations occur. For example, the roots can be compressed, coiled, or kinked (Z-shaped). Instead of having a deep tap root, the root system often develops a bulbous shape just below the ground surface. In addition, their sinkers can be underdeveloped. Together, these changes often result in a narrow root system, i.e. a root system with a small effective radius (short lever in any direction) that provides lower stability. Compared with the root system of planted Scots pine, the lodgepole pine root system accounts for a similar proportion of the total tree biomass but shows a larger degree of root deformation, except with regard to asymmetry (Ormmalm & Sundin, 1978; Lines, 1980; Pontén & Risby, 1982; Nielsen, 1982; Martinsson, 1985, 1986a–b; Sundkvist, 1988). Also older planted lodgepole pine can have a narrower root system than Scots pine.

One hypothesis is that the lower stability of planted lodgepole pine compared with planted Scots pine is due to the differential effects of nursery cultivation and planting on root development in the two species. Root systems of nursery-grown lodgepole pine seedlings can be more deformed even before planting because during a nursery cultivation period of normal length, the root system of lodgepole often reaches a larger size and/or is more liable to develop deformities. In addition, after planting it may have a weaker ability to overcome deformation.

For a given tree size, lodgepole pine has a larger proportion of its total above-ground biomass in the form of branches and needles and a different crown architecture (Pontén & Risby, 1982; Martinsson, 1986b; Eriksson & Möller, 1988; Norgren, 1996). However, this relation has

only been confirmed for open-growing trees, and there is reason to question whether it also applies to closed stands (Rosvall, 1994). Compared with other tree species, lodgepole pine also has more elastic stem and branch wood (Cannel & Morgan, 1987). All of these factors influence how wind- and snow-induced loads are intercepted, transmitted and counteracted. Therefore, it has also been hypothesized that the difference in stability between Scots pine and lodgepole pine is due to the difference in the “sail surface area” and the lodgepole pine’s higher stem elasticity (Rosvall, 1994). In this case one focuses on the magnitude and dynamics of forces associated with snow load and wind taken up by the “sail” instead of the root system resistance.

Effects of the higher growth rate of lodgepole pine (Ingestad & Kähr, 1985; Norgren, 1996) on the root system of nursery cultivated containerized seedlings were previously studied by Rosvall (1995). The study was based on samples of large 1- and 2-year-old seedlings. After growth had ceased, the root mass was 30% greater for lodgepole pine, compared with Scots pine, and lateral roots were, on average, 30–50% longer. The three upper lateral roots had more than twice the biomass compared with the corresponding roots of Scots pine. The aim of the present investigation was to characterize the differences in root morphology that develop between seedlings of lodgepole pine and Scots pine in connection with the production of forest seedlings and to determine how long it takes for these differences to appear. Therefore, the root development of seedlings of various provenances of the two species cultivated in small containers and in large trays was monitored.

Materials and methods

Seedlings of each of three provenances of Scots pine and lodgepole pine (Table 1) were cultivated in peat-filled Cellpot sets, with four sets used per provenance. In addition, for the respective species, seedlings of each of the

Table 1. Provenance codes, origins, seed weights, and levels of seedling emergence for the investigated Scots pine and lodgepole pine.

Tabell 1. Provenienskoder, ursprung, frövikter och plantbildningsuppgifter för undersökt tall och contortatall.

Provenance code <i>Provenienskod</i>	Identity code <i>Identitetskod</i>	Area of origin <i>Ursprung</i>	Latitude <i>Latitud</i>	Elevation <i>Altitud</i> (m)	1000-seed weight <i>Tusenkovn-vikt</i> (g)	Seedling emergence <i>Plantbildning</i>
<i>Pinus sylvestris</i>						
T66	S23A9210027	Norrbottnen	66°	200	4.79	high <i>hög</i>
T64	485v-81	Västerbottnen	64°20'	300	4.14	high <i>hög</i>
T62	13-12-85	Medelpad	62°06'	400	4.56	high <i>hög</i>
<i>Pinus contorta</i>						
C62	S23A8460234	Carmacks	62°	570	2.79	low <i>låg</i>
C60	S23A8260113	Watson Lake	60°	725	2.92	high <i>hög</i>
C56	S23A8260123	Wonowon	56°	880	3.29	low <i>låg</i>

provenances T64 and C60 (intermediate in terms of geographical origin) were cultivated in six so-called "Europe-trays". One seed was sown per container in the Cellpot sets, and 35 were sown in each Europe-tray. The Cellpot sets were arranged in four randomized blocks, while the Europe-trays were randomly placed within one of the blocks (Table 2). One Cellpot set (type CP-3) contains 60 containers of 0.13 l volume with a density of 400 seedlings per m². They have a 4.4 cm upper diameter and are 11 cm deep, with vertical ribs along their inside surface. A Europe-tray with outer dimensions of 40x60 cm holds 16 l substrate when filled to 7.5 cm depth. With 35 seedlings at a spacing of 7.9x7.9 cm in the trays, the planting density was 146 seedlings per m² and the net volume 0.46 l per seedling.

Cultivation was started in a greenhouse on 24 March 1995 and was continued outdoors on 21 June 1995. Cellpot sets and Europe-trays were placed above the bed to allow air pruning of the roots once they reached the bottom. Fertilization with liquid fertilizer (Superba) was begun during weeks 3 and 4 with a weekly dose corresponding to 2 g N/m², whereupon the weekly dose was raised to 4 g N/m² at which level it remained for the rest of the greenhouse period. In an attempt to apply the

same dose during the period outdoors, the amount of fertilizer actually added was determined based on current weather conditions. Fertilization was reduced in the latter half of August and was terminated at the end of August.

Seedlings sampled for determining the lengths of shoots, the primary root, and the seven upper lateral roots were taken on five occasions, as shown in Table 2. In connection with these measurements, the total weight of the shoots and roots was also determined. In addition, after 110 and 205 days, the weights of individual root components were measured on seedlings from provenances T64 and C60 cultivated in both Cellpot sets and Europe-trays (treatments 2, 4, 6 and 8). Individual roots were carefully freed, whereupon all lateral roots were cut off. The seven uppermost lateral roots (numbered 1–7 from above) and the primary root were weighed individually, while lateral roots originating lower down and residues from other roots were weighed together.

On each sampling occasion 2–3 seedlings per Cellpot set and block were chosen randomly. To avoid irregular competition effects, seedlings along the edges and those bordering empty containers, including earlier sampled seedlings, were avoided except on the first sampling occasion, by which time no inter-plant competition had yet

Table 2. Experimental design (number of Cellpot sets and Europe-trays per replication in randomized blocks), time of analysis, and the number of seedlings used for shoot and root analysis.

Tabell 2. Försöksdesign (antal Cellpot-set respektive Europa-lådor per upprepning i randomiserade block), analysstidpunkter samt antal använda provplantor vid skott- och rotanalys.

Trait no. Försöks- led	Provenance Proveniens	Grown in Odlade i	No. of sets/trays × replications Antal set/lådor × upprepningar	Number of seedlings analyzed on different occasions (days after sowing) Antal analyserade plantor vid olika provtagningstidpunkt (dagar efter sådd)				
				May 17–18 maj (53)	June 14 juni (81)	July 10–13 juli (110)	Sept. 4–8 sept. (163)	Oct. 16–20 okt. (205)
1	T66	Cellpot set	1 × 4	10	–	10	10	–
2	T64	Cellpot set	1 × 4	10	10	10 ^a	10	10 ^a
3	T62	Cellpot set	1 × 4	10	–	10	10	–
4	T64	Europe-tray Europa-låda	6 × 1	5	–	10 ^a	5	10 ^a
5	C62	Cellpot set	1 × 4	10	–	10	10	–
6	C60	Cellpot set	1 × 4	10	10	10 ^a	10	10 ^a
7	C56	Cellpot set	1 × 4	10	–	10	10	–
8	C60	Europe-tray Europa-låda	6 × 1	5	–	10 ^a	5	10 ^a

^a In addition, the main root and the lateral roots were separately weighed.

^a Dessutom vägdes huvudrot och lateralerötter separat.

developed. Damaged and clearly underdeveloped seedlings were also excluded. When sampling in Europe-trays, undamaged, normally developed seedlings not growing along the tray edges were randomly sampled, whereupon the entire tray was dissected. Despite the fact that seedling formation varied between seed lots (Table 1), occasionally resulting in empty pots, most of the sampled seedlings came from positions nearby other seedlings.

Results

Total growth in biomass and within-plant biomass distribution

Lodgepole pine seedlings cultured in Cellpot were 22% longer and had 29% more biomass than Scots pine after 163 days of growth in September, which were the last occasion on which all of the studied provenances were inventoried (Table 3). The distribution of biomass between shoots and roots was the same for the two species. Free-growing lodgepole pine in Europe-trays were considerably longer than Scots pine (73%) and had nearly three times as much biomass and thicker shoots (higher weight per unit length), but their root proportion of the total biomass was smaller.

Lodgepole pine initially had a 33% lower seed biomass than Scots pine (Table 1). After 53 days, the average total weight of lodgepole pine was lower but it eventually overtook Scots pine, and on the later measurement occasions it weighed 11–41% more in Cellpot and 42–

161% more when growing freely in trays (Figure 1a). Weight differences between provenances were of the same order of magnitude as the difference between species, but every lodgepole pine provenance consistently weighed more than each Scots pine provenance. The provenances T64 and C60, which were intermediate in terms of geographical origin, grew best and worst respectively for their species, which affected species differences in the case where only these two provenances were compared (on day 81, in June, and on day 205, in October, for Cellpot, and on all sampling occasions for Europe-trays). Development in trays was initially similar to that in Cellpot, but from day 110 the seedlings grew substantially faster in trays, and the species differences became much larger (Figure 1a).

Lodgepole pine roots were slightly larger than those of Scots pine after 53 days, and thereafter the root biomass was 19–27% larger in Cellpot and 6–77% larger in trays (Figure 1b). In Cellpot the root proportion of the total biomass decreased from day 53 until day 110 when it was 15–18%, whereupon it doubled to 32–40% by day 163 (Figure 1c). The root proportion continued to increase thereafter up until day 205. On average, the two types of trees had the same root proportion of total biomass, while northern provenances generally had a larger root proportion. In trays, lodgepole pine seedlings initially had about the same proportion of root biomass as Scots pine, but from day 163 to day 205 (September and October) the root proportion for the much larger lodgepole pine seedlings was substantially lower (Figure 1c).

Table 3. Components of seedling biomass in Scots pine and lodgepole pine grown for 163 days in Cellpot containers (30 seedlings per species) and Europe-trays (5 seedlings per species).

Tabell 3. Biomassakomponenter hos plantor av tall och contortatall efter 163 dagars odling i Cellpot-behållare (30 plantor per trädslag) respektive Europa-lådor (5 plantor per trädslag).

	Cellpot			Tray Låda		
	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>	Relation P.c./P.s.	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>	Relation P.c./P.s.
Shoot length (mm) <i>Skottlängd</i>	94	115	122 %	100	173	173 %
Shoot weight / unit length (mg/mm) <i>Skottvikt / längdenhet</i>	24.4	25.1	103 %	29.4	56.0	191 %
Total seedling weight (g) <i>Total plantvikt</i>	3.57	4.61	129 %	5.35	13.96	261 %
Shoot weight (g) <i>Skottvikt</i>	2.29	2.89	126 %	2.94	9.68	330 %
Root weight (g) <i>Rotvikt</i>	1.28	1.72	135 %	2.41	4.28	177 %
Root fraction <i>Rotandel</i>	36 %	37 %	104 %	45 %	31 %	68 %

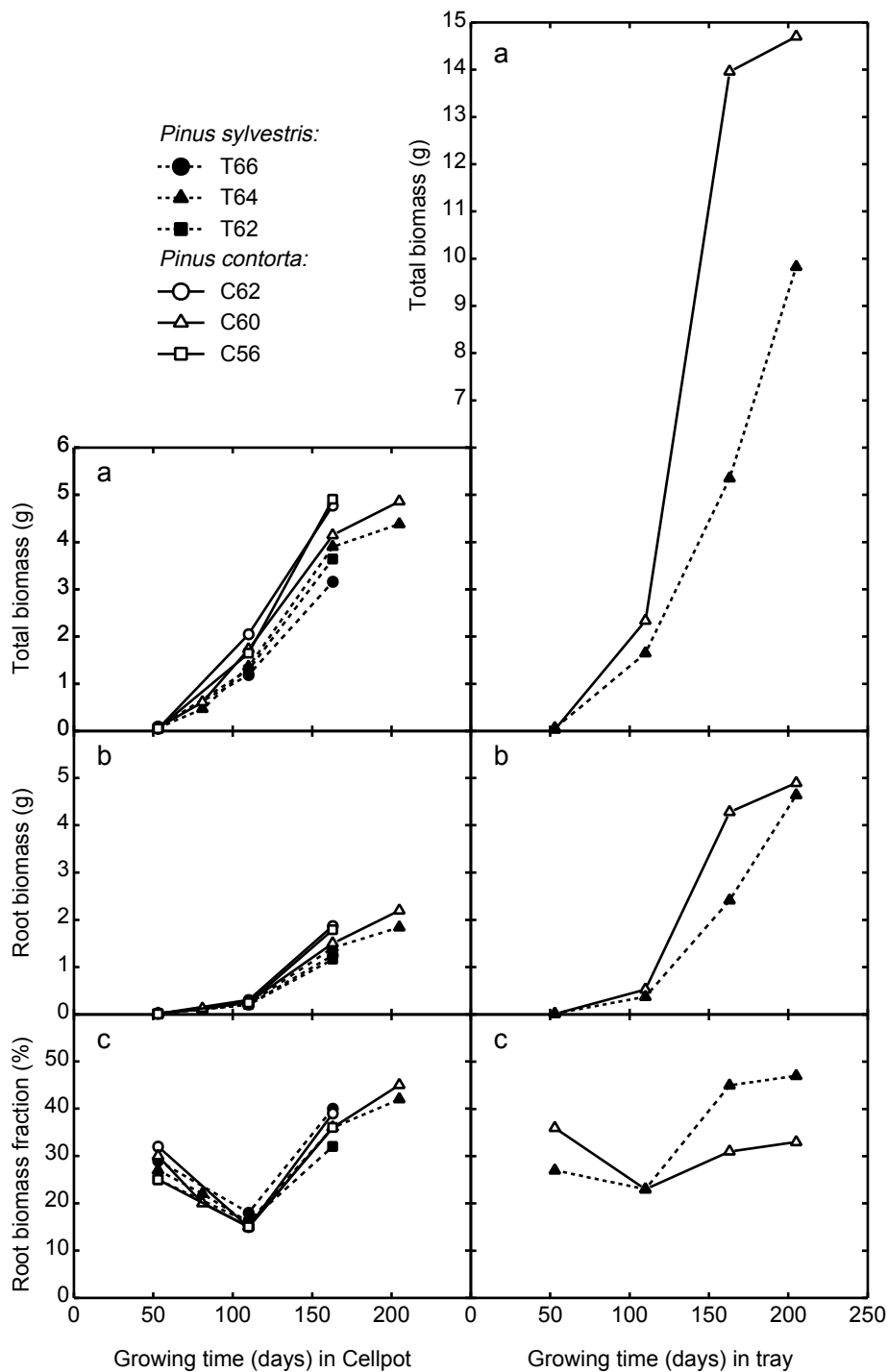


Figure 1a–c.
Change over time in average total biomass (a), root biomass (b), and root proportion of the total biomass (c) in Scots and lodgepole pine seedlings grown in Cellpot containers and Europe-trays.

Figur 1a–c.
Utveckling av genomsnittlig total biomassa (a), rotbiomassa (b) och andel rotbiomassa (c) hos planter av tall och contortatall odlade i Cellpot-behållare respektive Europa-lådor.

Length growth of shoots and roots

In Cellpot most of the shoot growth occurred during the first 81 days (Figure 2a). In the trays, the shoots of free-rooted lodgepole pine seedlings (C60) continued growing until day 163, while those of Scots pine (T64) stopped growing after day 110.

By the time of the first inventory, after 53 days, the primary root had reached the bottom of the Cellpot container, which was 10–11 cm deep (depending on the amount of peat added; Figure 3). Thereafter length growth of the primary root stopped completely. After 53 days, the horizontal lateral roots had made contact with the container wall, forcing them to turn downward (Figure 2b, Figure 3). Although none had reached the container bottom by this time, some had reached the bottom by day 81. Little or no length growth was registered between days 81

and 110 in the provenances sampled on both these occasions (T64 and C60). Thereafter the rate of root growth increased, and by days 163 and 205, the roots were nearly twice as long as the container was deep. Lateral root length up until day 110 was somewhat greater for lodgepole pine compared with Scots pine, whereafter there was no pronounced difference in root length between the species.

In the 7.5-cm-deep Europe-trays, both the lateral roots (Figure 2b, Figure 3) and primary root (Figure 3) continued to grow horizontally. The primary roots showed a particularly large amount of variation between seedlings and sampling occasions. The primary roots ended up being 3–4 times longer and the lateral roots 2–3 times longer compared with those growing in Cellpot. Lodgepole pine generally had longer lateral roots than Scots pine.

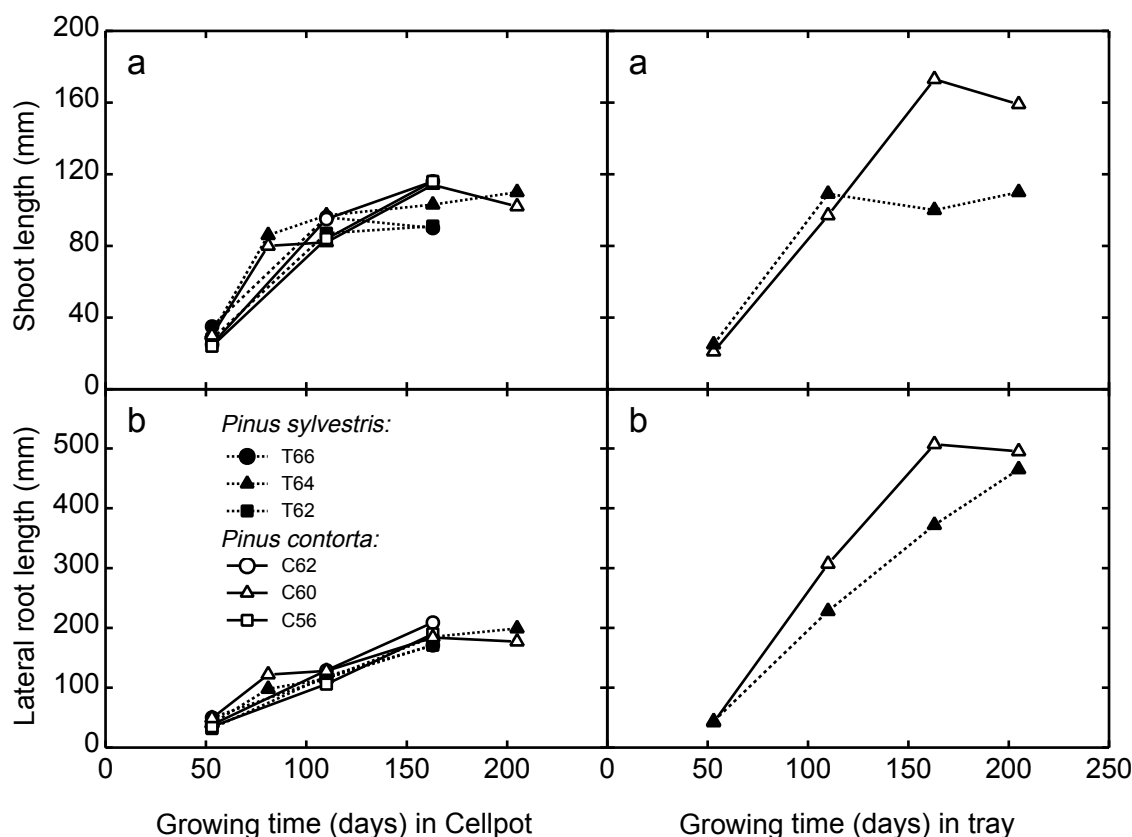


Figure 2a–b. Change over time in average shoot length (a) and lateral-root length (b) in Scots and lodgepole pine seedlings grown in Cellpot containers and Europe-trays.

Figur 2a–b.

Utveckling av medelskottlängd (a) och genomsnittlig lateralerotlängd (b) hos plantor av tall och contortatall odlade i Cellpot-behållare respektive Europa-lådor.

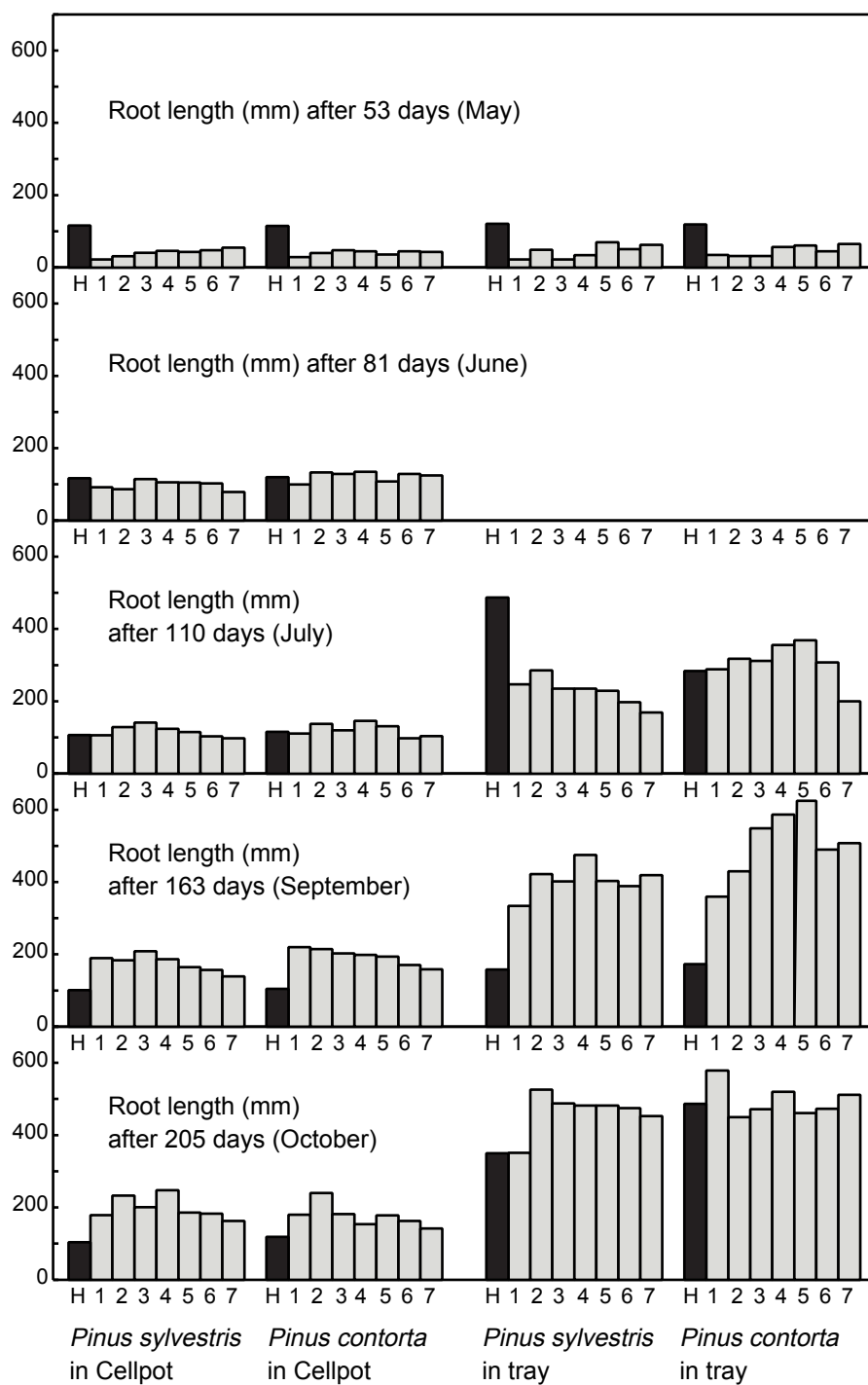


Figure 3. Change over time in the length of the main root (H) and seven uppermost lateral roots (1–7) of Scots and lodgepole pine seedlings. Mean values for seedlings grown in Cellpot containers and Europe-trays.

Figur 3. Utveckling av huvudrotens (H) och de sju översta lateralerötternas (1–7) längd hos plantor av tall och contortatall. Medeltal för plantor odlade i Cellpot-behållare respektive Europa-lådor.

Length and weight growth of the root components

Length growth did not differ substantially among the uppermost seven lateral roots for either of the two species (Figure 3). Nor did biomass differ among the individual lateral roots for the two provenances T64 and C60 where individual lateral root weights were measured on days 110

and 205 (Figure 4). Also, the standard deviation of within-plant variation in root length and weight were of similar magnitude and showed no clear difference between species (Table 4). However, from days 110 to 205, a shift in biomass from the intermediate lateral roots (nos. 4–5) towards the uppermost ones (nos. 1–2) could be discerned in lodgepole pine.

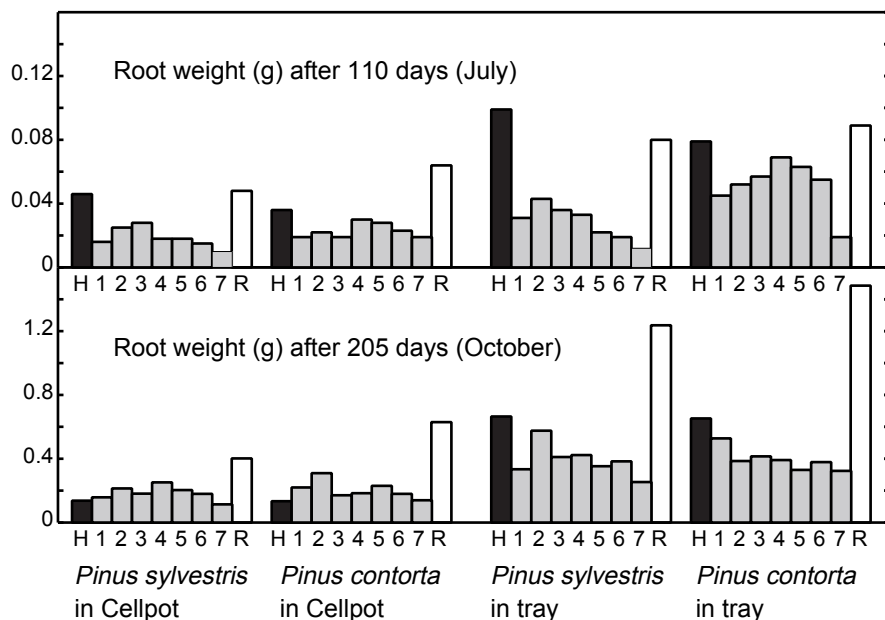


Figure 4. Mean weights of the main root (H), seven uppermost lateral roots (1–7), and root remains (R) from Scots (T64) and lodgepole pine (C60) seedlings grown in Cellpot containers and Europe-trays after 110 and 205 days.

Figur 4. Medelvikt efter 110 och 205 dagar av huvudrot (H), de sju översta lateralerötterna (1–7) och övriga rotrester (R) hos plantor av tall (T64) och contortatall (C60), odlade i Cellpot-behållare respektive Europa-lådor.

Table 4. Standard deviations (each from the mean variance of 10 seedlings) in length and weight of the seven uppermost lateral roots within individual seedlings of Scots pine ^a and lodgepole pine ^b grown for 110 and 205 days in Cellpot containers and Europe-trays.

Tabell 4. Standardavvikelser (vardera ur 10 plantors medelvarians) i längd och vikt av de sju översta lateralerötterna inom enskilda plantor av tall ^a och contortatall ^b efter 110 och 205 dagars odling i Cellpot-behållare respektive Europa-lådor.

	Cellpot			Tray Låda		
	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>	Relation P.c./P.s.	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>	Relation P.c./P.s.
Root length <i>rotlängd</i> (mm)						
110 days <i>dagar</i>	51	61	120 %	100	154	154 %
205 days <i>dagar</i>	70	63	90 %	161	162	101 %
Root weight <i>rotvikt</i> (mg)						
110 days <i>dagar</i>	15	18	120 %	21	44	210 %
205 days <i>dagar</i>	116	130	112 %	266	238	89 %

^a Provenance *Proveniens* T64 ^b Provenance *Proveniens* C60

Up until day 110, lodgepole shoots had a larger weight per unit length in Cellpot compared with Scots pine (Figure 5). Thereafter this variable increased faster in Scots pine, and the difference between species in shoot weight per unit length had disappeared by day 161. By contrast, in the trays, lodgepole pine shoots consistently had higher values than Scots pine shoots. Roots also showed a strong increase in weight per unit length after day 110, with values being higher for lodgepole pine than for Scots pine (Figure 5).

Results of a detailed comparison between root components in the intensely sampled Scots pine and lodgepole pine provenances (T64 and C60) after 110 and 205 days (July and late October, respectively) are presented in Table 5a and b and Table 6a and b respectively. By the later date, growth has normally stopped. In Cellpot in October the differences in seedling size were smaller when

only these two provenances were compared (11% greater biomass for lodgepole pine versus, for example, 29% in September when all provenances were included in the comparison; Figure 1a). However, the relatively larger roots of lodgepole pine, compared with Scots pine in Cellpot, and smaller root proportion in the trays, were still clearly apparent after 205 days, in October. In Cellpot on that date the root system of lodgepole pine seedlings had 19% more biomass, mainly owing to its larger lateral roots (Table 6b). Root biomass was, however, distributed fairly similarly between root components. Roots of the two species differed less in length than in weight. Compared with Scots pine, the lateral roots of lodgepole pine had a greater biomass per unit length in September and October except on day 205 of cultivation in trays (Table 5b and 6b). By contrast, the weight per unit length of the primary root was often greatest for Scots pine.

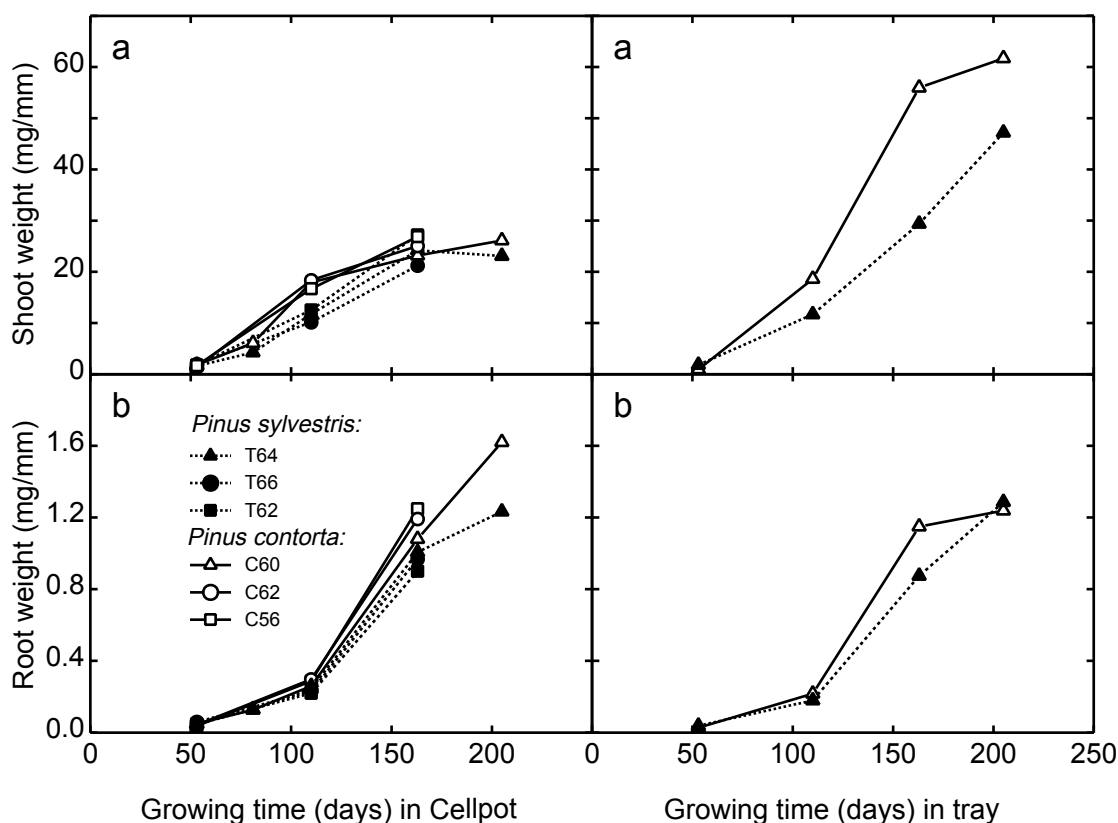


Figure 5a–b. Change over time in the average biomass per unit length of shoots (a) and roots (b) of Scots and lodgepole pine seedlings grown in Cellpot containers and Europe-trays.

Figur 5a–b. Utveckling av medelbiomassa per längdenhet för skott (a) och rötter (b) hos plantor av tall och contortatall odlade i Cellpot-behållare respektive Europa-lådor.

Table 5a. Components of seedling biomass in Scots pine ^a and lodgepole pine ^b grown for 110 days in Cellpot containers and Europe-trays (for each mean, n=10 seedlings).

Tabell 5a. Biomassakomponenter hos plantor av tall ^a och contortatall ^b efter 110 dagars odling i Cellpot-behållare respektive Europa-lådor (varje medelvärde från 10 plantor).

	Cellpot			Tray Låda		
	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>	Relation P.c./P.s.	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>	Relation P.c./P.s.
Shoot length (mm) <i>Skottlängd</i>	97	82	85 %	109	97	89 %
Shoot weight / unit length (mg/mm) <i>Skottvikt / längdenhet</i>	11.8	18.0	153 %	11.7	18.6	159 %
Total seedling weight (g) <i>Total plantvikt</i>	1.363	1.733	127 %	1.648	2.335	142 %
Shoot weight (g) <i>Skottvikt</i>	1.141	1.472	129 %	1.274	1.806	142 %
Root weight (g) <i>Rotvikt</i>	0.222	0.261	118 %	0.374	0.529	141 %
Root fraction <i>Rotandel</i>	16 %	15 %	92 %	23 %	23 %	100 %

^a Provenance *Proveniens* T64 ^b Provenance *Proveniens* C60

Table 5b. Components of seedling roots in Scots pine ^a and lodgepole pine ^b grown for 110 days in Cellpot containers and Europe-trays (for each mean, n=10 seedlings).

Tabell 5b. Rotkomponenter hos plantor av tall ^a och contortatall ^b efter 110 dagars odling i Cellpot-behållare respektive Europa-lådor (varje medelvärde från 10 plantor).

	Cellpot			Tray Låda		
	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>	Relation P.c./P.s.	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>	Relation P.c./P.s.
Dry weight <i>Torrsvikt</i> (g)						
Total root weight <i>Total rotvikt</i>	0.222	0.261	118 %	0.374	0.529	141 %
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–3	0.068	0.060	88 %	0.110	0.154	140 %
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–7	0.129	0.161	125 %	0.195	0.361	185 %
Main root <i>Huvudrot</i>	0.046	0.036	78 %	0.099	0.079	80 %
Root fractions <i>Rotandelar</i>						
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–3	31 %	23 %		29 %	29 %	
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–7	58 %	62 %		52 %	68 %	
Main root <i>Huvudrot</i>	21 %	14 %		26 %	15 %	
Remainder <i>Rest</i>	21 %	25 %		21 %	17 %	
Root length <i>Rotlängd</i> (mm)						
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–3	132	126	95 %	256	306	120 %
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–7	115	128	112 %	228	307	135 %
Main root <i>Huvudrot</i>	105	109	104 %	487	284	58 %
Root weight / unit length (mg/mm) <i>Rotvikt / längdenhet</i>						
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–3	0.17	0.16	92 %	0.14	0.17	117 %
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–7	0.16	0.18	112 %	0.12	0.17	138 %
Main root <i>Huvudrot</i>	0.44	0.33	75 %	0.20	0.28	137 %

^a Provenance *Proveniens* T64 ^b Provenance *Proveniens* C60

Table 6a. Components of seedling biomass in Scots pine ^a and lodgepole pine ^b grown for 205 days in Cellpot containers and Europe-trays (for each mean, n=10 seedlings).

Tabell 6a. Biomassakomponenter hos plantor av tall ^a och contortatall ^b efter 205 dagars odling i Cellpot-behållare respektive Europa-lådor (varje medelvärde från 10 plantor).

	Cellpot			Tray Låda		
	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>	Relation P.c./P.s.	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>	Relation P.c./P.s.
Shoot length (mm) <i>Skottlängd</i>	110	102	93	110	159	145 %
Shoot weight / unit length (mg/mm) <i>Skottvikt / längdenhet</i>	23.1	26.1	113	47.2	61.7	131 %
Total seedling weight (g) <i>Total plantvikt</i>	4.38	4.86	111	9.83	14.70	150 %
Shoot weight (g) <i>Skottvikt</i>	2.54	2.66	105	5.19	9.81	189 %
Root weight (g) <i>Rotvikt</i>	1.84	2.20	119	4.64	4.89	106 %
Root fraction <i>Rotandel</i>	42 %	45 %	108 %	47 %	33 %	71 %

^a Provenance *Proveniens* T64 ^b Provenance *Proveniens* C60

Table 6b. Components of seedling roots in Scots pine ^a and lodgepole pine ^b grown for 205 days in Cellpot containers and Europe-trays (for each mean, n=10 seedlings).

Tabell 6b. Rotkomponenter hos plantor av tall ^a och contortatall ^b efter 205 dagars odling i Cellpot-behållare respektive Europa-lådor (varje medelvärde från 10 plantor).

	Cellpot			Tray Låda		
	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>	Relation P.c./P.s.	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>	Relation P.c./P.s.
Dry weight <i>Torrsvikt</i> (g)						
Total root weight <i>Total rotvikt</i>	1.84	2.20	119	4.64	4.89	106 %
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–3	0.53	0.70	132	1.32	1.33	101 %
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–7	1.30	1.44	110	2.74	2.75	101 %
Main root <i>Huvudrot</i>	0.14	0.13	98	0.67	0.65	98 %
Root fractions <i>Rotandelar</i>						
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–3	29 %	32 %		28 %	27 %	
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–7	71 %	65 %		59 %	56 %	
Main root <i>Huvudrot</i>	7 %	6 %		14 %	13 %	
Remainder <i>Rest</i>	22 %	29 %		27 %	30 %	
Root length <i>Rotlängd</i> (mm)						
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–3	204	201	98	455	500	110 %
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–7	199	177	89	465	495	106 %
Main root <i>Huvudrot</i>	104	119	114	350	487	139 %
Root weight / unit length (mg/mm) <i>Rotvikt / längdenhet</i>						
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–3	0.90	1.16	129	0.97	0.89	92 %
Lateral root <i>Lateralrot</i> 1–7	0.94	1.16	124	0.84	0.80	95 %
Main root <i>Huvudrot</i>	1.32	1.13	85	1.90	1.34	71 %

^a Provenance *Proveniens* T64 ^b Provenance *Proveniens* C60

Discussion

Our findings show that after only about two months under normal seedling cultivation conditions, lodgepole pine seedlings surpass Scots pine seedlings in terms of size despite the lower seed weight of the former. This size advantage of lodgepole pine can be attributed to its higher growth rate (Ingestad & Kähr, 1985; Norgren, 1996). Furthermore, this difference between species applies to the range of provenances currently being used in northern Sweden. The difference between species was accentuated up until September (163 days) when the biomass of Cellpot-cultivated lodgepole pine was 29% greater compared with Scots pine. Differences between species happened to be smallest for the more intensively studied Scots pine provenance T64 and lodgepole pine provenance C60. The smaller difference between species in connection with Cellpot cultivation in October (11% after 205 days) can therefore be ascribed to the fact that only T64 and C60 were compared and does not infer that lodgepole pine had lost its lead by the end of the season. Accordingly, the incomplete provenance representation and few test plants reduced the comparative value of the October measurements, and, for the same reason, the values obtained for free-rooted seedlings should be considered less reliable.

In an earlier study of seedlings in a nursery, large differences in biomass were found between container-cultivated 1-year-old seedlings of Scots pine and lodgepole pine after growth had stopped (47%; Rosvall, 1995). It takes longer for lodgepole pine to reach the same height as Scots pine in natural substrates that are not supplied with additional nutrients (Norgren, 1996). However, the more fertile the substrate, the faster lodgepole pine can catch up with Scots pine and the greater the difference between the species will be (Norgren, 1996). A greater difference between species was also obtained in the Europe-trays, which offered a larger amount of space and more nutrients per seedling. The magnitude of the difference between species was thus influenced both by the growing conditions and by the provenances compared. The characteristic differences between species for container-cultivated seedlings of the provenances to be used in a given area in Sweden were therefore reflected best by the September mean (163 days) for Cellpot-cultivated seedlings. But since roots, in particular, continued growth during October, the September values do not reflect the final conditions prior to winter. Relative differences between species in biomass were even larger for the roots (35% and 19% for September and October values, respectively) although there was no difference between species in the root proportion of the biomass. Thus for all commonly used seedling cultivation times and provenances, lodgepole pine must be cultivated for a shorter period in order to keep it from developing a larger root mass than Scots pine.

In addition, the larger root system of lodgepole pine had relatively more robust lateral roots and a weaker primary root compared with Scots pine. The shift of biomass towards the upper lateral roots was not as pronounced as earlier observed (Rosvall, 1995), nor was

there any clear difference between species in variation between individual lateral roots within a seedling. Observations indicated that the larger weight per unit length for lodgepole pine lateral roots was due to the fact that they were thicker and that lower-order roots were more numerous. Norgren (1996) also found that the root proportion of the biomass was the same for Scots pine and lodgepole pine, and that in lodgepole pine there was a lower proportion of the root biomass in the thicker (>2.5 mm) roots.

The comparison with free root development in trays showed the growth-limiting effects of a dense spacing and closed containers in the Cellpot sets. The effect on root growth was insignificant after the first 81 days, but by day 110 the free-growing lateral roots had become 2–3 times as long as those in Cellpot containers. At the end of the season, the length of the free-growing lateral roots corresponded to a root system width of 1.0 m versus 0.4 m for the container-cultivated seedlings with the container width of 4.4 cm. Steering ribs and elevated cultivation appeared to only have temporarily limited root growth, i.e. around the time that they reached the container bottom. They eventually resumed growth, primarily upwards and downwards, while coiling was uncommon.

Generally, the presence of long, vertically folded lateral roots as well as laterals forced to grow downwards are indicative of strong deformation. Such roots cannot function effectively as stays for seedlings planted in the field based on their tensile strength since they cannot stretch to the same extent as the horizontally extending roots of naturally regenerated seedlings (Burdett et al., 1986). Folding also reduces the roots' ability to support the plant through bending resistance, both immediately after planting and in the long term. Due to the fast initial root growth, the spread and orientation of the dominant roots forming the basic structure of the root system is determined very early; thus any deformation or asymmetry becomes permanent (Coutts & Lewis, 1983). Future stability is therefore compromised (discussed by Burdett, 1979).

Also downward-directed roots are important for tree stability (Mason, 1985; Håkansson & Lindström, 1989, 1994a; Lindström, 1990). The somewhat weaker primary root of planted lodgepole pine could contribute to the species' lower stability at an early stage of seedling development compared with Scots pine. However, for larger seedlings and trees, field studies have shown that lodgepole pine has more downward-directed sinker roots than Scots pine (Pontén & Risby, 1982; Nielsen, 1982; Martinsson, 1986a), although there are examples where sinkers have not developed (Halter et al., 1993).

Since lodgepole pine has a larger root system, its roots should be relatively more deformed than Scots pine roots in containers of equal size. If this is the case, it should be one of the factors contributing to the lower stability of planted lodgepole pine, compared with Scots pine. The difference between species might be comparable to the difference between Scots pine seedlings cultivated for different lengths of time: With increasing cultivation time, the degree of root deformation increases while stability decreases (Lind-

ström, 1990; Nilsson, 1990; Håkansson & Lindström, 1994a). However, the differences are still small enough to allow lodgepole pine seedlings cultivated for a short time to end up with a root system similar in size to that of Scots pine seedlings cultivated for a longer time. The variation in stability that has been observed in both Scots pine and lodgepole pine plantations might thus be the result of using seedlings of different types and cultivating them for different lengths of time in commercial forest nurseries (Rosvall, 1994).

The low root proportion in October in freely developing lodgepole pine was due to the very strong shoot growth associated with the development of lammas shoots between days 110 and 163 and to the fact that root growth had not been able to balance shoot growth. Due to the presence of lammas shoots on lodgepole pine, growth ceased later in the season than in Scots pine, most seedlings of which lacked lammas shoots. Consequently, lodgepole pine was in a different growth stage when autumn's low light levels and temperatures were successively reducing seedling activity. The smaller root proportion can thus be attributed to the larger capacity of lodgepole pine to utilize favourable conditions (nutrients, water and light; Lanner, 1976) or to differences in growth rhythm (Cannell & Willett, 1976), or both. The root/shoot ratio of lodgepole pine seedlings is known to vary depending on the provenance and environmental conditions (Lines, 1980; Cannell & Willett, 1976; Roberts & Wareing, 1975; Burdett & Yamamoto, 1986; Martinsson, 1986a), but under normal environmental conditions such variation appears to be small among the range of provenances currently being used in Sweden (Norgren, 1996). Differences in root/shoot ratio between young seedlings of different provenances after the growing season are usually temporary and are compensated for by a change in the pattern of growth allocation the following spring (Cannell & Willett, 1976). However, seedlings with large shoots and small roots during autumn are more sensitive to the pressure of a snow load during winter (Cannell & Willett, 1976). Lammas growth is common in lodgepole pine in nurseries, and under Swedish conditions it can occur in the field a few years after planting. Thereafter, since shoots only emerge from winter buds, lodgepole pine ceases its above-ground growth at about the same time as Scots pine (Hagner & Fahlroth, 1974; Norgren et al., 1996), with enough time left to allow the root to reach a balance with above-ground parts.

Instability is most common on moist sites and fine-textured soils. Fine-textured soils with a high water content are often fertile and promote fast growth and superficial root development on a foundation that is unfavourable from a stability point of view. For a given root/shoot ratio, young lodgepole pine has larger proportion of above-ground biomass in the form of branches and needles compared with Scots pine (Norgren, 1996; Rosvall, 1994). Under a heavy snow load the larger crown of lodgepole pine and the greater elasticity of its wood (Cannell & Morgan, 1987) can result in more bending of the stem, thereby increasing the turning moment. Long exposure to snow load also leads to stem deformation

through creep at much lower stress levels than required for breakage (Petty & Worrell, 1981). If several unfavourable conditions occur at the same time, a temporary imbalance between root and shoot biomass in young lodgepole pine can contribute to instability. It has also been shown that very southerly provenances, with a smaller root/shoot ratio in autumn (Cannell & Willett, 1976) and a greater growth capacity, tend to be more unstable than more northerly ones (Moss, 1971; Lines, 1980; O'Driscoll, 1980; Blomkvist, 1981; Karlman, 1984; Martinsson & Lundh, 1982; Rosvall et al., 1985). However, in trees with large dimensions, no difference in the supportive-root proportion of the total biomass has been found between Scots and lodgepole pine (Rosvall, 1994).

Even though differences in crown-root relations can lead to differences in stability (the "sail" argument) the documented root deformations could very well be the most important reason for the instability of planted seedlings. Root deformation can result in a root system consisting of more, but thinner, roots, which provides less resistance to bending. Alternatively, the resulting root system may have fewer roots and greater asymmetry, and thus have a less effective lever radius. As a consequence, the counteracting moment will be reduced (Burdett, 1979; Brunsden, 1979; Pfeifer, 1982; Martinsson, 1985; Sundkvist, 1988; Coutts et al., 1990; Halter & Chanway, 1993; Halter et al., 1993). If the roots of lodgepole pine are more elastic, as is true for its stem, this will result in more stretching and less stiffness which will further hinder the roots' stay and bending resistance functions. Furthermore, lodgepole pine shows high phenotypic plasticity in response to environmental variation (Coutts & Philipson, 1977; Horton, 1958; Minore et al., 1969); thus strong asymmetry and a large imbalance can develop. Although the results of field studies indicate that asymmetry is not greater in lodgepole pine than in Scots pine, no attempt was made in these studies to distinguish between individual roots of different sizes (Rosvall, 1994). It is conceivable that the capacity for rapid crown development among seedlings with a lopsided root system is greater for lodgepole pine than for Scots pine owing to the greater fine-root activity and higher nitrogen efficiency of the former species (Albrektsson et al., 1995; Norgren, 1996). This relation might also explain the strong reaction of lodgepole pine to both suitable (Håkansson & Lindström, 1994b) as well as unsuitable soil scarification (Pfeifer, 1982; Coutts et al., 1990; Martinsson, 1985; Sundkvist, 1988).

The low amount of root growth and markedly lower root proportion during the most intensive period of shoot growth (81–110 days) suggests that planting in the field might result in less permanent root deformation during this time than at other times. However, one is still faced with the problem of having to handle seedlings before their roots have had time to grow out and reinforce the growing substrate (forming a plug) sufficiently. This is one of many reasons why it is hard to use seedlings in this stage of development in practical forest regeneration. However, newer container systems can be expected to produce

seedlings with better properties since root growth can also be limited over longer cultivation times. Long root lengths and root deformation are overcome by mechanical or air pruning of roots emerging through open vertical slits along the container walls or by using a mesh around the growing substrate instead of a wall or by treating the walls with a chemical growth retardant. Mechanical root pruning has also been applied to free-rooted seedlings raised in trays. However, the long-term effects of such methods on root-system structure must be monitored with regard primarily to lateral root number, thickness and symmetry in the field before the influence on long-term tree stability can be evaluated. Methods that result in a more natural, symmetrical root system probably also enhance seedling establishment and growth (Balisky et al., 1995).

Acknowledgement

Göran Andersson, Birger Eriksson, Ingela Lindqvist, Margareta Nilsson and Monica Lundström cultivated the seedlings and carried out the root analyses. We also acknowledge valuable comments on the manuscript by Anders Lindström.

References

- Albrektsson, A., Bondesson, L., Rosvall, O. & Ståhl, E. 1995. Traits related to stem volume yield capacity in sample trees of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus contorta* Dougl. *Scand. J. For. Res.* 10: 120–128.
- Balisky, A. C., Salonijs, P., Walli, C. & Brinkman, D. 1995. Seedling roots and forest floor: Misplaced and neglected aspects of British Columbia's reforestation effort? *Forest. Chron.* 71: 59–65.
- Bishop, D. M. 1962. Lodgepole pine rooting habits in the Blue Mountains of northeastern Oregon. *Ecology* 43: 140–142.
- Blackwell, P. G., Rennolls, K. & Coutts, M. P. 1990. A root anchorage model for shallowly rooted Sitka spruce. *Forestry* 63: 73–91.
- Blomkvist, S. 1981. Försök med *Pinus contorta* [Experiments with *P. c.*]. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 4/1981: 42–72. (in Swedish)
- Brunsdon, G. J. 1979. Evaluation of the subsequent root development of transplanted, containerised and direct sown Sitka spruce and lodgepole pine after five years growth. Internal Report, Forestry Commission. Edinburgh.
- Burdett, A. N. 1978. Control of root morphogenesis for improved mechanical stability in container-grown lodgepole pine. *Can. J. Forest Res.* 8: 483–486.
- Burdett, A. N. 1979. Juvenile instability in planted pines. *Irish Forestry* 36: 36–47.
- Burdett, A. N., Simpson, D. G. & Thompson, C. F. 1983. Root development and plantation establishment success. *Plant Soil* 71: 103–110.
- Burdett, A. N., Coates, R. & Martin, P. A. F. 1986. Toppling in British Columbia's lodgepole pine plantations: significance, cause and prevention. *The Forestry Chronicle* 62: 433–439.
- Burdett, A. N. & Yamamoto, S. 1986. Growth rate and shoot:root allometry in *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco and *Pinus contorta* Dougl. seedlings raised under two photoperiodic regimes. *Scand. J. For. Res.* 1: 397–402.
- Cannell, M. G. R. & Willett, S. C. 1976. Shoot growth phenology, dry matter distribution and root:shoot ratios of provenances of *Populus trichocarpa*, *Picea sitchensis* and *Pinus contorta* growing in Scotland. *Silvae Gen.* 25: 49–59.
- Cannell, M. G. R. & Morgan, J. 1987. Young's modulus of sections of living branches and tree trunks. *Tree Physiol.* 3: 335–364.
- Coutts, M. P. 1983. Root architecture and tree stability. *Plant Soil* 71: 171–188.
- Coutts, M. P. 1986. Components of tree stability in Sitka spruce on peaty gley soil. *Forestry* 59: 173–197.
- Coutts, M. P. & Philipson, J. J. 1977. The influence of mineral nutrition on the root development of trees III. Plasticity of root growth in response to changes in the nutrient environment. *J. Exp. Botan.* 28: 1071–1075.
- Coutts, M. P. & Lewis, G. J. 1983. When is the structural root system determined in Sitka spruce? *Plant Soil* 71: 155–160.

- Coutts, M. P., Walker, C. & Burnand, A. C. 1990. Effect of establishment method on root form of lodgepole pine and Sitka spruce and on the production of adventitious roots. *Forestry* 63: 143–159.
- Eis, S. 1970. Root-growth relationships of juvenile white spruce, alpine fir and lodgepole pine on three soils in the interior of British Columbia (Minister of Fisheries and Forestry, Catalogue No. Fo. 47-1276), 10 pp. Ottawa: Information Canada.
- Eriksson, H. & Möller, A. 1988. *Pinus contorta* och *P. sylvestris* – en jämförande produktionsekologisk studie [*P. c.* and *P. s.* – a study comparing production ecology] (Examensarbete i ämnet skogsskötsel 1988-6, Institutionen för skogsskötsel, SLU), 47 pp. Umeå. (in Swedish)
- Fryk, J. 1980. Inventory of older *Pinus contorta* plantations at AB Iggesunds Bruk. In: *Pinus contorta* as an exotic species, Proceedings of the IUFRO meeting 1980 on *Pinus contorta* provenances in Norway and Sweden (Research notes 30, Dept. of Forest Genetics, Swedish Univ. of Agr. Sci.), 59–65. Garpenberg.
- Hagner, S. & Fahlroth, S. 1974. On the prospects of cultivating *Pinus contorta* in North Sweden. *Sveriges Skogsvårdsförbunds tidskrift* 4/1974: 477–528. (English summary)
- Halter, M. R. & Chanway, C. P. 1993. Growth and root morphology of planted and naturally-regenerated Douglas fir and lodgepole pine. *Ann. Sci. For.* 50: 71–77.
- Halter, M. R., Chanway, C. P. & Harper, G. J. 1993. Growth reduction and root deformation of containerized lodgepole pine saplings 11 years after planting. *Forest Ecol. Manag.* 56: 131–146.
- Horton, K. W. 1958. Rooting habits of lodgepole pine (Dept. Northern Affairs and National Resources, Forestry Branch, Forest Res. Div. Tech. Note No. 67), 26 pp. Canada.
- Håkansson, L. & Lindström, A. 1989. Försök med olika behållartyper – resultat av stabilitets- och rotundersökningar 9 år efter plantering [Experiments with different containers – results from stability and root investigations 9 years after planting] (Stencil 52, Institutionen för skogsproduktion, SLU), 42 pp. Garpenberg. (in Swedish)
- Håkansson, L. & Lindström, A. 1994a. Stabilitet i 20-åriga täckrotskulturer av tall [Stability in 20-year-old containerized Scots pine plantations] (Stencil 87, Institutionen för skogsproduktion, SLU), 22 pp. Garpenberg. (in Swedish)
- Håkansson, L. & Lindström, A. 1994b. Effekt av plogning, högläggning och harvning på contortatallens rotutveckling och stabilitet [Effects of different scarification methods on root development and stability of lodgepole pine] (Stencil 92, Institutionen för skogsproduktion, SLU), 14 pp. Garpenberg. (in Swedish)
- Ingestad, T. & Kähr, M. 1985. Nutrition and growth of coniferous seedlings at varied relative nitrogen addition rate. *Physiol. Plant.* 65: 109–116.
- Karlman, M. 1984. Pathogens and other threats to *Pinus contorta* in northern Sweden. Ph.D. thesis, 212 pp. Umeå: University of Umeå, Department of Ecological Botany.
- Lanner, R. M. 1976. Patterns of shoot development in *Pinus* and their relationship to growth potential. In: Cannell, M.G.R. & Last, F.T. (eds). *Tree physiology and yield improvement*, 223–243. London: Academic press.
- Lindström, A. 1990. Stabilitet i unga täckrotskulturer av tall [Stability in young containerized Scots pine plantations] (Stencil 57, Institutionen för skogsproduktion, SLU), 30 pp. Garpenberg. (in Swedish)
- Lines, R. 1980. Stability of *Pinus contorta* in relation to wind and snow. In: *Pinus contorta* as an exotic species, Proceedings of the IUFRO meeting 1980 on *Pinus contorta* provenances in Norway and Sweden (Research notes 30, Dept. of Forest Genetics, SLU), 209–219. Garpenberg.
- Martinsson, O. 1985. Markberedningens inflytande på överlevnad, tillväxt och rot/skott-relation i förnygringar av tall, gran och contorta [The impact of scarification on survival, growth, and root/shoot ratio in plantations with Scots pine, Norway spruce, and lodgepole pine] (Rapporter Nr 15, Institutionen för skogsskötsel, SLU), 30 pp. Umeå. (in Swedish)
- Martinsson, O. 1986a. Tap Root Formation and early Root/shoot Ratio of *Pinus Contorta* and *Pinus sylvestris*. *Scand. J. For. Res.* 1: 233–242.
- Martinsson, O. 1986b. Contortatallens rotutveckling och stabilitet [The root development and stability of lodgepole pine]. Slutredogörelse (sammanfattning) till SJFR, 10 pp. Umeå: SLU, Institutionen för skogsskötsel. (in Swedish)
- Martinsson, O. & Lundh, J. E. 1982. Contortatallens rotstabilitet – proveniensens inflytande. In: Hultén, H. (ed.). *Rotdeformationer hos skogsplantor – nordiskt symposium* [Root deformations of forest seedlings – Nordic symposium] (Rapport nr 8, SLU, Institutionen för skogsproduktion), 145–163. Garpenberg. (English summary)

- Mason, E. G. 1985. Causes of juvenile instability of *Pinus radiata* in New Zealand. *N. Z. J. For. Sci.* 15: 263–280.
- Mattsson, M. & Rune, G. 1992. En jämförelse mellan manuell plantering och maskinell radsådd av contorta [Comparison between manual planting and mechanized sowing of lodgepole pine] (Examensarbete i ämnet skogsskötsel 1992-6, Institutionen för skogsskötsel, SLU), 36 pp. Umeå. (in Swedish)
- Minore, D., Smith, C.E. & Wollard, R.F. 1969. Effects of high soil density on root growth of seven northwestern tree species. USDA Forest Service Research Note PNW-112, 6 pp.
- Moss, A. 1971. An investigation of basal sweep of lodgepole and shore pines in Great Britain. *Forestry* 44: 43–65.
- Nielsen, C. C. N. 1982. En stabilitetsundersøgelse i *Pinus contorta* ved hjælp af en trækmålingsmetode [A stability investigation on *P. c.*]. *Dansk Skovforenings Tidsskrift* 67: 1–41. (English summary)
- Nilsson, M. 1990. Stabilitet och rotutveckling i fält hos tallplantor odlade i behållare med respektive utan styrlister – en jämförelse mellan Hiko och Kopparforsplantor [Stability and root development of Scots pine seedlings grown in containers with and without steering ribs] (Examensarbete i ämnet skogsskötsel 1990-1, Institutionen för skogsskötsel, SLU), 29 pp. Umeå. (in Swedish)
- Norgren, O. 1996. Biomass development in seedlings of *Pinus sylvestris* and *Pinus contorta*. *For. Ecol. Manage.* 86: 15–26.
- Norgren, O., Little, C.H.A. & Sundblad, L.-G. 1996. Seedling shoot, needle and bud development in three provenances of *Pinus sylvestris* and *Pinus contorta* cultivated in northern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 11: 356–363.
- O'Driscoll, J. 1980. The Importance of lodgepole pine in Irish forestry. *Irish Forestry* 37: 7–22.
- Ormmalm, M. & Sundin, T. 1978. En stabilitetsjämförelse mellan *Pinus silvestris* och *Pinus contorta* på organogen jord [Stability comparison between *P. s.* and *P. c.* on organic soil] (Interna rapporter 1978-15, Institutionen för skogsförnygring, SLU), 67 pp. Garpenberg. (in Swedish)
- Persson, P. 1982. Instabilitet i planteringar – omfattningar, orsaker och möjliga åtgärder [Instability in plantations – extents, causes, and possible measures]. In: Hultén, H. (ed.). *Rotdeformationer hos skogsplantor – nordiskt symposium* (Rapport nr 8, SLU, Institutionen för skogsproduktion), 17–39. Garpenberg. (English table/figure legends)
- Petty, J. A. & Worrell, R. 1981. Stability of coniferous tree stems in relation to damage by snow. *Forestry* 54: 115–128.
- Pfeifer, A. R. 1982. Factors contributing to basal sweep in lodgepole pine. *Irish Forestry* 39: 7–16.
- Pontén, B. & Risby, B. 1982. Stabilitets- och rotutveckling hos *Pinus contorta* i jämförelse med *Pinus sylvestris* [Stability and root development of *P. c.* compared with *P. s.*]. In: Hultén, H. (ed.). *Rotdeformationer hos skogsplantor – nordiskt symposium* (Rapport nr 8, SLU, Institutionen för skogsproduktion), 165–177. Garpenberg. (English table/figure legends)
- Roberts, J. Wareing, P.F. 1975. A study of four provenances of *Pinus contorta* Dougl. *Annals of Botany* 39: 93–99.
- Rosvall, O. 1994. Stability in lodgepole pine and resistance to wind and snow loads (Redogörelse nr 2 1994, Forestry Research Institute of Sweden), 47 pp. Uppsala. (English summary)
- Rosvall, O. 1995. Rotstruktur hos täckrotsplantor av contortatall och tall [Root structure of containerized seedlings of lodgepole pine and Scots pine] (Arbetsrapport nr 299, SkogForsk), 17 pp. Uppsala. (in Swedish)
- Rosvall, O., Strömberg, S. & Andersson, B. 1985. Skogsförbättrings proveniensförsök med contortatall i norra Sverige [Provenance tests with lodgepole pines in north Sweden]. In: *Årsbok 1984* (Föreningen Skogsträdsförädling, Institutet för skogsförbättring), 117–159. Uppsala. (English summary)
- Smith, J. H. G. 1964. Root spread can be estimated from crown width of Douglas fir, lodgepole pine, and other British Columbia tree species. *Forest. Chron.* 40: 456–473.
- Sundkvist, H. 1988. Rotutveckling och stabilitet hos contorta och tall planterade på plogade hyggen [Root development and stability of planted lodgepole pine and Scots pine on ploughed clearcuts] (Examensarbete i ämnet skogsskötsel 1988-2, Institutionen för skogsskötsel, SLU), 35 pp. Umeå. (in Swedish)

Rotdeformationer och deras konsekvenser för täckrotsplantors etablering och framtida kvalitetsutveckling

Anders Lindström

Bakgrund

I mitten av 70-talet kom de första larmrapporterna om dålig stabilitet och rotutveckling i skogsplanteringar gjorda med krukodlade täckrotsplantor (Hultén & Jansson, 1978). Alltsedan dess har en mängd olika plantsystem introducerats på marknaden och flertalet av de kruktyper som använts orsakar mer eller mindre kraftiga rotdeformationer (Lindström & Håkansson, 1994). En huvudorsak till rotdeformationer är att odlingsbehållarens utformning är sådan att rötterna kan växa i spiral ned mot behållarens botten eller att krukans väggkonstruktion är sådan att rötterna blir sammanpressade så att rotutvecklingen blir onaturlig efter plantering. Konsekvenserna av rotdeformationer är komplexa och allvarliga och kan långsiktigt innebära stora ekonomiska förluster.

I det följande skall jag sammanfatta några resultat och slutsatser som framkommit under årens lopp från forskning kring instabilitet och rotdeformationer i unga täckrotskulturer. Arbetena som redogörelsen baserar sig på kommer i huvudsak från den forskning som vi genomfört i Garpenberg under senare år. Flera faktorer kan ligga bakom uppkomst av instabilitet hos planterade träd av vilka de viktigaste framgår av figur 1.



Figur 1. Faktorer som kan förklara instabilitet hos planterade träd.

Rotdeformationer

Barrot

Problemen med rotdeformationer på planterade plantor är på intet sätt ett nytt fenomen. Redan på 1800-talet kunde man läsa om risker med barrotsplantering (för referenser, se Lindberg, 1920). Rotdeformationer hos barrotsplantor uppstår antingen i frilandsbäddarna i plantskolan, genom olämplig omskolningsteknik eller rotbeskärningsteknik eller genom olämplig planteringsteknik som innebär att rötterna kläms ihop i planteringsgropen. Framförallt planteringstekniken har orsakat problem vid barrotsplantering och Lindberg (1920) skriver följande om resultatet av den då nyligen introducerade spettplanteringstekniken: "En sådan deformation synas tallplantornas rötter ej kunna övervinna, utan de vid planteringen miss-handlade rötterna fortleva i det hoppresade läge de från början erhålla, ett läge, som ej blott i och för sig är synnerligen abnormt utan som även avsevärt hindrar rötternas normala vidareutveckling och tillväxthastighet." Andra metoder för barrotsplantering har gett liknande problem men inte av samma omfattning som spettplantering.

Täckrot

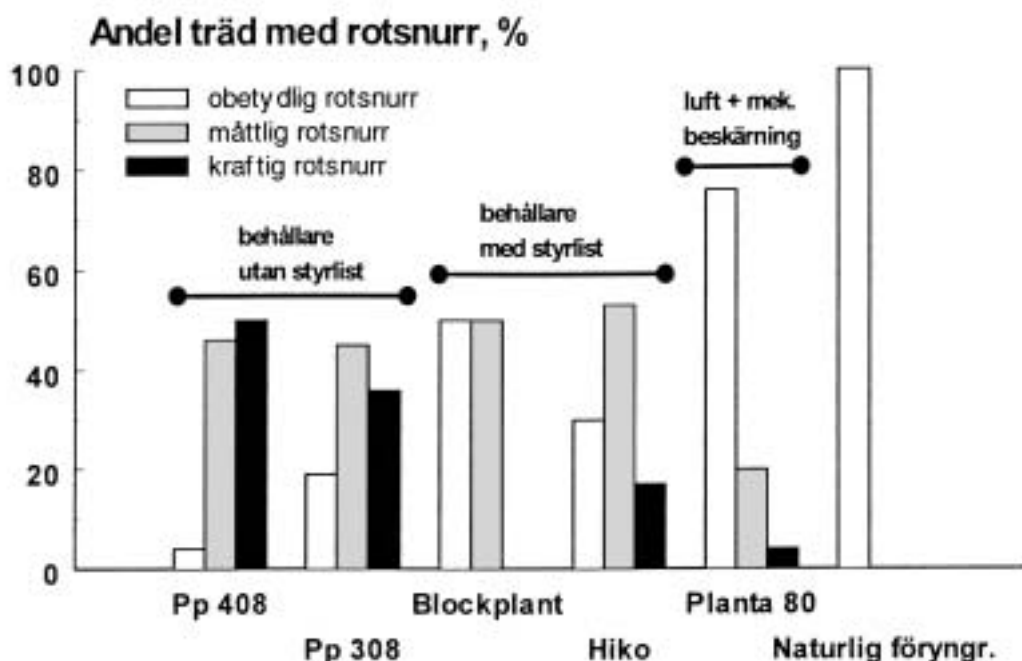
Under slutet av 60-talet introducerades täckrotsplantorna i Sverige, först i liten skala, men planttypen kom ganska snabbt att dominera svensk plantproduktion genom att den hade så många tekniska och hanteringsmässiga fördelar inte minst ute i fält. Under 1970-talet ökade täckrotsproduktionen snabbt och uppgick i början av 1980-talet till ca 250 miljoner plantor per år. Dominerande täckrots-system under denna period var Kopparfors och Paperpotsystemet (Nyström, 1983). Dessa behållartyper gav upphov till en speciell form av rotdeformation, rotsnurr, som uppstår i odlingsbehållare vars väggar har släta insidor (se nedan). Krukorna användes in på mitten av 80-talet och hade tills dess dominerat marknaden. Under slutet av 80-talet uppgick täckrotsproduktionen till ca 500 miljoner plantor per år (Nyström, 1989). Nya kruktyper hade då helt ersatt de gamla och var utformade så att de skulle förhindra utveckling av rotsnurr. Vad man först gjorde var att sätta in vertikala lister inne i behållaren för att förhindra uppkomst av snurr. En senare utveckling var att öppna behållarnas sidor och på så sätt ge lateralerötterna möjlighet att fritt växa åt sidan. Plantsystem 80 var det första kommersiella systemet som tillämpade denna princip i stor skala och i dag har flertalet av den nya generationen kruktyper väggkonstruktioner som styr ut rötterna till

öppningar i behållarväggarna. Gemensamt för dessa system är att rötterna beskärs i sida och botten för att undvika rotöverväxning mellan krukorna. Rotbeskärningen sker antingen med hjälp av lufttorkning, på mekanisk väg eller en kombination av dessa. Beskärning eller hämning av lateral rottillväxt i behållaren på kemisk väg är ytterligare en princip som tillämpas kommersiellt i dag. Härvid används en kopparlösning blandad med latexfärg och metoden är relativt vanlig i Kanada och är på väg att börja användas i Sverige.

Flera fältförsök (se t.ex. Håkansson & Lindström, 1989; Lindström & Persson, 1996) och surveyundersökningar (se t.ex. Lindström, 1990; Håkansson & Lindström, 1994a; Balisky et al., 1995) (figur 2) bekräftar betydelsen av en effektiv rotstyrning för att undvika rotdeformationer hos täckrotsplantor.

Odlingstid

En faktor som bidragit till att vi dragits med kraftiga rotdeformationer i våra planteringar är att vi tidigare och kanske fortfarande odlar för länge i små behållare. Rotdeformationerna, speciellt i de äldre täta kruktyperna, ökar påtagligt med odlingstiden. Mellan andra och tredje odlingsmånaden kan rotmängden i krukorna öka 5–7 ggr (Bergh & Lindström, 1991). Lång odlingstid ger också generellt instabilare träd (tabell 1).



Figur 2.

Andel träd (%) med olika grader av rotsnurr uppdelat på planttyp (rotstyrningsprincip). Tallplantorna upprävdade och analyserade efter 7–8 tillväxtsåsonger i fält. Objekten slumpmässigt valda i Svealand och södra Norrland (N=11-36) (Efter Lindström, 1990).

Tabell 1.

Tallars reaktion vid nedböjning efter 7–8 säsonger i fält. Träden slumpmässigt valda i planteringar i Svealand och södra Norrland. Materialet uppdelat på plantålder (antal månader i tillväxt i plantskolan) vid planteringstillfället. (Efter Lindström, 1990.)

Plantålder, mån.	Andel plantor (%) med			Antal träd
	Rotvälta	Rotbrott	Lutning >40°	
3–4	0	1,6	1,6	126
5–6	0	6,8	5,5	162
7–8	1,4	9,0	10,4	144

Olika typer av rotdeformationer

Rotsnurr innebär att sidorötterna växer spiralformigt ned mot botten av krukans och ger upphov till horisontell fiberved i roten, vilket ökar risken för instabilitet hos trädet. Deformationen uppstår framförallt i behållare med släta väggar (figur 3).



Rotsnurr **Rotsammantryckning** **Uppåtväx. rotsystem, rotknän** **Ensidigt rotsystem**

Figur 3.
Olika typer av rotdeformationer som kan förekomma hos täckrotsplanter.

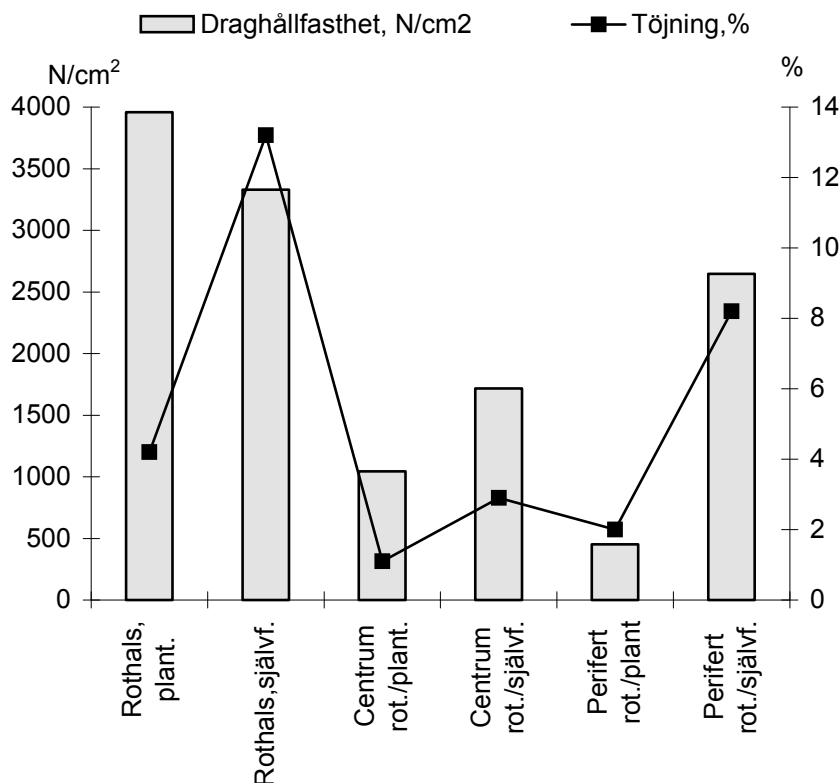
Krukor med täta väggar orsakar *rotsammantryckning* som hämmar den naturliga utvecklingen av sidorötter. Huvudlateralrötterna som normalt skulle växa åt sidan hamnar längst ner i botten på krukans. Dessa rötter ersätts i stället av klenare rötter. Detta ger en sämre stagfunktion och fixering av plantan i marken, vilket sannolikt ökar risken för

uppfrysning. En svag fixering av plantan i marken de första åren efter plantering kan vara en av flera anledningar till den höga frekvensen basala stamkrökar vi ser i våra täckrotsplanteringar.

Förutom ovanstående deformationer ger krukor med solida väggar också upphov till en annan typ av deformation, nämligen *uppåtväxande Z-formade rötter* och *rotknän*. Detta kan ge försämrad stabilitet genom att stagfunktionen hos rötterna blir dålig. Flertalet av våra rotmorfologiska studier har visat att rotdeformationer innebär att rotsystemen får en *ensidigare utbredning* både horisontellt (Lindström, 1990) och vertikalt (Lindström & Håkansson, 1995), vilket kan betyda försämrad stabilitet för trädet.

Effekter av rotdeformationer

De studier vi har gjort av *vedkvaliteten* i stubbarna hos planterade och naturligt förnygrade tallar visade på stora skillnader i draghållfasthet för vedprover tagna perifert i stubben (Håkansson & Lindström, 1994a). Stubbar tillhörande 20-åriga träd från odlingssystemet Paperpot uppvisade betydligt lägre värden än stubbar från 20-åriga naturligt förnygrade träd beroende på fiberstörningar orsakade av rotdeformationer. Töjningen till brott av vedproverna var lägre för de Paperpotodlade träden än naturligt förnygrade träd både i rothalsen, mitt i stubben samt perifert (figur 4).



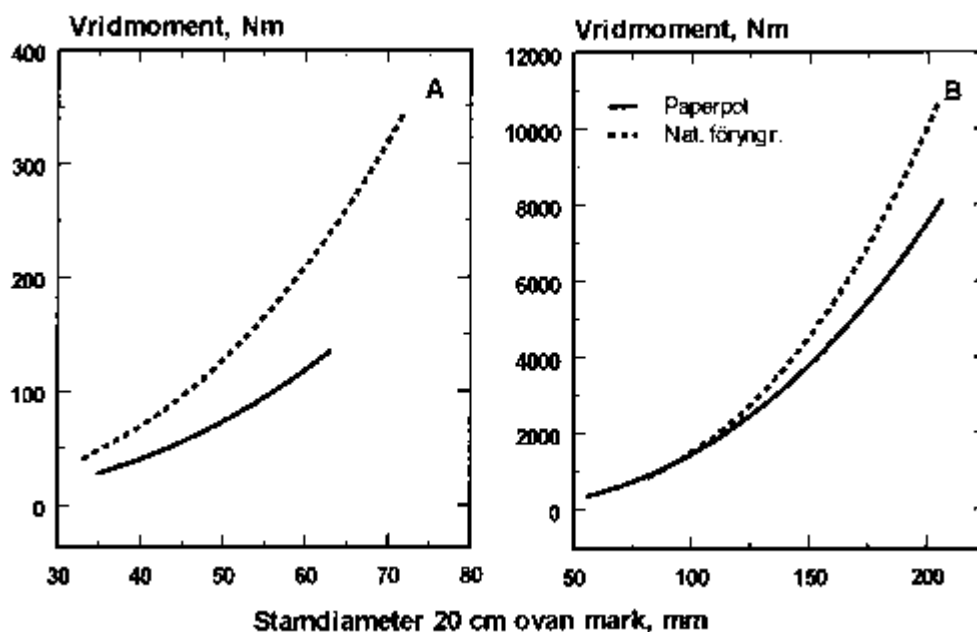
Figur 4.
Draghållfasthet (A) och töjning (B) hos vedprover tagna i rothalsen, i centrum av rotklumpen och i den perifera delen (övervallningszonen) av rotklumpar från 20-åriga paperpotodlade och naturligt förnygrade träd. Draghållfasthet (N/cm²) och töjningsprocent (töjning/provlängd x100) registrerades vid fiberbrott hos vedproverna. Medelvärden baserade på 5 vedprover. Medelvärden indexerade med gemensam bokstav är ej skilda på 5 %-nivån enligt Tukey's multiple range test. (Efter Håkansson & Lindström, 1994a.)

När träden har nått 20-års ålder i Mellansverige har de vuxit så pass mycket att det börjar bli svårt att se rotdeformationerna. Det mesta av rotsnurren är övervallad men gör sig påmind genom en sämre vedkvalitet inuti rotklumpen. I takt med att trädet tillväxer ytterligare kommer sannolikt de negativa effekterna av rotdeformationerna att avta. Vid dragtester gjorda vid en trädålder av 7–9 år var skillnaden i vridmoment mellan naturligt förnygrade träd och paperpotodlade träd mycket stor medan skillnaden var betydligt mindre vid åldern 19–23 år (figur 5). Rotfördelningen i marken hade också förbättrats avsevärt mellan 10 och 20 års ålder för planterade träd från ett genomsnittligt ensidighetstal (kvoten mellan rotarean i kvadranten med största rotarean och totala rotarean) på 0,52 till 0,41 (Lindström, 1990; Håkansson & Lindström, 1994a). Att rotfördelningen förbättras med stigande ålder har också rapporterats av Nørgård Nielsen (1998). Troligen har tillväxthastigheten hos trädets rotsystem en avgörande betydelse för hur snabbt det övervinner en rotdeformation. Detta innebär en lång riskexponering för negativa påföljder av rotdeformationer för träd som av olika anledningar har en långsam rottillväxt t.ex. i kärva klimatlägen.

Den yttersta konsekvensen av en rotdeformation är att infästningen mellan stam och rot del är så dålig att *rotbrott* uppstår vid mekaniska påfrestningar i fält. Lika allvarligt är det om deformationen gjort förankringen i marken så svag att trädets rötter rycks upp när vridande moment blir stora t.ex. vid kraftig vindpåkänning i kombination med blötsnö. Vid nedböjningstester (trädets topp böjs ner mot marken) i praktiska planteringar i mellersta Sverige av 7–8 år gamla träd var det i genomsnitt 18 % av träd med rotsnurr som antingen gick av i roten eller inte reste sig efter

nedböjningen. Träd odlade i krukor utrustade med lister eller spalter för begränsning av rotsnurr klarade sig betydligt bättre med 6 % instabilitet (Lindström, 1990). Rotdeformationer medverkar också till en ökad risk för *stamkrökar*. I ovanstående surveystudie uppvisade 15 % av träden odlade i ”rotsnurrbehållare” kraftiga till mycket kraftiga ($\geq 30^\circ$ lutning) stambaskrökar medan motsvarande andel för träd odlade i krukor med rotstyrning var 6 %.

Rotsnurr och rotsammantryckning kan också öka risken för *svampsjukdomar*. I våra surveymaterial har vi sett oroande hög närvaro av honungsskivling (*Armillaria spp.*) i form av rhizomorfer (rotlika svamporgan) på de planterade trädens rotsystem. *Armillaria* gynnas av om träden är stressade och vid parasitiska angrepp utbreder sig svampen under barken och ger tillväxtnedsättningar eller i värsta fall strangulering eller strypning. Värst angrepp ger en art (*A. ostoye*) som framförallt återfinns söder om Dalälven medan den vanligaste nordliga arten (*A. borealis*) inte är riktigt lika aggressiv. Normalt reduceras angreppen kraftigt vid en trädålder av 15–20 år (Hintikka, 1974). I vårt yngre survey-material (Lindström, 1990) konstaterade vi en något högre närvaro av *Armillaria* hos träd odlade i behållare som orsakat rotsnurr jämfört med träd odlade i behållare som begränsat rotsnurr. Naturligt förnygrade trädets rötter hade den lägsta andelen rotsystem med *Armillaria*. Allvarligare var att i vårt äldre survey-material (Håkansson & Lindström, 1994a) visade hälften av de ca 20 år gamla rötterna från planterade träd förekomst av *Armillaria* medan de naturligt förnygrade referensträden saknade närvaro av svampen (tabell 2). Rotdeformationerna hos de planterade träden tycks ha gynnat svampens utbredning genom större produktion av rhizomorfer.



Figur 5. Samband mellan stamdiameter och vridmoment vid 7–9 (A) och 19–23 års (B) ålder vid dragning till 10° lutning för paperpotodlade och naturligt förnygrade tallar enligt funktionen $V = e^a \times D^b$. Antal observationer i (A) 90–108 och i (B) 20–85. (Efter Lindström, 1990 och Håkansson & Lindström, 1994a.)

Tabell 2.

Andel rotsystem (%) på vilka rhizomorfer av *Armillaria* ssp. påträffats. Objekten slumpmässigt valda i Svealand och södra Norrland och omfattar yngre och äldre planterade och naturligt förnygrade tallar. Antal observationer inom parentes. (Efter Lindström, 1990 och Håkansson & Lindström, 1994a.)

Stubbålder	Täckrot		Naturlig förnygring
	utan rotstyrning 1)	med rotstyrning 2)	
7–9 år	27 (78)	20 (78)	16 (20)
19–23 år	50 (60)	–	0 (10)

1) Behållarna har släta insidor, vilket gynnar uppkomsten av rotsnurr.

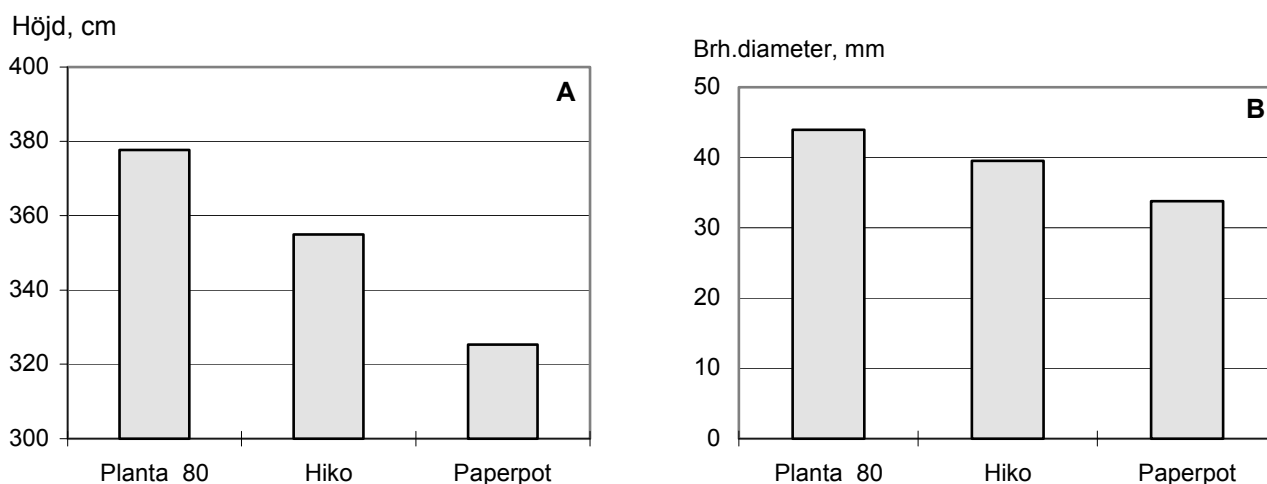
2) Behållarna är försedda med lister eller spalter för begränsning av rotsnurr.

Denna slutsats stöds av en undersökning genomförd av Livingston (1990). Han visade att det finns en koppling mellan infektion av *Armillaria* och rotdeformationer hos gran utvecklade i odlingsbehållare i plantskolan.

Under senare år har det framkommit resultat som tyder på att rotdeformationer kan ge indirekta tillväxtnedsättningar genom avgångar p.g.a. instabilitet (för referenser se Rosvall, 1994) och också direkta *tillväxtnedsättningar* hos enskilda träd (Halter et al., 1993). Hösten 1995 mätte vi in ett kontrollerat försök med tall anlagt av STORA 1982 som innehåller tre från rotformningssynpunkt principiellt skilda system (Lindström & Persson, 1996): Plantsystem 80 som medger en fri utveckling av sidorötter, Hiko vars invändiga lister styr rötterna vertikalt ned mot botten av krukans och Paperpot som ger en hög frekvens snurrande rötter. Totalt mätte vi in 90 individer av varje typ. Resultaten indikerar att rotdeformationerna hos Paperpot har medfört en försämrad höjd och diameter tillväxt. Efter 13 år i fält var skillnaden i höjd mellan paperpotodlade träd och träd tillhörande Plantsystem 80 en dryg halvmeter. Skillnaden i brösthöjdsdiameter var ca 10 mm (figur 6).

Trädslag

Det är framför allt tallarter som drabbas av instabilitet. Planterad contortatall anses ha sämre stabilitetsegenskaper än tall (Martinsson, 1985; Rosvall, 1994) och kan under vissa förhållanden få svåra skador orsakade av instabilitet (Burdett et al. 1986). Contortatallen löper också större risk att drabbas av rotdeformationer i plantskolan genom en kraftigare lateralrot tillväxt än tall (Rosvall, 1995). Tallen har inte granens förmåga att reparera ett dåligt rotsystem med adventivrotsbildning (för referenser se van Eerden & Kinghorn, 1978; Langerud et al., 1988). Även granen påverkas av rotdeformationer som uppstått i behållaren under odlingen i plantskolan om ej i samma omfattning som tall (Håkansson & Lindström, 1997). Rotdeformationer hos gran ökar risken för svampangrepp på rötterna (Livingston, 1990). Hur planterad björk påverkas av rotdeformationer är outforskat, men försök finns utlagda som kan belysa detta trädslags känslighet för rotdeformationer.



Figur 6.

Höjd (A) och brösthöjdsdiameter (B) för tall odlad i Paperpot, Plantsystem 80 och Hiko V50. Plantorna planterades hösten 1982 och revision utfördes hösten 1995. I de fall medelvärden är indexerade med gemensam bokstav är de ej skilda på 5 %-nivån enligt LSD-test. N = 5. (Efter Lindström & Persson, 1996.)

Mark och markbehandling

Marken har betydelse för trädens stabilitet genom att jordplattans sammanhållning och storlek motverkar vridande moment hos trädet. Sammanhållningen hos jordplattan påverkas bl.a. av textur, vattenhalt, rotpenetrering av annan vegetation och trädrotens ockupering av marken (för referenser, se Rosvall, 1998).

De största stabilitetsproblemen i Sverige återfinns på finkorniga och kalla marker där framför allt den djupgående rottillväxten hämmas (Nordvall, 1994). Ytligt rotade träd har en mindre jord-rotplatta i jämförelse med djupt rotade träd. Detta gör träd med ytliga rotsystem instabila. När svåra markförhållanden kombineras med plantering av plantor med rotsnurr är risken mycket stor för allvarliga stabilitetsproblem genom att också snurrdeformationerna gör att rötterna växer mindre i djupled (Lindström & Håkansson, 1989).

Radikal markberedning kan förbättra stabiliteten hos träd genom förhöjd marktemperatur och lucker markstruktur. De studier vi har gjort visar att plantering längst upp i tiltorna efter plogning ger en kraftig rotutveckling i förhållande till stamdiametern (figur 7A) och en stor andel nedåtväxande rötter. Detta har gynnat stabiliteten (figur 7B) hos träden (Håkansson & Lindström, 1994b). Träd som stod på harvade parceller hade ett ytligare rotsystem och uppvisade sämre stabilitet än träd på plogade och höglagda parceller.

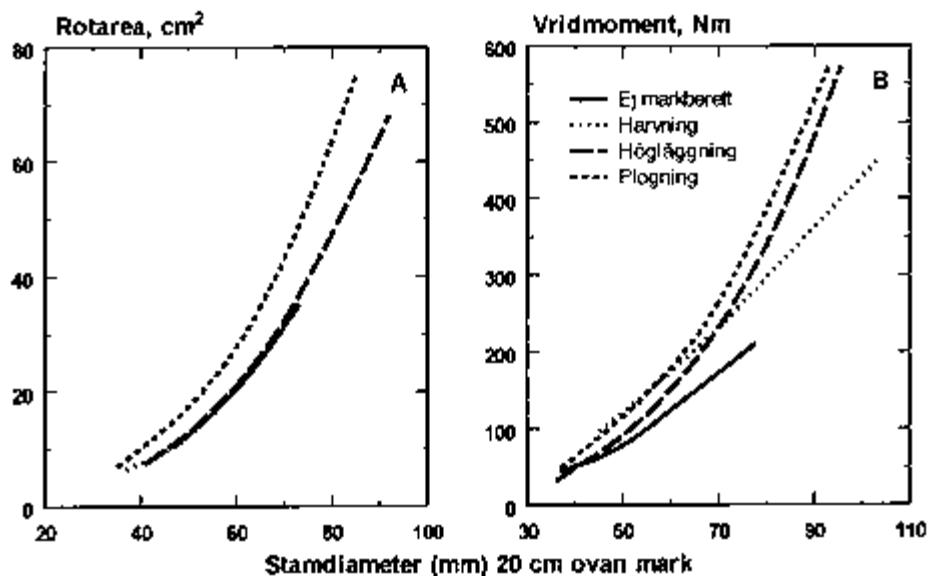
Planteringsteknik

Valet av *planteringspunkt* är mycket viktig särskilt efter radikal markberedning. Plantering på terrass ger t.ex. ensidiga rotsystem som kan orsaka instabilitet och var kanske

den vanligaste planteringspunkten under den period plogning tillämpades i Sverige. Enligt en undersökning av Sundkvist (1988) var andelen asymmetriska rotsystem klart större i bestånd anlagda efter hyggesplogning oavsett skogsodlingsmetod eller planttyp. Eftersom plogfårorna ofta är orienterade i samma riktning över ett helt hygge och således ger upphov till en likartad asymmetri kan enskilda bestånd komma att drabbas av svåra skador. När det gäller plantering i gångjärnet eller i sluttningen efter högläggning förefaller denna punkt vara olämplig, särskilt på tätare marker. Preliminära resultat från en inventering gjord hösten 1997 i en 6 år gammal tallplantering anlagd efter högläggning på en mycket tät (moig-mjällig morän) mark visar att plantor planterade i högens sluttning (gångjärnet) och mitt i högen blev hårt drabbade av basala stamkrökar (tabell 3). Orsaken till detta kan vara uppfrysning. Det är känt att högar tjälar snabbare än mineraljordsfläckar på hösten och kan utsättas för upprepad frysning och tining (Lindström & Troeng, 1995). Som framgår av tabellen är antalet observationer få i planteringspunkten "hög-mitt" varför försiktighet bör iaktas vid tolkning av resultaten från denna punkt. Det bör noteras att plantorna i försöket ej var "djupplanterade" utan torvklumpens övre del sattes ner ca 1 cm under markytan.

Planteringsdjupet har sannolikt betydelse för trädets stabilitetsutveckling. Vad jag vet saknas det dock undersökningar kring kopplingen mellan planteringsdjup och stabilitet. Det är möjligt att andelen stambaskrökar hade reducerats i ovanstående undersökning (tabell 3) om plantorna hade djupplanterats. Däremot finns flera undersökningar gjorda som behandlar etableringseffekter av djupplantering (för referenser, se Nyström, 1994).

Betydelsen av *redskapen* vid plantering vet vi inte så mycket om. Vi kan erinra oss Lindbergs (1920) kamp mot



Figur 7. Samband mellan stamdiameter och rotarea (A) och stamdiameter och vridmoment (B) vid dragning av träd till 10° lutning för 11 år gamla contortatallar planterade i ett försök med olika markbehandlingsmetoder. Kurvorna baseras på exponentiella funktioner. N=12(A)-24(B). (Efter Håkansson & Lindström, 1994b.)

spettplantering av barrotsplanter i början av seklet. Han konstaterade att spettplanteringen gav svåra rotdeformationer när rötterna pressades ner i den trånga planteringsgropen. Hans faktaredovisning om de allvarliga konsekvenser metoden medförde ledde så småningom till att metoden försvann. Planteringsmetoder som kompakterar planteringshålens väggar bör undvikas.

Effekter av instabilitet

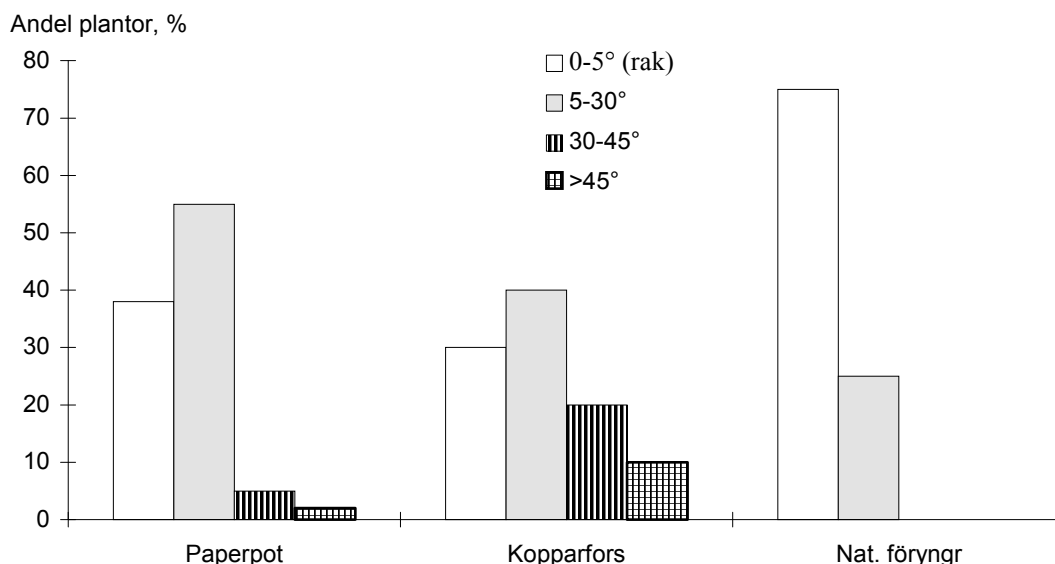
Förutom tillväxtförluster på enskilda träd, som kan vara en direkt fysiologisk följd av rotdeformationer (se ovan) eller kanske en effekt av svajning hos träden på grund av instabilitet, kan det uppstå *beståndsvisa tillväxtförluster* beroende på vind och snöbrott av instabila träd. I en samman-

ställning av uppgifter angående instabilitet hos tall och contortatall framgår det att tallen i allmänhet är mer stabil än contortatall (för referenser, se Rosvall, 1994). För contortatall utgjorde den årliga avgången av främst vindfällning och snöbrott 0,25–0,70 % av grundytan. Reduktionen i tillväxt kan alltså under vissa förhållanden bli hög när rotsystemen är dåligt utvecklade. Vindfällning och snöbrott kan dock också bero på effekter av beståndsbehandling.

Basala stamkrökar eller högre upp belägna krökar orsakade av instabilitet leder till kvalitetsnedsättningar i bestånden. I en surveystudie av 19–24 år gamla tallföryngringar framgick det att planterade träd hade betydligt större andel basala stamkrökar än naturligt förnygrade träd (figur 8) (Håkansson & Lindström, 1994a).

Tabell 3.
Andel stambaskrökar (%) hos planterad tall i ett försök anlagt 1992 på en moig-mjällig mark efter högläggning. Försöket inventerat hösten 1997. Planteringspunkt fläck = plantan planterats i markberedning nedanför högen, hög-sluttning = plantan planterad mellan botten och topp av högen och hög-mitt = plantan planterats längst upp i högen. Ingen stambaskrök = 0–10°, måttlig krök = 10–30°, kraftig krök = > 30°.

Planteringsstidpunkt	Andel planter med stambaskrök, %			N
	ingen	måttlig	kraftig	
Fläck	58,4	29,0	12,6	125
Hög, sluttning	46,1	31,6	22,2	531
Hög, mitt	35,5	35,5	29,0	41
Manuell fläck	62,5	28,1	9,4	32
Totalt	51,6	30,5	17,9	729

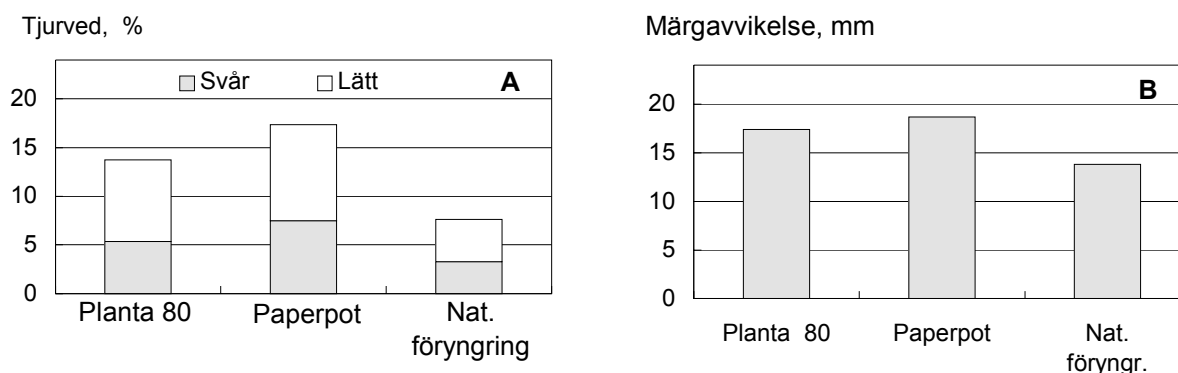


Figur 8.
Andel stambaskrökar (%) hos 19–24 år gamla planterade och naturligt förnygrade tallar. Tallarna slumpmässigt valda på objekt i Svealand. Rak stambas = 0–5°, svagt krokig = 5–30°, kraftig krök = 30–45°, mycket kraftig krök = >45°. (Efter Håkansson & Lindström, 1994a.)

En senare genomförd studie (Lindström & Persson, 1996) har visat att tjurvedsandelens i stammen hos träd med kraftiga rotdeformationer, i det här fallet Paperpotodlade träd, var mer omfattande än träd odlade i Plantsystem 80. Också märgförskjutningen (märgens genomsnittliga avvikelser från en rät linje mellan märgens läge vid rot och 1,5 m) var större för Paperpotodlade träd. De naturligt förnygrade träden uppvisade de bästa stamegenskaperna (figur 9). Vi fann också att egenskaper som karakteriserar ett dåligt utvecklat rotsystem var korrelerade med stamkrokighet och hög andel tjurved. Vedkvaliteten i rotsystemet försämras av rotdeformationer där både hållfasthet och vedfibrernas elasticitet eller förmåga till töjning påverkas negativt. Även stammens kvalitet är sämre för träd med rotdeformationer. Vad de försämrade stamegenskaperna i form av högre tjurvedsandel och större märgförskjutning innebär i försämrat virkes- och massavedsutbyte är hittills inte kvantifierat. För att göra detta krävs mer ingående studier och ett betydligt större material.

Fortfarande saknas kunskap

I dag saknas det prognoser på det framtida kvalitetsutfallet av våra planteringar. Vi saknar mått på omfattningen av kvalitetsnedsättningen i kulturer med juvenil instabilitet och har därmed inte möjlighet att kvantifiera de ekonomiska förlusterna. Genom att tidigt gå in och analysera vedegenskaper hos unga träd borde det vara möjligt att få ett relativt säkert mått på vilken kvalitet vi kan förvänta oss i framtiden. Ett sådant prognosinstrument ger oss också en återkoppling till hur vi skall förbättra vår skogsvård och vad vi kan göra med vår råvara. Det finns ytterligare angelägna forskningsuppgifter som anknyter till den framtida kvaliteten i våra planteringar. Eftersom plantans möjligheter att utvecklas till ett friskt och stabilt träd till stor del avgörs av odlings- och planteringstekniken finns det starka skäl för utökade FoU-insatser inom detta område. Nya odlings- och planteringstekniker borde bli föremål för noggrann prövning innan de introduceras i större skala. Det saknas i dag också kunskaper om hur man skall utforma skötsel och åtgärdsprogram som optimerar möjligheterna att förränta instabila bestånd.



Figur 9. Tjurvedsbildning (A) och märgförskjutning (B) hos olika planttyper. Svår tjurved betyder ved där sommarveden omfattar hela årsringen och lätt tjurved avser ved med tydlig reaktionsvedsbildning. Tjurveden mättes i % av volymen under bark upp till 1,5 m höjd. Märgförskjutning avser märgens genomsnittliga avvikelser från en rät linje mellan märgens läge vid rot och 1,5 m. N = 6–12. (Efter Lindström & Persson, 1996.)

Referenser

- Balisky, A. C., Saloniuss, P., Walli, C. & Brinkman, D. 1995. Seedling roots and forest floor: Misplaced and neglected aspects of British Columbia's reforestation effort? *The Forestry Chronicle* 71, 59–65.
- Bergh, S. & Lindström, A. 1991. Stenullsarmering förbättrar substratsammanhållningen hos täckrotsplantor. *Plantnytt* 2, 1–4.
- Burdett, A. N., Coates, H., Eremenko, R. & Martin, P. A. F. 1986. Toppling in British Columbia's lodgepole pine plantations: Significance, Cause and prevention. *The Forestry Chronicle* 62, 433–439.
- Eerden, E. V. & Kinghorn, J. M. (eds) 1978. Proceedings of the root form of planted trees symposium. Can. For. Serv. Victoria, BC. Joint rep. no. 8, 356 pp.
- Halter, M.R., Chanway, C.P. & Harper, G.J. 1993. Growth reduction and root deformation of containerized lodgepole pine saplings 11 years after planting. *Forest Ecology and Management* 56, 131–146.
- Hintikka, V. 1974. Notes on the ecology of *Armillaria mellea* in Finland. *Karstenia* 14, 12–31.
- Hultén, H. & Jansson, K-A. 1978. Stabilitet och rotdeformationer hos tallplantor. (Stability and root deformation of pine plants (*Pinus sylvestris*)). Skogshögskolan, institutionen för skogsföryngring. Rapporter och uppsatser nr 93, 84 s.
- Håkansson, L. & Lindström, A. 1989. Försök med olika behållartyper – resultat av stabilitets- och rotundersökning 9 år efter utplantering. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsproduktion. Stencil nr 52, 40 s.
- Håkansson, L. & Lindström, A. 1994a. Stabilitet i 20-åriga täckrotskulturer av tall. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsproduktion. Stencil nr 87, 22s.
- Håkansson, L. & Lindström, A. 1994b. Effekter av plogning, högläggning och harvning på contortatallens rotutveckling och stabilitet. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsproduktion. Stencil nr 92, 14s.
- Håkansson, L. & Lindström, A. 1997. Rotstudier av planterad gran. Arbetsrapport. Högskolan Dalarna, CITU, Garpenberg.
- Langerud, B. R., Sandvik, M. & Sjøvold, A. 1988. Bartreplanters rotsymmetri i felt. (Root-symmetry of conifer plants in field) *Medd. Nor. inst. skogforsk.* 40 (12), 1–20.
- Lindberg, F. 1920. Sådd eller plantering? Om faran för rotdeformering vid omskolning och barrotsplantering, särskilt spettplantering, av barrträdsplantor. *Skogen* häfte 4, 97–114.
- Lindström, A. 1990. Stabilitet i unga täckrotskulturer av tall. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsproduktion. Stencil nr 57, 28 pp.
- Lindström, A. & Håkansson, L. 1989. Försök med olika behållartyper- resultat av stabilitets- och rotundersökning 9 år efter plantering. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsproduktion. Stencil nr 52, 40 pp.
- Lindström, A. & Håkansson, L. 1994. Roten till det onda- om deformationer och stabilitet. *Skog&Forskning* nr 2, 14–19.
- Lindström, A. & Håkansson, L. 1995. Rotutveckling hos tallplantor odlade i olika behållartyper efter 1–3 år i fält. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsproduktion. Arbetsrapport, 6 pp.
- Lindström, A. & Troeng, E. 1995. Temperature variations in planting mounds during winter. *Can. J. For. Res.* 25, 507–515.
- Lindström, A. & Persson, B. 1996. Tallföryngringens och trädens kvalitet påverkas av odlingskrukans utformning. *Plantnytt* nr 4, 1–6.
- Livingston, W.H. 1990. *Armillaria ostoyae* in young spruce plantations. *Can. J. For. Res.* 20, 1773–1778.
- Martinsson, O. 1985. Markberedningens inflytande på överlevnad, tillväxt och rot/skottrelation i föryngringar av tall, gran och contorta (the influence of site preparation on survival, growth and root/shoot ratio in young stands of Scots pine, Norway spruce, and lodgepole pine). Sveriges lantbruksuniversitet, inst. för skogsskötsel. Rapport nr 15, 29 s.
- Nordwall, F. 1994. Stabilitet och rotskador i paperpotplanteringar av tall- en studie av problemobjekt i Jämtland. (Eng. sum.) Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsproduktion. Stencil nr 91, 40 pp.

- Nyström, C. 1983. Produktion av täckrotsplantor 1981. *Plantnytt* 3, 1–4.
- Nyström, C. 1989. Svensk plantproduktion 1989. *Plantnytt* 6, 1–4.
- Nyström, C. 1994. Planteringstidpunkt och planteringsdjup- en litteraturstudie. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsproduktion. Stencil nr 89, 31 s.
- Nielsen, C. N. 1998. Wind stability as affected by the quality of bare-root seedlings. I: Almqvist, C. (ed.). *Rotutveckling och stabilitet*. SkogForsk Redogörelse nr 7.
- Rosvall, O. 1994. Contortatallens stabilitet och motståndskraft mot vind och snö (Stability in lodgepole pine and resistance to wind and snow loads). SkogForsk, Redogörelse nr 2, 45 s.
- Rosvall, O. 1995. Rotstruktur hos täckrotsplantor av contortatall och tall. SkogForsk, Arbetsrapport nr 299, 17 s.
- Rosvall, O. 1998. Rotsystemets stabilitetsmekanik ställer krav på plantodlingsbehållarens utformning. I: Almqvist, C. (ed.). *Rotutveckling och stabilitet – nordiskt symposium, oktober 1997, Garpenberg*. Skogforsk Redogörelse nr 7.
- Sundkvist, H. 1988. Rotutveckling och stabilitet hos contorta och tall planterade på plogade hyggen. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsskötsel, Examensarbete 1988–2.

Mykorrhizas roll för rotutvecklingen

Håkan Hultén

Inledning

Vid institutionen för skogsproduktionsavdelning för skogsförnyelse vid SLU har rotdeformationer och plantors stabilitetsproblem studerats under lång tid. Grundläggande kunskapsuppbyggnad och omfattande teori-bildningar inom plantetableringsområdet har nu nått så långt att vi känner oss mogna att kunna söka förklaringar till bl.a. varför och hur rotdeformationer uppstår på plantorna i plantskolan, vilket senare leder till instabilitet hos de planterade plantorna. Förstår vi varför och hur deformationerna uppstår kommer vi också att förstå hur vi skall undvika dem och finna slutgiltiga och permanenta lösningar på problemen.

Träd och plantor i skogsekosystemet

Träden i de boreala skogsekosystemen lever i symbios med mykorrhizasvampar. Vi har alla sett fruktkropparna av dessa svampar, på hösten är skogen full av dem. Vi plockar dem gärna för kulinariska höjdpunkter, t.ex. kantareller, karljohansvamp, blek taggsvamp, läcker riska. Men där finns också andra mindre lämpliga att äta som spindelskivlingar och flugsvampar. Även om fruktkropparna bara syns en kort tid på hösten finns svamparna alltid i marken och samarbetar med träden kontinuerligt hela året utom möjligen under den djupaste vintervilan när marken är frusen. Träd och svamp är ömsesidigt beroende av varandra, svampen kan inte utvecklas utan träden och inte heller träden utan svamparna.

Om man försiktigt gräver upp en liten planta i skogen och granskar roten under förstörande lupp kan man ana sig till hur samarbetet fungerar. Plantans egna rötter har en begränsad utbredning men de är hopväxta med mykorrhizasvampens mycel (svamptrådar), som växer ut i marken och ökar längden på rotsystemet hundratusentals gånger. Normalt blir mycelet kvar i marken, men låter man små mängder jord sitta kvar på rötterna brukar man nog kunna se några hyfer om förstoringen är tillräckligt kraftig. Vi bör därför betrakta rötter och mycel som ett gemensamt system, det verkliga ”rotsystemet”. Man anser generellt att den här typen av svampar inte kan bryta ner organiskt material och den vägen skapa sin egen energi. Mykorrhizasvamparna är därför för sin energiförsörjning helt beroende av socker från plantan. Det är också detta som gör svamparna helt beroende av plantan för sin överlevnad, tillväxt och funktion. Energin till utbyggnad av allt markmycel, för andning etc. kommer således från plantan och dess fotosyntes i barren.

Svampens mycel sprider sig effektivt genom hela markvolymen. Mycelet tar upp både vatten och mineral-

näring från marken och leder det i hyferna, ibland på långa avstånd, fram till plantroten. Enkla hyftrådar sluter sig samman till kraftigare kärl som kan transportera stora mängder vatten och mineralnäring. De tunna hyfernas livslängd är kort men de kan, i likhet med mögel snabbt växa ut igen eller förändra sin funktion om den aktuella mikromiljön ändras. Systemet med en stor mängd mycel och en begränsad mängd plantrötter utgör ett effektivt åtkomstsystem för vatten och mineralnäring. De delvis mycket tunna hyferna genomväver marken mycket effektivt, rötterna är i förhållande till hyferna väsentligt grövre men också mera långlivade. Ett system av detta slag är särskilt effektivt i situationer där mineralnäringen förekommer sparsamt och kan vara svåråtkomligt, vilket är så typiskt för vårt boreala skogsekosystem.

Det tunna hyferna är i naturen normalt svåra att se med blotta ögat. I laboratoriet kan man sätta till ett ämne som när det tas upp av svampmycelet förändras kemiskt och fluorescerar varvid svampvävnaden framträder tydligt. Ju större koncentrationer av svampvävnad, desto kraftigare lyser provet. Följer man en sådan plantas långgrötter ser man ett stort antal lysande punkter som således indikerar ställen där extra mycket svampvävnad finns. Långgrötterna själva är mer eller mindre bruna av rotbark och saknar svampmycel, den enda del av långroten som är vit och utan förkorkning är den växande yttersta rotdelen. De lysande punkterna på långgrötterna är korta, knubbiga rötter som har en tjock strumpa av svampvävnad och är helt utan rothår. Figur 1 visar hur en sådan liten rot kan se ut på en tallplanta. Här har dock allt mycel som växer från hyf-manteln ut i marken tvättats bort och kortroten framträder



Figur 1.
Kortrötter på tall med kraftigt utvecklad hyfmantel och typiskt dikotoma rotpetsar.

tydligt. Y-formen på bilden är den normala hos tall, granens kortrötter är aldrig delade i rotspetsen.

Kortrötterna är de ställen där mykorrhizasvampens mycel och plantans rot möts och har vuxit ihop. Hyferna tränger in mellan de yttre cellerna i kortroten och skapar en fast och säker förbindelse som utgör omlastningsplats för materialtransporter mellan svamp och planta. Vatten och mineralnäring som tagits upp av svampen förs här över till roten och i utbyte får svampen socker från plantan. Är tillgången på mineralnäring i marken svag gör svampen av med mera socker för att få tag på en given mängd mineralnäring jämfört med näringsrikare mark.

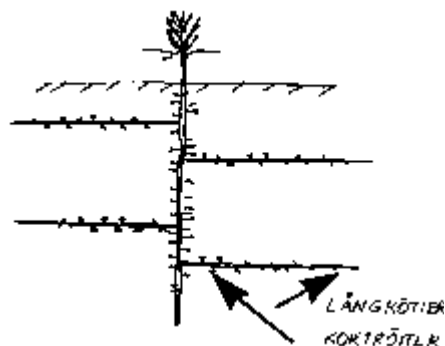
Långrötter och kortrötter

Plantan i skogen har således två typer av rötter som morfologiskt är helt olika och som också har helt olika funktion. Det finns ett litet antal långrötter som själva saknar mykorrhizainfektioner och till detta en stor mängd kortrötter som alla har hyfmantlar. *Alla rotanlag som infekteras av mykorrhizasvampar får en hyfmantel och utvecklas till kortrötter.* Det är sannolikt plantan själv som kontrollerar vilka rötter som inte skall tillåtas bli infekterade och få behålla en långrotskaraktär.

De långrötter som går ut från huvudroten på en groddplanta är som regel få, bara 4 till 8 stycken. Självföryngrade plantor brukar i regel också bibehålla ett lika litet antal stödjande rötter under hela sin livstid, således även som fullvuxna träd. Mycket tyder på att det därför är groddplantans första långrötter som också kommer att utvecklas till trädets stödjande rötter. Långrötter blir normalt gamla, de stödjande rötterna i princip lika gamla som trädet självt. Långrötterna svarar för det interna transportarbetet inom rotsystemet. Rötter som förkorkats och försetts med rotbark (suberiserats) och kanske också startat en sekundär tjocklekstillväxt kan därefter aldrig bli infekterade av mykorrhizasvampar och således inte heller utveckla en hyfmantel.

Kortrötterna ingår i plantans vatten- och mineralnäringsförsörjning men ser dessutom till att svampen matas med socker. Kortrötterna har en normal livslängd från knappt ett halvår upp till något år. Vissa större konglomerat av kortrötter kan dock leva längre. Kortrötternas antal är stort och av en självföryngrad tallplantas totala rotlängd utgör därför kortrötterna en stor del av hela rotlängden (principbild, figur 2).

På den unga groddplantan initieras en stor mängd rotanlag på huvudroten med början i huvudrotens äldsta delar närmast stambasen. I vår skogsmark finns för det mesta god tillgång på infektionsmaterial (hyfer, hyfester, vilkroppar eller sporer) av mykorrhizasvampar, och man kan därför förvänta att förutsättningar finns för en tidig infektionsstart. En kontroll av självföryngrade plantor visar att infektionen kan ske strax efter det att plantan kastar av sig sitt tömda fröskal. Det skulle kunna innebära att redan då de första sidorotsanlag på huvudroten visar sig kan en infektion starta. Alla rotanlag på huvudroten som infekteras utvecklas till kortrötter, övriga blir långrötter.



Figur 2. Principbild av rotens utformning hos en självföryngrad groddplanta av tall med ett litet antal första ordningens långrötter men många mykorrhizierade kortrötter även på huvudroten.

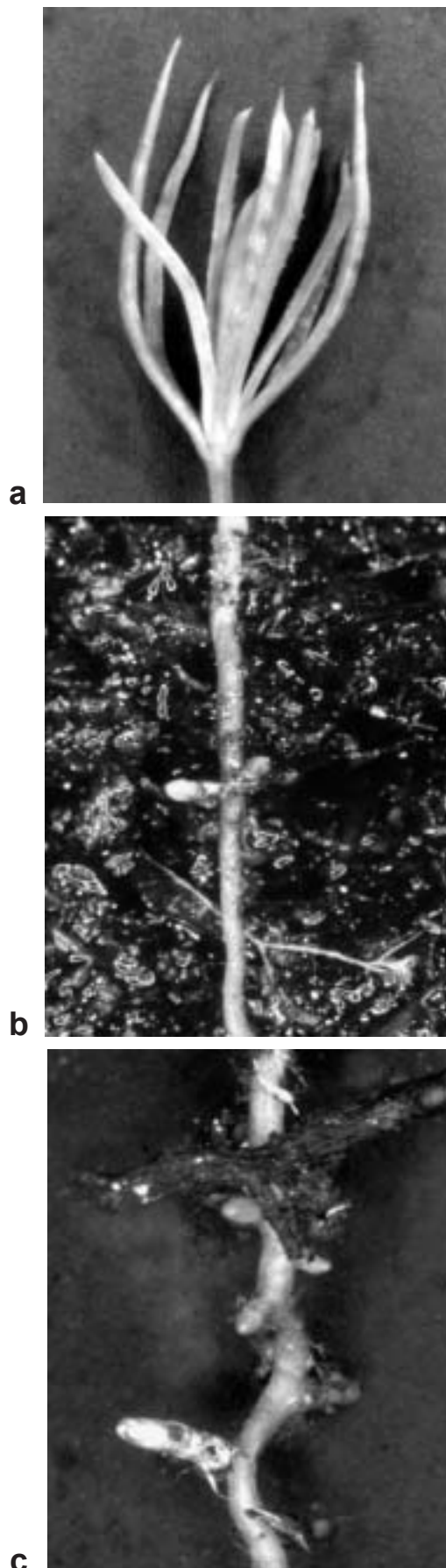
Eftersom det är plantan själv som påverkar vilka anlag som skall förbli oinfekterade kan man misstänka att det är i detta skede som antalet stödjande sidorötter avgörs och som tidigare påpekats är de redan från början klart begränsade i antal. Figur 3a, 3b och 3c visar den snabba kortrotsbildningen på en självföryngrad tallplanta.

Täckrotsplantans odlingsätt

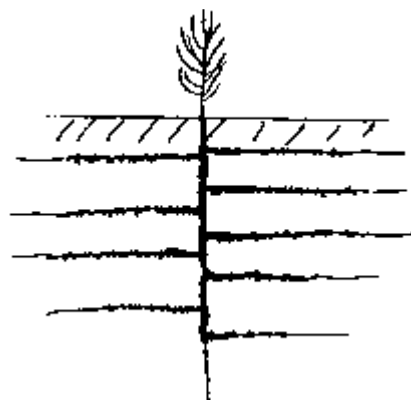
Vi odlar våra täckrotsplantor i torv med kontinuerlig bevattning och förser dem redan från början med lättillgänglig konstgödning som i form av bl.a. ammonium- och nitratjoner finns lösta i markvätskan. I förhållande till näringstillgången i skogsmark är tillgången i plantskolan synnerligen god. Plantornas ovanjordsdel utvecklas snabbt och produktionstiden kan hållas kort.

Plantornas rotfunktion anpassar sig till den miljö de utsätts för. Plantskolans goda tillgång på mineralnäring i torvens vätskefas medför att täckrotsplantorna inte har behov och därmed inte heller är intresserade av samarbete med mykorrhizasvampar. Även om sporer och annat infektionsmaterial finns närvarande förblir plantans rötter oinfekterade. En hög jonkoncentration i markvätskan innebär att de nakna osuberiserade långrötterna med en stor mängd rothår själva kan ta upp tillräckliga mängder av mineralnäring utan hjälp av mykorrhizasvampar (principfigur 4). Den goda vattentillgången i torven underlättar rötternas arbetssätt och för hela tiden fram nya joner till rotytan.

Tallplantor har en stor flexibilitet i sina funktioner och anpassar rotsystemets arbetssätt efter de förutsättningar som föreligger. Täckrotsplantornas rötter kommer därför i plantskolan att arbeta på det sätt som vi vanligen föreställer oss att jordbruksgrödorna på välgödslade åkrar gör: direktupptagning utan svamphjälp. De unga tallplantorna klarar av detta även om situationen är onormal och extrem, de slipper dessutom offra kolhydrater på rotsymbionter och kan använda den energin till skotttillväxt. *Hög koncentration av mineralnäring i markvätskan förändrar sättet för rotens mineralnäringsupptagning och den övergår att arbeta med osuberiserade, rothårsförsedda och oinfekterade rötter.*



Figur 3. Liten groddplanta med skottet (a) och översta delen av huvudroten (b) samt mellersta delen av huvudroten (c). På huvudroten finns mykorrhizierade kortrötter.



Figur 4. Principbild från en täckrotsplantskola av rotens utformning hos en ung tallplanta utan mykorrhizierade kortrötter men med många första ordningens långrötter.

Förändrad rotmorfologi

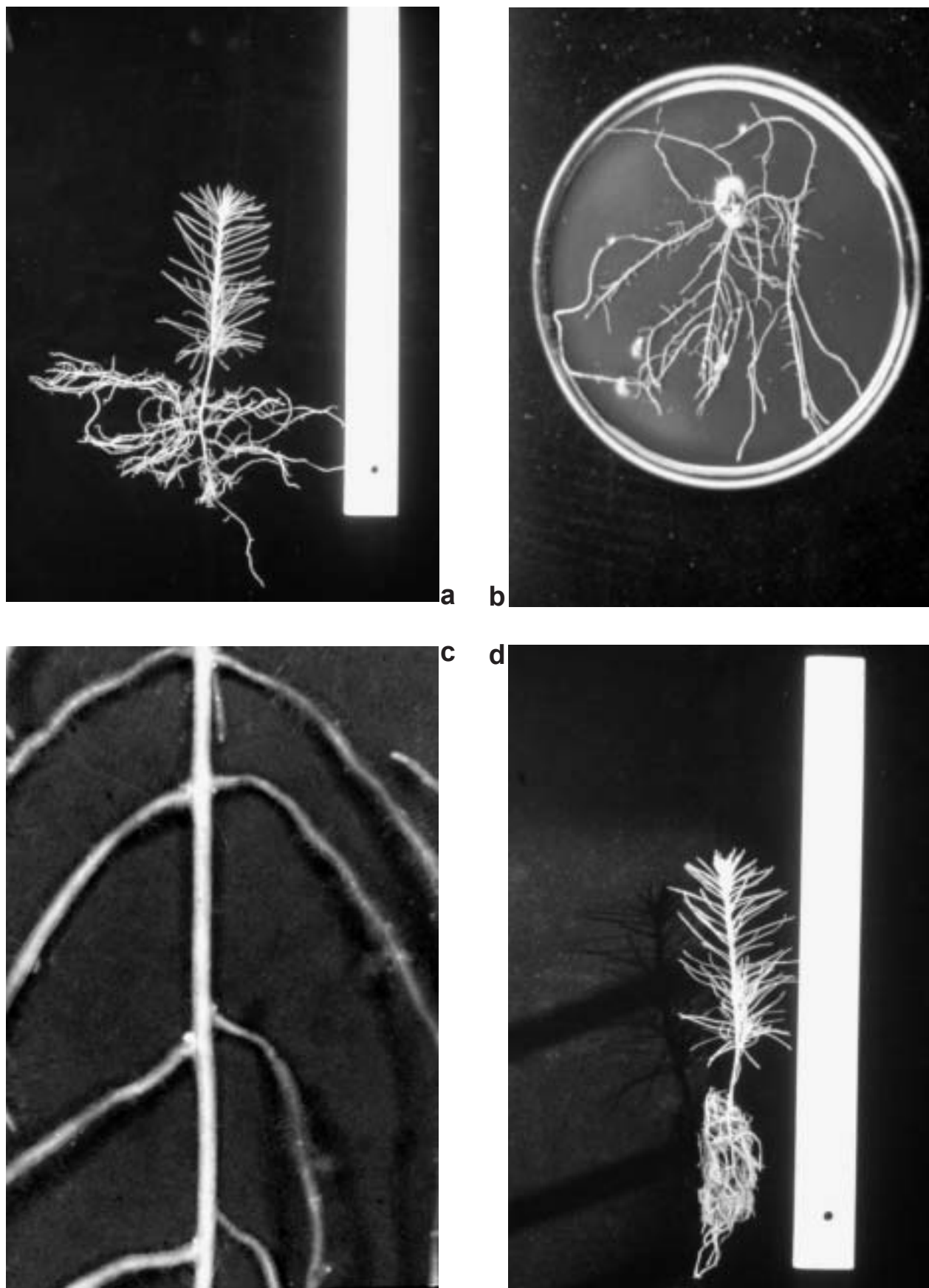
Rotens ändrade arbetssätt medför också en totalt förändrad rotmorfologi. Hela rotsystemet blir ett långrotssystem utan kortrötter som på tallplantan i figur 5a, 5b och 5c. "Plantskoleroten" är en artificiell rot i en artificiell miljö som både till funktion och morfologi avviker från den normala roten i skogsekosystemet. (Fig. 5 nästa sida.)

Plantskoleroten hos dagens täckrotsplanta består således av en stor mängd grenade långrötter, rotlängder på 8 till 12 m per planta efter första säsongens odling är inte ovanligt. Karaktäristiskt för dessa rötter är också att rot diameter genomgående är liten samt att rötterna är jämnt tjocka och försedda med rothår. Om en planta med ett sådant rotsystem odlas i en behållare med begränsad volym är sannolikheten hög för deformation av ett stort antal rötter. Plantan i föregående figur hade odlats i en 50 ml Hikokruka och såg ut som i figur 5d när torven hade tvättats av men innan rot nystanet lösts upp och frilagts.

Om gödningen av någon anledning minskar eller helt upphör (t.ex. mot höstkanten) kommer mineralnärings-situationen i rotzonen att drastiskt försämrans. De förhärskande mykorrhizasvamparna i plantskolan, vårtöra och laxskivling, får då möjligheter att infektera rotsystemet och de nya rötter som utbildas under hösten blir därför i stor utsträckning kortrötter. Det ursprungliga långrotssystemet bibehålls dock och risken för rotdeformationer har inte minskat. Man kan således misstänka att det är avsaknaden av en tidig mykorrhizainfektion som grundlägger plantskoleplantornas långrotssystem.

Hypoteser

Vi har analyserat odlingsättet i plantskolorna och funnit anledning att ställa upp hypotesen att täckrotsplantornas rotdeformationer och den instabilitet som uppträder efter planteringen primärt är en effekt av dagens odlingsätt i plantskolan. Odlingsättet resulterar i en extrem rotfunktion hos tallen som förhindrar en tidig infektion av rotsystemet med mykorrhizasvampar. Sättet för närings-



Figur 5.
 Tallplanta sådd den 22/6 odlad i HIKO V50 behållare med traditionellt odlingsätt och fotograferad 6/9. Planta med rot-systemet utbrett (a). En avskuren första ordningens sidorot från mellersta delen av huvudroten med typiskt många och grenade långrötter (b). Närbild av del av långrotssystemet, rötterna har rothår och en begynnande suberisering (c). Plantan med torven borttvättad men rötterna i ursprungligt läge formade av behållaren (d).

upptagning leder till en onaturlig rotmorfologi och att en ”plantskolerot” utbildas med en extremt stor långrotslängd.

Analyser av självföryngrade tallplantor i ordinär skogsmark leder till att ytterligare en hypotes kan ställas upp. I den antas att en tidigt mykorrhizainficerad täckrotsplanta får ett rotsystem som består av ett stort antal kortrötter och en mycket begränsad mängd rötter av långrotstyp, vilket drastiskt minskar risken för rotdeformationer då den odlas i en behållare.

Vi hoppas få möjligheter att på ett tillfredsställande sätt testa hållbarheten i båda hypoteserna. Den första om orsakerna varför rotdeformationer uppträder hos täckrotsplantor av tall, den andra om hur man kan undvika problemet. Att just tallen drabbas så svårt av stabilitetsproblem i fält i de fall rötterna i plantskolan deformerats beror på att tallen inte kan skaffa sig ett nytt adventivrotsystem utan är tvingad att leva med den rot den fått i plantskolan.

Summering

Plantrotens sätt att ta upp mineralnäring påverkas av näringsstillgången i marksubstratet. Är tillgången hög i markvätskan sker upptagning utan hjälp av mykorrhizasvampar, är den låg måste svamparna engageras. Funktionssättet påverkar rotmorfologin, med mykorrhizasvamparna följer en intensiv kortrotsbildning men bara en begränsad mängd rötter av långrotstyp. Utan mykorrhiza utvecklas roten till ett extremt långrotssystem. I tallens naturliga skogsekosystem finns ingen lättåtkomlig mineralnäring och mykorrhizasamarbetet är därför alltid

nödvändigt. Samarbetet inleds mycket tidigt i plantans liv och är måhända en viktig anledningen till att antalet stödjande sidorötter blir litet. I täckrotsplantskolan, med den intensiva konstgödningsen, utbildas ett grenat långrotssystem utan mykorrhizainfektioner där kortrötter saknas. Ett omfattande rotsystem av långrotstyp antas öka riskerna för besvärande rotdeformationer när plantorna odlas i behållare med begränsad volym. Rotdeformationerna kan leda till instabilitet ett antal år efter plantering, bl.a. därför att tallen, som saknar möjligheter till adventivrotsbildning, måste leva med den rotstruktur som den fått i plantskolan.

Pågående arbete

Ett projekt har startat vid avdelningen för skogsförnyelse, institutionen för skogsproduktion, SLU med bl.a. en doktorand som prövar de uppställda hypoteserna. Vi är också intresserade att få kontakt med de plantskolor och plantanvändare som är angelägna att ta del av våra resultat, vill engagera sig i frågeställningarna och kanske också är beredda att överväga sådana förändringar i odlingsrutinerna som resultaten eventuellt kan leda fram till. Tag i så fall kontakt med mig helst per e-mail:

Hakan.Hulten@sprod.slu.se

eller per brev med adress:

Professor Håkan Hultén, avd för skogsförnyelse,
institutionen för skogsproduktion, SLU,
Box 7061,
750 07 Uppsala.

Wind stability as affected by the quality of bare-root seedlings

Christian Nørgård Nielsen

Dansk sammenfatning

Fra et overordnet synspunkt bestemmes et træs stormfasthed af forholdet mellem forankringsstyrken af roden og stormmomentet på kronen (figur 1). Udover vindstyrken og turbulensstrukturen modificeres det overjordiske stormmoment betydeligt af snebelægninger (kronen virker som en mur og ikke som en si) og træernes kronekontakt. Da denne konference imidlertid handler om rodudvikling og forankring skal mit indlæg koncentres om de underjordiske forhold.

Igennem trækmålings-eksperimenter med håndspil og trækmåler er forankringsøkologien studeret i detaljer af Coutts (1986) og Nielsen (1990b og c). Ved sådanne eksperimenter registreres forløbet af det tilførte moment sammen med stammens, røddernes og rodkagens bevægelser. Rodsprængninger registreres også med en jordmikrofon.

Af størst betydning for træets stabilitet er forankringssystemets elastiske belastningsgrænse, som er det forankringsmoment systemet kan yde uden at blive beskadiget. Denne grænse er markeret i figur 2 med en lodret streg. Den væsentligste tolkning af trækmålingskurverne koncentrerer derfor omkring den første (venstre) del af trækmålingskurverne i figur 2.

Forankringssystemets styrke sammensættes af flere komponenter (se figur 2):

1. Træets evne til at danne en stor rodkage er afgørende, da rodkage-komponenterne udgør mindst halvdelen af den samlede forankringsstyrke.
2. Trækrods-komponenten, som bestemmes af røddernes trækstyrke i vindsiden af træet.
3. Støtterods-komponenten, som bestemmes af røddernes tykkelse, vinkler og forgrening i læsiden af træet. Ud over den direkte støtteeffekt, komplementerer støtterods-komponenten både rodkage-komponenten og trækrods-komponenten, hvorfor disse to komponenter alene udtrykt er ret intetsigende.

De rene rod-komponenter (røddernes træk- og støttefunktioner) udgør oftest under halvdelen af den samlede forankringsstyrke. Indtil ca. 10 meters træhøjde er

rodkomponenterne dog de dominerende. Alle forankringskomponenterne nedsættes drastisk, hvis vinklen mellem hovedrødder overstiger 120 grader. *Rodsystemets symmetri er derfor afgørende for alle forankringskomponenterne.*

En analyse af foreløbige resultater fra forfatterens aktuelle EU-projekt viser imidlertid, at rodsystemernes symmetri forbedres markant med stigende alder. I tre skovfyr- og rødgran-bevoksninger af forskellige aldre undersøgte 10–15 træer i hver bevoksning. Rodmassen blev fordelt til 4 kvadranter, og andelen af rodmasse i den "største" kvadrant i procent af den totale rodmasse betegnes SYM-MAX (ensidighets-index på svensk) og er et velkendt symmetri-index. Figur 3 viser en meget betydelig forbedring af rod-biomassens fordeling i rodsystemet med stigende alder. Det i figur 3 antydede fald i SYM-MAX fra år 1 til år 11 er hypotetisk og bygger på observationer af 3–5 år gamle barrodsplanteringer, hvor symmetrien oftest er voldsomt nedsat efter plante-processen. Millioner af barrodsplanter er plantet med plantemaskine¹, hvor alle rødderne orienteres ensidigt i en rod-"pølse" i plantefuren. Hos sådanne planter er SYM-MAX parameteren omkring 100 %. Alligevel viser de fleste undersøgelser en forbavsende forbedret symmetri ved en bevoksningshøjde på 5–10 m. Figur 4 viser variationen mellem de enkelte planter indenfor to af de undersøgte skovfyr-bevoksninger: En markant generel forbedring af symmetrien samt en nedsat spredning indenfor bevoksningen med stigende alder kan iagttages.

Forbedringen af rodsystemets symmetri på langt sigt er en følge af følgende mekanismer:

1. Dannelsen af nye rødder.
2. Uddifferentiering mellem rødderne/definition af de dominerende rødder.
3. Differentieret diameter tilvækst i rødder kompenserer for uregelmæssig rodfordeling.

Kun dannelsen af nye rødder efter udplantning i felten skal omtales her.

Granarterne erstatter i de fleste tilfælde det fra plante-skolen medbragte rodssystem med et næsten helt nyt, bygget op af adventivrødder, som dannes i rodhalsen og på rodbasis i løbet af de første et til fem år efter udplantningen. Granarterne vil derfor i reglen hurtigt forbedre symmetrien. Undtagelser er set på dybdepløjet

¹ Avser planteringsudrustede lantbruksmaskiner som pløjer en fåra i vilken plantorna sätts. (Reds. anm.)

jord, hvor planteskolesystemet kun blev udskiftet i beskedent omfang.

Fyrre- og ædelgran-arterne har kun ringe eller ingen evne til at danne adventivrødder. Hos disse arter forventes nye rødder at kunne opstå på følgende måde i barrodsplanter:

1. På normal vis ved rodvækst opstår laterale rodprimordier i hovedrodens pericykle (rodens kanbium) og sådanne anlæg til "siderødder" udvikles under gunstige forhold.
2. Ved ødelæggelse af rodspidsen på langrødderne dannes i reglen to til flere nyrødder i regionen bag den ødelagte rodspids.
3. I barrodsproduktionen foretages i reglen en rodbeskæring i frøbedet. Fra det derved frembragte kallus-væv, opstår nye rødder i frøbedet. Måske kan udvikling af nye rødder fra dette kallus-væv også ske efter udplantning (hypotese).

I ædelgran-arternes sker dannelsen af nye rødder med en lav hastighed, hvorfor disse arter er mere langsommere til at udbedre den ved udplantningen forstyrrede symmetri, og det formodes at fyr på samme måde er langsommere til rodregeneration, ligesom fyr og ædelgran er mere afhængige af røddernes lagring i jorden ved udplantningen. Efter 20–30 år kan dog i reglen iagttages et nogenlunde tilfredsstillende symmetrisk rodsystem, hvad angår *antallet og fordelingen* af rødder. Den differentierede diameter-tilvækst i forskellige rødder vil derefter yderligere forbedre symmetrien, hvad biomasse angår. Denne vurdering bekræftes af, at der i Central-europa, Storbritanien og Danmark ikke er iagttaget væsentlige stabilitetsmæssige problemer affødt af kvaliteten af barrods-planter.

Kvaliteten af barrodsplanter i relation til stabilitet

De fleste af de nye rødder, der dannes i barrodsplanter, er af en meget lille størrelse og har en meget lav væksthastighed. Dette betyder, at de nye rødder ikke kan erstatte den tabte biomasse i den ødelagte rodspids. Derfor er det vigtigt at sikre, at de nye rødder får de bedste betingelser for at kunne vokse og udvikle sig til et stabilt rodsystem.

De fleste af de nye rødder, der dannes i barrodsplanter, er af en meget lille størrelse og har en meget lav væksthastighed. Dette betyder, at de nye rødder ikke kan erstatte den tabte biomasse i den ødelagte rodspids. Derfor er det vigtigt at sikre, at de nye rødder får de bedste betingelser for at kunne vokse og udvikle sig til et stabilt rodsystem.

De fleste af de nye rødder, der dannes i barrodsplanter, er af en meget lille størrelse og har en meget lav væksthastighed. Dette betyder, at de nye rødder ikke kan erstatte den tabte biomasse i den ødelagte rodspids. Derfor er det vigtigt at sikre, at de nye rødder får de bedste betingelser for at kunne vokse og udvikle sig til et stabilt rodsystem.

De fleste af de nye rødder, der dannes i barrodsplanter, er af en meget lille størrelse og har en meget lav væksthastighed. Dette betyder, at de nye rødder ikke kan erstatte den tabte biomasse i den ødelagte rodspids. Derfor er det vigtigt at sikre, at de nye rødder får de bedste betingelser for at kunne vokse og udvikle sig til et stabilt rodsystem.

Concept of wind stability

Wind stability is determined by the ratio between “above ground stress” and “below ground anchorage” (Figure 1). The above ground stress is primarily dependent on tree height, crown weight and wind speed, but heavily modified by snow load and stand density (Nielsen, 1990a). As the symposium is focused on seedling root development, the anchorage side of the problem is debated here in detail.

Concept of anchorage

The tree anchorage system can not be considered as a static system. This paper does not cover ontogenetic and seasonal dynamics, but instead concentrates on the *uprooting process*. The uprooting process is a sequence of events where different components of anchorage are more or less sequentially eliminated. Damage to the anchorage system accumulates over time until failure.

Many tree pulling studies were carried out during the 1970s and 1980s (many in Sweden), but only Coutts (1986) and Nielsen (1990b and c, 1991) carried out detailed studies of the uprooting process. The following important components of anchorage have been identified:

1. Cohesion and friction of the root ball (or “root-soil” plate).
2. Weight of the root ball.
3. Tension strength of the roots on the windward side of the tree.
4. Stiffness of the thick structural roots on the leeward side.

Component 1 is the first to fail on mineral soils and component 2 is important for longer during the uprooting process. The pure root components constitute about 50% of total moment of anchorage during most of the uprooting process (Figure 2). For shallow rooted trees, the overall effect of these components on tree anchorage is scaled by the distance from the tree centre to the point of failure on the leeward structural roots, i.e. the length of the “lever arm”. Halving the length of the lever arm on a shallow root system would approximately half the force required to overturn the tree. The length of the lever arm is determined by root strength, and the angle between the major roots on the leeward side of the tree. *It is therefore important to realise that any of the components of anchorage will suffer dramatically when the angle between major horizontal roots exceeds 120 degrees. Hence symmetry of the root system is crucial for wind stability.*

The uprooting process also should be understood in the framework of elasticity and plasticity. The primary elasticity is the ability of an anchorage system to neutralise destructive “storm-moments” acting on the crown. The elastic limit is overridden when only one component of anchorage is damaged. The plasticity of the anchorage system is the ability to accumulate as much damage as possible before the tree overturns (Nielsen, 1990c).

Root symmetry, tree age and adaptive mechanisms

Preliminary results from the EU “TREEARCH” project (“Aspects of sustainability by afforestation of agricultural set-aside areas: Development of roots and root/shoot-

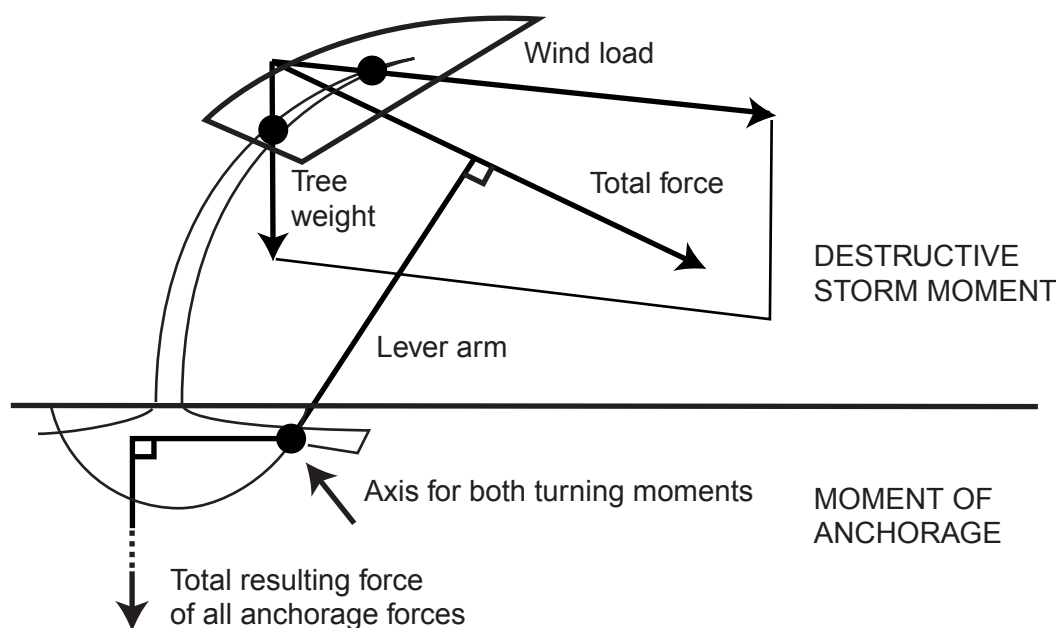


Figure 1. Illustration of anchorage of the roots and storm moment on the crown.

Figur 1.

Illustration af forankringen af rodsystemet og stormmomentet på trækrone.

ratios”) were analysed to examine the effects of age on root system symmetry. Two species were investigated from three stands of different age and tree dimension on a podzolized sandy site in Western Jutland. Twelve trees were investigated in each stand. Root mass was measured in four quadrants and the symmetry parameter SYM-MAX was calculated as the mass in the largest quadrant as a percentage of total root mass.

As shown by Nielsen & Ditlevesen (1997) root symmetry of newly planted bare-root plants is extremely poor, especially where machine planting techniques have been used. With such planting techniques the SYM-MAX parameter will be close to 100%.

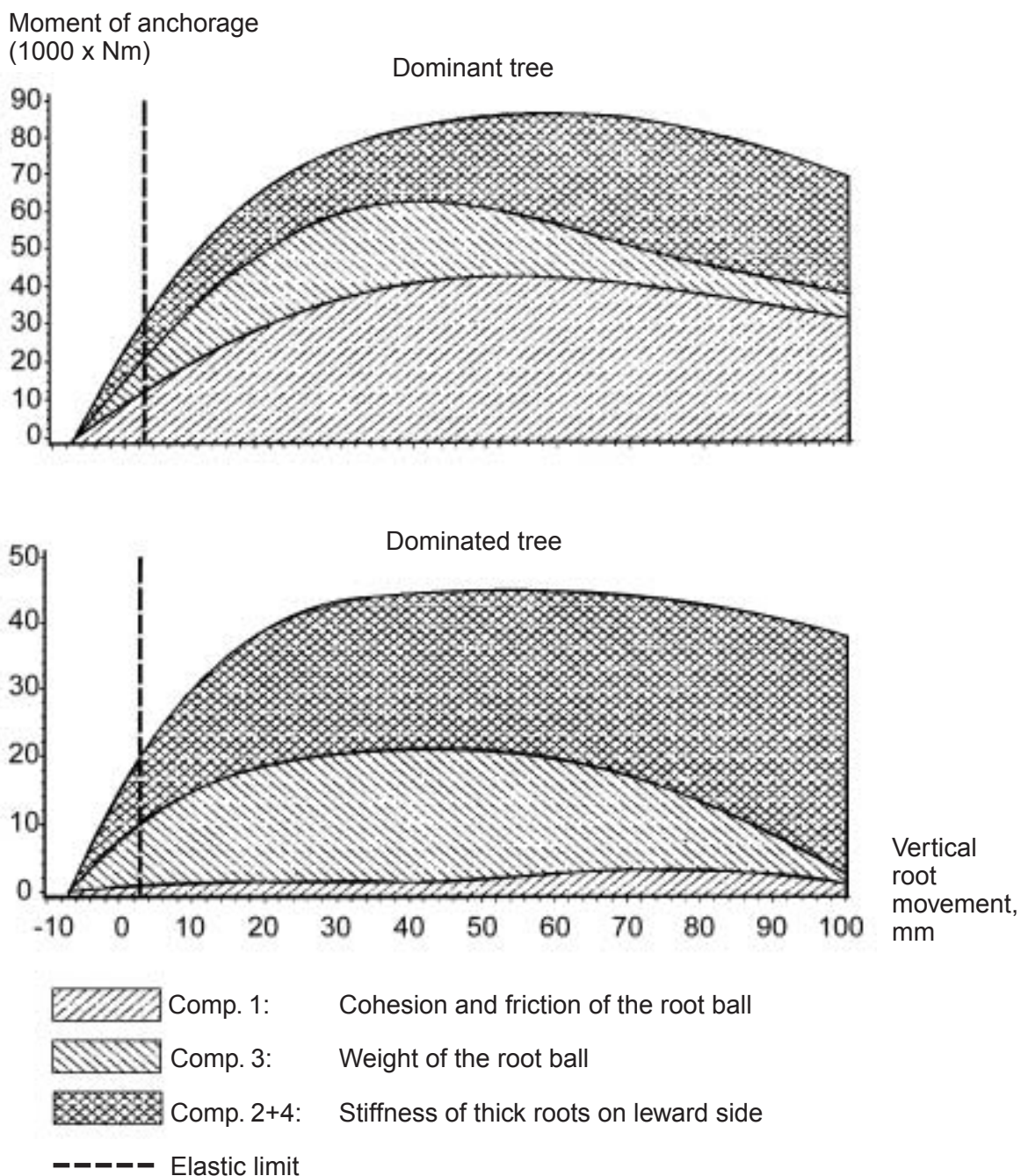


Figure 2. Illustration of the contribution of different root components to the total moment of anchorage in tree pulling experiments.

Figur 2.

Bidrag fra forskellige forankringskomponenter til det totale forankringsmoment i træmålings eksperimenter.

The development of root symmetry over age for Norway spruce and Scots pine (Figure 3) shows a general increase in root system symmetry with increasing tree dimension—especially during the first 2–3 decades. This result is confirmed by the aggregation of similar data from the literature (Nielsen, 1990b).

Results from a young and a middle-aged Scots pine stand (Figure 4) shows that root symmetry still varies considerably within a stand 12 years after establishment, whereas variation in the 37-year old stand is remarkable reduced.

Three mechanisms involved in the development of symmetry are listed in Table 1. Mechanisms 2 and 3 are described by Nielsen (1990c and 1991), Coutts (1983, 1986), and Nicoll & Ray (1996), and the development of new roots will be discussed in the next section.

Development of roots on bare-root seedlings after establishment in the field

Root development differs substantially between *Abies*, *Picea* and *Pinus*, whereas species within these genera tend to be very similar in development and architecture (preliminary observations within the EU-project). *Picea* species produce many new adventitious roots from the root collar during the first two years after planting. Coutts (1983a and b) found in older Sitka spruce that more than 80% of all the largest roots had emerged after out-planting. This replacement of the “nursery root system” with a new system established on-site usually facilitates development of a fairly symmetric root system. Deviations from this general rule are more common on very loose

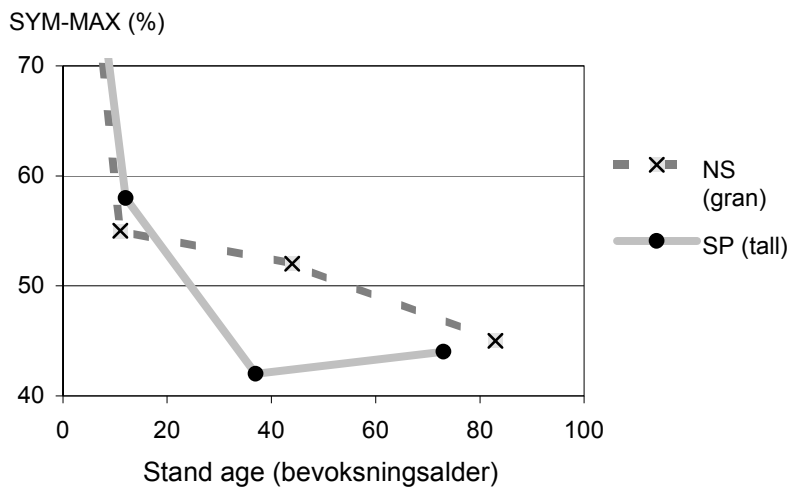


Figure 3. Development of root system symmetry as a function of stand age. Three stands of Scots pine (SP) and three stands of Norway spruce (NS) are investigated. *Figur 3. Alderens indflydelse på rodsystemernes rodsymmetri; undersøgt i 3 bevoksninger af hengoldsviss rødgran og skovfyr.*

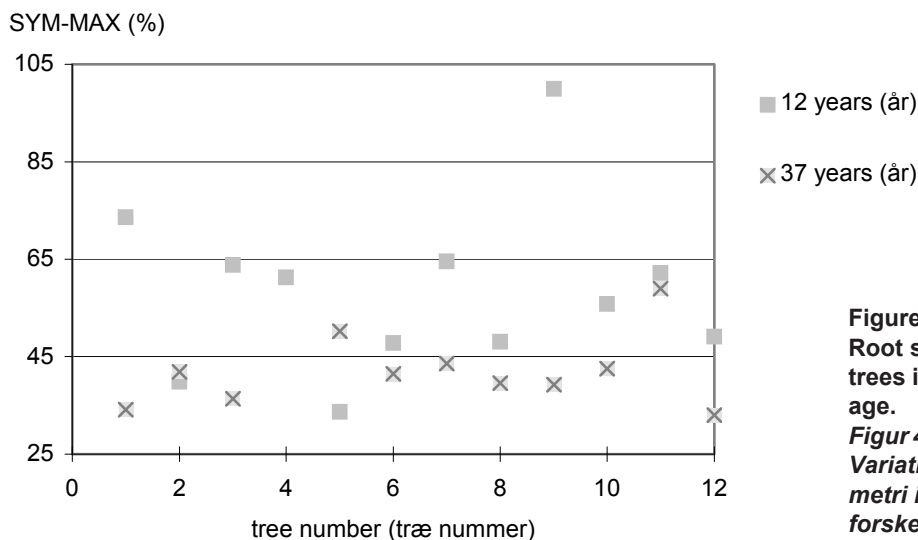


Figure 4. Root symmetry variation among 12 trees in 2 Scots pine stands of different age. *Figur 4. Variationen mellem 12 træer i rod-symmetri i to skovfyrbevoksninger af forskellig alder.*

Table 1. Mechanisms behind improved root system symmetry with increasing age.

Mechanism	Largest importance in age (years)
1 Development of new roots	0–20
2 Differentiation between roots	5–20 (from 2–12 meters tree height)
3 Adaptive diameter growth	10 (increasing with age)

or very heterogeneous soils. *Abies* and *Pinus* species do not develop roots from the root collar region, and hence must create root “branches” from the existing root system. *Abies* species tend to have poor “root growth potential”, indicating poor root branching ability (Nielsen and McKay, 1998). I am not aware of any detailed investigation of root branching ecology in fir and pine species, so the following hypotheses were formulated for development of new roots in these species:

1. Development of new “normal” lateral roots on an existing root are initiated in the pericycle of the root. Auxins are known to be involved in this process. Such root primordia will develop under beneficial circumstances. The mechanisms controlling this final development are not completely understood. The root branching ability seems to be reduced in root systems with heavy root spiralling and strangulation (such as with “paperpot” and “kobberfors”), but appears to be normal in plants from newer container-systems (for example the new systems demonstrated by Anders Lindström during the conference excursion).
2. Branching behind a dead root tip on a “long root”: It is well known that mortality of a dominant root tip will initiate new dominant roots in the area behind the root tip, with two or three roots often emerging at this point.
3. Callus caused by root undercutting: During the production of bare-rooted seedlings, roots are undercut once or twice. This damage produces a callused area, from which many new roots emerge. It is possible that undeveloped root primordia are established in the nursery or that new root primordia arise from callus tissue after out-planting.

All in all, new lateral roots seem to develop faster in spruce than in pine. Furthermore new roots in pine are much more dependent on the spatial organisation of the nursery roots during the planting process.

It would be interesting to know more about the origins of new roots in fir and pine species. Furthermore, the internal and external mechanisms behind root initiation and growth should be investigated further in order to find ways to improve root symmetry of pine during the first 2–5 years after establishment.

Conclusion

As the production of new roots is particularly efficient in spruce species, these species may improve the spatial distribution of roots within very few years after establishment. This process appears to take longer in pine species. After the creation of new roots, adaptive root diameter growth will further improve the symmetry of root biomass (as illustrated in Figure 3).

Even if the creation of new roots seems to proceed more slowly in Scots pine, all investigations show that this species finally develops a very symmetric root system (Nielsen, 1990b and Figure 5). Newly planted bare-rooted stock will have root deformations, but due to the symmetry improving mechanisms described above, such early

deformations are not likely to reduce the long term stability. Trees developing from plants grown in “paperpot” or “kobberfors” containers may be an exception from this conclusion.

As the mechanisms behind production of new roots in pine root systems are not clearly understood, firm conclusions about “root quality” in seedlings can not yet be drawn. However, one would expect that any plant condition or planting technique, which promotes a regular spatial distribution of nursery roots in the soil, should speed up the symmetrical development of the root system. The new container-systems, that prevent root spiralling and vertical directed roots (“Plantsystem 80”, “Beaverplast”, “Vapo”, and probably also “Jiffy”) should be ideal, partly because of the symmetric root distribution in the container and partly because the plants are smaller at establishment and hence less subjected to root deformation during the planting operation. In the bare-root production of pine, heavily branched short roots should be beneficial for early symmetry, and smaller plants might be preferable in terms of stem quality (see Anders Lindström’s results in these proceedings).

References

- Coutts, M.P. 1983. Development of the structural root system of Sitka spruce. *Forestry*. 56: pp.1–16.
- Coutts, M. 1986. Components of tree stability in Sitka spruce on peaty gley soil. London. *Forestry*. 59.
- Nicoll, B.C. and Ray, D. 1996. Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions. *Tree Physiology*. 16: pp.891–898.
- Nielsen, C.C.N. 1990a. Eine theoretische Grundlage zur Sturmfestigkeitsforschung auf Einzelbaumebene.
- Nielsen, C.C.N. 1990b. Methodische und ökologische Untersuchungen zur Sturmfestigkeit der Fichte.
- Nielsen, C.C.N. 1990c. Methodische, ökologische und waldbauliche Beiträge zur Sturmfestigkeit der Fichte. in C.C.N.Nielsen: Einflüsse von Pflanzenabstand und Stammzahlhaltung auf Wurzelform, Wurzelbiomasse, Verankerung sowie auf die Biomassenverteilung im Hinblick auf die Sturmfestigkeit der Fichte. J.D. Sauerländer’s. Frankfurt am Main. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. 100: pp.0–259.
- Nielsen, C.C.N. 1991a. Zur Verankerungsökologie der Fichte. *Forst und Holz*. 46: pp.178–182.
- Nielsen, C.N. and McKay, H. 1998. Indicators of early field performance in noble fir, Sitka spruce, silver birch, common beech and pedunculate oak following direct planting and cold storage. *Canadian Journal of Forestry Research* (submitted). 1998.
- Nielsen, C.N. and Ditlevsen, B. 1998. Påvirker barrodsplantens rodform træets senere stabilitet og vedkvalitet?. *Skoven* (in press). Dansk Skovforening.

Från planta till slutprodukt – presentation av ett forskningsprojekt

Bengt Persson, Mats Nylinder, Erik G. Ståhl och Anders Lindström

Hur skall man sköta bestånd med stabilitetsproblem och vilket virke kommer man att producera?

I samarbete mellan forskargruppen vid industriella enheten, Högskolan Dalarna och institutionen för virkeslära, SLU, pågår ett projekt med titeln: Stabilitets- och kvalitetsutveckling i våra framtida skogar. Initiativet till projektet togs redan 1995 då frågan togs upp inom SLUs skogs fakultet. Projektet är ett tvärvetenskapligt samarbetsprojekt där frågeställningar kring odlings- och plantteknik samt rotsystemets och stamvedens kvalitet behandlas. Målet med arbetet är 1) att utveckla odlings- och planterings-system så att framtida stabilitetsproblem kan minimeras, 2) kvantifiera omfattningen av stabilitetsproblem samt dess effekter på trädens utveckling och på ved- och massaegenskaper, 3) utveckla mätmetoder för att på det unga trädet kunna prognostisera framtida kvalitetsutfall och 4) utforma skötsel och åtgärdsprogram som optimerar möjligheterna att förränta instabila bestånd.

Sedan täckrotsplantor började användas i början på 70-talet i Sverige har mycket stora kvantiteter plantor med rotdeformationer planterats. Deformationerna resulterar i många fall i instabila bestånd, där träden uppvisar ett onormalt krokigt växtsätt. I en orienterande studie, genomförd i en tallkultur 13 år efter plantering, visade det sig att träd med rotdeformation uppkomna i odlingsbehållaren hade mer tjurved och större stamkrokighet än träd utan rotdeformation (Lindström & Persson, 1996). Studien indikerade också att egenskaper som karaktäriserar ett dåligt utvecklat rotsystem var korrelerade med stamkrokighet och stor andel tjurved.

Den krokighet som yngre, instabila träd uppvisar kommer sannolikt att försvinna med tiden. Inne i stammen kvarstår dock troligen spänningar, fiberstörningar och tjurved. Effekterna av de defekter stamveden har fått av instabiliteten är inte klarlagda. Man kan tänka sig att virkesstyrkan sätts ned och att det uppstår problem med skevhet och andra deformationer vid torkning av virkesråvaran. I de nya inmättningsreglerna har toleransen för tjurved sänkts. En stor andel tjurved har troligen ett mycket negativt inflytande på virkets förädlingspotential. Tjurved leder dessutom till att massavedsegenskaperna försämras genom att tryckvedens fibrer innehåller mer lignin och mindre cellulosa än ved fri från reaktionsved.

Kvantifieringen av effekten på slutprodukten av olika grader av tjurved är svag. Likaså är avgränsningen av tjurved i stammen oklar. Timell (1986) redovisar t.ex. förekomst av påverkad ved med andra kemiska egenskaper på motsatt sida av märgen. Instabilitet kan förväntas leda till kraftig fiberstörning i de nedre normalt värdefulla

delarna av stammen, medan påverkan på den övre delen sannolikt blir mindre. Undersökningar av vedegenskaper bör därför koncentreras till rotstocken men kompletteras med studier av vedtrissor på olika nivåer i stammen för att klarlägga om rotsystemets utformning även påverkar veden i övriga delar av stammen. Väsentligt är också att bestämma under vilka stadier av trädets livscykel som fiberstörningar sker. Detta kan göra det möjligt att identifiera riskperioder för instabilitet hos träd uppvuxna under olika förutsättningar. Vi kan avgöra om problemen kan minskas med röjning och gallring eller om dessa ingrepp snarare kan utlösa stabilitetsproblem.

På grund av en stor andel reaktionsved och snedfibrighet hos träd från täckrotskulturer kan man misstänka att hållfastheten hos virket inte är likvärdig den hos ved från självföryngrade bestånd. Variationen i virkeskvalitet inom rotstock från träd odlade i täckrotssystem kan också förväntas vara större än inom rotstockar från självföryngring. Detta innebär att effekten av postning, positionering och kortning kommer att vara större vid sönderdelning av täckrotsodlade träd än av övriga material.

Vetenskapligt kommer projektet att öka kunskapen om samband mellan vedfibers struktur och dess egenskaper i solid ved samt mellan draghållfasthet och reaktionsved. Slutsatser kommer också kunna dras om samband mellan solid veds fibervariation och andelen detekterbar reaktionsved. Kunskapen kommer också att öka om vedens variation inom bestånd.

De täckrotsplanteringar som anlades i början av 1970-talet börjar nu bli gallringss mogna. Undersökningar av vedegenskaper hos dessa träd i jämförelse med referensbestånd kommer att ge en bild av vilken sågtimmer- och massakvalitet vi kan förvänta oss i framtiden och därmed framtida skogsbruksintäkter. En sådan prognos bör beakta trädens kondition och tillväxt. Resultaten från studier av vedegenskaper hos bestånd med rotdeformationer kommer troligen även att kunna överföras till andra situationer där instabilitet uppstår, t.ex. vid beståndsanläggning på mossmark eller för bestånd anlagda med olämplig markbehandlings- och/eller planteringsteknik. Målet är att utveckla metoder för att tidigt kunna identifiera individer som riskerar att utveckla oönskade vedegenskaper. Därmed ökar möjligheten att öka förräntningen av bestånd med stabilitetsproblem. Vidare vill vi ge sågverk och massaindustri kunskap om vilka kvalitetssortiment man kan förvänta i dagens gallringsskogar och i morgondagens slutavverkningsbestånd. Projektet bör även ge vägledning om huruvida apterings- och sönderdelningsrutiner behöver modifieras för täckrotskulturer med eller utan stabilitetsproblem.

Referenser

- Lindström, A. och Persson, B. 1996. Tallföryngringens och trädens kvalitet påverkas av odlingskrukans utformning. Plantnytt nr 4, s. 1–4.
- Timell, T. E. 1986. Compression wood in gymnosperms. Vol. 1–3, Springer-Verlag, Berlin.

Posters

Rotstudier av planterad gran

Anders Lindström och Lars Håkansson

Bakgrund

Flertalet av de stabilitets- och rotundersökningar som hittills genomförts har omfattat planterad tall och contortatall (Burdett et al., 1986; Lindström & Håkansson, 1994). Dessa träslag kan i vissa fall drabbas av allvarliga stabilitetsstörningar om rotsystemen är deformerade vid plantering. Defekterna är relativt lätta att identifiera i fält genom en hög frekvens stamkrökar och rotbrott och det finns flera exempel där tallplanteringar spolierats p.g.a. rotdeformationer. Gran anses vara mindre känslig för rotdeformationer. Det är också mycket sällan rapporter inkommer om instabila grankulturer. En orsak som anges till att granen är relativt okänslig för rotdeformationer är dess förmåga att bilda adventivrötter (Langerud et al., 1988). Adventivrötter kan ta över det ursprungliga rotsystemets funktioner och på så sätt minska inflytandet av initiala rotdeformationer.

Sedan täckrotsplanter introducerades i början på 1970-talet i Sverige har flera olika behållartyper utvecklats. De första typerna gynnade uppkomst av rotsnurr genom att krukväggarna hade släta insidor. I början på 1980-talet kom styrlistförsedda krukor som visserligen minskade rotsnurr, men som vid längre odlingstider kunde ge kraftiga deformationer (Lindström & Håkansson, 1994). Samtidigt introducerades ett nytt system med spaltöppningar i väggarna som möjliggjorde en fri lateral rottillväxt under odling i plantskolan. Uppföljningar av tallkulturer i fält har visat att denna princip ger deformationsfria rotsystem (Lindström, 1990) och god stabilitet och kan påverka tillväxten positivt (Lindström & Persson, 1996).

Målet med denna studie var:

- 1) att undersöka i vilken mån rotdeformationer förekommer hos planterad gran,
- 2) att jämföra rotutvecklingen i fält hos granar som odlats i olika behållarsystem.

Material och metoder

Studien genomfördes under hösten 1996 och omfattade 10 st slumpmässigt utvalda objekt, med en geografisk spridning från sydligaste Hälsingland ner till Tiveden. Planteringarna var utförda under perioden 1984–86 och plantorna hade odlats i följande behållartyper:

- Hiko V50,
- Plantsystem 80,
- Blockplant,
- Flexipot.

Som referensträd till de planterade träden utnyttjades naturligt förnygrade från respektive lokal.

På varje objekt lades 10 st provvytor ut efter en rak linje, vars riktning slumpades för respektive objekt. Provytorna klassificerades med avseende på jordart och fuktighet.

På det närmast provytecentrum stående planterade trädet mättes variablerna trädhöjd, toppskottslängd (1996) stamdiameter (20 cm ovan mark) och basala stamkrökar. Indelningen av stambaskrökar gjordes i 4 klasser:

Klass 1: 85–90° vinkel mot markplanet,

Klass 2: 60–85° vinkel mot markplanet,

Klass 3: 45–60° vinkel mot markplanet,

Klass 4: <45° vinkel mot markplanet.

Jordartsbestämning visade att merparten av provvytorna bestod av sandig-moig morän. De flesta provträden stod på frisk mark.

På varje objekt grävdes 7–10 planterade och 2 självförnygrade rotsystem upp. Rötterna skars av så att en klump med en radie på ca 20 cm erhöles och stammen sågades av 20 cm ovan jordbandet. Totalt analyserades 98 rotsystem från planterade träd och 18 st från naturligt förnygrade träd.

Rotsystemen inventerades först med avseende på förekomst av *Armillaria spp.* Härvid noterades subjektivt mängden rhizomorfer på rotsystemet samt angrepp av svampmycel på innerbarken. Vid rotanalyserna sågades enskilda rötter av så att de med utgångspunkt från stubbens centrum i jämnhöjd med jordbandet blev 20 cm långa. Rotsystemen delades upp i 4 kvadranter och i sidorötter och nedåtgående rötter. Rötter som avvek mer än 45° från horisontalplanet definierades som nedåtgående rötter.

Mätningarna omfattade antal och diameter för rötter ≥ 3 mm på 20 cm avstånd från rotsystemets centrum. Rotarean för enskilda kvadranter beräknades. En bedömning av rotsystemen gjordes också med hänsyn till förekomst av rotsnurr. Rotsnurrfrekvensen uppskattades som antalet rötter ≥ 3 mm som snurrat 1/4–1/2, 1/2–3/4, 3/4–1 och >1 varv. Rotsnurren ansågs *obetydlig* om antalet adderade varv för snurrande rötter tillsammans $\geq 0,250$ men $\leq 1,125$ varv, *måttlig* om adderade varv $> 1,125$ men ≤ 3 varv och *kraftig* om adderade varv > 3 varv eller ≥ 1 rot som snurrat > 1 varv.

Resultat

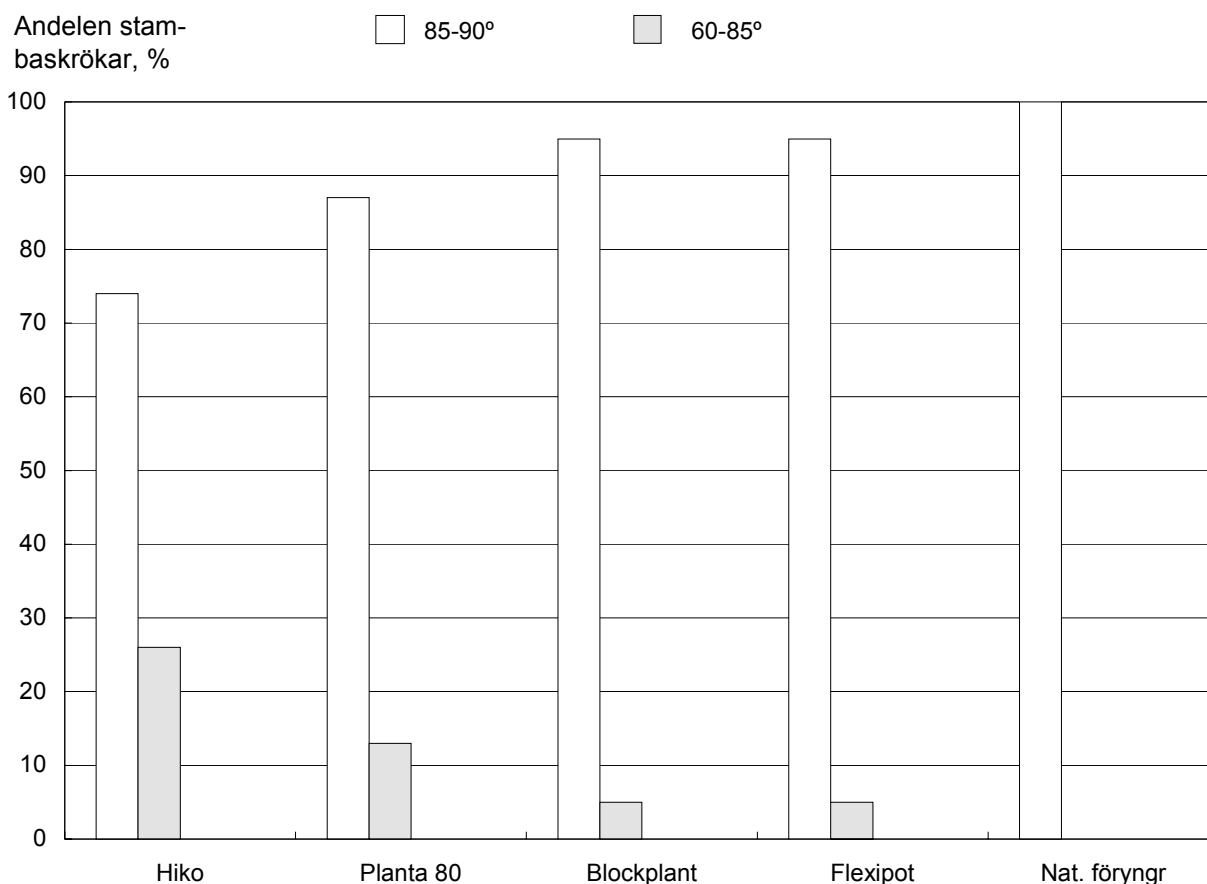
Träd som odlats i Hiko V50 hade en något större andel krökta stammar än övriga planterade träd. Samtliga naturligt förnygrade träd hade rak stambas, figur 1.

Av de analyserade rotsystemen konstaterades kraftig rotsnurr endast på Hiko odlade träd. Måttlig snurr registrerades även för träd som odlats i Blockplantsystemet. I övrigt förekom ingen eller obetydlig rotsnurr. Noterbart är att även några självförnygrade träd hade lite snurr, figur 2.

Av de analyserade rotsystemen konstaterades högsta frekvensen rhizomorfer av honungsskivling (*Armillaria spp.*) på de träd som hade odlats i Blockplant. Träd odlade i Planta 80 och självförnygrade träd hade få rotsystem med närvaro av rhizomorfer, figur 3.

Slutsatser

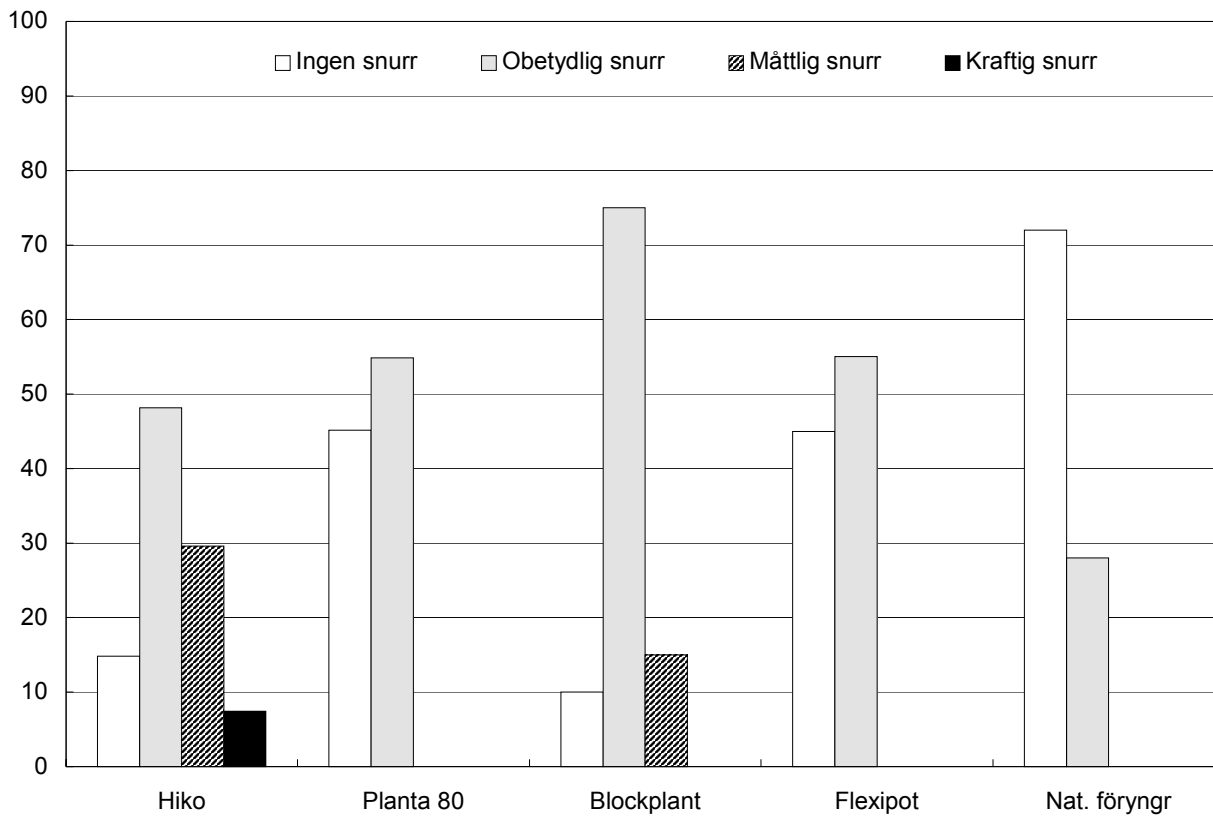
- ♦ Jämfört med tidigare utförda motsvarande studier på tall har granplantorna i denna undersökning en lägre frekvens stamkrökar.
- ♦ Granens rotsystem påverkas av odlingsbehållarens utformning och i vissa fall kan tydliga rotdeformationer iaktas 12 år efter plantering. Deformationerna var dock mindre omfattande än hos tall.
- ♦ Granplantor vars rötter beskas i sida under odlingen i plantskolan uppvisade få rotdeformationer i fält.
- ♦ Denna undersökning samstämmer med tidigare observationer att frekvensen ytliga rhizomorfer av *Armillaria spp.* är högre i bestånd med rotdeformationer.



Figur 1.
Andel, %, stambaskrökar hos träden uppdelat på behållartyp. N = 18–31.

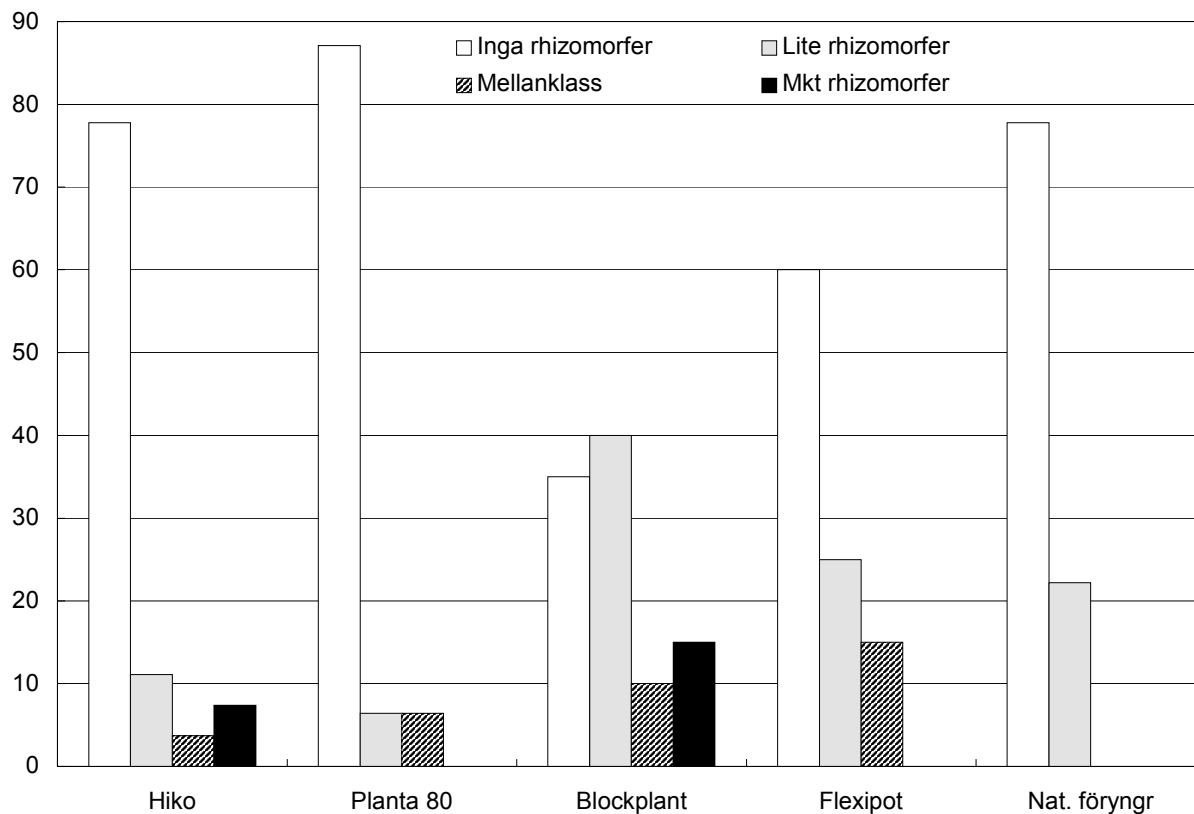
Figur 2 och 3 på nästa sida.

Snurrande rötter, %



Figur 2.
Andel, %, träd med olika grader av synlig rotsnurr. N = 18–31.

Andel plantor, %



Figur 3.
Andel, %, rotsystem per behållartyp på vilka rhizomorfer av *Armillaria spp.* påträffats. N = 18–31.

Referenser

- Burdett, A. N., Coates, H., Eremenko, R. & Martin, P. A. F. 1986. Toppling in British Columbia's lodgepole pine plantations: Significance, Cause and prevention. *The Forestry Chronicle* 62, 433–439.
- Langerud, B.R., Sandvik, M. & Sjøvold, A. 1988. Bartreplanters rotsymmetri i felt. (Root-symmetry of conifer plants in field) *Medd. Nor. inst. skogforsk.* 40 (12), 1–20.
- Lindström, A. & Håkansson, L. 1994. Roten till det onda- om deformationer och instabilitet. *Skog&Forskning* nr 2, 14–19.
- Lindström, A. & Persson, B. 1996. Tallföryngringens- och trädens kvalitet påverkas av odlingskrukans utformning. *Plantnytt* 4, 1–6.

Självbärande substrat för skogsplantodling

Birger Eriksson

Bakgrund

Torv är i dag det vanligaste odlingssubstratet vid täckrotsodling av skogsplantor i Sverige. Odlingstorven som består av torkad sönderdelad torv, kalk och gödsel har dock en del nackdelar som odlingssubstrat. En av dessa nackdelar är att den inte är självbärande utan måste armeras på något sätt för att täckrotsplantorna skall bli lätta att hantera vid sortering, packning, transport och plantering. I dag sker oftast denna armering genom att plantorna odlas så länge att plantrötterna blir tillräckligt många och långa för att fungera som armering i odlingssubstratet. Detta leder samtidigt till att plantornas rotsystem deformeras, vilket kan medföra framtida stabilitetsproblem. Om odlingssubstratet vore självbärande skulle odlingstiden kunna minskas, vilket skulle kunna leda till mindre rotdeformationer. Andra fördelar som skulle kunna uppnås är t.ex. bättre förutsättningar att lyckas med maskinell omskolning och maskinell plantering samt lägre odlingskostnader, eftersom odlingstiden kan förkortas.

Sökandet efter ett bra dimensionsstabil odlingssubstrat har pågått i flera år, bl.a. i några svenska skogsplantskolor. I angränsande näringar, t.ex. trädgårdsnäringen, har efterfrågan på dimensionsstabila substrat varit liten, bl.a. beroende på att där dominerar kulturer med kort omloppstid, och eventuella rotdeformationer får därför liten betydelse. Därför finns det i trädgårdsnäringen få självbärande odlingssubstrat som kan överföras till skogsbruket.

I denna rapport presenteras dels några odlingssubstrat som kan betecknas som självbärande, dels en del erfarenheter som erhållits när man på olika sätt försökt att armera torv.

Odlingssubstrat

Ett bra odlingssubstrat skall uppfylla en rad olika önskemål. Vilka dessa är varierar från kultur till kultur men några önskemål som ofta återkommer är:

- ♦ En bra struktur som håller sig hela odlingstiden.
- ♦ Fritt från sjukdomar, skadegörare, ogräsfrö och onyttiga kemikalier.
- ♦ Väldefinierat näringsinnehåll.
- ♦ Billigt.
- ♦ Miljövänligt.
- ♦ Från förnyelsebar råvara.
- ♦ Ofarligt för användaren.
- ♦ Ge rötterna god tillgång till näring, vatten och syre.
- ♦ Formstabil, så att det tål hantering utan att förändras.

Andra önskemål förekommer naturligtvis också men går oftast inte att tillfredsställa samtidigt, utan odlaren tvingas

att prioritera de egenskaper som är viktigast för den aktuella kulturen. I de svenska skogsplantskolorna har detta i de flesta fall lett till att torv valts som odlingssubstrat, även om det är fullt möjligt att odla skogsplantor i andra substrat, t.ex. stenull, sand eller träfibrer. Odlingstorven har dock som tidigare nämnts en mycket låg grad av själv-armering, och i takt med att kunskapen om den tidiga rotutvecklingens betydelse för det framtida trädet har ökat, har intresset för andra mera självvarmerade substrat stigit.

Självbärande substrat

På marknaden finns i dag en mängd olika odlingssubstrat. De flesta av dessa har mycket låg självvarmeringsgrad. Några är dock sådana som man skulle kunna karaktärisera som självbärande, eller näst intill självbärande. Nedan följer en kortfattad beskrivning av fyra sådana odlingssubstrat.

Visser

Visser är ett holländskt företag som producerar ett tiotal olika plantodlingssystem för främst den europeiska trädgårdsmarknaden. Två av dessa är s.k. fiberpottor, där torv blandas med plastfibrer av olika längd (2,4–6 mm). Blandningen fylls sedan i en behållare som har den form som odlaren önskar, varefter blandningen av fiber och torv hettas upp med hjälp av ånga. Efter upphettningen erhålls en sammanhållen ”plugg” som antingen kan användas som en fristående enhet eller placeras i en lämplig kassett. Vid upphettningen av fibertorvblandningen dödas dessutom en del sporer och frön i torven, vilket minskar risken för ogräs och algproblem i den framtida odlingen. Enligt den svenske återförsäljaren skall ”pluggen” behålla sin form under åtminstone en odlingssäsong. Erfarenheten av att odla skogsplantor i dessa fiberpottor är begränsad. I dag används s.k. fiberpottor huvudsakligen vid odling av blommor, såsom krysantemum och julstjärnor.

Stenull

Stenull är ett odlingssubstrat som används främst vid odling av tomat, gurka och paprika men även för skogsplantor. Stenullen tillverkas endera genom smältning av diabas, kalk och koks vid en temperatur av 1 500 – 1 600 °C eller genom smältning av urberg vid något lägre temperatur. Från den smälta massan spinns sedan fibrer, som sammanfogas till mattor med olika tjocklek. I byggnadsindustrin används dessa mattor för isolering, men genom att tillsätta bindemedel och vätnedel förändras mattornas vattenupptagningssegenskaper så att de blir möjliga att använda för t.ex. plantodling. Mattorna kan vid

behov sågas upp i önskade odlingsenheter. Stenull har en stor mängd grova porer, vilket innebär att vattnet inte binds särskilt hårt. Det är därför lättupptagligt för plantorna, men substratet kan också torka ut mycket snabbt. Stenullen är självbärande och dimensionsstabil, så därför behövs det inga behållare under odlingen. Eftersom stenullen är ett inaktivt odlingssubstrat måste all näring som behövs tillföras, t.ex. via bevattningsvattnet. Detta ger möjligheter till en god näringsstyrning samtidigt som det kan vara ett problem, främst vid frilandsodling.

Skogsplantodling i stenull har provats i flera omgångar. Redan i början av 1970-talet var Institutet för Skogsförbättring engagerat i en rad olika försök med stenull. Dessa försök visade bl.a. att groning och groddarnas rotning fungerade på ett tillfredsställande sätt och att mineralnäringsstillståndet i plantor odlade i stenull i växthus blev bra (Strömberg 1976). Överlevnaden i fält efter en säsong var också god. Senare försök har dock visat att det främst vid frilandsodling, där plantorna utsätts för sol, vind och regn, kan uppstå problem med att hålla en lämplig vatten- och näringsnivå. Under slutet av 1970-talet var MoDo engagerat i ett samarbetsprojekt med stenullstillverkningsföretaget Rockwool. MoDo lämnade detta projekt 1981, och som ny intressent trädde Skogsstyrelsen in. I mitten av 1980-talet testade Institutet för skogsförbättring stenullen som odlingssubstrat för gransticklingar i en liten studie (Werner m.fl., 1985). Denna visade att det är fullt möjligt att rota gransticklingar i stenull, även om försöket gav en något lägre rottingsprocent än för gransticklingar odlade i torv och leca (barrotssticklingar). Den lägre rottingsprocenten kan eventuellt bero på att studien gjordes i en miljö som var optimal för sticklingar odlade i torv-lecablandning, vilket inte nödvändigtvis är optimalt för sticklingar i stenull. I dag finns det ingen svensk skogsplantodlare som använder stenull, men i t.ex. Danmark förekommer täckrotsodling i stenull.

Jiffy

Jiffy plantskole- och skogsbruksbriketter tillverkas av det kanadensiska företaget Jiffy Products (N.B.) Ltd. Företaget har varit verksamt i trädgårdsnäringsen i mer än 40 år, och produktionen av skogsbruksbriketter startade i mitten av 1980-talet. Nu produceras drygt 60 miljoner skogsplantor per år i dessa briketter.

Jiffybriketten består av torkad och nästan helt steriliserad torv, som pressats samman till en myntliknande brikett med en tjocklek av ca 12 mm. Briketten omges av en tunn fiberstrumpa. Om torvbriketten bevattnas tar den upp vatten och expanderar kraftigt, främst på höjden. Den fullt uppvattnade briketten har formen av en cylinder som hålls samman av den tunna fiberstrumpan. Briketterna finns i olika storlekar. Den största har en diameter på ca 46 mm och en höjd på ca 80 mm i uppvattnad, expanderad storlek.

Sådd av frön på briketten kan antingen ske före eller efter uppvattning. För att underlätta sådden finns det två olika utformningar av briketter. Den ena varianten har en konkav topp, och den andra har en liten utstansad grop i toppen. Fiberstrumpan, som omger varje brikett, gör varje enhet självbärande och är konstruerad så att rötterna

kan tränga igenom. Om plantorna odlas lämpligt gles luftbeskärs rötterna när de passerat fiberstrumpan.

Provodlingar har visat att substratsammanhållningen är mycket god under den första säsongens odling, men att det är mycket viktigt att ha lämpligt avstånd mellan plantorna om man skall få en effektiv luftrotsbeskäring. Lyckas inte detta växer plantrötterna över från den ena odlingsenheten till angränsande odlingsenheter. Vid packning av dessa plantor blir det därför nödvändigt att kapa en del plantor. Förutom att denna rotbeskäring tar tid, vilket ger ökade kostnader, finns det risk att vissa plantor förlorar en del av sitt rotsystem.

Obehandlad torv

Vid produktion av plantodlingstorv används vanligen en teknik där torven skördas, torkas, sönderdelas, fraktioneras och berikas med näring och kalk. Denna produktionsteknik ger torven goda odlingsegenskaper genom att t.ex. luftkapaciteten, fiberstorleken, pH och näringsinnehållet kan justeras. En effekt av denna behandling är dock att torven får mycket låg självvarmeringsgrad. En annan produktionsteknik, där torven aldrig fräses sönder utan i stället sågas upp i odlingsenheter efter torkning, ger ett substrat med god sammanhållning. Provodlingar bl.a. på SLU i Garpenberg (Lindell & Lindström, 1984) har visat att det är möjligt att odla plantor i detta substrat. Torvens naturligt ojämna struktur, kompaktet och låga pH gör dock att det krävs förändrade gödslings-, vattnings- och odlingsrutiner. Om plantorna odlas fristående utan odlingskassetter krävs naturligtvis också precis som med Jiffysystemet att plantorna odlas med så pass stor luftspalt mellan odlingsenheterna att inte rötterna växer över till angränsande odlingsenhet.

Armerande inblandningar i torv

Torven har många egenskaper som gör den lämplig som odlingssubstrat för skogsplantor. Fräst eller mald torv har dock en mycket låg självvarmeringsgrad, vilket lett till att många försökt att på olika sätt armera torven. Några av de substanser som använts för att armera torv under en kort period eller för en något längre tid redovisas kortfattat nedan. Först presenteras dock en produkt som kan betecknas som ett mellanting mellan ett självbärande substrat och torv.

Stenull plus torv

Stenull har som tidigare nämnts mycket god sammanhållning och torv har lämpliga egenskaper för groning och odling. I en pilotstudie (Berg & Lindström, 1990) gjordes ett försök att kombinera dessa goda egenskaper. I denna studie stansade man ett cylindriskt hål i centrum av en stenullscylinder. Hålet fylldes med torv varefter den torvfyllda stenullscylindern placerades i odlingskassetter. Resultatet från denna studie visade bl.a. att metoden inte gav några negativa effekter på groning och att stenullsarmeringen gav positiv effekt på substratsammanhållningen vid en släppest efter två månader. I denna test släpptes plantorna i ett rör från höjden 155 cm ovanför markpla-

net. Omedelbart före och efter släpptesten vägdes plantorna med tillhörande substratklump. Studien visade också att stenullsarmeringens betydelse för substratsammanhållningen avklarar med tiden. Odling i s.k. rotstudielådor visade att armeringen med stenull inte gett någon synbar negativ påverkan på plantornas rotutveckling (Berg & Lindström, 1993).

På marknaden finns också en produkt där torv och mineralull blandats. Denna produkt har inte testats för skogsplantodling, men i Norge sår man gräs i produkten och använder den som yttertäck vid anläggning av torvtäck. (M. Brindberg, pers. medd.)

Hypol

Hypol är en s.k. prepolymer som kan blandas med torv och vatten. I Sverige har det gjorts en del försöksodlingar i torv som blandats med Hypol. En studie visade att armeringen av torv med 15 % Hypol ger en radikal förbättring av substratsammanhållningen, vilket t.ex. innebär att den har bättre sammanhållning än den tidigare beskrivna stenullshylsan med torvkärna (Berg & Lindström, 1993). I samma studie konstaterades dock att groningen i hypolblandad torv blev något sämre än i ren torv. Orsaken till detta kunde inte utredas men det är möjligt att hypolinblandningen minskade tillgången på vatten i ytan eller att substratets penetrerbarhet för rötter försämrades. Hypolblandad torv används i dag vid odling av snittblommor i Holland, men metoden är inte helt utvecklad för användning i svenska skogsplantaskolor. Vid blandningen av Hypol, torv och vatten frigörs en ohälsosam produkt (TDI) (A. Nordgren, pers. medd.). Därför bör en eventuell produktion av plantodlingsenheter ske i en speciellt anpassad miljö. Ett annat problem är att vid blandningen av hypol och torv tillförs en del vatten. Detta ger ett fuktigt odlingssubstrat, vilket försvårar mellanlagring av sådda plantodlingsenheter, eftersom det finns risk för att frön tar upp fukt från odlingssubstratet och börjar gro redan i mellanlagret.

Bindemedel

Flera typer av bindemedel i torv har också provats i olika sammanhang. Attagel som framställs ur mineralet Attapulgit är ett sådant binde- och förtjockningsmedel som provats vid fyllning av våt torv i plantodlingskassetter. Provet visade att blandningen av torv, vatten och Attagel fick en kraftig viskositetsökning jämfört med vatten och torv (D.-Å. Jönsson, pers. medd.). Polyurethanskum är en annan substans som provats och som visat sig ge torv en god sammanhållning, men det har också visat sig att vissa typer av polyurethanskum kan förändra torvens struktur så att kapillariteten försämrats (Gustavsson m.fl., 1987). Andra bindemedel som provats är t.ex. asfaltjärna, gummi och olika typer av lim. De flesta limtyper som testats har dock en alltför kortvarig effekt så att substratenheten börjar erodera efter några veckor. På marknaden finns också färdiga odlingssubstrat, t.ex. Wisser limplugg som innehåller ett slags lim. Dessa limpluggar fungerar på likartat sätt och lämpar sig därför för kulturer med kort

odlingstid. På vissa håll i Frankrike används ett pektin som appliceras i samband med leverans. På så sätt skapas en substratenhet som bättre klarar hanteringen efter odlingen (S. Karlsson, pers. medd.).

Biologiska fibrer och syntetfibrer

Även olika biologiska och syntetiska fibrer, såsom rayon och cocofibrer har blandats i torv för att ge den en bättre sammanhållning. Gemensamt för dessa fibrer är att om de är för korta så ger de inte den önskade ökningen av substratsammanhållningen, och om längre fibrer används ökar torvens sammanhållning, men då uppstår tekniska problem i en del av de torvfyllningsmaskiner som används i dag (M. Brindberg, pers. medd.).

Diskussion

Kunskapen om hur viktigt det är att plantera ut planter med ingen eller mycket liten rotdeformation har ökat under de senaste åren. Denna kunskap och planteringsmaskinernas behov av planter med stabil rotklump har ökat intresset för att hitta modifierade eller nya plantodlingssubstrat som är självbärande. På marknaden finns det i dag ett antal odlingssubstrat som skulle kunna betecknas självbärande. Kunskapen om hur de fungerar i skogsplantaskolor och ute i den svenska skogsmarken är dock begränsad, och det finns därför all anledning att studera dessa system närmare ur biologisk, teknisk och ekonomisk synvinkel, både i fält och i skogsplantaskolorna. Redan i dag kan man dock konstatera att samtliga dessa system innebär en del förändringar i plantskolorna, t.ex. förändrat maskinbehov och ändrade skötselrutiner.

Att blanda någon substans i torven som gör torven stabilare utan att förändra dess övriga odlingsegenskaper är troligen mycket enklare för plantskolorna, särskilt om inblandningen kan göras redan hos torvleverantören. Den typen av bindemedel finns tyvärr inte tillgänglig i dag. Det finns dock substanser som gör torven mycket stabilare. En intressant sådan produkt är prepolymeren Hypol som visat sig ge mycket stabila odlingssubstrat. Därför finns det goda skäl att studera Hypolen närmare. Fröns gröningsmiljö, rötternas utveckling samt rot- och plantutveckling efter utplantering är frågor som bör ägnas särskilt intresse i en sådan studie. Dessutom bör man titta på hur blandningen av Hypol, torv och vatten samt fyllningen av plantodlingskassetterna skall kunna ske utan att personal utsätts för hälsorisker eller omgivande miljö påverkas negativt. En substrattillverknings- och fyllningsanläggning med god miljösäkerhet kräver dock stora investeringar, och därför kan det kanske vara lämpligt att ett antal geografiskt närliggande plantskolor samarbetar om en sådan anläggning.

Från miljösynpunkt vore det bra om skogsplantaskolorna kunde använda odlingssubstrat som är miljövänliga och framställda ur en förnyelsebar råvara. Den förnyelsebara råvara som ligger skogsbruket närmast är naturligtvis trä. Vi vet att det är fullt möjligt att odla skogsplanter i träspån (Mattsson, 1996) och vi vet också att träfibrer kan användas till en mängd olika produkter med helt olika utseende

och egenskaper. Det är därför mycket troligt att det skulle gå att framställa ett dimensionsstabil och biologiskt bra odlingssubstrat ur trä.

Under de senaste 20 åren har det gjorts ett flertal försök att hitta eller tillverka ett bra självbärande odlingssubstrat. Flera av de personer som varit inblandade i dessa försök uttrycker optimism angående möjligheten att tillverka ett självbärande odlingssubstrat. Att man inte nått ända fram i sina egna försök anser man oftast bero på att man haft brist på tid och resurser samt prioriterat andra, mera

dagsaktuella frågor. Att det skulle vara förenat med mycket stora problem att konstruera ett bra substrat verkar det vara få som anser.

Sammanfattningsvis kan man påstå att det finns biologiska och ekonomiska motiv för en FoU-satsning med målet att konstruera en självbärande plantodlingsenhet som inte ger plantorna bestående rotdeformationer och att det finns goda möjligheter att nå framgång i en sådan satsning.

Referenser

- Berg, S. & Lindström, A. 1991. Stenullsarmeringen förbättrar substratsammanhållningen hos täckrotsplantor. *Plantnytt* 1991:2. 4 s. Garpenberg.
- Berg, S. & Lindström, A. 1990. Effekter av stenullsarmering av rotklump vid odling av tall. Stencil nr 60, 1990. 11 s. Garpenberg.
- Berg, S. & Lindström, A. 1993. Effekter av olika metoder att armera rotklumpar för förbättrad substratsammanhållning vid hantering av plantor. Stencil nr 84, 1993. 20 s. Garpenberg.
- Gustavsson, S., Ling, E. & Pettersson, H. 1987. Undersökning av förbehållare för omskolning. Seminariearbete. SLU Inst för skogsproduktion. Garpenberg.
- Lindell, M. & Lindström, A. 1984. Täckrotsplantors rotfördelning och effekter i fält. Stencil nr 25–1984. 30 s. SLU, Inst för skogsproduktion. Garpenberg.
- Lindström, A. 1981. The root study box. A device for the evaluation of root development. Rapport nr 6. SLU Inst för skogsproduktion. Garpenberg.
- Mattsson, A. 1996. Spån från sågverksindustrin – ett framtida odlingssubstrat vid produktion av skogsplantor? *Plantnytt* 1996:2. 4 s. Garpenberg.
- Nejström, C. 1983. Odlingsystem Rockwool. *Plantnytt* 1983:5. 4 s. Garpenberg.
- Nejström, C. 1992. Försöksodlingar av tall i olika substrattyper. Arbetsrapport. SLU, Inst för skogsproduktion. Garpenberg.
- Nejström, C. 1995. Svenska skogsplantor 1995. *Plantnytt* 1995:3. 4 s. Garpenberg.
- Nejström, C., Lindell, M. & Lindström, A. 1985. Effekter av rotform och rotfördelning hos täckrotsplantor. *Plantnytt* 1985:6. 4 s. Garpenberg.
- Strömberg, S. 1976. Försöksverksamhet med skogsplantodling i stenull 1971–1976. Arbetsrapport, 62 s. Institutet för skogsförbättring. Sävar.
- Strömberg, S. 1978. Försök med olika skötselmodeller för odling av tall i stenull. Stencil, 21 s. Institutet för skogsförbättring. Sävar.
- Werner, M., Hellström, C. & Karlsson, B. 1985. Stickskogsbruk med gran. Projektrapport, 97 s. Institutet för skogsförbättring. Ekebo.

Pers. medd.

Brindberg, Mats.	Stora Skog AB
Hoel, Erik.	A/S Jiffy Products Ltd. Norge
Johansson, Mats.	Stora Skog AB
Jägermyr, Stellan.	Stora Skog AB
Jönsson, Dan-Åke.	AWL Scandinavia AB
Karlsson, Stellan.	Arbos, Forest Nursery Consultants
Ljung, Henry.	Allskog
Nilsson, Bo.	Assi Domän Skog & Trä AB
Nordgren, Arne.	Hampshire Chemical AB.
Sandberg, Lars-Ove.	Assi Domän Skog & Trä AB
Skogh, Björn.	Assi Domän Skog & Trä AB

Rotutveckling hos sådd och planterad contortatall

Göran Rune och Mikael Mattson

Inledning

Bakgrund

Iggesunds Bruk AB (nuvarande MoDo Skog AB) har sedan slutet av 60-talet föryngrat en stor del av sina marker med contorta (*Pinus contorta* var. *latifolia*) på grund av dess förväntade merproduktion jämfört med de inhemska trädslagen. Anledningen till satsningen på contorta var oron för den kommande virkessvackan med virkesförsörjningsproblem som följd. På huvuddelen av marken har plantering utförts, men 1978 till 1983 gjordes även radsådd efter harvning. Drygt 600 ha har återbeskogats genom maskinell radsådd. Inventeringar av radsådder efter 1 till 2 växtsäsonger visade ett högt genomsnittligt antal plantor per hektar jämfört med plantering (Fryk, 1981), men variationen mellan och inom såddobjekten var stor. Till följd av de ojämna såddresultaten bestämde sig Iggesund för att satsa på täckrotsplantering, vilket bedömdes vara en mera robust föryngringsmetod (Nellbeck pers. komm.).

Under senare tid har den planterade contortans dåliga rotutveckling debatterats, eftersom det befaras att dess rotsystem ger låg stabilitet jämfört med rotsystemet hos naturligt uppkomna plantor (jfr Burdett m fl, 1986, Martinsson, 1985). Det finns undersökningar som tyder på att planterade contortaplantor har en benägenhet att utveckla krokiga stammar (jfr Fryk, 1981). Enligt Moss (1971) finns det en positiv korrelation mellan stambaskrökar och vindfällen.

För MoDo:s del har problemen med defekta rotsystem vid plantering varit en viktig anledning till att man återintresserar sig för sådd av contorta.

Denna undersökning initierades av MoDo Skog AB för att ge beslutsunderlag för framtida val av anläggningsmetod på olika ståndorter.

Syfte

Syftet med undersökningen var att studera vilket biologiskt resultat som blivit följderna av att använda de två olika metoderna manuell plantering och maskinell radsådd av contorta genom att inventera tillståndet hos 7- till 12-åriga bestånd med avseende på:

- stamraket,
- stabilitet,
- rotkvalitet.

Material och metoder

Material

Undersökningen omfattar 4 sådder och 3 planteringar i Hälsingland samt 5 sådder och 3 planteringar i Härjedalen. De undersökta objekten i Hälsingland ligger inom området relativt kyligt till medelgod temperaturzon. I Härjedalen ligger objekten inom området kyligt till extremt kyligt temperaturzon. Hälsingland och Härjedalen utgör därför två olika klimatområden i vår undersökning. Alla undersökta objekt ligger på 62°N på MoDo:s marker.

Objekten är valda så att anläggningsår, höjd över havet, ståndortsfaktorer och ståndortsindex skall vara så lika som möjligt för sådd och plantering inom respektive klimatområde.

Materialet delades in i fyra försöksled:

sådd X = sådd Hälsingland
plant X = plantering Hälsingland (HICO, listade)
sådd Z = sådd Härjedalen
plant Z = plantering Härjedalen (HICO, listade)

Inventeringsmetodik

Inventeringen utfördes som en systematisk provyteinventering med slumpmässig start. Antalet utlagda provpunkter per objekt varierade med hyggesstorlek och provytepunkt (jfr Bergsten & Kollenmark, 1984).

Stamraket och stabilitet

På ett slumpmässigt utvalt provträd utfördes mätning och bedömning av stamraket och stabilitet.

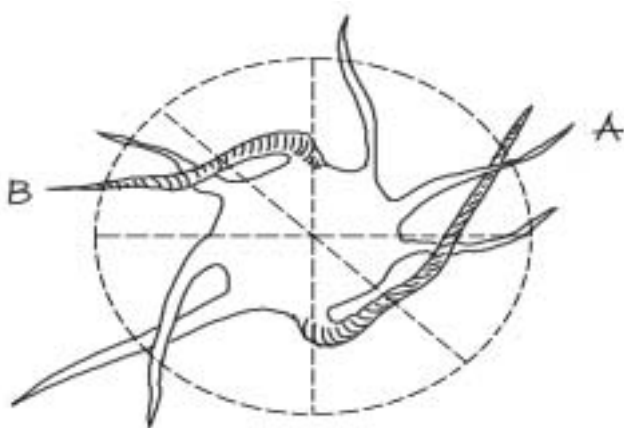
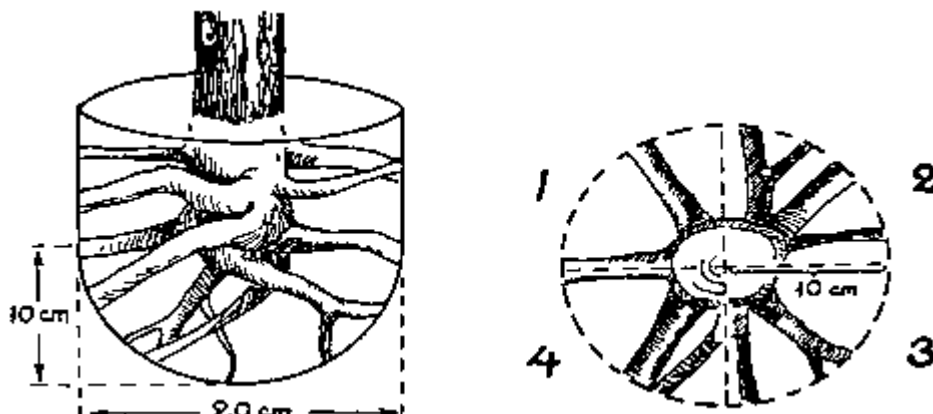
Stabilitetstesten utfördes genom att kraften ansattes i tyngdpunkten för vindens angreppsyta och provträdet böjdes ned i harvspårets riktning så att toppen nådde marken (jfr Lindström, 1990). Provträdets reaktion delades därefter in i 5 klasser: 1. trädet opåverkat av nedböjningen, 2. stambrott, 3. rotvälta, 4. rotbrott, 5. trädet lutar starkt (>40°) efter nedböjningen.

Därefter grävdes rotsystemen upp för senare rotanalyser.

Rotkvalitet

Lindströms (1990) modell för rotanalys användes. Rotsystemet klipptes till för att passa in i en cylinder med 10 cm radie och 18 cm djup halvsfärisk botten. Vid mätningarna registrerades sidorötter (rötter som skär cylinderns mantelyta), bottenrötter (rötter som skär halvsfärens mantelyta) samt rötter i de fyra kvadranterna (figur 1). Mätningarna omfattade antal och diameter på rötter med diameter >1 mm. Dessutom noterades förekomst av rotsnurr.

Figur 1.
Indelning av rotsystemet i sidosrötter (rötter som skär cylinderns mantelyta), bottenrötter (rötter som skär halvsfärans mantelyta) och rötter i fyra kvadranter (efter Lindström, 1990).



Figur 2.
Exempel på rotsnurr. Rot A klassificeras som rotsnurr medan rot B ej bedöms som snurrad.

För att erhålla ett mått på rotsystemets eventuella ensidighet användes ensidighetstal. Ensidighetstal = kvoten mellan rotarean i kvadranten med största rotarean och totala rotarean. Ett lågt värde innebär att rötterna var jämnt fördelade mellan kvadranterna. Det bästa värde som kan erhållas är 0,25 (Lindström, 1990).

Rotsnurr definierades som en rot med en diameter >1 mm som vrider sig mer än 45° runt en tänkt pålrot och >1/4 varv innan den tangerar en tänkt cirkels periferi med radien 10 cm (figur 2).

De rotsnurrade rötterna delades in i tre klasser: 1) 1/4–1/2 varv, 2) 1/2–1 varv, 3) >1 varv. Rotansvällningskvoten är ett objektiva sätt att beskriva eventuell obalans mellan plantans ovan- och underjordsdel. Den definierades som kvoten mellan största diametern på rotsystemet och stubbdiametern 10 cm ovan jordbandet.

Resultat

Rotkvalitet

Plant X hade de största rotsystemen, drygt 7 gånger så stor total rotarean och nära 3 gånger så många rötter per rotsystem som sådd Z, som också hade de minsta rotsystemen. Dessutom var bottenrötternas andel större för plant X än för övriga försöksled (tabell 1).

Tabell 1.
Fördelning av rötter i sido- och bottenrötter samt rotfördelning uttryckt som ensidighetstal och rotsymmetriindex. Signifikant skillnad fanns mellan sådd och plantering i antal bottenrötter och totalt antal rötter i både Hälsingland och Härjedalen. För Härjedalen var skillnaderna signifikanta mellan sådd och plantering beträffande sidorötternas rotarean, bottenrötternas rotarean och den totala rotarean.

Försöksled	Antal sidosrötter	Antal bottenrötter	Antal rötter totalt	Rotarean sidosrötter (mm ²)	Rotarean bottenrötter (mm ²)	Rotarean totalt (mm ²)	Ensidighetstal	Rotsymmetriindex
Sådd X	5,2 (57 %)	4,0 (43 %)	9,2	287,87 (58 %)	208,65 (42 %)	496,52	0,42	0,56
Plant X	5,8 (28 %)	14,8 (72 %)	20,6	429,76 (34 %)	833,39 (66 %)	1262,71	0,40	0,62
Sådd Z	5,0 (69 %)	2,2 (31 %)	7,2	97,37 (59,1 %)	67,3 (40,9 %)	164,68	0,39	0,55
Plant Z	6,8 (49 %)	7,1 (51 %)	13,9	433,24 (62 %)	263,50 (38 %)	784,36	0,38	0,55

Lägsta ensidighetstalet hade plant X, d.v.s. den bästa rotfördelningen mellan de fyra kvadranterna. Variationen mellan försöksleden var dock liten med endast 10 % skillnad mellan det bästa (plant X) och det sämsta (sådd Z) ensidighetstalet. Det största och därmed bästa värdet för rotsymmetriindex hade sådd X, de lägsta värdena hade sådd Z och plant Z. Även här var variationen liten med en skillnad på endast 13 % (tabell 1).

Den linjära regressionen över sambandet mellan stubbdiameter 10 cm ovan jordbandet och rotarean, visade att plant X hade den mest ökande rotarean med stigande diameter. Inom varje klimatområde hade regressionslinjerna för de planterade plantorna en större lutning, alltså en större ökning av rotarean med stigande diameter, jämfört med de sådda plantorna. En jämförelse mellan sådd X och sådd Z visar att rotarean hos sådd X ökar mest med stigande stamdiameter.

I både Hälsingland och Härjedalen hade de planterade plantornas rotsystem flest snurrade rötter (diameter >1 mm) i förhållande till totala rotantalet (figur 3). Plant X hade störst andel rotsnurr med 21 gånger så många rotsnurrade rötter som sådd Z, som hade lägst andel.

Sådd X och sådd Z hade störst andel ”grova” rötter per rotsystem (tabell 2). De grova rötterna delades in i tre klasser; rötter vars diameter är >15, 25 respektive 50 % av stubbdiametern 10 cm ovan jordbandet. För rötter med diameter >15 % av stubbdiametern hade sådda plantor i både Hälsingland och Härjedalen cirka 45 % fler grova rötter per rotsystem än planterade plantor. Skillnaden i andel grova rötter mellan sådd och plantering kvarstod

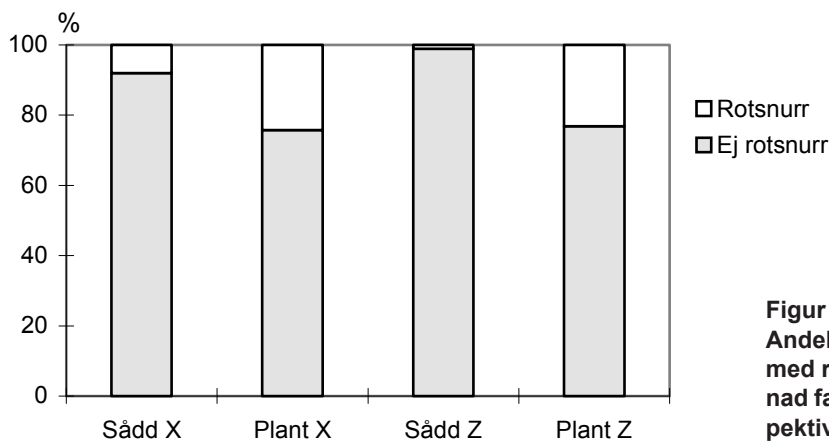
även för rötter med diameter >25 och 50 % av stubbdiametern inom respektive klimatområde (tabell 2).

Rotansvällning är ett subjektivt mått och var en typisk defekt hos planterade plantor. Inget av de sådda plantornas rotsystem uppvisade någon klar rotansvällning (tabell 3). Rotansvällningskvoten är ett objektiva mått och visade att Plant X hade 71 % större rotansvällningskvot än sådd X. Motsvarande skillnad för Härjedalen var 62 %.

De sådda plantorna hade betydligt bättre rotform än de planterade. De saknade den för planteringarna typiska rotansvällningen samtidigt som andelen rotsystem med pålrotsbildning var betydligt större (figur 4). Med pålrot avses den rot vilken uthålligt växer med mindre än 45 graders avvikelse från en lodlinje genom stammen och rotens tyngdpunkt.

Tabell 3.
Rotansvällningsfrekvens och rotansvällningskvot.
För rotansvällningskvoten var skillnaden signifikant mellan sådd och plantering inom respektive klimatområde.

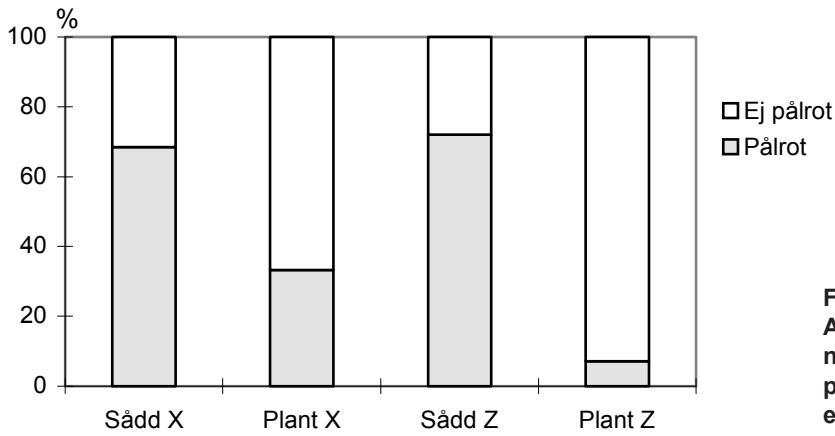
Försöksled	Rotansvällningsfrekvens (%)	Rotansvällningskvot
Sådd X	0	1,14
Plant X	87	1,95
Sådd Z	0	1,17
Plant Z	65	1,90



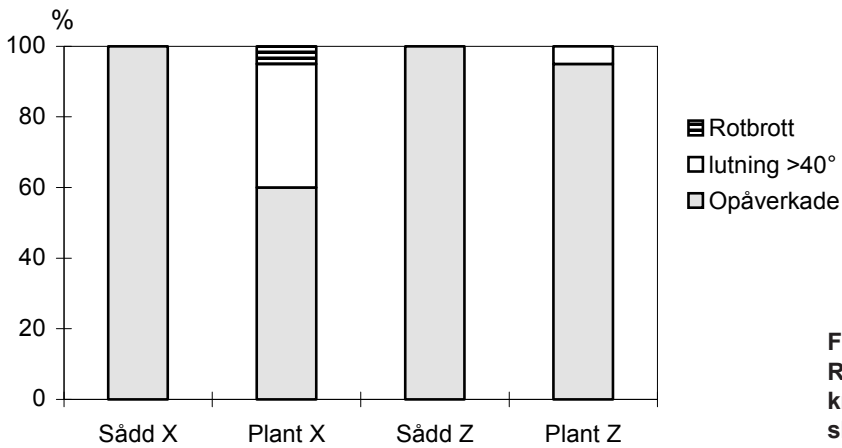
Figur 3.
Andel rötter av totala antalet rötter hos provträdet med respektive utan rotsnurr. Signifikant skillnad fanns mellan sådd och plantering inom respektive klimatområde.

Tabell 2.
Andel rötter med diameter grövre än 15, 25 och 50 % av stubbdiametern. Signifikant skillnad fanns mellan sådd X och plant X beträffande rötter med diameter >15 och 25 % av stubbdiametern.

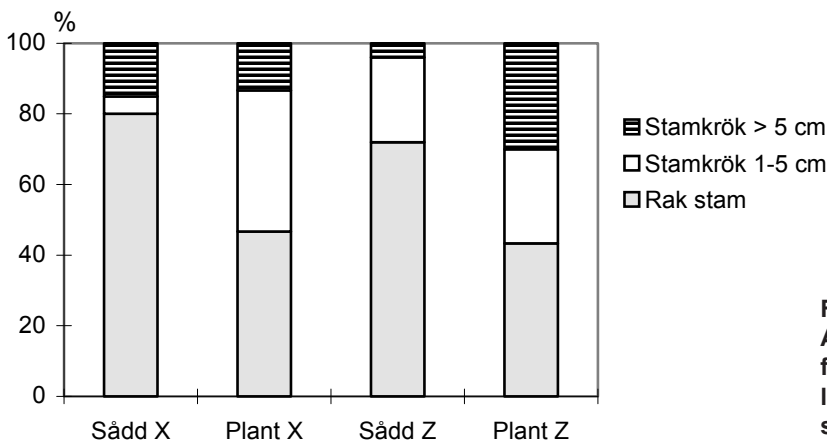
Försöksled	Totalt antal rötter	>15 % av stubbdiam.	>25 % av stubbdiam.	>50 % av stubbdiam.
Sådd X	9,2	51	26	4
Plant X	20,6	35	13	2
Sådd Z	7,2	57	25	7
Plant Z	13,9	39	21	4



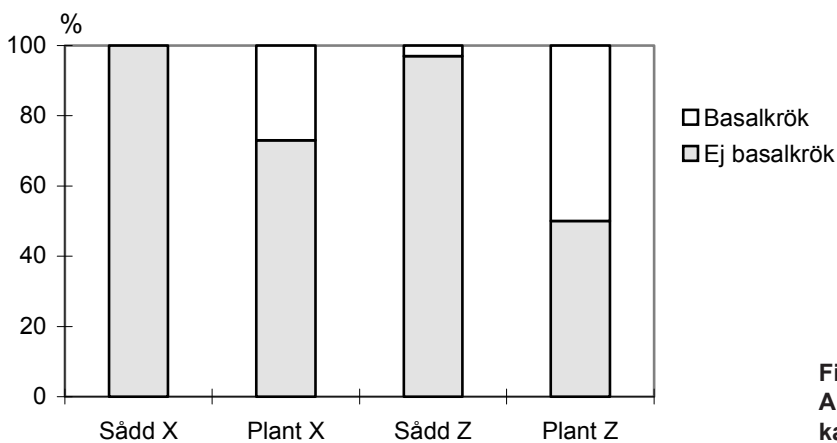
Figur 4. Andel rotsystem med pålotsbildning. Signifikant skillnad fanns mellan sådd Z och plant Z. Mellan sådd X och plant X erhöles ett nästan signifikant värde ($p=0.08$).



Figur 5. Reaktion efter nedböjning av provträdens krona mot markplanet. Ingen signifikant skillnad mellan försöksleden.



Figur 6. Andel provträd med stamkrökar i de olika försöksleden. Signifikant skillnad fanns mellan sådd X och plant X för rak stam och stamkrök 1-5 cm.



Figur 7. Andel provträd med stambaskrökar. Signifikant skillnad fanns mellan sådd Z och plant Z.

Sådd X hade drygt 2 gånger så många rotsystem med pålrot än plant X. För Härjedalen hade differensen mellan sådd och plantering ökat till nära 9 gånger.

Stabilitetstest

Efter genomförd stabilitetstest, då provträden böjdes ned så att toppen nådde marken, drabbades 40 % av de planterade plantorna i Hälsingland av påverkan (figur 5). Alla sådda plantor var opåverkade.

Stamraket

Sådda bestånd hade nästan 2 gånger så många raka stammar som planterade bestånd (figur 6). De vanligaste stamkrökarna var för sådd X: lutande stam utan basalkrök och krokig stam utan basalkrök, plant X: rak stam med basalkrök och krokig stam utan basalkrök, sådd Z: krokig stam utan basalkrök, plant Z: rak stam med basalkrök.

Basalkrök var en defekt som nästan uteslutande förekom hos planterade plantor. Endast en såddplanta med basalkrök registrerades, i Härjedalen (figur 7).

Diskussion

Rötternas kvalitet har betydelse för en plantas stabilitet (jfr t.ex. Lindström, 1990). Det finns undersökningar som visar att sådda plantor utvecklar ett rotsystem som är av högre kvalitet än planterade plantors rotsystem (jfr t.ex. Martinsson, 1986). God stabilitet är viktigt för att unga träd skall bibehålla en god stamform (Moss, 1971). När plantan inte har en god förankring i marken, kan dess läge rubbas genom t.ex. snö- och vindtryck och plantan intar en lutande position. När den sedan fortsätter att växa, kan en basalkrök uppstå. Hultén & Jansson (1978) konstaterade ett samband mellan krokighet och lägre stabilitet. Vi fann att plantorna i de planterade bestånden hade större andel krokiga stammar och stammar med basalkrök än plantorna i de sådda bestånden. Vid stabilitetstesten då provträden böjdes ned så att toppen nådde marken drabbades enbart de planterade plantorna av defekter som rotbrott och lutning mer än 40 grader. Detta kan tolkas som att rotansvällningen har en avgörande betydelse för stabiliteten i ungdomsstadiet. Samtidigt måste man komma ihåg att de planterade plantorna har en högre medelhöjd än de sådda. Plant X hade den högsta medelhöjden men också den största andelen påverkade plantor efter nedböjningen. Plant X hade dessutom störst andel rotsystem med rotansvällning och den största rotansvällningskvoten i medeltal. Vårt intryck från fältinventeringen är att planthöjden har

stor inverkan på stabiliteten, vilket även styrks av Lindström (1990) som menar att planthöjden har större betydelse för stabiliteten än t.ex. stamdiametern.

För att det skall bildas rotansvällning krävs det att plantan har snurrade rötter. När dessa tillväxer i tjocklek, utbildas en väl markerad rotansvällning med successiv sammanväxning i kontaktytorna (Hultén & Jansson, 1978). Vår undersökning visar att de planterade plantorna hade störst andel snurrade rötter samtidigt som det endast var dessa plantors rotsystem som uppvisade rotansvällning. Rotansvällning som uppkommer på grund av rotsnurr leder till att fiberriktningen i veden avviker från ett normalt rotsystem. Dessutom uppstår ofta "barkdrag" till följd av att rötterna sammanväxer i kontaktytorna. Dessa defekter kan leda till rotbrott då plantan utsätts för påfrestningar som t.ex. snö- och vindtryck.

I vår undersökning fann vi ingen större skillnad mellan försöksleden beträffande rötternas fördelning i andel sido- och bottenrötter. Inte heller ensidighetstalet eller rotsymmetriindex uppvisade någon större skillnad mellan de fyra försöksleden. Enligt Sundqvist (1988), som genomförde stabilitetstester på 8- till 14-åriga bestånd av både contorta och tall, erhålls ej nedsatt stabilitet på grund av asymmetri vid denna ålder, men ensidiga rotsystem kan vara negativa för stabiliteten hos större träd.

Andelen grova rötter var större hos de sådda plantorna, vilket bör vara gynnsamt för stabiliteten. Lindström (1990) anger att det från stabilitetssynpunkt troligen är effektivare för plantan att fördela rotarean på några få grova rötter. Martinsson (1985) menar att contortan i jämförelse med vanlig tall har sämre stabilitetsegenskaper, bland annat beroende på mindre rotarea och klenare rötter i förhållande till ovanjordsdelens storlek. Även pålrot har stor betydelse för ett trädets stabilitet, speciellt i ungdomsåren. Vid jämförelse av förekomst av pålrötter hos de olika försöksleden ser vi att sådda plantor bildat pålrötter i betydligt större utsträckning än planterade plantor. Sådd X uppvisade större andel sidorötter än plant X. Plant Z hade något större andel sidorötter än sådd Z.

Markegenskaperna, däribland jordarten, har ett starkt inflytande på rotutvecklingen. I denna undersökning består de enskilda objekten genomgående av sandig morän. Den bättre rotutvecklingen hos de sådda plantorna med avseende på pålrot, rotsnurr och rotansvällning, beror därför med stor sannolikhet på anläggningsmetoden. Dessutom är basalkrök en defekt som kan orsakas av instabila rotsystem.

Referenser

- Bergsten, U., Kollenmark, R. 1984. Inventeringsresultat från sju radsådda hyggen i Västerbottens län. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsskötsel. Arbetsrapport nr 3. Umeå.
- Burdett, A.N., Coates, R., Martin, P.A.F. 1986. Toppling in British Columbia's Lodgepole Pine Plantations: Significance, Cause and Prevention. *The Forestry Chronicle* 62.
- Fryk, J. 1981. Resultat av maskinell sådd – inventerat hösten 1981. Stencil. Iggesunds bruk.
- Hultén, H., Jansson, K-Å. 1978. Stabilitet och rotdeformation hos tallplantor. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsförnyring. Rapporter och uppsatser nr 93.
- Lindström, A. 1990. Plantstabilitet – ett kvalitetsbegrepp. *Skogen* nr 2.
- Martinsson, O. 1985. Markberedningens inflytande på överlevnad, tillväxt och rot/skottrelation i förnyringar av tall, gran och contorta. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsskötsel. Umeå.
- Martinsson, O. 1986. Contortatallens rotutveckling och stabilitet. SJFR projektreferat, slutredogörelse. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsskötsel. Umeå.
- Moss, A. 1971. An investigation of basal sweep of lodgepole and shore pines in Great Britain. *Forestry* 44.
- Sundqvist, H. 1988. Rotutveckling och stabilitet hos contorta och tall planterade på plogade hyggen. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsskötsel. Examensarbete i ämnet skogsskötsel nr 1988:2. Umeå.

Muntliga referenser

- Nellbeck, Roland. 1992.

Rotutformning hos sticklingar och fröplantor av gran

Mats Hannerz och Anders Lindström

Bakgrund

I Sverige har gransticklingar använts vid skogsodling eller i förädling sedan mitten av 1970-talet (Högberg m.fl., 1995). Omfattningen har varierat, från mycket låg till en årsproduktion av närmare 5 miljoner sticklingar i slutet på 1980-talet. Efter en kraftig nedgång under 1990-talets första del verkar användningen av gransticklingar i svenskt skogsbruk vara på väg att öka igen.

Sticklingförökning är ett effektivt sätt att kopiera gran-individer (kloner) med goda genetiska egenskaper, t.ex. för tillväxt, hårdighet eller kvalitet. Förutom de genetiska fördelar som sticklingarna då erhåller, så uppvisar sticklingen också fysiologiska skillnader jämfört med fröplantor. Gransticklingar har jämförts med fröplantor i flera olika fältstudier. Sticklingarna har befunnits ha högre överlevnad (Gemmel m.fl., 1991), högre tillväxt (Gemmel m.fl., 1991; Roulund, 1985), mindre frostsador (Hannerz, 1994; Hannerz & Wilhelmsson, 1998) och större motståndskraft mot snytbaggeangrepp (Mattsson & Thorsén, 1992) än motsvarande fröplantor.

Bland skogsmän har ibland rapporter om ”lutande” sticklingplanteringar lyfts fram, och misstankar har då framförts om att sticklingarnas stabilitet skulle vara sämre än fröplantornas. De lutande plantorna kan ha sin orsak i plagiotropiskt växtsätt, d.v.s. att vissa sticklingar växer som grenar de första åren. En annan förklaring skulle kunna vara skillnader i rotsystemens utformning. Om sådana

skillnader skulle föreligga så kan det ha stor betydelse för synen på användning av sticklingar. Klonvisa skillnader i rotning och rottillväxt har påvisats i flera studier (t.ex. Kleinschmit & Svolba, 1980; Deans m.fl., 1992). Kleinschmit (1978) jämförde rotutvecklingen efter omskolning hos 3-åriga sticklingar och fröplantor. Han fann bl.a. att rötternas andel av hela plantans torrsvikt var lika mellan planttyperna, men att det var en stor skillnad i rotandel mellan enskilda kloner. Mauer & Palatova (1994) jämförde rotsystemen hos sticklingar och fröplantor efter 25 år i fält. De små skillnader som noterades var oftast till sticklingarnas fördel, och författarna rekommenderade sticklingar som ett fullgott alternativ vid skogsplantering.

I denna studie jämförs rotsystemen hos sticklingar och fröplantor i ett 15-årigt fältförsök. Syftet är att erhålla ett svar på om skillnader i rotsystemens utformning föreligger mellan de båda planttyperna, och om denna skillnad i så fall kan förväntas påverka stabiliteten hos träden.

Material och metoder

Försöket

För denna studie utnyttjades ett 15-årigt fältförsök med täckrotsodlade sticklingar och fröplantor i olika behållare. Försöket planterades på torvmark i Salsta, 2 mil norr om Uppsala 1982 (figur 1). Syftet var dels att jämföra tillväxt och överlevnad mellan sticklingar och fröplantor med likartat genetiskt ursprung, dels att jämföra utvecklingen hos plantor odlade i olika täckrotsbehållare. Resultat från tidigare mätningar och närmare beskrivning av försöket finns i Hannerz & Wilhelmsson (1998).

Försöket innehåller 4 olika behållare av varierande storlek (Hiko V-50 samt tre storlekar av Paperpot), och för alla behållare jämförs sticklingar och fröplantor. Plantorna rotades respektive såddes våren 1980 i en plantskola i Uppsala. De har sedan erhållit samma odlingsregim i plantskolan. En subjektiv bedömning i samband med planteringen visade att samtliga behållare resulterat i en viss rotkomprimering.

Datainsamling

Provtagningar för rotanalyser gjordes för två av behållarna – Hiko V-50 (volym 50 cm³) respektive Paperpot 608 (volym 173 cm³). För vardera av dessa behållartyper grävdes rötter upp från 9 fröplantor och 9 sticklingar fördelade på 3 block. Totalt analyserades 36 rotsystem. Provträden valdes ut så att de så långt som möjligt representerade medelträden inom respektive parcell. Genom den låga urvalsprocenten blev diameterspridningen ändå stor. Träd med allvarliga fel, t.ex. dubbelstammar, ingick inte bland provträden.



Figur 1.
Försöksområdet Salsta.

Metodiken för provtagning och mätning är modifierad från Håkansson & Lindström (1994). Provträden mättes med avseende på höjd och brösthöjdsdiameter före provtagningen. Stammen sågades av ca 2 dm ovan mark. Rotsystemet grävdes upp och rötterna sågades av på ett avstånd av 40 cm från stammens centrum. Rotsystemets riktning i väderstreck markerades på stammen.

På laboratorium sågades rotsystemen till så att de passade en cylinder med 10 cm radie. De avsågade rötterna torkades och vägdes. Rotsystemet delades in i 4 kvadranter efter väderstreck. I respektive kvadrant registrerades för rötter ≥ 3 mm: diameter i sågsnittet samt nivå för rotens centrum i förhållande till en tänkt övre nivå för substratklumpen i odlingsbehållaren (figur 2). Notering gjordes också om rötterna främst var nedåtriktade (mer än 45° avvikelse från horisontalplanet). Rothalsdiametern mättes 10 cm ovanför den tänkta substratnivån.

Analyser

Modell 1 nedan användes för att analysera variablerna: brösthöjdsdiameter, rothalsdiameter, antal rötter, rotarea samt ensidighetstal (rotarean inom den största kvadranten dividerat med total rotarea).

Modell 1

$$y_{ijk} = m + a_i + b_j + (ab)_{ij} + g_k + e_{ijk}$$

där

y_{ijk} = observation på träd ijk

m = medelvärde

a_i = fix effekt av planttyp ($i=1,2$)

b_j = fix effekt av behållare ($j=1,2$)

$(ab)_{ij}$ = fix effekt av samspel mellan planttyp och behållare

g_k = fix effekt av block ($k=1,3$)

e_{ijk} = slumpmässig felterm

Fördelningen av rötter i djupled uttrycktes som procentuell rotarea i nivåklasser på 1 cm. Denna karaktär har inte analyserats statistiskt.

Form (kvoten mellan brösthöjdsdiameter och rothalsdiameter) och rotarea i förhållande till rothalsdiameter analyserades med regressionsanalys enligt modell 2.

Modell 2

$$y_{ijk} = a_i + b_i * x_{ijk} + g_j + e_{ijk}$$

där

y_{ijk} = observation på träd ijk

a_i = intercept av planttyp i ($i=1,2$) eller behållare i ($i=1,2$)

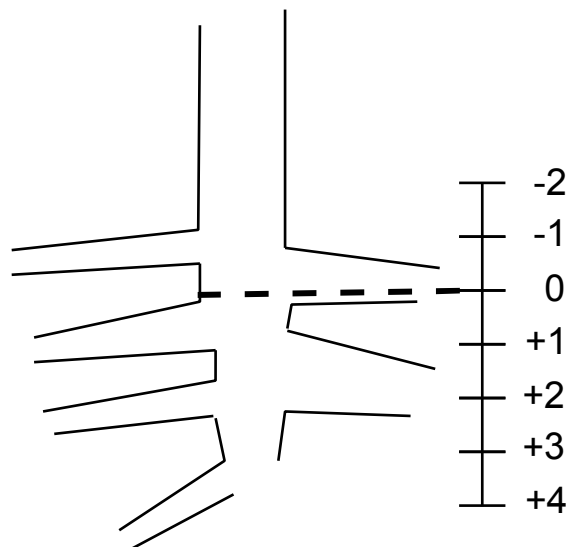
b_i = regressionskoefficient

x_{ijk} = brösthöjdsdiameter eller rothalsdiameter på träd ijk

g_j = fix effekt av block k ($k=1,3$)

e_{ijk} = slumpmässig felterm

Andelen nedåtriktade rötter analyserades inte, då det bara var enstaka rötter (1–2 per försöksled) som bedömdes som nedåtriktade.



Figur 2. Rötternas nivå mättes i förhållande till den skattade övre nivån för den ursprungliga substratklumpen (grov, streckad linje). Negativa siffror innebär att rötternas utgått från stammen, ovanför odlingsbehållaren.

Resultat

Sticklingarna var i genomsnitt något högre och hade signifikant större brösthöjdsdiameter än fröplantorna. Denna storleksskillnad avspeglar sig också i att sticklingarna hade signifikant ($p < 0.05$) högre rotvikt och rotarea än fröplantorna. Om hänsyn tas till storleken var skillnaden mindre. Formkvoten skilde sig inte signifikant mellan sticklingar och fröplantor. En tendens fanns dock att sticklingarna hade en mindre avsmalning från rothals till brösthöjd än fröplantorna (figur 2). Sticklingarna hade en något större rotarea vid samma rothalsdiameter än fröplantor (figur 3).

Ensidighet och rotantal skilde sig inte mellan fröplantor och sticklingar. Rötternas fördelning i djupled (figur 4) visar inte heller någon skillnad mellan planttyperna.

Tabell 1. Medelvärden för fröplantor och sticklingar.

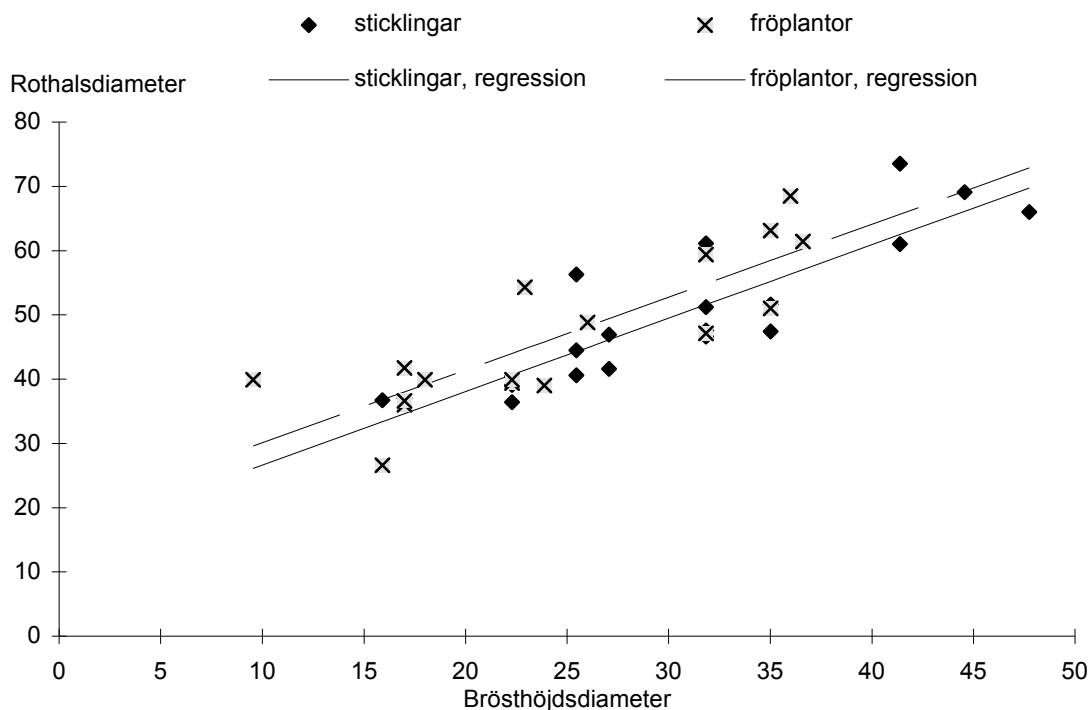
	Sticklingar	Fröplantor
Höjd, cm	252	233
Brhdiameter, mm	31,3	24,6
Rothalsdiameter, mm	51,0	46,6
Rotantal	8,8	9,4
Rotarea, cm ²	28,9	19,8
Rotvikt, g	259	165
Ensidighet*	0,51	0,50

* rotarea i största kvadranten/sammanlagd rotarea

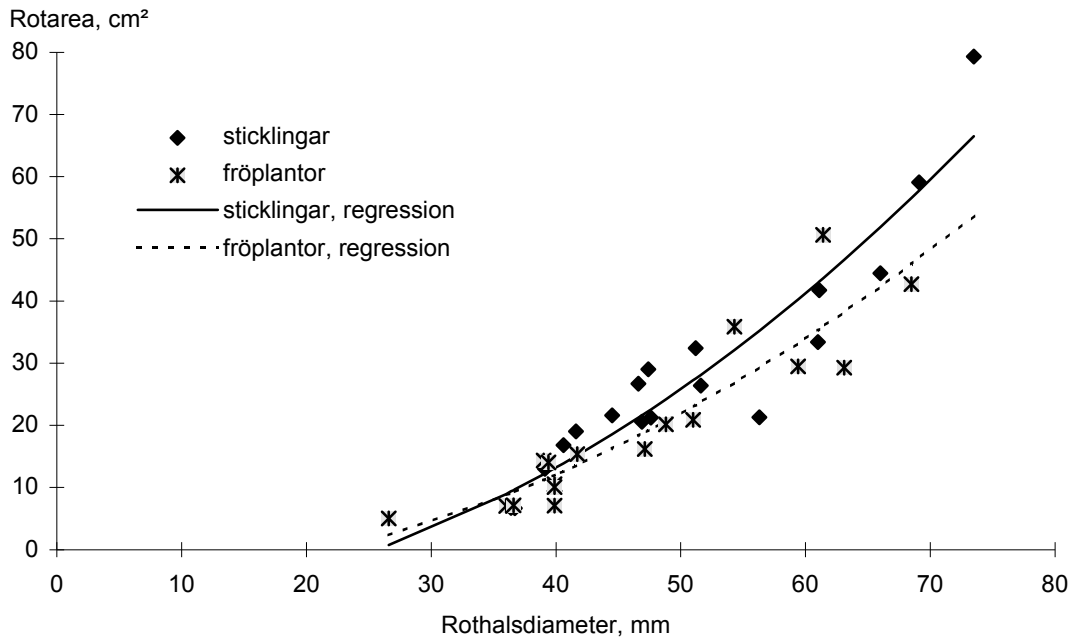
Träden från Hiko V-50 hade större rotvikt, rotarea och brösthöjdsdiameter. Denna skillnad var en ren effekt av urvalet, där provträd från Hiko V-50 var större än provträd från Paperpot 608. I inget fall var samspelet mellan planttyp och odlingsbehållare signifikant, varför sticklingar och fröplantor i tabell 1 jämförs oberoende av odlingsbehållare.

Diskussion

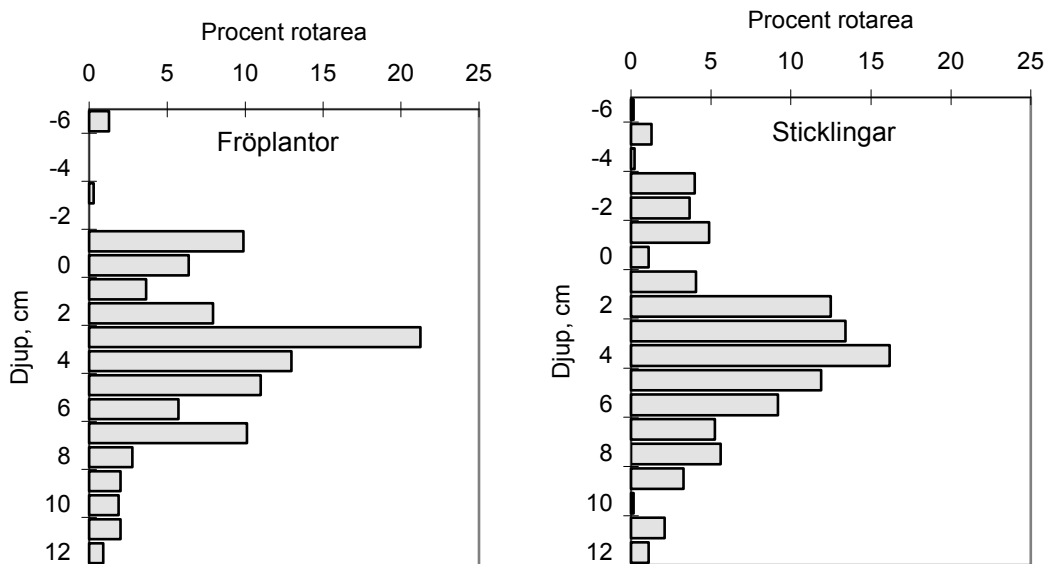
Det är sannolikt att rötterna skiljer sig mellan sticklingar och fröplantor på unga plantor i plantskolan. Fröplantornas första rötter bildas redan vid groningen, från hypokotylen. Sticklingen bildar i stället adventivrötter i kapsnittet på de rotade kvistarna. En vanlig erfarenhet är att unga (ettåriga) plantor av sticklingar har några få men grova rötter, medan motsvarande fröplanta kan ha fler men tunnare rötter. Efter omskolning i plantskolan eller utplantering i fält kommer plantskolerötterna att till stor del ersättas av adventivrötter bildade från stammen. Eventuella skillnader mellan fröplantor och sticklingar utjämnas då med tiden. Sticklingens färdigbildade adventivrotsystem kan eventuellt bidra till att den etablerar sig snabbare, och att den kan förkorta fröplantans omställningsperiod ("granens stamp").



Figur 3. Brösthöjdsdiameter och rothalsdiameter hos sticklingar och fröplantor, samt regressionslinje för respektive planttyp. Formkvoten (förhållandet mellan brösthöjdsdiameter och rothalsdiameter) skilde sig inte signifikant mellan planttyperna enligt modell 2.



Figur 4. Rotarea vid olika rothalsdiameter hos sticklingar och fröplantor, samt regressionslinje för respektive planttyp. Sticklingarna hade signifikant större rotarea vid samma rothalsdiameter enligt modell 2.



Figur 5. Rötternas fördelning i vertikalled, procent av sammanlagd rotarea. Nivåerna relateras till odlingskrukans övre kant (=0).

I denna studie fanns inga eller små skillnader i rotsystemens utformning mellan sticklingar och fröplantor. De skillnader som var statistiskt säkerställda hänförde sig till storleken på provträdet (total rotvikt och rotarea). Karaktärer som rötternas fördelning i horisontal- och vertikallid samt antal rötter var lika mellan planttyperna. En antydning fanns att sticklingar hade ett sammantaget större rotsystem i förhållande till rothalsdiametern.

Mauer & Palatova (1994) fann inga skillnader mellan sticklingar och fröplantor efter 25 år i fält när det gällde: antal och grovlek på lateralerötter, rotdeformationer, bio-

massa hos finrötter, vitalitet, fysiologisk aktivitet och mykorrhizainfektioner i finrötterna. Rotsystemen hos sticklingar var något bättre än hos fröplantor med avseende på rotsystemets spridning i marken (såväl till ytan som på djupet) och förekomst av sänkrötter. Sticklingarna hade större andel deformerade huvudrötter. Författarna drog slutsatsen att det inte finns något skäl att avstå från användning av sticklingar med hänsyn till rötterna, varken från ett skogsskötselmässigt eller ett ekologiskt perspektiv. Denna studie pekar åt samma håll.

Referenser

- Deans, J.D., Mason, W.L. & Harvey, F.J., 1992. Clonal differences in planting stock quality of Sitka spruce. *Forest Ecology and Management* 49: 101–107.
- Gemmel, P., Örlander, G. & Högberg, K.A. 1991. Norway spruce cuttings perform better than seedlings of the same genetic origin. *Silvae Genetica* 40: 198–202.
- Hannerz, M., 1994. Winter injuries to Norway spruce observed in plantations and in a seed orchard. Report No. 6. 22 s. SkogForsk, Uppsala.
- Hannerz, M. & Wilhelmsson, L. 1998. Field performance during 14 years growth of *Picea abies* (L.) Karst. cuttings and seedlings propagated in containers of varying size. *Forestry* 71 (4):000–000 (in press).
- Håkansson, L. & Lindström, A. 1994. Stabilitet i 20-åriga täckrotskulturer av tall. SLU, Inst. för skogsproduktion. Stencil nr 87. 22 s.
- Högberg, K.-A., Eriksson, U. & Werner, M., 1995. Vegetativ förökning och klonskogsbruk – med tonvikt på gran. Redogörelse No. 2. 38 s. SkogForsk, Uppsala.
- Kleinschmit, J., 1978. Vergleichende Wurzeluntersuchungen an Fichtensamlingen und Fichtenstecklingen. *Forstarchiv*. 1978, 49: 4, 69–74.
- Kleinschmit, J. & Svolba, J., 1980. Untersuchungen über die Struktur von Fichtenstecklingen. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 151, Jg., 8. Sid 147–152.
- Mattsson, S. & Thorsén, Å., 1992. Föryngring med förhinder. I: G. Frumerie (Red.) Rationaliseringskonferensen 1992, Redogörelse No. 1, s. 35–48. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stockholm.
- Mauer, O. & Palatova, E., 1994. Vyoj korenoveho systemu rizkovancu smrku obencneho (*Picea abies* (L.) Karst.) do kvaceti peti let po vysadbe. (Summary: Development of the root system of rooted cuttings of Norway spruce within 25 years after planting). *Lesnictvi-Forestry*, 40 (7–8): 298–306.
- Roulund, H., Wellendorff, H. & Werner, M. 1985. A clonal experiment in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). 15 years results. *Forest tree improvement* No. 17. 33 s. Arboretet Hørsholm, Kopenhagen.

Är planterade contortatallar mer instabila för att plantorna har mer rötter?

Ola Rosvall

Planterade träd har deformerade rotsystem ...

Naturföryngrad eller sådd contortatall är stabil och planterad contortatall är mindre stabil än planterad tall. Det ligger därför nära till hands att söka orsaken till artskillnaden i ståndortsval, planttyp och plantering.

Rotsystemet hos en naturligt etablerad contortatall (eller tall) har en väl utvecklad huvudrot, från vilken ett begränsat antal grova långa lateralerötter utgår horisontellt och symmetriskt i radiell riktning.

Rotsystem hos planterade träd är något mer deformerade hos contortatall än hos tall. De har oförändrad andel rotbiomassa men fler och klenare lateralerötter med större avsmalning och asymmetrisk utbredning. Rotsystemen saknar ofta huvudrot men har rotklump.

... och contortatallen har större "segelyta"

Contortatallens större instabilitet kan också bero på hur belastningskrafter från vind och snö uppfångas och överförs. Åtminstone unga contortatallar har en större andel av ovanjordsbiomassan i grenar och barr och mindre i stammen. Contortatall har även mer elastisk stam- och grenved.

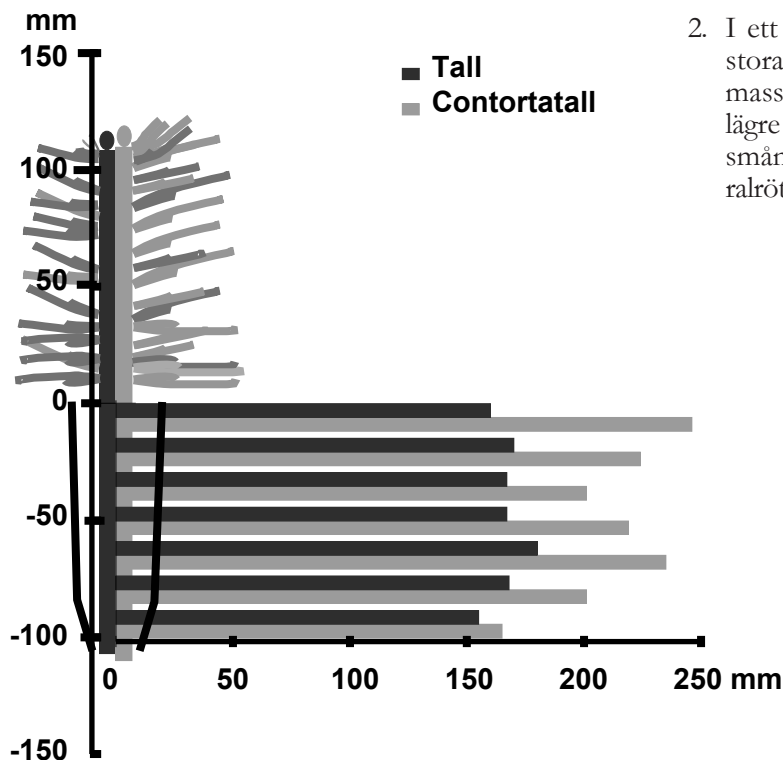
Varför får contortatall mer deformerade rotsystem än tall?

En av flera hypoteser är att contortatallen som planta utvecklar ett rotsystem som missbildas mer än tallens när de odlas under samma betingelser p.g.a.:

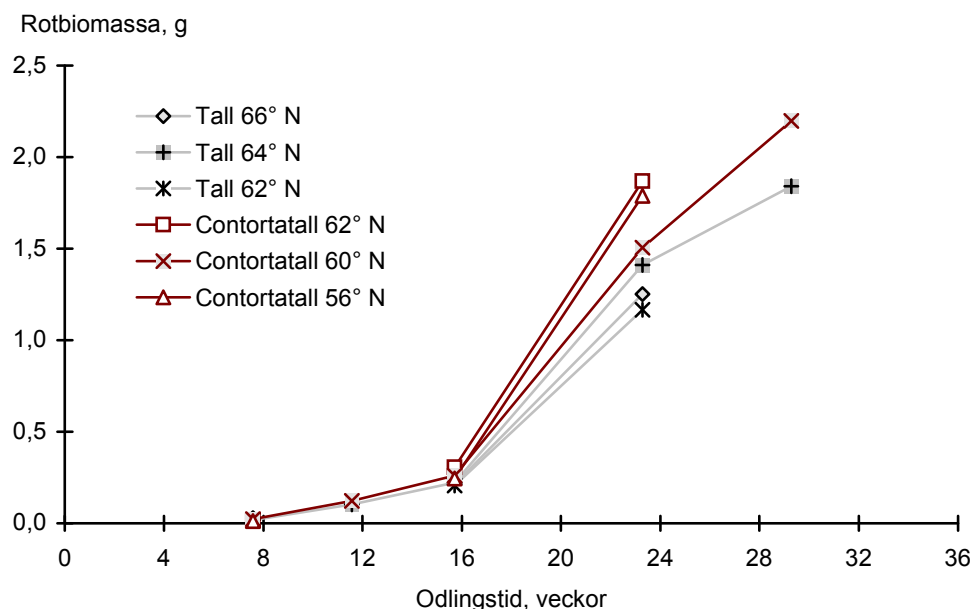
- ♦ Större rotsystem vid normal odlingstid i plantskolan.
- ♦ Större benägenhet för rotdeformation och/eller mindre förmåga att övervinna deformationen.

Resultat

1. I ett stickprovsmaterial av lika odlade stora ett- och tvååriga plantor var rotmassan 30 % större hos contortatall än tall. Lateralerötterna var i genomsnitt 30–50 % längre och de tre översta hade mer än dubbla biomassan jämfört med tall (figur 1) (Rosvall, 1995).
2. I ett experimentmaterial med cellpotbehållare och stora lådor nådde contortataplantorna samma biomassa som tallplantorna efter ca 7 veckor, trots 33 % lägre frösvikt. Fritt växande i lådor blev contortatallen så småningom dubbelt så stora med halvmeterlånga lateralerötter.



Figur 1. Schematiserad bild av skott- och rotlängder efter upphöjd odling i behållare med styrlister av tall och contortatall (från Rosvall, 1995).



Figur 2.
Rotbiomassans utveckling efter sådd av tre provenienser av tall och contortatall.

I cellpotbehållarna hämmade styrlister och upphöjd odling lateralrötternas längdtillväxt något. De blev ändå dubbelt så långa som behållardjupet för båda arterna. Huvudrotens längdtillväxt stannade dock vid behållarbotten.

Contortatallens lateralrötter växte snabbare på längden men i cellpotbehållarna blev de ändå inte längre än tallrötternas. Däremot hade rötterna 30 % större biomassa (figur 2) med en tendens till förskjutning mot de övre lateralrötterna. Det fanns en variation mellan provenienser, men artskillnaden var entydig.

Slutsats

Contortatallens rotsystem utvecklas snabbare och blir fort större än tallens. Rotsystemet är således ofta förhållandevis mer deformerat redan vid planteringen på ett liknande sätt som är känt för tallplantor odlade olika länge. Det finns vidare en tendens till mer plastiskt beteende som ger större variation mellan enskilda rötter, vilket tillsammans med contortatallens snabba skotttillväxt också kan vara en förklaring till minskad stabilitet.

Referenser

- Rosvall, O. 1994. Contortatallens stabilitet mot vind och snö. SkogForsk Redogörelse nr 2, 1994. 47 s. Uppsala.
- Rosvall, O. 1995. Rotstruktur hos täckrotsplantor av contortatall och tall. SkogForsk Arbetsrapport nr 299. 17 s. Uppsala.
- Rosvall, O. & Ericsson, T. 1998. Root components of containerized and free-growing seedlings of Scots pine and lodgepole pine. I: Almqvist, C. (red.). Rotutveckling och stabilitet. SkogForsk Redogörelse nr 7.

Författaradresser

(Addresses of the authors)

Ackzell, Lennart
Skogsstyrelsen
S-551 83 Jönköping
Sverige

Almqvist, Curt
SkogForsk
Science Park
S-751 83 Uppsala
Sverige

Ásgeirsson, Sigvaldi
Statens skogers försöksstasjon, Móglisá
IS-270 Mosfellsbær
Island

Ditlevsen, Bjerne
Statsskovens Planteavlssstasjon
Krogerupsvej 21
3050 Humlebæk
Danmark

Ericsson, Tore
SkogForsk
Box 3
S-918 21 Sävar
Sverige

Eriksson, Birger
SkogForsk
Box 3
S-918 21 Sävar
Sverige

Hannerz, Mats
SkogForsk
Science Park
S-751 83 Uppsala
Sverige

von Hofsten, Henrik
SkogForsk
Science Park
S-751 83 Uppsala
Sverige

Hultén, Håkan
SLU
Institutionen för skogsproduktion
S-750 07 Uppsala
Sverige

Håkansson, Lars
Högskolan Dalarna
S-776 98 Garpenberg
Sverige

Kohmann, Ketil
Norsk Institutt for skogforskning (NISK)
Høgskoleveien 12
N-1432 Ås
Norge

Lassheikki, Markus
Skogsbrukets utvecklingscentral Tapio
FIN-00700 Helsinki
Finland

Lindström, Anders
Högskolan Dalarna
S-776 98 Garpenberg
Sverige

Mattson, Mikael
Svegsågens Skogs AB
S-842 00 Sveg
Sverige

Nylinder, Mats
SLU
Institutionen för virkeslära
S-750 07 Uppsala
Sverige

Nielsen, Christian N.
Arboretum, Royal Vet. & Agric. University
Kirkegårdsvej 3 A
DK-2970 Hoersholm
Danmark

Persson, Bengt
Högskolan Dalarna
S-776 98 Garpenberg
Sverige

Rosvall, Ola
SkogForsk
Box 3
S-918 21 Sävar
Sverige

Rune, Göran
Högskolan Dalarna
S-776 98 Garpenberg
Sverige

Ståhl, Erik G.
Högskolan Dalarna
S-776 98 Garpenberg
Sverige