

# Flaskhalsen

Därför har maskinell plantering inte lyft

Lars-Göran Sundblad, Mats Hannerz, Jussi Manner, Back Tomas Ersson



Plantering och logistik vid odling, lagring, leverans och matning är fortfarande flaskhalsar för den maskinella planterings genombrott. Foto: Back Tomas Ersson.

# Innehåll

<b>Förord</b> .....	<b>4</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>5</b>
<b>Summary</b> .....	<b>7</b>
<b>Bakgrund</b> .....	<b>9</b>
Syfte .....	9
<b>Plantsystem särskilt utvecklade för maskinell plantering</b> .....	<b>9</b>
Biologiska önskemål och lösningar .....	10
Självbärande substrat .....	10
Transport och lagring.....	11
Driftsatta system.....	12
Plantsystem testade i utvecklingsprojekt .....	15
Matriskartonger.....	15
Utryckare och gripare .....	16
Kassett eller kartong? .....	16
Konceptuella framtidsspår.....	17
Komprimerbara matriskartonger .....	17
Förbättring av tidigare testade kassettsystem .....	18
Kassetter av bioplast .....	19
Parallella planthanteringsspår i plantskola.....	19
<b>Ekonomiska aspekter</b> .....	<b>19</b>
<b>Vägen framåt - framtidens planthantering</b> .....	<b>20</b>
Standardisering.....	20
Slutord .....	21
<b>Referenser</b> .....	<b>21</b>



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala  
skogforsk@skogforsk.se  
skogforsk.se

---

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 12 januari 2023 av Gert Andersson, Programchef. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering den 10 februari 2023.

Redaktör: Mats Hannerz, mats.hannerz@silvinformation.se  
©Skogforsk 2023 ISSN 1404-305X

# Förord

Arbete med att utveckla maskinell plantering har pågått i vårt land sedan 1960-talet, men trots stora utvecklingsinsatser och lovande maskinlösningar har mekaniseringen av plantering ännu inte slagit igenom. I denna arbetsrapport tar vi upp en av de flaskhalsar som bidrar till att hindra ett mer storskaligt genomslag – plantlogistiken/planthanteringen och det därtill kopplade behovet av effektiv plantförsörjning hos planteringsmaskiner. Rapporten utgör en del av en studie om maskinell plantering, finansierad av Skogforsks forskningsprogram Driftsystem. I en första delrapport (Sundblad m.fl. 2023) beskrivs själva planteringsmaskinernas historik, nuläge och potentiella framtid.

Landskrona, Kalmar, Uppsala och Skinnskatteberg, januari 2023

Lars-Göran Sundblad, Mats Hannerz, Jussi Manner och Back Tomas Ersson

# Sammanfattning

Idag pågår flera parallella utvecklingsprojekt för maskinell plantering. Oavsett vilken teknik som kommer att slå igenom är alla planteringsmaskiner beroende av en effektiv planthantering och plantlogistik. Planthanteringen är en flaskhals som kostar både tid och pengar vid omlastning och laddning av maskinernas aggregat. I denna arbetsrapport beskrivs några historiska försök att utveckla plant- och planthanteringssystem som underlättar för maskinell plantering. Några har varit driftsatta medan andra bara har provats i utvecklingsprojekt eller som teoretiska koncept.

För att kunna få ett jämnare flöde av plantor under planteringsmaskiners drift har försök gjorts med olika typer av patronband, bland annat Pot Link System och EcoBandPak, och med robotiserad omlastning från plantkassetter vid hygeskanten. Ingen av dessa lösningar har dock slagit igenom. Ett annat problem kan vara att plantmatningen ställer krav på en robust och sammanhållen planta och jordklump. En täckrotsplanta odlad i torv får ju inte falla sönder vid förflyttning från odlingskasset till planteringsdon. Om målet vid odlingen är en väl sammanhållen torvklump uppstår risken att plantor med kraftig rotbildning prioriteras för planteringsmaskinerna, något som dessvärre kan vara förknippat med rotdeformationer och instabilitet hos de planterade träden.

Från plantskolan kan plantor levereras i kartong eller i kassetter. Plantskolorna använder många olika odlingssystem, alla med olika storlek och positioner av plantor i kassetter eller lådor, vilket försvårar en rationell omlastning till planteringsmaskinen. I odlingskassetter kan plantornas positioner definieras, och plantorna kan omlastas automatiskt antingen genom att de trycks ut eller grips och lyfts upp ur kassetten. Kassetter är robusta och skyddar plantan, men plantor kan inte fryslagras på ett kostnadseffektivt sätt i sina odlingskassetter. Vid vår- och försommarplantering blir detta faktum en stor nackdel med plantlogistik baserat på odlingskassetter.

Kartonger, där plantorna antingen packas ”skavfötters” eller stående, är en annan vanlig leveransmetod. Kartonger har fördelen att plantorna kan packas med hög densitet, vilket är särskilt viktigt om transportavståndet från plantskola till hygge är långt. För att flytta över plantor till planteringsmaskinens plantladdning krävs dock antingen manuell plockning eller att plantorna har definierade positioner i kartongerna om de ska kunna plockas och laddas av en robot.

Det finns ingen entydig lösning på plantlogistiken till planteringsmaskiner, men ett antal utvecklingsspår tecknas i denna rapport.

Skogforsk och SLU har tillsammans med Södra och Peterson Packaging undersökt om kartongpackning av plantor kan anpassas för maskinell plantering. Packning i matriser där plantans position är definierad möjliggör att omlastningen till planteringsmaskiner kan ske åtminstone halvautomatiskt i stället för att plantorna laddas en och en för hand. En nackdel med matriskartongerna är att de är skrymmande vid transport. Ett kostnadseffektivt koncept borde däremot kunna vara att lägga plantorna i komprimerbara interna celler i kartongen. Kartongerna kan då packas tätare under transporten mellan plantskola och hygge, och sedan glesare när de ska laddas i planteringsmaskinen.

Behovet av en sammanhållen rotklump utan rotdeformationer skulle kunna tillfredsställas med hjälp av olika former av självbärande substrat. Många sådana har testats i plantskolorna, men med planteringsmaskiner i sikte borde förnyade insatser göras.

Den stora variationen i kasset- och lådstorlekar, och plantornas fördelning inom dem, skulle kunna lösas genom att branschen tar fram en gemensam standard. Även om olika plantkassetter används skulle storlekarna kunna ha en standard som också passar för laddning i planteringsmaskiner. En branschgemensam standard för kassettdimensioner, pluggdiameter och koordinater för plantornas mittpunkter skulle kunna stimulera utvecklingen mot plantsystem som passar både maskinell och manuell plantering.

I rapporten föreslås också att branschen gemensamt initierar ett utvecklingsprojekt, kanske på en utvald plantskola, där olika modeller för plantodling, packning och leverans provas ut som är både ekonomiskt rationellt för plantskolan och underlättar för planteringsmaskinerna.

# Summary

## Mechanized tree planting: examining the bottlenecks preventing full-scale implementation of tree planting machines in Swedish forestry

Today, several parallel development projects for mechanized tree planting are underway. Regardless of which technology will be successful, all tree planting machines are dependent on efficient seedling handling and seedling logistics. Today, seedling handling is a bottleneck that costs both time and money when reloading the machines' planting devices. This report describes some historical attempts to develop seedling handling systems that facilitate mechanized tree planting. Some have been put into operation, while others have only been tested in development projects or as theoretical concepts.

In order to achieve steadier seedling feeding during machine operation, trials have been made with different types of band-mounted seedlings, for example the Pot Link System with robotic loading from cultivation trays at roadside, and the EcoBandPak concept. However, none of these solutions has succeeded. Another problem is that seedling feeding might require robust and cohesive root plugs. The root plug of a containerized seedling grown in peat should not fall apart when fed from the tray to the planting device. If mechanized tree planting requires strongly coherent root plugs, there is a risk that seedlings with strong pot-binding are prioritized for the planting machines. Pot-binding is unfortunately associated with root deformations and instability of the planted trees.

From the nursery, seedlings can be delivered in cardboard boxes or in cultivation trays. Swedish nurseries use many different cultivation and packaging systems, all with different sizes and seedling positions in the trays or boxes. This heterogeneity makes rational reloading of planting devices difficult. In trays, the positions of the seedlings can be defined, and the seedlings can be fed automatically either by pushing them out or by grabbing and lifting them out of the tray cavities. Trays are robust and protect the seedling, but seedlings cannot be frozen-stored in a cost-efficient manner in their cultivation trays. During spring and early summer planting, this fact becomes a major disadvantage for seedling logistics based on cultivation trays.

Cardboard boxes, in which the seedlings are either packed with stems intertwined or standing up, are another common seedling packaging system. Boxes have the advantage that the seedlings can be packed densely, which is especially important if the transport distance from nursery to the reforestation site is long. However, before seedlings can be transferred to the tree planting machine's planting dibble, boxes require either manual handling or that the seedlings have defined positions in the boxes if they are to be picked and handled by a robot.

There is no single clear solution for the seedling supply systems of mechanized tree planting, but a number of potential starting points are outlined in this report.

Skogforsk and SLU have, in a collaborative project together with Södra and Peterson Packaging, investigated whether cardboard packaging of seedlings can be adapted for mechanized tree planting. Packing in paper grids where the seedlings have defined positions can mean that the seedling feeding can be done at least semi-automatically instead of the seedlings being manually loaded one by one. A disadvantage of boxes with paper grids is that their packing density is low during transport. A concept has therefore been proposed in which the seedlings are placed in compressible paper grids in the box. The boxes can thus be packed more densely during transport between nursery and

clearcut. The paper grids can then be expanded when the seedlings are to be loaded into the planting device.

The problem of cohesive root plugs without root deformations could potentially be solved with different forms of self-supporting substrates. Many of these substrates have been tested in nurseries, but with tree planting machines in sight, renewed efforts should be made.

If the forest industry developed a common standard, the wide variation in tray and box sizes, and the distribution of seedlings within them, could be resolved. Even if nurseries continue to use different cultivation trays, the trays' sizes could have a standard that is also suitable for reloading tree planting machines. An industry-wide standard for cultivation tray dimensions, cavity diameter, and coordinates for seedlings' centerpoints could stimulate the development of seedling supply systems suitable for both mechanized and manual planting.

In this report, suggestions are also made that the industry jointly initiate a development project, perhaps at a nursery, where different concepts for seedling cultivation, packing and delivery are tested that are both economical for the nursery and simplify the seedling handling during mechanized tree planting.



# Bakgrund

Det finns tre huvudsakliga typer av skogsträdsplanter; barrotsplanter, pluggplanter och täckrotsplanter (Wennström m.fl. 2016). Användningen av dessa har varierat över tid. Ursprungligen användes barrotsplanter som antingen hade odlats i anslutning till föryngringsytan eller i särskilt uppbyggda plantskolor. Barrotsplantorna var stora och tidskrävande att plantera manuellt, särskilt om även markberedningen gjordes manuellt med flåhacka. Under 1970-talet fick täckrotsplanter ett genomslag. Plantorna kunde sättas med särskilt utvecklade planteringsrör efter maskinell markberedning, en rationell metod som ännu idag är helt dominerande. Parallellt med detta utvecklades även pluggplanter, som kan beskrivas som en kombination av täckrot och barrot där pluggplantans stora och robusta karaktär kombineras med täckrotens hanterbarhet. Generellt har dock täckrotsplanteringsens högre prestation resulterat i att den idag dominerar föryngringsarbetet, även om barrot och pluggplanter fortfarande har en roll att fylla på bördiga, vegetationsutsatta marker i framför allt södra Sverige (Wennström m.fl. 2016).

För maskinell plantering är täckrotsplanter den typ av planta som huvudsakligen gäller (Ersson 2014). För konventionella täckrotsplanter har olika typer av odlingssystem utvecklats. De olika systemen har både för- och nackdelar vid användning vid maskinell plantering. Försök har även gjorts med att odla planter av täckrotsstorlek i system baserat på självbärande substrat (se kapitel nedan).

Planteringsmaskinerna kan sägas ha fastnat i ett Moment 22-läge. Deras produktivitet är beroende av planthanteringssystem anpassade för maskinell plantering och sådana utvecklas inte i plantskolorna så länge marknaden för dessa plantsystem är liten. För att bryta dödläget måste en parallell utveckling av planthantering ske hos både tillverkare av planteringsmaskiner och i plantskolorna. Under en övergångsperiod kommer detta att innebära utvecklingskostnader. En sådan utvecklingsfas är dock nödvändig om det på sikt skall kunna etableras kostnadseffektiva maskinella planteringssystem.

## Syfte

Syftet med denna rapport är att identifiera några möjliga framtida lösningar och utvecklingsspår för att lösa den flaskhals som planthanteringen innebär för den maskinella planterings framväxt. Detta görs genom att dels beskriva några historiska planthanteringslösningar som utvecklats för skogsplanteringsmaskiner, dels nya konceptuella lösningar, samt att diskutera hur sådan kunskap och erfarenhet kan förenas med de möjligheter som ny teknologi erbjuder.

# Plantsystem särskilt utvecklade för maskinell plantering

Genom åren har ett flertal olika system testats för rationell hantering av planter till planteringsmaskiner. Där ingår automatiserade plantmatningssystem på maskinen och även robotar som plockar och sorterar planter vid hyggeskanten. De första planteringsmaskinerna byggde på att planter antingen handmatades av en operatör under

drift/framryckning eller laddades manuellt till ett plantlager monterat på maskinen (Bäckström 1978). Det var arbete som både kostade tid och var ergonomiskt påfrestande (Malmberg 1990).

Med manuell matning var det mindre betydelsefullt vilken typ av kassett eller låda som plantorna levererades i. Önskemål om en mer automatiserad plantmatning ställer dock krav på att plantor och kassetter ska passa i planteringsmaskinens lagrings-, matnings- och planteringsmetodik (Hallonborg m.fl. 1995). Faktorer som till exempel rotklumpens robusthet och hur lätt plantorna kan matas ut ur sina behållare blir då viktigare än vid manuell hantering (Hallonborg 1997).

## Biologiska önskemål och lösningar

Det kan finnas konflikter mellan planteringsmaskinens tekniska behov och de biologiska önskemålen om en bra planta (Malmberg 1990). Ett exempel är kravet på en sammanhållen rotklump på täckrotsplantor. En planta där rotsystemet är hårt sammanväxt i torvklumpen håller ihop under plantmatningen, men samtidigt riskerar denna planta att få deformationer på både rötter och stam. Planteringsmaskiner där plantorna transporteras med tryckluft eller på annat hårdhänt sätt ställer stora krav på att rotklumpen inte faller isär (Nyström 1992). För Silva Nova finns hörsägen om att den fungerade bäst med kraftigt förvuxna rotsystem. Täckrotsplantor som är hårt armerade av rötter innebär dock en stor risk för rotsnurr och instabilitet hos de planterade träden (t.ex. Lindström 1998).

## Självbärande substrat

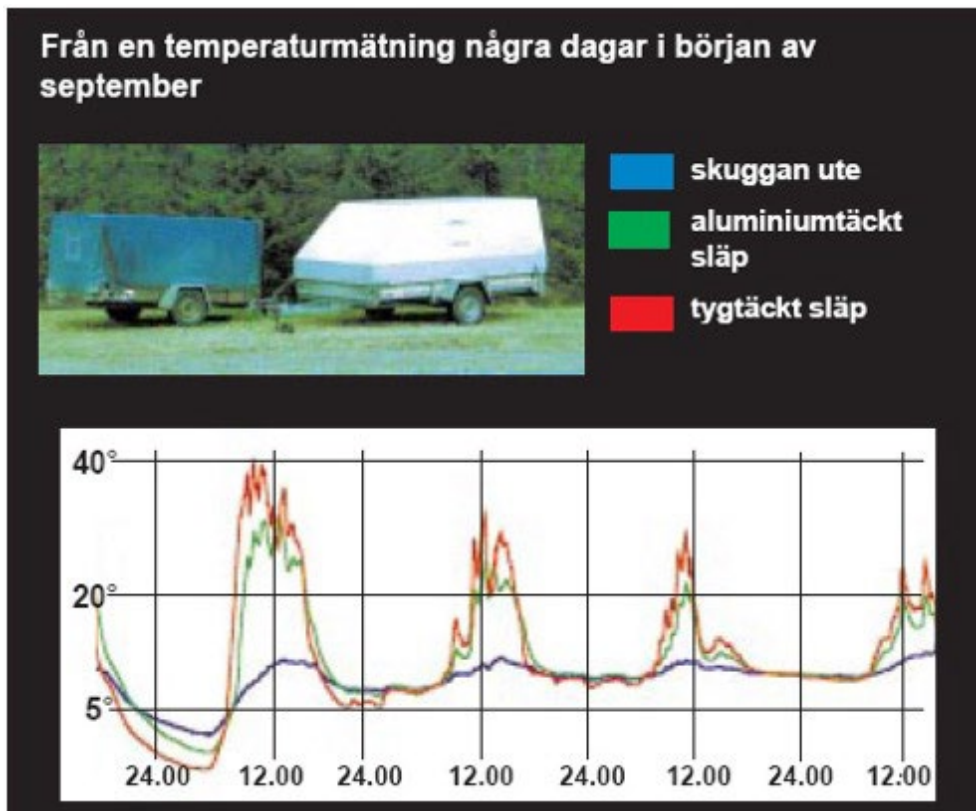
Torv är ett utmärkt substrat för att odla plantor i men odlingstorven är inte självvarmerande och därför känslig för de krafter som rotklumpen utsätts för vid hantering, speciellt i planteringsmaskiner. En metod för att få en sammanhållen rotklump utan påföljande rotsnurr är olika typer av självbärande substrat (Eriksson 1996). Det finns en mängd substrat framtagna för trädgårdsmarknaden, varav en del har använts också för skogsplantor. **Visser** är ett holländskt företag med en produkt där torv och plastfibrer blandas och värms upp till en sammanhållen odlingsplugg. **Stenull** är ett inert material som är självbärande i sig själv, och alltså inte kräver några odlingsbehållare. Stenull har provats i omgångar för odling av skogsplantor under 1980-talet (Malmberg 1990), men idag används materialet inte i svenska skogsplantaskolor eftersom stenull har dålig vattenhållningsförmåga. **Jiffy** har en produkt som består av torkad och sammanpressad torv som omges av en fiberstrumpa. Jiffy-bricketter har använts i skogsplantaskolor sedan mitten av 1980-talet (Malmberg 1990). **Preforma** är en produkt där torvfibrerna har blandats med en polymer (Johansson 2008). **Blandningar av torv** med stenull, polymeren Hypol och olika typer av binde- och förtjockningsmedel har testats på skogsplantor. Dessutom har inblandning av olika fibrer, t.ex. kokosfibrer och rayon provats (Eriksson 1996). **Finnpot** är en behållare där ytterväggen omges av sammanpressad torv, ett annat alternativ för en sammanhållen rotklump utan att blanda in andra material (Johansson 2008). **DecoFlex** var en nedbrytbar odlingsbehållare som testades för att odla granplantor i (Domeij & Olofsson 2000). I Brasilien har man tillsammans med Bracke Planter framgångsrikt testat att plantera plantor odlade i nedbrytbara strumpor (IPEF 2019).

Självbärande substrat har en stor marknad i trädgårdsbranschen men det har inte fått något genomslag i den svenska skogsplantodlingen. Här finns trots allt en utvecklingspotential för att hitta odlingsystem som skulle ge den armerade planta utan rotsnurr som passar bra för planteringsmaskiner. Självbärande odlingssubstrat associeras

vanligen med odling utan kassett men kan även användas i olika typer av pottor/behållare enbart med syftet att öka plantans och odlingsklumpens mekaniska robusthet.

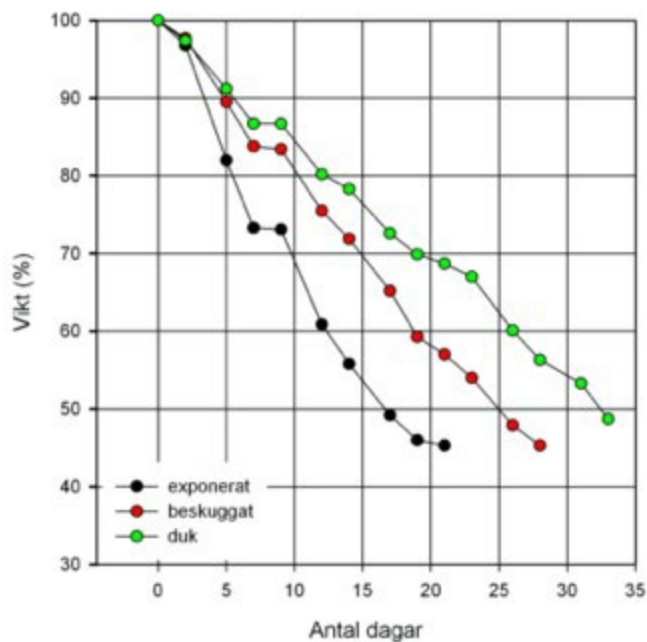
### Transport och lagring

Oavsett om plantorna är avpassade för manuell eller maskinell plantering är transport och lagring känsliga moment (Nyström 1994, Luoranan m.fl. 2023). Uttorkning i öppna ställ och överhettning i täta utrymmen är några problem under transporter, och transporttiden bör därför vara så kort som möjligt. Uppföljningar av plantpartier i täckta transporter visar att temperaturen kan stiga väldigt mycket, med stor påverkan på plantornas vitalitet (Figur 1; Sundblad 1998, Johansson m.fl. 2011).



Figur 1. Exempel på temperaturmätningar när plantorna står i skugga respektive täckta släp under bar himmel. Temperaturen kan komma upp i dödliga nivåer under dagtid om plantorna inte förvaras skuggigt. Från Sundblad (1998).

Lagringen på planteringslokalen är en annan viktig faktor. En grundregel är att först anlända plantor också ska planteras först. Lagringstider på hygget bör för täckrotsplantor inte överstiga 2–3 veckor, och om de är i växt högst 1 vecka (Johansson m.fl. 2011). Lagringstiden påverkas förstås av väder och säsong. Förutom överhettning, som i exemplet med transporter, är plantorna mycket känsliga för uttorkning (Figur 2). En kritisk nivå uppnås om plantan inklusive rotklump underskrider 60 % vikt i förhållande till fullt uppvattnat plantmaterial (Lindström m.fl. 2004). Under frostsäsongen finns också en risk för frysskador på plantorna och rötterna, särskilt om de lagras öppet.



Figur 2. Uttorkning av plantor som stått solexponerat, beskuggat och under duk. Från Lindström m.fl. 2004.

Genom åren har olika system för plantlagring testats i samband med maskinell plantering. Helautomatisk plantmatning för Silva Nova utgick från helt öppna ställ där plantkassetterna av modell Planta 80 plockades ut och plantorna trycktes ut en rad i taget för att gripas av en arm. Sådana öppna plantställ innebär stor risk för uttorkning, vilket gör att planteringen bör ske så snabbt som möjligt efter leverans. En studie av detta system visade att lagringstiden inte fick överskrida en vecka i öppna ställ, men även en vecka kan medföra viss uttorkning under nederbördsfria perioder (Nyström 1994). Rekommendationen var därför att plantorna bör planteras inom 3–4 dagar efter leverans, även om de täcks av en skyddande fiberduk (Nyström 1994).

## Driftsatta system

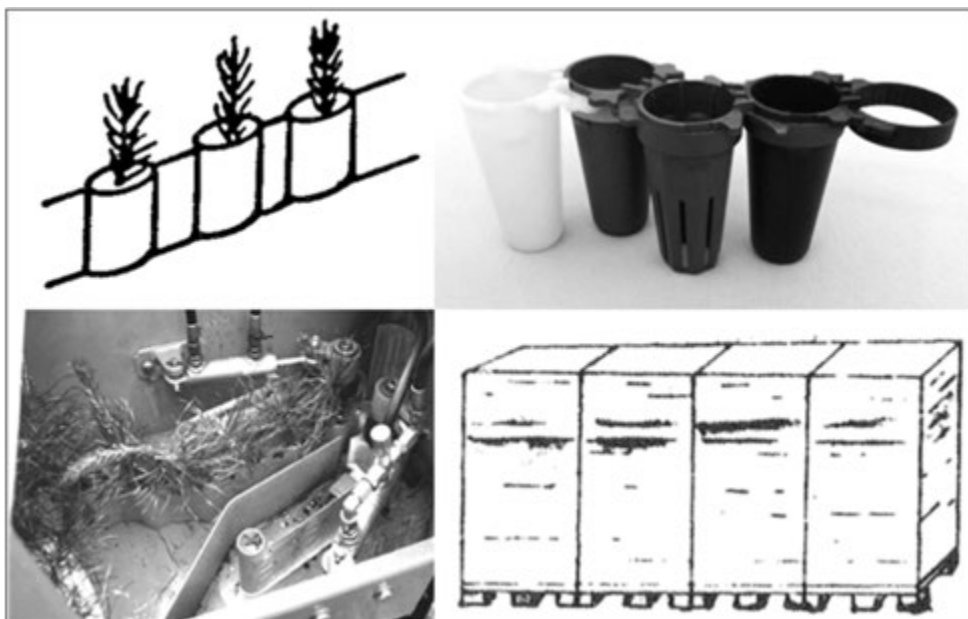
I slutet av 1970-talet utvecklades ett automatiserat plantmatningssystem på den finska planteringsmaskinen Serlachius som, enligt hörsägen, bland annat använde Jiffy-plantor odlade i självbärande substrat.

Silva Nova genomgick flera olika testfaser för hur planthantering och plantmatning skulle ske. Metoden **Flexlink**, en mekanisk matning, provades år 1987 på Silva Nova, men den visade sig vara mindre tillförlitlig och byttes ut två år senare mot en automatiserad sugmatning ur Hiko-odlingskassetter (Hallonborg m.fl. 1995).

**Plock-13** var en automat utvecklad av Stora och ELMEK (Hallonborg m.fl. 1995). Automaten var anpassad för Planta 80, det plantsystem som användes i Storas plantskolor.

Under 1980-talet lanserade ELMEK också en ny sorts plantkruka kallad **PLS (Pot Link System)**. Plantorna satt ihop i ett patronband som kunde vikas ihop till en kassett av valfri storlek och form (Figur 3, överst höger). Kassetterna kunde fyllas med plantor från valfritt system eller också kunde man odla direkt i krukorna (Hallonborg m.fl. 1995). PLS utvecklades särskilt för Silva Nova av bl.a. SCA (Ersson 2010). Eftersom behållarna kunde sammanfogas i rader och matriser på olika sätt, och även hanteras som separata

enheter, vara bedömningen att det fanns en potential för effektivare plantmatning på Silva Nova. Initialt fanns tanken att använda behållarna för plantodling direkt i plantskolan, men denna utvecklingsväg kom aldrig att testas. I stället utvecklades en teknik där plantor transplanterades från odlingsbehållare till PLS-behållare i stora containrar vid plantavlägget på hygget (Figur 4). Metoden visade sig ha problem med det ”snäpplås” som fogade samman behållarna vid varandra, vilket ledde till driftstopp och medföljande låg prestation (Ersson 2010).



Figur 3. Principen för bandade plantor (EcoBandPak) överst till vänster, och plantor i EcoBandPak som matas in i en EcoPlanter (nederst till vänster). Pot Link System-krukor (överst till höger) som kunde packas i containers för att ladda Silva Nova med plantor (nederst till höger, exempel på containers). Illustration från Ersson (2014).



Figur 4. Överföring av plantor från odlingskrukor till PLS-krukpatronband vid avlägg via en släpvagnsburen plockrobot för plantering med SCA:s Silva Nova år 1998. Överst: ettåriga tallplantor i odlingskassetter matades längs ett rullband in i plockroboten. Nederst: PLS-krukorna lastades automatiskt in i en container som rymde ca 100 bälten á 70 plantor per bälte (Ersson 2010). Containern lyftes sedan upp på Silva Novan med hjälp av basmaskinens (skotarens) kran. Ursprungliga foton: Mats-Åke Lantz, SCA.

**EcoBandPak** utvecklades också under 1998 för Holmens EcoPlanter (Normark & Norr 2002). Principen gick ut på att flytta plantor från odlingsbehållare till ett patronbandsliknande system av sammanlimmade plantbehållare av papper (Figur 3, vänster). Väl på planteringsmaskinen kunde plantorna gradvis matas fram till aggregatets planteringsdon (Ersson 2010). Systemet hade dock problem med patronbandets hållfasthet pga. för svaga limfogar när rotpluggarna var välvatnade.

**MagMat**-projektet drevs under 2010-talet av Luleå tekniska universitet, SLU, Bracke och Skogforsk med syfte att effektivisera hanteringen av Hiko v93 för planteringsmaskinen Bracke P11. I normala fall laddas karusellen på Bracke P11 med styckvisa plantor. I MagMat-projektet laddades aggregatet med hela kassetter (Figur 5).

En tidsstudie av den ursprungliga åtta-kassetversionen av MagMat visade att tidsåtgången blev avsevärt lägre (57 %) jämfört med styckvis hantering av plantor (Ersson m.fl. 2014). En detaljerad beskrivning av en mycket driftsäkrare två-kassetversion (benämnd AMP) med tekniska specifikationer och bilder finns i Almqvist & Brandt (2014) och Augustsson & Dahl-Jendelin (2015).



Figur 5. Plantkarusellen till Bracke P11. Till vänster MagMat-karusellen där hela Hiko-kassetter laddas och till höger den ordinarie karusellen där plantorna laddas styckvis. Från Ersson (2014).

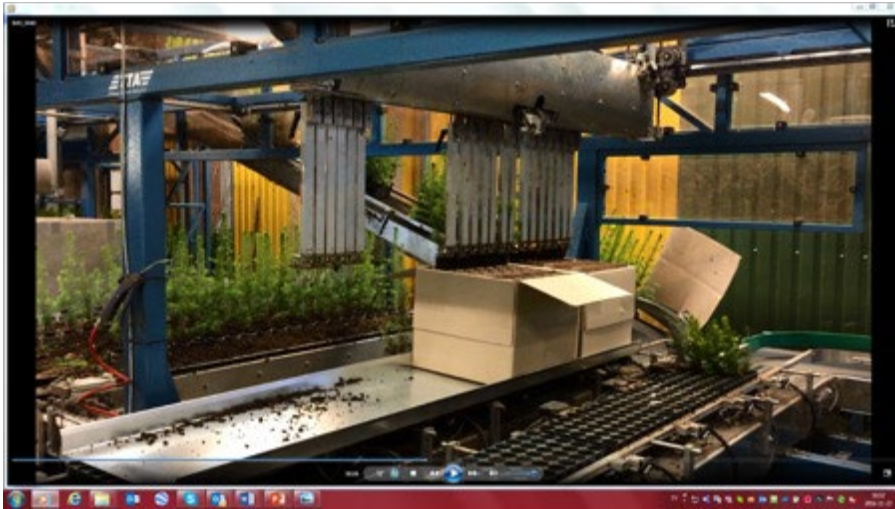
Parallellt med MagMat-projektet gjordes praktiska modellförsök på Södra Odlarna AB plantskola i Falkenberg i samarbete med Bracke Forest. Syftet var att genomföra en synkroniserad utveckling av planthanteringen i plantskola och på planteringsmaskin där plantpackning, plantlogistik och planteringsteknik betraktades som en funktionell helhet.

Även i Finland provades ombyggda planteringsaggregatskaruseller för att minska tidsåtgången för plantladdning genom **Automatic Plant Container** (APC)-projektet hos Risutec (Laine & Saarinen 2014). APC-lösningen var dock inte alls driftssäker.

## Plantsystem testade i utvecklingsprojekt

### Matriskartonger

I ett samarbetsprojekt mellan Skogforsk, Bracke, Södra och Peterson Packaging testades på Södras plantskola i Falkenberg (Figur 6) att packa plantor i kartonger med en intern cellstruktur där varje planta hade en definierad position (Figur 7D). Parallellt med detta modifierades plantlagret på planteringsmaskinen Bracke P11. Delar av den modifierade P11 blev så småningom Bracke P12 där plantlagret matchade kartongmatrisen (Figur 7F) och därmed kunde fyllas halvautomatiskt genom kartongladdning i stället för manuellt planta för planta. Försökets syfte var ett koncept-test och kräver vidareutveckling med avseende på bland annat logistikekonomi och plantlagring (Sundblad 2017, Ersson m.fl. 2022).



Figur 6. Automatisk packning av planter i lådor med intern cellstruktur. Foto: Skogforsk.

### Uttryckare och gripare

För snabb plantladdning kan plantorna med fördel lastas i planteringsmaskinen i grupp (Malmberg 1990, Hallonborg 1997). Om plantorna hålls ihop i grupp fram till matningen in i planteringsdonet så måste plantorna skiljas från varandra på något sätt. Detta kan ske via lyftning, tryckning, sidledes förflyttning eller isär-sågning/skärning (Ersson m.fl. 2014).

Om planter levereras till planteringsmaskinen i den ursprungliga odlingskassetten finns det två alternativ till tekniker för att flytta plantorna från kassetten till maskinens planteringsaggregat (Nyström 1994). Antingen lyfts plantorna ur kassetten, oftast med hjälp av en planthanteringsrobot där ”robotfingrar”, s.k. ”gripare” (engelska: grippers), med hög precision tar tag i planter i kassetten och lyfter dem till planteringsaggregatet. Den andra tekniken baseras i stället på att trycka ut plantorna underifrån med hjälp av s.k. ”uttryckare” (engelska: depluggers). Dessa två tekniker har sina för- och nackdelar.

**Gripar**-tekniken är flexibel eftersom den kan lyfta planter till olika definierade positioner, t.ex. till kranspetsmonterade planteringsaggregat. Samtidigt är tekniken känslig för vibrationer, skakningar, substratrester, planter vars rötter krånglat sig fast i kassetterna och andra fysiska problem. **Uttryckar**-tekniken är å sin sida mer fysiskt robust men saknar gripar-teknikens flexibilitet, samt kräver kassetter med stora bottenhål och relativt stryktåliga krukväggar.

### Kassett eller kartong?

Olika plantskolor har olika system för leverans av planter till hygget (Ersson 2015). Plantorna kan i plantskolan packas i lådor, antingen ståendes eller liggandes hoppackade (skavfötters), där det senare alternativet medför större plantmängd per volymenhet. Ett annat system är att plantorna levereras kvarvarande i sina kassetter som antingen kan följa med ända ut till planteringen eller packas om vid hyggeskanten. Båda alternativen har för- och nackdelar sett ur ett maskinplanteringsperspektiv.



Tabell 1. För- och nackdelar med kasset- och kartongleverans av plantor.

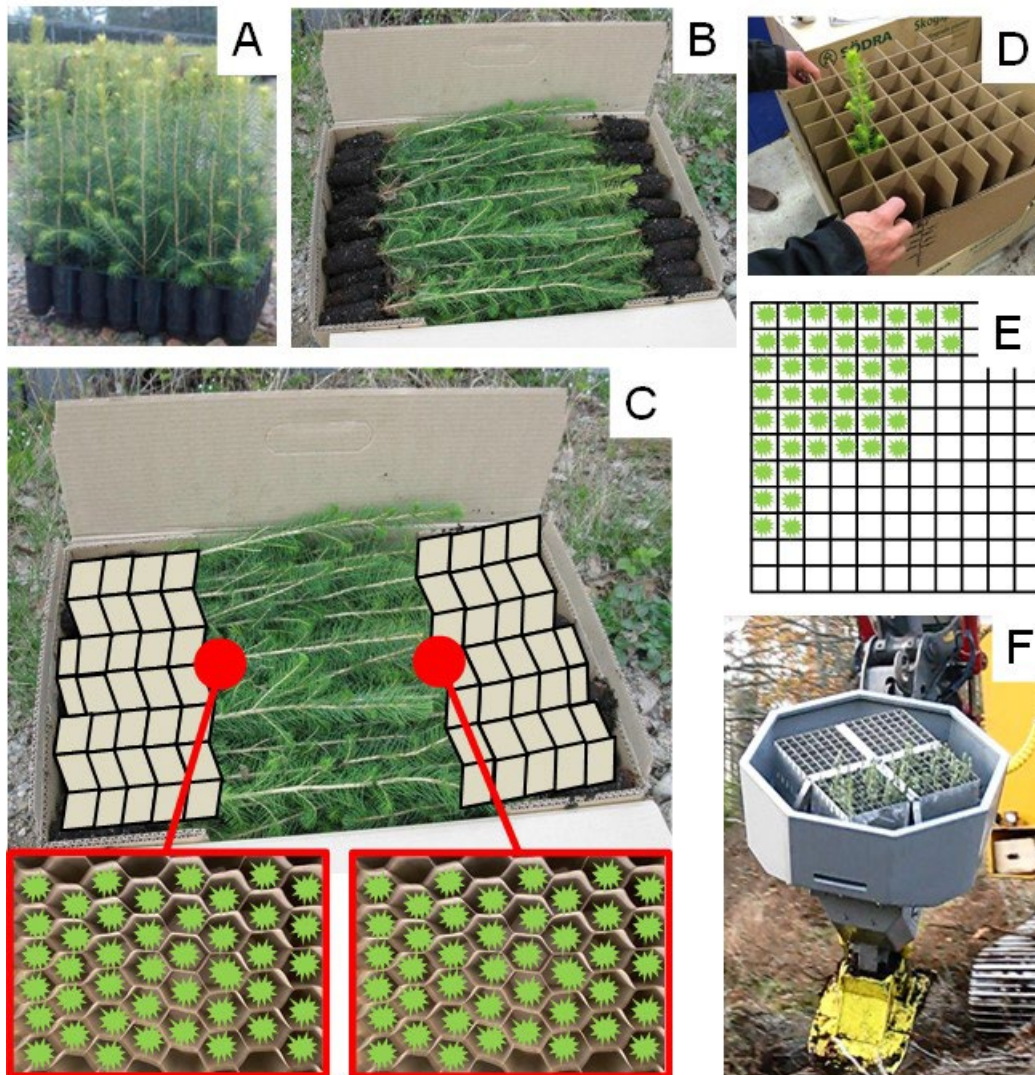
Fördelar	Nackdelar
<b>Kassett</b>	
Plantorna kan levereras till maskin i definierade positioner utan att behöva transplanteras.	Odlingskassetterna måste efter tömning av plantor återtransporteras från maskinen till väg, vidare till plantskola för sortering, tvättning och vidarehantering.
Kassetter är robusta ur ett planthanteringsperspektiv.  Plantskolorna behöver inte investera i packmaskiner och engångsemballage.	Plantor måste tryckas eller lyftas ur odlingsbehållare på maskinen där miljön ofta är tuff med skakningar, vibrationer, fukt, smuts och varierande temperatur.  I dagsläget finns inget fungerande sätt att fryslagra plantor i odlingsbehållaren.
<b>Kartong</b>	
Hög densitet av plantor kan uppnås i kartong t.ex. genom "skavfötters" packning vilket ger rejäla logistiska och ekonomiska fördelar.	Väl levererade till maskin/ vid hygge måste plantorna hanteras för att ges definierade positioner. Detta kräver manuellt arbete eller avancerad teknik.
Väl packade i kartong kan plantor lagras i kyl- eller frys-lager vilket skapar flexibilitet över tid och biologiska fördelar vid vår- och försommarplantering..	Kartonger är generellt dyrare förpackningar
Ingen eller mycket enkel returhanteringslogistik för kartongerna	Kartong leder till krångligare och mer skrymmande hantering av tomförpackningarna på planteringsmaskinen.

## Konceptuella framtidsspår

### Komprimerbara matriskartonger

De nackdelar med plantpackning i matriskartonger som testats enligt ovan skulle sannolikt kunna minskas om de interna cellerna i kartongen kunde göras komprimerbara vid transport mellan plantskola och planteringsmaskin (Figur 7C). Packningsdensiteten skulle då kunna växlas mellan låg densitet på plantskola, hög densitet vid transport och åter låg densitet på planteringsmaskin. Fördelen med sådan teknik skulle vara att plantleverans i definierade positioner skulle kunna kombineras med effektiv transport.

I en teoretisk studie av olika planthanteringssystem (existerande och konceptuella) gjordes en analys av framför allt ekonomiska aspekter av olika logistiska lösningar för hantering av plantor mellan plantskolor och maskinella planteringsystem (Ersson m.fl. 2022). En slutsats från studien visade att plantpackningsdensitet är en mycket viktig faktor för kostnadseffektivitet i logistik-kedjan.



Figur 7. De fem plantleveranssystem som jämfördes i Ersson m.fl. (2022). System 1: leverans i Hiko v93-odlingskassetter (A). Hiko v93-odlingskassetter var också en startpunkt till alla jämförda system. System 2: leverans i dagens standardkartong hos Södra Skogsplantor med 165 plantor liggande med gröndelen omlott (B). System 3: ManBox fast är ett konceptuellt system där plantorna levereras i hopfällbara matriser inne i dagens standardkartong (C, 148 plantor/låda liggandes "skavfötters"). System 4 och 5: I MechBox-systemen sårhålls plantorna med hjälp av pappmatris och packas upprätt i fyrkantiga kartonger. I MechBox\_121 packas plantorna tätare (E, 121 plantor/låda) än i MechBox\_49 (D, 49 plantor/låda). System 3–5 kräver en extrainvestering i ny plantkarusell (F). Denna extrainvestering möjliggör att plantorna snabbt kan rätas ut och laddas på Bracke P11 -planteringsaggregat.

### Förbättring av tidigare testade kassettsystem

Med dagens 3D-scannings och 3D-printingtekniker finns möjligheter att snabbt och enkelt testa och förbättra designlösningar som uppvisat problem vid tidigare utformning. Ett exempel skulle kunna vara förbättring av snäpplåsen hos det PLS-system som användes på Silva Nova. Genom att först skanna, sedan modifiera och slutligen skriva ut en förstärkt design hos snäpplåsen på kasset-typen skulle små provserier kunna tas fram, utan att behöva gå den långa och dyra vägen via tillverkning av modifierade pressverktyg och annan kringutrustning som med gårdagens teknik skulle krävas för tillverkning av provserier. Principen kan sannolikt även tillämpas på andra modifieringsbehov hos tidigare testade system som uppvisat goda egenskaper i några avseenden.

## Kassetter av bioplast

En stor nackdel med leverans av plantor i kassett (odlingskassett eller specialkassett) är att systemen kräver en omfattande logistik för retur av tömda kassetter. Returnerade kassetter måste därutöver sorteras så att kassetter som skadats under resan tur- och returplanteringsmaskinen kasseras och endast funktionsdugliga kassetter återanvänds. Ett potentiellt sätt att undvika detta är att tillverka kassetterna som ska användas för maskinell plantering av bioplast (t.ex. stärkelseplast, se exv. Domeij & Olofsson 2000). Med odlings- eller leveranskassetter gjorda i bioplast kan dessa utformas som engångskassetter som krossas och kastas när kassetten är tömd på plantor. Under gynnsamma förhållanden kan krossad bioplast brytas ner snabbt i UV-ljus efter att ha blivit strödd på hyggesytan.

## Parallella planthanteringsspår i plantskola

Grundproblemet med plantleverans i kartong är att metoden ursprungligen varit huvudsakligen anpassad för manuell plantering.

En möjlig strategi för de plantskolor som baserar sina plantleveranser på kartong skulle kunna vara att utveckla delvis parallella enkla hanteringslinjer. Planthantering anpassad för maskinell plantering skulle då kunna existera parallellt med konventionell hantering.

Lösningen är att utveckla planthanteringen i plantskolorna så att den enkelt kan göras omställbar mellan system för manuell respektive maskinell plantering. Genomförda praktiska försök indikerar att detta enklast görs i slutet av packlinjen (Sundblad 2017). Där kan redan befintlig robotteknik utnyttjas för att anpassa plantförpackningen till antingen manuell respektive maskinell plantering (Sundblad 2017).

# Ekonomiska aspekter

Skogsbruk bedrivs i ett långt tidsperspektiv – tiden mellan förnygring och slutavverkning inom ramen för traktthyggesbruk är i genomsnitt ca 80 år. Cirka 85 % av den sammanlagda ekonomiska nyttan av verksamheten faller ut vid slutavverkningen. Tidigt i omloppstiden, i samband med förnygring, är de ekonomiska drivkrafterna små och inriktade på sänkta kostnader. Sent i omloppstiden, nära slutavverkning, är drivkrafterna för investering stora. Det finns därför en risk för att investeringsviljan i förnygringsarbete är lägre än i det arbete som genererar virkesintäkter längre fram. Frånvaron av plantlogistik anpassad för maskinell plantering är ett exempel på detta.

Studien av olika planthanteringssystem visar att hög plantpackningsdensitet är viktigt för att dessa system ska fungera ekonomiskt/logistiskt. Samtidigt gynnas plantmatningens tillförlitlighet av att plantor är ihopkopplade eller ihopklumpade på något vis. Men den ekonomiska risken med att producera och lagra sådana plantor eller speciallösningar kan vara avsevärda. Hänsyn till dessa fakta bör tas i det framtida utvecklingsarbetet. Även om maskinanpassade plantförpackningar i sig inte är den enda lösningen, kan de ändå vara en del av helhetslösning. Historiskt har ökade lönekostnader varit en viktig drivkraft för automatisering. Ökade lönekostnader ökar i sin tur den relativa konkurrenskraften hos förpacknings- och leveranssystem som är skräddarsydda för maskinell plantering. Framför allt sätter det fart på utveckling av nästa generations planteringsmaskiner.

# Miljömässiga aspekter

Utformningen av föryngringsytor och den efterföljande ungsbogen får stor påverkan på den framtida miljön i det aktuella beståndet, men också på landskapsbilden och miljön i ett större sammanhang. Större krav från samhället på hänsyn och skoglig variation ställer också högre krav på föryngringen. Detta påverkar förstås också förutsättningarna för den maskinella planteringen. Med ståndortsanpassning kan olika trädslag behöva planteras på olika platser på en föryngringsyta vilket kan ställa krav på flexibla planthantering vid hyggeskant och på maskinen. Den stora markpåverkan från kontinuerliga harvspår kommer sannolikt att behöva ersättas av mer riktade och precisa markberedningspunkter. Här har koncept som Autoplant (Skogforsk 2022) och andra kransspetsmonterade, sensorförsedda aggregat en stor fördel ur miljösynpunkt. Riktad, punktvis markberedning och plantering är sannolikt den lämpligaste vägen framåt för föryngringsarbetet givet det ständigt ökande trycket mot förbättrad miljöhänsyn. För att skapa 2000 perfekta planteringspunkter per hektar krävs markberedning av ca 2 % av hyggesarealen. Sett i relation till detta är det för framtiden orimligt att som med harvning påverka 50 % eller mer av hyggesarealen (Mattsson 2002).

## Vägen framåt - framtidens planthantering

### Standardisering

Det är en utmaning att sätta om vilka tekniska lösningar som blir avgörande för den maskinella planteringsgenombrott. Ett hinder för utveckling av logistik för maskinell plantering är dock frånvaron av standardisering. Olika aktörer har vitt skilda system för utformning av odlingsystem, plantlagring och planttransport vilket försvårar branschgemensamma satsningar. Standarddimensioner för odlingskassetter skulle kunna vara ett första steg som skulle underlätta logistiken. En liknande möjlighet skulle kunna vara standardiserade plantpositioner på planteringsmaskiners plantlager.

Andra lösningar skulle kunna vara en standardisering av övriga komponenter i kedjan mellan plantskola och maskinella planteringssystem. Idag har olika aktörer olika systemlösningar på hur plantor hanteras mellan plantskolor och planteringsobjekt, oberoende av om planteringen utförs manuellt eller maskinellt.

Standardisering behöver inte innebära en likriktning av framtida plantodling och planthantering, däremot en branschgemensam bas för utveckling. På samma sätt som att branschstandarden för elanslutning inom EU baseras på "220V/50Hz" och "Europaplugg" för kontaktstiften. Denna standard har inte hämmat utan snarare stimulerat framväxten av elektronikbaserade lösningar. Något liknande skulle kunna hända inom skogsbranschen med standardiserade systemlösningar för kassettdimensioner, inklusive standardiserade koordinater för plantornas mittpunkter samt pluggdiameter.

Grundläggande för förutsättningarna med olika typer av standardisering torde vara en ökad grad av branschsamarbete. En visionär idé är en branschgemensam plantskola med specifikt syfte att producera plantor för maskinell plantering. Ett delsyfte med denna satsning vore att bryta moment 22-situationen som maskinell plantering och planthantering befinner sig i.

## Slutord

I denna arbetsrapport har vi nu beskrivit hur frånvaron av robusta och effektiva system för planthanteringen mellan plantskolor och maskinella planteringsystem utgör en flaskhals för planteringsmaskinernas utveckling. Vi har samtidigt exemplifierat hur gamla kunskaper och erfarenheter i kombination med ny teknik skapar nya möjligheter att utveckla maskinell skogsplantering till ett robust och kostnadseffektivt förnyingsalternativ. Det är dags för skogsbranschen att initiera utvecklingsprojekt som undersöker olika modeller för plantodling, packning och leverans av skogsplantor till någon eller några utvalda planteringsmaskiner.

## Referenser

- Almqvist, J. & Brandt, A. 2014. Utveckling av automatiserat magasin för planteringsaggregat. Nyutveckling med erfarenhet från MagMat. Examensarbete inom maskiningenjörsprogrammet, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Augustsson, M., & Dahl-Jendelin, A. 2015. Detaljkonstruktion av automatiserat magasin för planteringsaggregat. Institutionen för Material- och tillverkningsteknik. Chalmers. Examensarbete No. 128/2015.
- Bäckström, P-O. 1978. Maskinell plantering – förutsättningar, teknik, prestationer och kostnader. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Meddelande nr 13. 74 s.
- Domeij, E. & Olofsson, K. 2000. Odlingbehållare i nedbrytbara material vid odling och plantering av granplantor. SLU, Institutionen för skogsteknologi. Studentuppsatser nr 32.
- Eriksson, B. 1996. Självbärande substrat för skogsplantodling. Arbetsrapport nr 341. Skogforsk. 8 s.
- Ersson, B.T. 2010. Possible concepts for mechanized tree planting in southern Sweden - an introductory essay on forest technology. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU. Umeå. Arbetsrapport 269.
- Ersson, B.T. 2014. Concepts for mechanized tree planting in southern Sweden. SLU. Avhandling – Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. 2014:76.
- Ersson, T. 2015. Review of transplanting and seedling packaging systems in Swedish tree nurseries. FPInnovations, Pointe-Claire, Canada. Technical Report, September 2015. 21 p
- Ersson, B.T., Bergsten, U. & Lindroos, O. 2014. Reloading mechanized tree planting devices faster using a seedling tray carousel. *Silva Fennica* 48(2), article id 1064. 14 p.
- Ersson, B.T., Sundblad, L-G. & Manner, J. 2022. Cost analysis of seedling supply systems adapted for mechanized tree planting: a case study from southern Sweden. *Silva Fennica* 56(2), article id 10663.
- Hallonborg, U. 1997. Aspects of Mechanized Tree Planting. SLU. Avhandling – Acta Universitatis Agriculturae Sueciae *Silvestria*: 29.
- Hallonborg, U., von Hofsten, H., Mattsson, S., Haberg, J., Thorsén, Å., Nyström, C. & Arvidsson, A. 1995. Maskinell plantering med *Silva Nova* – nuvarande status samt

- utvecklingsmöjligheter i jämförelse med manuell plantering. Redogörelse nr 6, 1995. Skogforsk. 95 s.
- IPEF. 2019. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais [Brasilianska institutet för skogsforskning]. IPEF Express nr 109. <https://www.ipef.br/ipefexpress/nr109.htm>
- Johansson, K. 2008. Odlingssubstrat. Plantskolan lektion 5. Plantaktuellt nr 1, 2008, sid 16–17.
- Johansson, K., Lindström, A. & Mattsson, M. 2011. Från plantskola till hygge. Plantskolan lektion 15. Plantaktuellt nr 1, 2011, sid 6–8.
- Laine, T. & Saarinen, V.-M. 2014. Comparative study of the Risutec Automatic Plant Container (APC) and Bracke planting devices. *Silva Fennica* vol. 48 no. 3 article id 1161.
- Lindström, A. 1998. Rotdeformationer och deras konsekvenser för täckrotsplantors etablering och framtida kvalitetsutveckling. I: Rotutveckling och stabilitet, Redogörelse nr 7, 1998, Skogforsk. Sid. 53–62.
- Lindström, A., Hellqvist, C., Håkansson, L. & Stattin, E. 2004. Resultat från fältförsök med miniplantor 2003 samt återinventering av äldre försök. Högskolan Dalarna Inst. f matematik, naturvetenskap och teknik. Stencil nr 36, 21 s.
- Luoranen, J., Riikonen, J., & Saksa, T. 2023. Damage caused by an exceptionally warm and dry early summer on newly planted Norway spruce container seedlings in Nordic boreal forests. *Forest Ecology and Management* 528, 120649.
- Malmberg, C.-E. 1990. Mekanisering av skogsodling. Styrelsen för Teknisk Utveckling, Stockholm. STU-info 783–1990.
- Mattsson, S. 2002. Effects of site preparation on stem growth and clear wood properties in boreal *Pinus sylvestris* and *Pinus contorta*. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae Silvustria* 240.
- Normark, E. & Norr, M. 2002. EcoPlanter – sammanställning av ett utvecklingsprojekt. Skogsvårdsavdelningen. Holmen Skog. Örnsköldsvik. Rapport.
- Nyström, C. 1992. Biologiska konsekvenser av substratförlust hos täckrotsplanter vid maskinell plantering. SLU, Institutionen för skogsproduktion. Garpenberg. Arbetsrapport.
- Nyström, C. 1994. Lagring inför maskinell plantering. *Plantnytt* 1994:2. Avdelningen för skogsförnyelse, Skogshögskolan, Garpenberg. 6 s.
- Skogforsk, 2022. AutoPlant. <https://www.skogforsk.se/nyheter/2022/autonom-skogsforyngringsmaskin-testad/>
- Sundblad, L-G. 1998. Temperaturövervakning av planttransporter. Resultat nr 20, Skogforsk.
- Sundblad, L-G. 2017. Gränssnittet plantskola – planteringsmaskin. I: Björheden, R. & Thor, M. (red.). Skonsam och produktiv skogsteknik. Rapport från ett treårigt program 2014–2016. Sid 60–61.
- Sundblad, L-G., Hannerz, M., Manner, J. & Ersson, B.T. 2023. Tidigare, nuvarande och framtida planteringsmaskiner. Skogforsk, Arbetsrapport 1149-2023.

Wennström, U., Hjelm, K., Linström, A. & Stattin, E. 2016. Produktion av frö och plantor. Skogsskötselserien nr 2. Skogsstyrelsen.