

Autoplant

– autonom skogsföryngring för en hållbar bioekonomi

Linnea Hansson, Morgan Rossander, Håkan Lideskog, Ruben van Westendorp,
Magnus Karlberg, Gustav Sten, Anna Wallner, Björn Edlund



Fälttest utanför Bräcke i september 2022. Dellösningarna är integrerade på LTU:s forskningsplattform AORO.

Innehåll

Förord	4
Summary	5
1. Sammanfattning	7
2. Tester och utvärderingar av (del)lösningar	9
AP1 – Systemanalys (Anna Wallner, Södra).....	9
AP2 – Markberedning och plantering (Hans Eriksson, Bracke Forest).....	9
AP3 – Sensorsystem och perception (Magnus Karlberg, LTU).....	10
AP4 – Styrsystem och uppdragsstyrning (Linnea Hansson, Skogforsk).....	11
AP4.1 Autonom körning (Global och lokal planering)	11
AP4.2 Markberednings- och planteringsplanering	11
AP4.3 Planteringskvalitet (uppföljning)	11
AP4.4 Maskinstyrning	12
AP4.5 Fjärrövervakning/styrning och AP4.6 Säkerhet.....	12
AP5 – Maskinplattform och integration (Bracke, Skogforsk och LTU).....	12
AP6 – Fälttester (Aline Kärrbäck/Björn Edlund, Skogstekniska klustret)	13
3. Studentprojekt kopplade till Autoplant	13
4. Identifierade möjligheter och hinder kopplat till nyttiggörande	13
Möjligheter	13
Hinder	14
5. Gedigen kännedom om användare, kravställare, kunder och marknader	15
Efterfrågan från användare, kravställare och kunder.....	15
Marknad och likande initiativ nationellt och internationellt	15
6. Utvecklad nyttiggörande- och kommunikationsplan	16
7. Utveckling och förändringar av konstellation	17
8. Projektets effektlogik	18
Resultatmål steg 2	18
Teknik för skonsam mekaniserad precisionsmarkberedning och plantering	18
System för autonom planthantering	19
System för global och lokal ruttplanering.....	19
Autonom detektion av lämplig planteringspunkt.....	19
Teknisk lösning för fjärrövervakning	19
Autonom plantering demonstrerad i avsedd operationell miljö	19
Förändringar av effektlogiken under steg 2 och framåt	19

9. Bidrag till de globala målen i Agenda 2030	20
1. Klimatutmaningen.	20
2. Miljöutmaningen.	20
3. Arbetsmiljöutmaningen.	20
4. Arbetskraft- och jämställdhetsutmaningen.....	20
10. Lärdomar och misslyckandeåtervinning.....	21
Bilagor	22



skogforsk

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

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 6 oktober 2023 av Gert Andersson, Programchef Driftsystem. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering 20 november 2023.

Redaktör: Charlotte Hessulf, charlotte.hessulf@skogforsk.se
©Skogforsk 2023 ISSN 1404-305X

Förord

Denna arbetsrapport består av slutrapporten till Vinnova (Sveriges Innovationsmyndighet) från ett tvåårigt projekt med titeln *Autoplant – autonom skogsföryngring för en hållbar bioekonomi*. Projektet pågick från februari 2021 till februari 2023 och var en del av Vinnovas satsning *Utmaningsdriven innovation (UDI) steg 2*. UDI finansierar samverkansprojekt som långsiktigt arbetar med att lösa samhällsutmaningar för att bidra till hållbarhetsmålen i Agenda 2030

Målet i steg två var att ta fram ett antal dellösningar som tillsammans kan användas för att skapa ett autonomt skogsföryngringssystem där innovativ teknik medger avsevärd förbättring av arbetsmiljö och föryngringsresultat samtidigt som miljö- och klimatpåverkan minimeras.

Projektgruppen bestod av forskare (Skogforsk, KTH och Luleå tekniska universitet), tillverkare (Bracke Forest, Skogstekniska klustret) samt brukare (SCA, Södra, Holmen och Sveaskog). Projektbudgeten var 20 miljoner, varav Vinnova bidrog med hälften.

Slutrapporten skrevs i februari 2023 och följer den mall som Vinnova tagit fram för slutrapportering. Alla kapitel utom kapitel 3 var obligatoriska i redovisningen. Namnen på personerna vid respektive arbetspaket var arbetspaketledare.

Autoplant steg 2 var ett mycket uppskattat projekt där stora tekniska framsteg gjordes på kort tid.

Linnea Hansson, projektledare Autoplant

Uppsala den 29/9 2023

Summary

One major societal challenge is to attain high growth in productive forest without negative environmental impact, and thereby enable substitution of fossil-based products. At the same time, standing forest is needed to store carbon. The solution is to develop forestry methods that are ecologically, economically, and socially sustainable, attaining high and value-creating forest growth through resource-efficient precision technology. Planting and associated site preparation is crucial to ensuring rapid re-establishment of the forest and to take advantage of genetically improved plant materials. Today, it is difficult to attract labour for the physically demanding manual planting process, and traditional site preparation has high energy consumption and affects a larger area than what is necessary from a plant perspective.

The Autoplant collaboration project therefore addresses four societal challenges in the short and/or long term. *Climate challenge:* Better planting spots and higher survival rates mean the new forest becomes established more rapidly after felling, which reduces carbon dioxide emissions. A smaller machine that uses less power, and greater precision in site preparation and planting, also improves energy efficiency. *Environmental challenge:* High-precision site preparation considerably reduces soil disturbance, which is positive for environmental and cultural conservation and the forest's other values, such as recreation, berry-picking, and reindeer husbandry. *Work environment challenge:* Automation reduces the harmful whole-body vibrations during forest operations to zero. *Labour and gender equality challenge:* In the future, less physically demanding work can attract new groups and, because parts of the work can be done remotely, this can make it easier to combine the work with family life.

The aim of the project is to develop autonomous forest regeneration with high levels of precision, low environmental impact, and a good work environment. In Step 2, significant steps have been taken towards attaining the aim by developing and testing a number of individual products, all of which contribute to the goals and solutions to the societal challenges. The sub-solutions have also been integrated and tested together in full scale and in real time in an actual forest environment.

Ahead of Step 2, a strong consortium was set up comprising researchers (Skogforsk, LTU and KTH), manufacturers (Bracke and Skogstekniska klustret), and production units from four forest companies (SCA, Södra, Holmen, and Sveaskog). During the course of the project, the collaboration between the partners has been deepened, and a series of workshops, seminars and field meetings with different themes have been held (from nurseries and regeneration plantings to young forest). Experts from all consortium partners have participated, which has provided different perspectives on the issues and facilitated relevant solutions. The work has been based on four test platforms, but the sub-solutions have also been integrated in LTU's research platform (AORO) during a field trial on a clearcut outside Bräcke (Figure 1).

The project has attained all outcome goals set for Step 2: a) technology for mechanised precision site preparation and planting with minimised environmental impact; b) systems for autonomous seedling handling, and for c) global and local route planning; d) autonomous detection of suitable planting spots; e) technical solutions for remote monitoring; and f) autonomous planting demonstrated in the intended operational environment. The demonstration showed the potential of the whole system and the sub-solutions for solving the societal challenges.

The recently developed light precision head (10% of the weight of existing products) reduces ground disturbance to around 2% (compared with 30-50% with traditional methods). The sub-systems still have extensive commercialisation development work remaining, but all have potential to be developed into separate products and can be transferred to other parts of the forest industry. The results have been presented for the research community (scientific articles and presentations at conferences), in seminars for the forest industry, and for the public via media and a major presentation at Sweden Innovation Days at the world exhibition in Dubai.

Conclusions that can be drawn from Autoplant Step 2 as a whole are that major technological advances have been made in a short time towards greater precision and reduced soil disturbances, resulting in a more gentle forestry with a better work environment. The forest is a challenging environment for sensor- and control systems and autonomy, but Autoplant has shown potential for autonomous operation in a complex environment. The project has created a clear picture of what lies ahead in terms of development, and associated challenges and opportunities.

1. Sammanfattning

Det finns en stor samhällsutmaning i att bruka skog för hög tillväxt utan negativ miljöpåverkan och därigenom möjliggöra substitution av fossilbaserade produkter, samtidigt som den stående skogen behövs för att lagra kol. Lösningen är ekologiskt, ekonomiskt och socialt hållbara skogsbruksmetoder med hög och värdeskapande skogstillväxt genom resurseffektiv precisionsteknik. Plantering och tillhörande markberedning är centralt för att säkra snabb återetablering av skogen och dra fördelar av förädlat växtmaterial. Idag är det svårt att hitta arbetskraft till den fysiskt tunga manuella planteringen och traditionell maskinell markberedning har en hög energiförbrukning och påverkar en större areal än vad som är nödvändigt utifrån ett plantperspektiv. Samverkansprojektet Autoplant adresserade därför fyra samhällsutmaningar på kort och/eller lång sikt. *Klimatutmaningen*: Genom bättre planteringspunkter och högre överlevnad etableras den nya skogen snabbare efter avverkning vilket leder till minskade koldioxidutsläpp. Med en mindre maskin, mindre kraft, och mer precision i markberedning och plantering nås också en energieffektivisering. *Miljöutmaningen*: Precisionsmarkberedning leder till avsevärt mycket mindre markstörningar, vilket är bra för miljö- och kulturvård samt skogens andra värden som friluftsliv, bärplockning och rennäring. *Arbetsmiljöutmaningen*: Genom automation minskar de skadliga helkroppsvibrationerna vid terrängkörning till noll. *Arbetskrafts- och jämställdhetsutmaningen*: I framtiden kan ett mindre tungt arbete locka nya grupper och genom att delar av arbetet kan skötas på distans kan det bli lättare att kombinera med familjeliv.

Projektets mål var att utveckla autonom skogsföryngring med hög precision, låg miljöpåverkan och god arbetsmiljö. Under steg 2 har betydande steg mot målet tagits genom att utveckla och testa ett antal delprodukter som alla bidrar till målen och lösningar på samhällsutmaningarna. Dellösningarna har också integrerats och testats tillsammans i full skala och i realtid i verklig skogsmiljö.

Ett starkt konsortium sattes samman inför steg 2 med forskare (Skogforsk, LTU och KTH), tillverkare (Bräcke och Skogstekniska klustret) samt brukare från fyra skogsbolag (SCA, Södra, Holmen och Sveaskog). Under projektets gång har samarbetet fördjupats mellan parterna och en rad workshops, seminarier och fältträffar med olika teman har genomförts (från plantskola, föryngringsplanering och till ungskog). Experter från alla parter har deltagit vilket har nyanserat problembilden och underlättat relevanta lösningar. Arbetet har skett på fyra olika testplattformar men dellösningarna har också integrerats på LTU:s forskningsplattform AORO under ett fälttest på ett hygge utanför Bräcke (Figur 1).

Projektet har uppfyllt samtliga resultatmål som sattes för steg 2: a) teknik för skonsam mekaniserad precisionsmarkberedning och plantering, b) system för autonom planthantering samt för c) global och lokal ruttplanering, d) autonom detektion av lämplig planteringspunkt, e) teknisk lösning för fjärrövervakning, samt f) autonom plantering demonstrerad i avsedd operationell miljö. Demonstrationen visade på möjligheterna med helheten och dellösningarna för att lösa samhällsutmaningarna. Det nyutvecklade lätta precisionsaggregatet (10 % av vikten av befintliga produkter) minskar markstörningarna till knappt 2 % (jämfört med 30–50 % med traditionella metoder). Delsystemen har omfattande kommersialiseringsutveckling kvar men samtliga har potential att utvecklas till egna produkter och kan överföras till andra delar av skogsnäringen.

Resultaten har presenterats för forskarsamhället (vetenskapliga artiklar och presentationer på konferenser), i seminarier för skogsbranschen samt för allmänheten via media och storsatsningen på Sweden Innovation Days på världsutställningen i Dubai.

Slutsatser som kan dras från Autoplant steg 2 som helhet är att stora tekniska framsteg har nåtts på kort tid mot mer precision och minskade markskador för ett mer skonsamt skogsbruk med bättre arbetsmiljö. Skogen är en utmanande miljö för sensor- och styrsystem och autonomitet men Autoplant har visat på potentialen att köra autonomt i en komplex miljö. Projektet har skapat en god bild av utvecklingsvägen framåt med utmaningar och möjligheter.



Figur 1. Fälttest utanför Bräcke i september 2022. Dellösningarna är integrerade på LTU:s forskningsplattform AORO.

2. Tester och utvärderingar av (del)lösningar

Arbetet i Autoplant steg 2 har varit indelat i sex olika arbetspaket (AP) som alla innehållit en eller flera dellösningar som behövs för att nå fram till målet med skonsam autonom markberedning och plantering som är ekonomiskt, ekologiskt och socialt hållbar. Hur dessa har utvecklats och testats under projektet är beskrivet nedan. I projektet har fyra olika testplattformar (maskiner) använts: AORO-plattformen som är LTU:s autonoma terrängfordonplattform (Figur 1), XT-28 som är en skotare som ingår i Skogforsks fjärrstyrningslabb och en Vimek Duo som är en liten skogsmaskin som Bracke använt för sina tester. KTH har också en minimmodell av XT28 för egna tester. AORO-plattformen och XT28 har också digitala tvillingar vilka har använts mycket i projektet för att testa lösningarna i simuleringsmiljö innan testerna görs med de stora maskinerna.

AP1 – Systemanalys (Anna Wallner, Södra)

Arbetspaketet har innefattat simulering av markinteraktion, workshoppar om den tänkta operatörens arbetsuppgifter, kostnadskalkyl och känslighetsanalys för en autonom maskin för markberedning och plantering. En utvärdering av planttransporter med drönare som Holmen har utfört har också ingått i arbetspaketet. Input till systemanalysen är hämtad från tidigare forskning, utveckling i andra arbetspaket inom projektet samt genom workshoppar med föringringsexperter från samtliga parter i konsortiet (forskare, tillverkare och brukare). Arbetet och resultaten finns mer utförligt beskrivet i Bilaga 4.

I den förenklade maskinkalkylen identifierades parametrar som var extra intressanta att variera i en känslighetskalkyl. Dessa var: markens stenighet, investeringskostnad, robustheten på maskinen, grad av autonomitet, maskinproduktivitet samt årsutnyttjande. Resultaten pekade på att maskinens kapacitet är den parameter som väger tyngst för att uppnå lönsamhet (se Bilaga 4 för utförligare beskrivning och resultat).

Plantleveranser med drönare testades av skogsbolaget Holmen tillsammans med företaget Nordluft, Vännäs verkstad och Skogstekniska klustret. En operatör hakade fast två kassetter med totalt cirka 120 plantor åt gången till en drönare med en lyftkapacitet om cirka 15 kg. Drönaren flög sedan autonomt ut till hygget, vinschade ner kassetterna som lossnade när de nådde markkontakt. Drönaren återvände sedan automatiskt till operatören. Testerna visade på lyckad lastning och lossning och utökade tester kommer att genomföras i samband med pågående planteringsarbete 2023.

AP2 – Markberedning och plantering (Hans Eriksson, Bracke Forest)

Arbetspaketet har innefattat en autonom väg för plantan från plantmagasin till planteringsfunktion (aggregat) och markberedning (se Bilaga 3).

Största utmaningen låg i att göra ett lätt aggregat som kunde åstadkomma en godkänd markberedningspunkt. Tre prototyper togs fram (Skopan, Skrapan och Borren) och testades systematiskt på Brackes testplattform redan första hösten. Borren hade den mest fördelaktiga kraftriktningen för avskalandet av humuslagret med ett självcentrerande arbetssätt och kunde utformas med en viktbesparande konstruktion (enbart 10 % av Brackes andra planteringsaggregat P11 och P12).

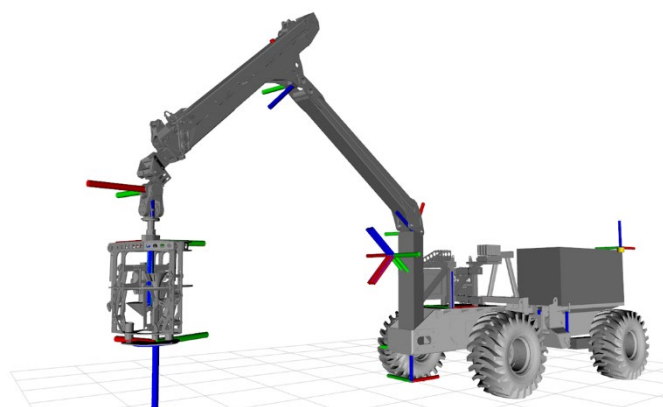
Ett flertal iterationer med fälttester genomfördes och prototypen utformades med hög modularitet för att underlätta modifiering under processens gång.

En robotarm och plantplockningsverktyg hade utvecklats under tidigare projekt, men förbättrades och byggdes ihop under vintern 2021/2022 genom en styvare konstruktion som leder till mera precisa rörelser (patent sökt). Den autonoma plantplockningsfunktionen fungerade mycket väl under de gemensamma fälttesterna i september 2022. En helt autonom planteringsserie kunde demonstreras från plantplockning från kassett till markberedning och plantering, vilket var ett viktigt mål för projektet.

AP3 – Sensorsystem och perception (Magnus Karlberg, LTU)

Det utvecklade perceptionssystemet kan delas upp i två kategorier: intern respektive extern perception. Det interna perceptionssystemet (proprioceptiva) består av sensorer och analysverktyg som registrerar olika funktioner på maskinplattformen. Det externa perceptionssystemet (exteroceptiva) registrerar i stället storheter relaterat till omgivningen. Initialt genomfördes aktiviteter för att bestämma vilka interna och externa storheter som behövde avläsas i Autoplant samt vilka sensorer som var lämpliga. För det proprioceptiva systemet visade sig kranvinklar, hydraultryck, styrvinkel samt pendelarmspositioner vara nödvändiga att mäta och för detta nyttjades vinkelsensorer i leder, tryckgivare monterade i plattformens hydraulkretsar samt positionsgivare i hydraulcylindrar. Tillsammans med en exakt geometrisk representation av maskinplattformen kunde en digital tvilling skapas vilken användes för olika tester (Figur 2). Hydraultrycken användes för att ta reda på när planteringsaggregatet hade lämplig markkontakt. För det exteroceptiva systemet visade sig stereokamerabilder vara bra för att identifiera hinder och positions- och riktning information (från GNSS-mottagare) nödvändig för navigeringen. Signalflödet i perceptionssystemet testades både som separata sensorsignaler och även integrerade i systemarkitekturen. Under utvecklingsprocessen användes både den digitala tvillingen och verklig miljö för att säkerställa korrekt integration och funktion av signaler från perceptionssystemet.

För planteringspunktsväljaren (se AP4) behövdes information om hinder för markberedning och plantering. Ett doktorandprojekt på LTU fokuserade därför på identifikation av stenar, stubbar och liggande stockar, samt deras position och storlek. För att bygga detektorerna med maskininlärning användes stora mängder foton av de objekt som skulle identifieras, som sedan annoterades manuellt. Detektorn testades och utvärderades i relevant hyggesmiljö. Resultaten visade på god potential och vidareutveckling för en kommersialiserbar lösning har påbörjats.



Figur 2. Den digitala tvillingen av LTU:s plattform med Brackes aggregat, plantram och plantplockningsarm integrerade.

AP4 – Styrsystem och uppdragsstyrning (Linnea Hansson, Skogforsk)

AP4 inkluderar utveckling och tester av ett flertal olika delprodukter, vilka beskrivs nedan.

AP4.1 Autonom körning (Global och lokal planering)

Autonom körning innehåller två delösningar: den globala planeraren *Pathfinder* som är ett verktyg för föryngringsplanering och ruttning, och den *lokala planeraren* som väjer för oförutsedda hinder längs maskinens globala rutt och sedan återgår till rутten.

Pathfinder bygger på olika typer av geodata som höjdmmodell, vattenkartor, jordartskartor, andra hänsynsobjekt (natur- eller kulturhänsyn) samt skördarens produktionsfiler (hpr) där information om vilka trädslag som växt bra på platsen kan läsas ut. Verktöget ger förslag på trädslag och antal plantor/ha i olika delområden samt effektiva körrutter baserat på topografi och vändningskostnad. Verktöget presenterade ett realistiskt resultat på trakten för de gemensamma fälttesterna men ska utvärderas på fler objekt i fält under kommande år.

Den lokala ruttplaneringen påbörjades under ett tidigare steg 2-projekt (Auto2) och har vidareutvecklats och testats under Autoplant. Den baseras på sensordata från en stereokamera som skannar terrängen framför maskinen och den framtagna mjukvaran väljer lämplig färdväg. Vald rutt är baserad på maskinens geometri och terrängens topologi. Den lokala ruttplaneraren har verifierats genom tester på testplattformen XT28 i skogsmiljö. Resultaten är lovande men begränsats till lämpliga väderförhållanden (ingen nederbörd och under dagtid).

AP4.2 Markberednings- och planeringsplanering

Systemet *planeringspunktsväljaren* arbetar med en planeringsyta som motsvarar kranens aktionsområden. Objekt-detektorn är ett undersystem som med hjälp av en stereokamera (djupseende) och AI-analys rapporterar visuellt identifierade hinder (stubbar och stenar) i arbetsområdet med position och storlek till väljaren (beskrivet i AP3). Den söker sedan igenom området enligt en viss algoritm som säkerställer en ledig position med ett visst avstånd från hinder och andra plantor. Punktvalet skickas till systemets överordnade logik som begär kranförflyttning och plantering på punkten. När planeringsförsöket är slutfört används olika regler för lyckad respektive misslyckad plantering som objekt för framtida planeringsplaner. Om ingen ny punkt kan hittas rapporteras detta till den överordnade logiken som beställer förflyttning av maskinen. Både hinderdetektorn och speciellt planeringspunktsväljaren är snabba algoritmer som har minimal påverkan på maskinens arbetstid. Logiken fungerade väl under fälttesterna men olika förbättringar är planerade för att få ett så effektivt rörelsemönster för kranen (eller en framtida arm) som möjligt.

AP4.3 Planeringskvalitet (uppföljning)

Arbetet med planeringsuppföljning har utförts av LTU i samarbete med skogsbolagen. En gemensam standard för inventering av maskinell plantering har tagits fram och den har använts när bildmaterial på >2 000 plantor har fotograferats och klassificerats av en skogsvårdsexpert på SCA i ett angränsande projekt. Med hjälp av dessa taggade bilder utvecklas ett AI som ska kunna bedöma vilka av de satta plantorna som är godkända eller inte. I projektet har också en plantuppföljningskamera satts på aggregatet, programmerats och integrerats i systemet.

Den ger bild och position på varje satt planta som sedan kan användas i uppföljningen och i förlängningen även för att skapa en digital tvilling av den nya ungsbogen. En stor nytta av ett sådant system är att maskinen i framtiden kan lära sig arbeta mot ett kvalitetsoptimum och att uppföljning görs löpande.

AP4.4 Maskinstyrning

Ett styrsystem har designats, utvecklats och implementerats som kan utföra alla moment som krävs för en automatisk planteringsprocess. Systemet bygger på en hierarki där en överordnad enhet beslutar om vilka uppgifter som ska föras och när (se AP5) och är implementerat i ROS (Robot Operating System) som är ett open source-ramverk för robotutveckling. Systemet kan styra både den digitala tvillingen och det verkliga systemet. Paketet Moveit som utför rörelseplanering har i projektet anpassats så att en hydraulisk skogskran kan styras likt en robotarm.

Skogforsk har även testat andra sätt att köra kran med grip autonomt inom ramen för Autoplant. Ett system baserat på styrning enbart genom en stereokamera som ser både stocken som ska plockas och gripen, har testats med lovande resultat med avseende på precision och lyckade plockningar. Testplattformen Xt28 har också utrustats med en rad sensorer i kranen. Program för rörelsehantering i kranen och skapande av rörelsebanor har tagits fram. I ett test kunde programmet autonomt stapla kubb på varandra vilket visar på repeterbarhet och precision hos sensorerna.

AP4.5 Fjärrövervakning/styrning och AP4.6 Säkerhet

Då det tidigt togs beslut i projektet att AORO-plattformen skulle användas i de gemensamma integrationstesterna fanns redan lösningar för fjärrövervakning och styrning kopplade till plattformen. Även ett säkerhetssystem var implementerat med ett separat nödstopp och under alla tester fanns en ansvarig person som övervakade maskinen.

AP5 – Maskinplattform och integration (Bräcke, Skogforsk och LTU)

AORO-plattformen på LTU användes som bas för integrationen av dellösningar, tester, utvärdering och demonstration av det slutgiltiga systemet. Mjukvarumässigt bygger integrationen av delsystemen på ett överordnat system som är implementerat som en tillståndsmaskin (liknande ett flödesschema). Tillståndsmaskinen möjliggör att utfallet av olika undersystems uppgifter kan leda till olika händelsekedjor. Exempelvis utför maskinen en annan logik om en plantering misslyckas än om den lyckas. Ansvar för utförandet av uppgifterna ligger i undersystem där varje undersystem har ansvar för en specifik funktion. Respektive undersystem kommunicerar med nödvändig hårdvara och/eller ytterligare funktioner för att utföra sina uppgifter.

Flera av de olika dellösningarna testades och utvärderades individuellt på AORO-plattformen medan den slutgiltiga integrationen skedde under knappa två veckor i Bräcke. Målet med projektet var främst att ta fram de olika delsystemen, men integrationstesterna visade att potentialen för kommersialisering av konceptet har potential. Resultaten visade även på vikten av att ha en anpassad maskinplattform, möjlighet att bära fler plantor på aggregatet och en snabb kran (eller motsvarande) som är anpassad för ändamålet. Utformningen av delsystemen och resultaten från integrationsförsöken utgör en bas för fortsatt utveckling till en kommersiell maskinprototyp.

AP6 – Fälttester (Aline Kärrbäck/Björn Edlund, Skogstekniska klustret)

AP6 har arbetat löpande och tvärgående över resterande arbetspaket under projektets gång med samordning och planering inför de gemensamma fälttesterna. Under projekttiden har respektive delsystem genomfört fälttester i egen regi på de fyra testplattformarna (se ovan).

Inför de slutliga fälttesterna där delsystemen skulle integreras och testas som en helhet genomfördes en del förberedande arbete. Tillsammans med skogsägaren SCA i dialog med övriga arbetspaket identifierades kriterier för val av plats, en urvalsprocess följde och en trakt planerad för markberedning utanför Bräcke valdes. Inför fälttesterna genomfördes även en riskanalys som inkluderade möte med Kristina Andersson, RISE (sitter i Autoplants referensgrupp) för att diskutera krav och utmaningar vid försöksverksamhet med autonoma fordon.

Försöksplaner har sammanställts och kommunicerats för respektive delsystem. Samtliga arbetspakets behov och önskemål inför de slutgiltiga fälttesterna sammanställdes också vilket resulterade i åtgärder på testplatsen samt en gemensam försöksplan. Under sluttestet demonstrerades en komplett markberednings- och planteringscykel inklusive förflyttning av kranen, maskinen och laddning av planta.

3. Studentprojekt kopplade till AutoPlant

Två doktorander har jobbat aktivt i AutoPlant och KTH och LTU har haft en rad projekt där studentgrupper har arbetat fram innovativa dellösningar. Fem examensarbeten är också genomförda på KTH, LTU och Holmen (se Bilaga 1). Fyra högrekursprojekt (HK) har genomförts på KTH. HK-projekt arbetas med under cirka sju månader och består av cirka åtta studenter. Projekten som genomförts är: *Reloading seedlings – subsystem of an automated tree-planting machine*, *AutoPlant 2 – Automated planting*, *Mechaplanter* och *Grover – a forest seedling transporter*. På LTU genomfördes ett studentprojekt vid namn *Future Forest Regeneration* på uppdrag av Bracke Forest AB med direkt koppling till AutoPlant.

4. Identifierade möjligheter och hinder kopplat till nyttiggörande

Möjligheter

Det finns ett flertal möjligheter till kommersialisering både av delsystem och hela AutoPlantkonceptet. Den största utmaningen för nyttiggörande är att lyckas samordna de finansiella och kompetensmässiga resurser som krävs för att öka delsystemens och hela konceptets mognadsgrad till kommersialiserbar nivå.

I steg 2 har unik kunskap byggts upp hos nyckelpersoner från de olika parterna och ett steg 3 vore ett effektivt sätt att öka systemets mognadsgrad med befintlig nyckelkompetens. Då konsortiet består av forskare, experter, tillverkare och brukare har möjligheter skapats att utbyta kunskap som driver utvecklingen framåt för skogsföryngring.

Själva Autoplantkonceptet erbjuder mycket stora möjligheter till nyttiggörande då systemet kan reducera negativ miljöpåverkan under föryngringsprocessen både genom att själva markberedningen och planteringen sker precist och med betydligt mindre markpåverkan. Den nya lätta markberednings- och planteringsutrustningen öppnar också en ny marknad för små och lätta skogsmaskiner. Just nu sker en snabb utveckling kring autonoma maskiner både då det gäller teknik och lagstiftning och Autoplant får draghjälp från fordons- och drönarindustrin.

De fortsatta problemen med att rekrytera utländsk arbetskraft till skogsvårdsföretagen, som förstärktes under pandemin och ytterligare av kriget i Ukraina, gör att intresset för maskinell plantering blivit mycket högre under projektets gång.

Autoplant möjliggör skapandet av en digital tvilling av det nya skogsbeståndet med positionerade plantor, vilket efterfrågas av skogsbruket då det underlättar efterkommande skötselåtgärder som röjning, där man vill undvika att röja bort de förädlade plantorna. Angränsande projekt arbetar med att vidareutveckla dessa lösningar efter slutet av steg 2.

Projektet har haft en utarbetad jämställd kommunikationsstrategi och både skogsbranschen och allmänheten har fått en positiv bild av möjligheterna med konceptet som helhet och dess dellösningar som separata produkter.

Hinder

Ett hinder för kommersialiseringen av Autoplant som en helhetslösning i slutet av steg 3 är den korta projekttiden. Att gå från proof-of-concept till en färdig produkt är utmanande men demonstratorn visar på vilka områden som bör stå i fokus. Det finns även tekniska utmaningar med delsystemen, framför allt relaterat till robusthet samt att minska kostnaderna för ingående komponenter. För tillfället saknas den ultimata basmaskinen för Autoplantkonceptet som har bra framkomlighet i terrängen och ändå är mindre och lättare än dagens skördare och skotare. För att maskinen ska bli produktiv behöver den antingen vara billig (så man kan ha många per operatör) eller vara snabb. Produktiviteten behöver ökas avsevärt innan hela Autoplantkonceptet kan bli lönsam som produkt. Dock finns det goda möjligheter att kommersialisera dellösningar före helheten vilket då ökar mognadsgraden på delsystemen.

Idag hindrar lagstiftningen att en operatör övervakar flera maskiner, vilket systemanalysen visar behövs för att uppnå produktivitet. Dagens lagkrav om att hela ytan där autonoma maskiner ska köra måste avgränsas fysiskt är inte förenligt med produktivitetsskraven, då utsättande av stakkäppar och bandning tar lång tid. Det måste bli tillåtet att enbart använda geofencing och olika säkerhetssystem för att helautonoma maskiner ska bli gångbara i skogen.

Mycket arbete återstår för att göra systemen pålitliga och robusta då de komplexa systemen måste fungera i all typ av skog/terräng/ljusförhållanden/väder etcetera. Det är också svårt att detektera stenblock under mark/vegetation vilket försvårar och minskar produktiviteten hos konceptet (samma gäller manuell plantering).

Ett annat hinder är att det idag inte finns någon internationell standard för plantor och kassetter vilket försvårar när man vill använda samma produkt på olika marknader internationellt.

Arbetet med och runt en autonom maskin behöver utredas mer så att operatörerna kan erbjudas helårsanställning trots att förnygringsarbetet är säsongsbetonat. Idag är många som arbetar med förnygring säsongsanställda vilket kan ses som ett hinder om autonoma planteringsmaskiner ska bli verklighet. Det är också viktigt att adressera vilken kompetens/utbildning som operatörerna behöver ha och vilka manuella arbetsuppgifter som ingår.

5. Gedigen kännedom om användare, kravställare, kunder och marknader

Efterfrågan från användare, kravställare och kunder

Projektet möter behoven från samhället om mycket råvara till bioekonomin samtidigt som växande skog behövs för att binda in koldioxid och minska omfattningen av klimatförändringarna. Behovet av arbetskraft och minskad markpåverkan har ökat sedan projektet startade vilket stärker drivkrafterna både nationellt och internationellt (se kapitel 4). Användarna, till exempel skogsbolagen och förnygringentreprenörer, vill ha en produktiv lösning som ändå medger ett hållbart brukande. De vill också ha robusta lösningar som fungerar under alla väderförhållanden och på en hög andel av den totala skogsmarken (minst 50 % är satt som ett mål i Autoplant steg 1). Kravställarna (samhället, det vill säga allmänheten, staten och EU) vill att miljökonsekvenserna från skogsindustrin minskar (till exempel minskade markstörningar, mindre skador på forn- och kulturlämningar samt naturhänsynsobjekt). Det är viktigt för skogsbranschen att få en social acceptans för skogsbruk och produktion av klimatsmarta produkter. Ett lyckat Autoplantkoncept kan ge win-win i värdekedjan då det blir ökad lönsamhet för både producenter och kunder.

Maskinell plantering med precis GPS-positionering öppnar också upp möjligheten för precisionsskogsbruk, autonom röjning, precisionsgödsling etcetera vilket efterfrågas av skogsägarare och skogsföretag. Genom att byta ut föraren mot en operatör som övervakar/servar maskinerna i fält öppnar det upp för en bredare rekryteringsbas. Att köra en markberedare är förknippat med en svår arbetsmiljö med mycket skakningar och vibrationer och förarnas behov av en mer hälsosam miljö är stort.

Marknad och likande initiativ nationellt och internationellt

Bracke har genom Autoplantprojektet fått ytterligare kännedom om framtida utvecklingsspår och möjligheter på befintliga marknader inom norra barrskogsbältet. Samarbetet med skogsbolagen har gett ännu större kännedom om framtida frågeställningar och möjliga lösningar för framtidens förnygringsteknik.

Vid enklare markförhållanden som vid plantageskogsbruk på tidigare jordbruksmark finns konkurrerande koncept idag (till exempel den brasilianska ForestBot) men ett koncept som fungerar väl i de tuffare skandinaviska förhållandena (stenighet, lämnad hänsyn, avverkningsrester med mera) bör kunna fungera väl i stora delar av världen.

Estniska Milrem robotics har utvecklat en fjärrstyrd bandmaskin som kallas Multiscope Forester Planter, men det är oklart vilken framkomlighet konceptet har på marker som inte är slåta. I Finland finns Risutec PM som är ett traditionellt föryngringsaggregat på grävmaskin som liknar Brackes befintliga produkter P11/P12.

I Sverige pågår två andra projekt med planteringsmaskiner och parter från Autoplant är involverade även i dessa två projekt. Kännedomen om likheter och skillnader i lösningarna är därför god inom konsortiet. *PlantmaX* kräver idag två operatörer, en som kör framåt och en som åker baklänges och matar plantor, vilket gör att arbetsmiljön begränsar framryckningshastigheten. *BraSatt* är Södras satsning för att säkra god föryngring trots ökande brist på plantörer. Syftet är att ta fram en delautonom planteringsmaskin speciellt anpassad för familjeskogsbruket i södra Sverige. Många av utmaningarna är samma för BraSatt och Autoplant och under ett eventuellt steg 3 finns möjligheter att stärka samarbetet mellan de två projekten då man i stort arbetar mot samma mål. Då kan chanserna öka för att satsningarna ska nå hela vägen fram till kommersiellt gångbara produkter.

Under steg 1 gjordes en behovs- och omvärldsanalys för Autoplant som visade att systemet även har potential i många andra länder, främst i boreal skog.

6. Utvecklad nyttiggörande- och kommunikationsplan

Majoriteten av projektkommunikationen i steg 2 följer Autoplants kommunikationsplan och finns redovisat i detalj i Bilaga 1. Projektet har haft en tydlig kommunikationsstrategi med jämställdhetsfokus (se Bilaga 2). Planen för nyttiggörande framåt innefattar nya ansökningar, till exempel UDI-steg 3 och andra ansökningar där vidareutveckling av delsystemen ingår. Även andra satsningar på delsystemen är planerade (se nedan).

Autoplants delprodukter kan även användas inom flera andra områden:

- Verktyg för systemanalys med maskin/markinteraktion är byggt så att det kan simulera olika typer av koncept på olika svåra marker. Verktøget kan därför användas för att utvärdera andra tänkta produkter och fungera som beslutsstöd när det till exempel gäller antalet aggregat per maskin.
- Bracke kommer att testa systemet för hinderdetektering som är utvecklat av LTU på sina befintliga produkter för att minska markpåverkan och stödja operatören. De ska också testa autonom plantplockning från kassetter på en av sina befintliga produkter (planteringsaggregat på grävmaskin). Produkten kan säljas till nuvarande kunder och inkluderas i produktportföljen. Det lätta aggregatet kan vidareutvecklas och på sikt säljas som en egen produkt, med eller utan autonom styrning.
- Planeringsverktøget för föryngring och ruttplanering, *Pathfinder*, kan även användas av dagens markberedare för effektiv ruttplanering eller för en kontinuerligt framryckande planteringsmaskin som PlantmaX. Då minskar riskerna för körskador och andra skador på hänsynsobjekt som kan uppstå vid traditionell markberedning.

- Tekniken som arbetats fram i projektet kring autonom körning och lokal planering kan användas i andra system, till exempel autonom skörd eller skotning i skogsbruket.
- De autonoma kranstyrningssystemen visar stor potential att ingå som system i autonom skotning (transport av stockar från skogen till avlägg).
- Planteringspunktsväljaren kan användas av övriga intermittenta planteringsmaskiner för att automatisera processen och minska den kognitiva belastningen på föraren.
- Systemet för planteringsuppföljning kan implementeras direkt på andra befintliga planteringsaggregat. AI-systemet för plantuppföljning kommer att vidareutvecklas i angränsande projekt för plantuppföljning av både maskinell och manuell plantering och kan på sikt bli en produkt.
- Logiken i tillståndsmaskinen (maskinens hjärna) kan ha en rad andra tillämpningar för autonoma system och kommer att publiceras i en vetenskaplig tidskrift, så det är fritt för andra att implementera den.

7. Utveckling och förändringar av konstellation

Under steg 2 har forskningssamarbetet mellan LTU, KTH och Skogforsk fördjupats och stärkts. Skogforsk hade redan ett nära samarbete med skogsbolagen genom rådgivande grupper och olika tematiska samverkansgrupper, men för LTU och KTH har projekt som Autoplant (och även Auto2) varit avgörande för att stärka banden mellan universitet och företag. Det har varit mycket positivt att inte enbart skogsbolagens partsrepresentanter har deltagit i workshoppar och seminarier utan också olika experter, till exempel de som jobbar med förnygringsplanering, på plantskolor eller är skogsskötselspecialister. Det har gett projektet en stark koppling till brukare och beställare av framtida produkt/produkter.

Autoplant har resulterat i flera spin-off-projekt där ansökningar har skickats in som bygger på de nya samarbetena som vuxit fram eller fördjupats i projektet. Konsortiet kan som helhet eller i delar användas i framtida forsknings- och studentprojekt. Flera skogsbolag (bland annat Stora Enso) utöver de fyra som deltagit i steg 2 har uttryckt ett intresse att vara med om projektet fortsätter i steg 3. Konsortiet har inlett ett samarbete med drönarföretaget Nordluft under projektet då de utförde testerna med plantransporter med drönare. Genom att AP-ledaren för Systemanalysen, Anna Wallner, också projektleder Södras stora satsning BraSatt, har en tvåriktad kunskapsöverföring kunnat ske i vissa delar av projektet och samarbetet har en potential att öka inför ett eventuellt steg 3.

De fyra skogsbolagen som ingår i Autoplant har även satsat resurser på den kontinuerligt framryckande planteringsmaskinen PlantmaX (i nuläget med två operatörer per maskin). Planer finns att testa ruttplaneringsverktyget Pathfinder som utvecklats i Autoplant med PlantmaX på Holmens mark. På så sätt har Autoplants dellösningar varit till nytta för samtliga satsningar på planteringsmaskiner i Sverige.

Under projektets gång bytte Bracke ägare från Fassi group (där även maskintillverkaren av små skogsmaskiner, Vimek, ingår) till Komatsu Forest som tillverkar skogsmaskiner.

I arbetet med Pathfinder har mjukvaruföretaget Creative optimization haft en indirekt roll och de har möjlighet att ta verktyget vidare till en kommersiell produkt efter avslutat forskningsprojekt, i likhet vad som skett med tidigare beslutsstöd för ruttoptimering i skogsbranschen.

8. Projektets effektlogik

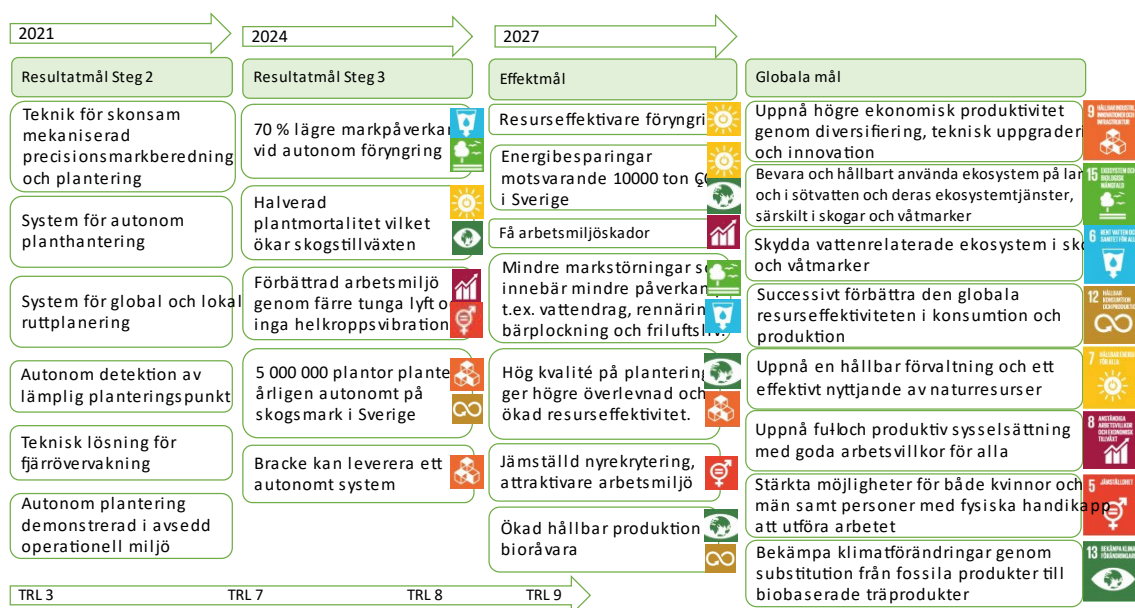
Resultatmål steg 2

Nedan följer en beskrivning av resultatmålen för steg 2: huruvida de är uppfyllda eller ej, hur uppföljningen har gått till, samt övriga kommentarer.

Teknik för skonsam mekaniserad precisionsmarkberedning och plantering

Målet är uppnått men vidareutveckling krävs för att förbättra planteringspunkten och öka produktiviteten. Måluppfyllnaden är uppmätt genom flertalet tester av delsystem (olika typer av markberedningsprototyper, se Bilaga 3) samt som integrerat system. Fälttester och resultaten från systemanalysen visar att metoden är mycket skonsam då endast knappt 2 % av ytan påverkas jämfört med 30–50 % med traditionella metoder.

Precisionen är också hög då systemet kan välja planteringspunkt med decimeternoggrannhet baserat på hinderdetektion. Aggregatet för markberedning och plantering som tagits fram under projektet väger endast 10 % av Brackes befintliga planteringsaggregat. Utfallen i fält är utvärderade baserat på lång erfarenhet från både forskare, tillverkare och skogsbolag.



Figur 3. Autoplants effektlogik i ansökan till UDI steg 2.

System för autonom planthantering

Autonom planthantering har utvärderats och testats i fält. Testerna visade på lyckade förflyttningar och att plantan inte förstördes i hanteringen. System för autonom påfyllnad av själva maskinen är inte utvecklat inom steg 2 (vilket inte heller var målsättningen) men automatisk planttransport med drönare är testat inom projektet.

System för global och lokal ruttplanering

Systemen har utvecklats men behöver testas i större skala för att avgöra hur mycket av planeringen som ska skötas av den globala respektive lokala planeraren beroende på tillgängliga sensordata i förhand och under operationen. Målet kan dock sägas vara uppfyllt men mycket arbete och utveckling kvarstår för att få fram robusta system som fungerar i alla väderförhållanden. Den globala och lokala ruttplaneringen har ännu inte integrerats men är planerat som ett fortsättningsprojekt.

Autonom detektion av lämplig planteringspunkt

I projektet har detta lösts genom att filtrera ut olämpliga planteringspunkter (stenar, stubbar, lågor) och utifrån en hinderkarta välja lämpliga planteringspunkter. För att systemet ska bli robust krävs mycket större mängd taggat bilddata för att det AI-baserade detektionssystemet inte ska missa hinder under olika väder- och ljusförhållanden. Om det fanns ett sätt att även detektera stenar under marken som inte är synliga för ögat (kamera) skulle systemet bli mycket mer effektivt och produktiviteten öka.

Teknisk lösning för fjärrövervakning

Detta resultatmål har inte utvärderats då Luleås plattform redan hade en teknisk lösning för fjärrövervakning. ROS-systemet ger goda förutsättningar för den tekniska lösningen. Dock behöver det utforskas vad som ska transmittas och systemet implementeras på en kommersiell maskin. Under ett eventuellt steg 3 måste detta resultatmål till då fjärrövervakning ska implementeras på den maskin som väljs/utvecklas.

Autonom plantering demonstrerad i avsedd operationell miljö

Under september 2022 demonstrerade projektet autonom plantering på ett hygge utanför Bräcke (det vill säga avsedd operationell miljö). Då hade projektet endast pågått i 1,5 år vilket var lite väl tidigt då en fältsäsong till hade behövts för att testa, utvärdera och modifiera dellösningarna var och en för sig.

Förändringar av effektlogiken under steg 2 och framåt

För att nå resultatmålen i steg 3 behöver fälttesterna bli mycket mer omfattande och både fokusera på biologisk uppföljning (plantetablering och överlevnad) och systemets produktivitet. Målet med 70 % mindre markpåverkan kommer att nås med god marginal och även förbättrad arbetsmiljö genom avsaknad av helkroppsvibrationer och färre tunga lyft. Det går idag inte att säga något om målet med 50 % minskad plantmortalitet kan nås i slutet av steg 3 eftersom inga storskaliga plantuppföljningar är gjorda under steg 2. Tiden som ett eventuellt steg 3 pågår är också för kort för att göra bra biologiska utvärderingar då det bör ha gått ett par år efter plantering när utvärderingen sker. Detta mål bör därför formuleras om till steg 3. Ambitionen om avsevärt förbättrad överlevnad kvarstår dock och är mycket viktig från skogsbolagens perspektiv.

Det är fortfarande möjligt att Bracke kan leverera ett autonomt system för markberedning och plantering i slutet av steg 3, men inte på en helt autonom maskinplattform. Ett första steg kan vara att markberedning och plantering sker autonomt men att en förare fortfarande kör maskinen framåt. Att 5 000 000 plantor planteras autonomt på skogsmark i Sverige år 2026 låter inte längre helt rimligt, men att en fungerande delautonom prototyp finns tillgänglig och klar för kommersialisering är möjligt. Effektmålen och de globala målen för Autoplant ligger fast.

9. Bidrag till de globala målen i Agenda 2030

Autoplant bidrar till många av miljömålen i Agenda 2030 (Figur 3) men de delmål som valdes ut inför steg 2 var:

- Mål 15. Främja hållbart skogsbruk, inklusive ny- och återbeskogning.
- Mål 12. Uppnå hållbar och effektiv förvaltning av naturresurser.
- Mål 7. Främja en effektivare energianvändning, inklusive effektivare bränsleanvändning.

De fyra samhällsutmaningar som projektet Autoplant adresserar har starka kopplingar till miljömålen ovan:

1. Klimatutmaningen. Genom bättre planteringspunkter och högre överlevnad får vi ny skog snabbt och bättre efter avverkning. Det leder till att tiden som beståndet är en nettosänka av koldioxid kortas. Med en mindre maskin, mindre kraft, och mer precision i markberedning och plantering nås också en energieffektivisering av föryngringsåtgärderna.

2. Miljöutmaningen. Precisionsmarkberedning leder till avsevärt mycket mindre markstörningar vilket är bra för miljö- och kulturvård samt skogens andra värden som friluftsliv, bärplockning och rennärning.

3. Arbetsmiljöutmaningen. Genom automation slipper en person åka över den ojämna markytan och de skadliga helkroppsvibrationerna minskas till noll.

4. Arbetskraft- och jämställdhetsutmaningen. I framtiden kan ett mindre tungt arbete locka nya grupper och genom att delar av arbetet kan skötas på distans kan det bli lättare att kombinera med familjeliv.

Under steg 2 i Autoplant har systemanalysen och fälttesterna visat att markstörningarna kan minska från 30–50 % med dagens metoder till <2 % med det nya lätta aggregat som Bracke har utvecklat i projektet. Någon exakt energianvändningskalkyl har inte gjorts, men minskas maskinvikten från 30 ton till 10 ton blir energiförbrukningen automatiskt mindre för framdriften. Precisionsmarkberedningen förbrukar dessutom bara en liten del av den energi som går åt vid traditionell markberedning.

10. Lärdomar och misslyckandeåtervinning

Konstellationen av forskare, tillverkare och brukare har fungerat utmärkt och det har skapats en god innovationsmiljö och gruppanda som även har bäring på andra samarbetsprojekt. Autoplant är ett mycket målinriktat projekt med höga ambitioner som drivit fram många resultat på kort tid. Parterna har haft mycket god intern kommunikation vilket har underlättat arbetet och integrationen. En styrka har också varit att många av projektdeltagarna arbetat med varandra tidigare (i projektet Auto2) vilket gav en snabb och effektiv uppstart.

En framgångsfaktor för projektet har varit alla tvärorganisatoriska workshoppar som ordnats med experter från bolagen, forskare och tillverkare för att ta fram gemensamma målbilder för de olika dellösningarna (till exempel hänsynskraven vid förnygringsplaneringen och så vidare). Det har funnits ett starkt engagemang från alla parter vilket har lett till stor kreativitet och innovationsförmåga.

Arbetsuppdelningen i arbetspaket har varit effektiv där olika delsystem har kunnat utvecklas parallellt. En viktig lärdom är att påbörja integrationsaktiviteterna i god tid då integration av många delsystem samtidigt ökar den totala integrationstiden. Det är även en stor utmaning att på två år komma fram till en bra systemlösning där testsäsongen kortas ner på grund av årstiderna. För att maximera testtiden under markberednings-säsongen borde projektet ha startat och avslutats i november. Detta skulle ha möjliggjort mer designtid före prototypbyggandet. Den korta projekttiden har starkt begränsat vad som kunde presteras och försvårat insamlandet av testdata. Till exempel saknas en större utvärdering av planeringskvalitet och överlevnad men dessa kan genomföras under ett eventuellt steg 3 där försöken behöver skalas upp för att ta konceptet hela vägen till marknaden.

Projektet startades upp under covid-19-pandemin och det påverkade arbetet på flera sätt. Dels förhindrades resande av flera parterers policys vilket gjorde att många fler workshoppar blev digitala än planerat. Även vissa fältträffar fick ordnas som hybridmöten vilket inte var optimalt ur ett samarbetsperspektiv. Pandemin hade också stor påverkan på tillgången på teknikkomponenter vilket delvis försenade teknikutvecklingen och tester av dellösningar.

Då projektet krävde att flera delsystem fungerade tillsammans fanns risker för komplikationer som var svåra att förutse. Ett exempel var den bristande flödesmängden av hydraulolja till bormotorn på fälttestet. Markberedningen blev inte av den kvalitet som arbetats fram och testats på befintlig testutrustning i Brackes verkstad där testriggen hade ett mer optimerat hydrauloljeflöde. Denna komplikation hade kunnat åtgärdats om fler tester hade planerats in och utförts med hela plattformen innan sluttestet i fält.

En styrka för projektledningen var att projektledaren (Linnea Hansson, Skogforsk) och biträdande projektledare (Hans Eriksson, Bracke) hade avstämningar en gång i veckan om projektets fortskridande. Projektledaren hade också många möten med AP-ledare (separat och i grupp), med styrgrupp och referensgrupp. Det som saknades var regelbundna avstämningar med den kärna i projektgruppen som jobbade med den faktiska teknikutvecklingen och integrationen (inte samma personer som var AP-ledare). Det hölls flera olika workshoppar med denna grupp, men med regelbundna avstämningar hade ett större fokus kunnat uppnås redan under projektets första år. Projektets referensgrupp är mycket kompetent och har kommit med många bra synpunkter. Till ett eventuellt steg 3 bör de involveras mer i upplägg och utformning av lösningar och tester.

Kommunikationsstrategin fungerade mycket bra för projektet och kommunikationsinsatser stämde alltid av i projektledningen och vid behov med styrgruppens ordförande eller hela styrgruppen. Projektet startade i ett rejält underläge då det gällde fördelningen i planerad arbetstid mellan kvinnor i män i projektkonstellationen. Projektgruppen har arbetat hårt för att påverka de jämställdhetsaspekter som varit möjliga som kommunikation, maktfördelning med mera (se bilaga 2). På grund av oförutsägbara personalförändringar minskade dock utförarkapaciteten av kvinnliga medarbetare under projektet, varvid antal timmar arbetade av kvinnor sjönk. Ett sätt att öka antalet kvinnor som arbetar i konsortiet till steg 3 är att inkludera arbetspaket där det finns fler kvinnliga utförare så som forskning och utveckling kring användargränssnitt och människa-maskinteraktioner.

Bilagor

Bilagorna som lämnades in med slutrapporten till Vinnova var:

1. Vetenskaplig publicering och övrig kommunikation
2. Jämställdhetsplan och utvärdering
3. Rapport från Bracke
4. Rapport från Systemanalysen

Bilaga 4 finns publicerad i en separat arbetsrapport:

Wallner, A., Eriksson, A., & Manner, J. 2023. AutoPlant - planteringsrobotens potential i svenskt skogsbruk. Systemanalys. [Skogforsk Arbetsrapport 1158-2023](#).