

Fossilfritt skogsbruk med gallringsdrönare i komplett systemtest

Publik rapport



Författare: Olle Gelin, Mauritz Andersson, m.f
Datum: 2023-08-15
Projekt inom FFI Fossilfria mobila arbetsmaskiner

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English	3
3 Bakgrund	3
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	4
5 Mål	4
6 Resultat och måluppfyllelse	4
7 Spridning och publicering	5
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	5
7.2 Publikationer	6
8 Slutsatser och fortsatt forskning	6
9 Deltagande parter och kontaktpersoner	7

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Dagens skogsbruk använder i huvudsak ett system baserat på två arbetsmaskiner för att utvinna träråvara. En skördare för att fälla, kvista och kapa träd samt en skotare för att hämta upp och transportera träd till bilväg.

AirForestrys drönbaserade arbetsmaskiner kan lösa flera utmaningar inom skogsbruket och vara mer effektiva. Automation och elektrifiering är lättare när tekniken flyttas upp i luften. Utsläpp av koldioxid undviks då direkta utsläppen minskas med elektrifiering och mindre än halva energianvändning jämfört med traditionella system, dessutom innebär enbart undvikande av stickvägar en ökad tillväxt i skogen och därmed signifikant ökad kolinlagring.

Inom projektet har vi utvecklat och demonstrerat alla delsteg i gallring. Förmåga till stabil flygning med hängande verktyg och ansättning mot trädtopp med precision samt greppa och lyfta träd har visats. Funktionalitet hos det fjärrstydda gallringsverktyget har utökats med aktiva styrbara vinschar och specialutvecklad mjukvara. Demonstration av ansättning, kvistning, sågning och utlyft i en sekvens i gallringskog har genomförts från en kran med samma mekaniska interface som drönaren.

Analys av potentialen för drönbaserad gallring av skog har genomförts i samarbete med SkogForsk. Preliminära analyser visar att mycket stor extra inlagring kan ske, vilket skulle vara av stort värde både för skog och för att minska Sveriges territoriella utsläpp signifikant.

2 Executive summary in English

Today's forestry primarily employs a system based on two types of machinery to extract timber. A harvester, used for felling, delimbing, and cutting trees, as well as a forwarder, utilized to retrieve and transport trees to the road.

AirForestry's drone-based machinery could address several challenges within the forestry industry and offer enhanced efficiency. Automation and electrification become more feasible when technology takes to the skies. Carbon dioxide emissions are reduced by adopting electrification, resulting in less than half the energy consumption compared to traditional systems. Moreover, simply avoiding the creation of access roads leads to increased forest growth and consequently, significantly augmented carbon sequestration.

Throughout the project, we have developed and demonstrated all stages of thinning operations. The ability to maintain stable flight with suspended tools, precision in approaching treetops, as well as grasping and lifting trees, has been showcased. Functionality of the remote-controlled thinning tool has been enhanced with active controllable winches and specially developed software. Demonstrations involving positioning, delimbing, sawing, and lifting in a sequence within a thinned forest have been executed using a crane with the same mechanical interface as the drone.

Analysis of the potential for drone-based forest thinning has been carried out in collaboration with SkogForsk. Preliminary analyses indicate the possibility of substantial additional carbon sequestration, which would hold significant value both for the forest and for considerably reducing Sweden's territorial emissions.

3 Bakgrund

Svenskt skogsbruk är världsledande och genererar en viktig råvara som används i en lång rad av förnyelsebara produkter som konkurrerar med plast, stål och betong. Gallring är en nödvändig insats för att underhålla, vårda och sköta skogen. Gallring innebär att skogen tunnas ut för att de bästa träden ska ges förutsättning att växa och vidareförädlas till högkvalitativa

träprodukter. Gallring utförs vid 2-3 tillfällen under en skogsbestånds livscykel och genererar ett flöde med träråvara till industrin, som motsvarar en tredjedel av Sveriges totala virkesproduktion.

Dagens skogsbruk använder i huvudsak ett system baserat på två arbetsmaskiner för att utvinna träråvara. En skördare för att fälla, kvista och kapa träd samt en skotare för att hämta upp och transportera träddelarna till bilväg. Dagens maskinvikter är på hisnande 15 ton per maskin, vilket är helt oproportionerligt för gallringsoperationerna, där hela träd bara väger ca 40-140 kg. Terrängen är svårnavigerad och kuperad, vilket leder till energitörstiga och långsamma system på grund av friktion och hög maskinvikt i relation till transporterad massa. De tunga maskinerna skapar dessutom mark- och trädskador. För att komma fram behöver så kallade stickvägar huggas upp i skogen. Dessa stickvägar utgör 20% av den produktiva skogsmarken vilket innebär mindre produktionsyta för skog och en tillväxt förlust i Sverige och förlorad kolbindning samt försvagade skogsbestånd.

AirForestrys teknik är en lösning på ovanstående problem och utmaningar. Tekniken har möjliggjorts genom att disruptiva tekniker inom batterier, AI och drönarteknologi har börjat mogna.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Dagens gallringsmaskiner förbrukar ca 60 000 000 liter diesel varje år i bara Sverige. Syftet med projektet är att kvantifiera hur mycket utsläpp som kan undvikas om vi ersätter med elektrifierat skogsbruk med en signifikant andel drönarbaserade system. Forskningsfrågan är därmed definierad som att studera prestanda för ett drönarbaserat system jämfört med ett traditionellt maskinsystem (TMS). Metoden är att tekniskt utveckla och validera möjlig prestanda och sedan använda detta i ett simuleringsverktyg och jämföra med ett TMS.

5 Mål

Målet är att demonstrera en proof-of-concept för ett fungerande drönarsystem för gallring och kvantifiera energiåtgången per skördad och transporterad kubikmeter ved. Målet är 50% lägre energiåtgång än de traditionella markgående maskinerna. Specifik för förlängningen av projektet var målet att utveckla och demonstrera ett verktygssystem med aktiva vinschar.

6 Resultat och måluppfyllelse

Det är mycket mer energieffektivt att utföra de skogliga åtgärderna från luften. Med mätningar av effektåtgång på flygande prototyper samt simuleringar så visas att energiåtgången för gallring kan mer än halveras jämfört med traditionella markgående system. Kvantitativ modellering validerad mot experimentella resultat ger att AirForestrys system kan mer än halvera energianvändning jämfört med traditionella maskiner.

Vi har nått följande resultat inom projektet.

Vi har demonstrerat ett komplett system för gallring av skog med drönare, verktyg, operatörsstation och mobilt gridbatteri. Full funktionalitet är demonstrerad i separata delsteg.

Specifikt så har vi inom AP1 utvecklat och demonstrerat en fjärrstyrd verktygsrobot som har styrbara och greppande kvistknivar, styrbar såg för kapning med tre aktiva vinschar vars linor ansluts till tre lastbärare (med styrd släppfunktion) på drönaren. Mjukvara för verktygsrobot har utvecklats för att styra och kunna agera på orientering (IMU).

Inom AP2 har vi framgångsrikt demonstrerat flygning med aktivt verktyg och visat att vi med precision kan positionera drönare med hängande verktyg vid en trädtopp och greppa träd med det fjärrstyrda verktyget samt lyfta upp och flyga iväg. Verktöget med vinschstyrning har validerats fullt ut med tester från en kran i verklig gallringsskog. Vi har således validerat all funktionalitet i delsteg, även om en full gallrings-cykel i en sekvens ännu inte kunnat visas bl.a. p.g.a. att inköpt motordrivare inte nådde fullt effektuttag enligt tillverkarens specifikation. Denna begränsning kommer att överkommas med en ny motordrivare i nästa generation.

Inom AP3 har analys av potentialen för drönarbaserad gallring av skog har genomförts i samarbete med SkogForsk. Preliminära analyser visar att mycket stor extra inlagring kan ske, vilket skulle vara av stort värde både för skog och för att minska Sveriges territoriella utsläpp signifikant.

Inom projektets löptid har vi inte nått i mål med att ha externa demodagar, men det är prioriterat i nästa utvecklingssteg. Vi har även behövt nedprioritera demo av generell lasthantering AP3.2 även om visst designarbete har utförts. Vi har dock genom lyft av både hängande verktyg och hanterat träd visat på drönarens förmåga att klara varierande massa och tröghetsmoment. Detta är möjligt tack vare den unika och demonstrerade laterala flygförmågan.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?		Kommentar
Öka kunskapen inom området		AirForestry har fått nya insikter om hur effektivt det kan vara att gallra skog med drönare från luften. Spridning genom samverkan med SkogForsk. Området är nytt och den utvecklade metodiken är innovativ och generell och kan användas för flera typer av analyser och jämförelser med ett drönarsystem i förstagallringar. Analysen stödjer att prioritera vilken utveckling som behövs för att göra drönarsystem mer konkurrenskraftiga.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt		Avancerad vinschstyrning kan användas för utveckling av generell lasthantering med drönare. Den av SkogForsk utvecklade analysmetodiken och verktyget kan användas för att jämföra flera olika typer av gallrings- och slutavverkningssystem och identifiera kritiska delsystem och parametrar i ett drönarsystem för gallringsverksamhet..

Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		- Fortsatt utveckling mot pilotstation för drönarbaserad gallring av skog. - Modellering och optimering av drönargallring och förändrat skogbruk.
Introduceras på marknaden		Vi har validerat att det både finns ett behov av produkten/tjänsten och att den kan ha tillräcklig prestanda och är därmed redo att fortsätta utveckla mot en marknadsintroduktion.
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		AirForestry samverkar inom TFs Drönarnätverk för framtidens regelverk för drönare. SkogForsks analysverktyg kan användas i andra analyser och utredningar där drönarsystem ska utvärderas, tex i andra gallringsformer (äldre skogar, sk. andragallringar).

7.2 Publikationer

Vi har publicerat tekniska framsteg på AirForestrys LinkedIn sida.
<https://www.linkedin.com/company/airforestry/>

Jämförelsen mellan ett drönarsystem och ett traditionellt tvåmaskinsystem, bestående av en skördare och en skotare, skrivs i en internrapport (Skogforsk arbetsrapport) och vi är i processen för att publicera en vetenskaplig artikel i en erkänd internationell tidskrift.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Alla kritiska delmoment i gallring med drönare är nu validerade med teknisk demonstration och vi ser inga fundamentala hinder att ta prototyp till fungerande produkt på marknaden. Detta kräver dock fortsatta investeringar i produktutveckling de närmsta åren.

Preliminära resultat från forskning kring nya och skonsammare gallringsmetoder verkar lovande och bör intensifieras så att skogens fulla potential som kolsänka och som källa till förnyelsebara råvaror kan realiseras.

I delprojektet har en analysmetodik utvecklats för att kunna studera hur logistik runt olika batterisystem för drönare kan användas på bästa möjliga sätt. En viktig del i detta är att identifiera kritiska delsystem och parametrar av drönarsystemet samt att utvärdera konkurrenskraft med det traditionella tvåmaskinsystem (TMS) för gallring. Ett TMS består av en skördare och skotare som är dieseldrivna och påverkar skogen på ett annat sätt jämfört med drönarbaserad gallring. En skördare måste avverka skog för att skapa ett nätverk av sk. stickvägar för att komma fram i skogen samt kunna transportera ut virket ur skogen till bilväg med skotaren. Avverkningsmaskinerna är relativt tunga, speciellt skotaren med virkeslass vilket medför risk för markskador, speciellt i terrängpartier med hög markfuktighet. För att få en bra jämförelse och analys måste både TMS och drönarsystem utvärderas över en stor mängd trakter med olika egenskaper med avseende på skotningsavstånd, flygavstånd, träddensitet, markfuktighet och olika typer av marklutningar.

En detaljerad modell av drönarsystemet har utvecklats. Samtliga moment av flygning (tom eller med träd), sätta fast aggregat och aptering, lossning och aptering vid avlägg och batteriladdning har beskrivits med detaljer för tider och energikonsumtion. Olika typer av containerbatteri och trailerbatteri har också modellerats. I denna del kan vi utvärdera avstånd till laddningsplatser, olika laddningseffekt samt olika kostnader för laddningsenergi. För varje trakt som utvärderas används en beskrivning av varje träd (volym, vikt) samt dess geografiska lokalisering. Med detta kan detaljer runt flygavstånd, tider och energi beskrivas mycket detaljerat. Det är också möjligt att identifiera laddningscykler för respektive drönare samt att identifiera om det uppstår väntan pga av laddning eller moment där operatör måste övervaka en annan drönare.

Ett TMS för gallring kan beskrivas med ett antal prestationsfunktioner när det gäller produktivitet och tider. Med hjälp av andra planeringsstöd utvecklade på Skogforsk kan vi även ta fram vilket nätverk av stickvägar som används för TMS och hur många rutter och vilka en skotare ska använda optimalt. För att ta fram ett underlag för jämförelse har vi analyserat 95 gallringstrakter med detaljerade produktionsfiler som ger information om trädets placering, volym, vikt, antal stammar. Dessa har gett en beskrivning av trädets fördelning på trakter. Därefter har 1073 registrerade trakter spridda över Sverige tagits fram. För dessa 1073+98 trakter har vi sedan tagit fram information runt markfuktigheter och detaljerade digitala terrängmodeller och trädets placering och storlek. Med stöd av denna information har vi simulerat hur de båda systemen gallrar trakterna. Denna simulering kräver drygt 1000 timmar beräkningstid och utförs enbart en gång. Den beskrivning innehåller information som är oberoende av vissa parametrar och därför kan vi utföra ytterligare analyser där vissa parametrar ändras, tex flyghastighet, laddningseffekt, batterienergi eller antal drönare, utan att behöva göra om de tunga beräkningarna.

Analyserna visar också att vilka träd som kan gallras kommer att förändras. I en normal förstagallring apteras ett antal träd över maxvikt för en drönare. För att använda ett drönarsystem behöver instruktionerna förändras och detta leder till en förändring av både volym och värde i den skog som gallras.

Delprojektet har identifierat en intressant framtida utveckling för att sekvensera ordningen av vilka träd som ska gallras. Om sekvenseringen kan göras på ett optimalt sätt kan tiden som genererar någon typ av väntan minimeras. Detta är också möjligt att reducera antal tillfällen där drönare kommer att passera varandras flygvägar. Detta tillsammans med en utveckling av simuleringsstöd kan ge detaljerad information om förväntade tider för de olika momenten.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Airforestry Olle Gelin  AirForestry	Skogforsk Gert Andersson  skogforsk	Sveaskog Anders Järlesjö  SVEASKOG
--	--	---