

Bättre uppskattning av planteringsareal med maskindata och fjärranalys

Rasmus Sörensen, Liviu Ene, Fredrik Johansson, Erik Ling



Innehåll

Förord	4
Förkortningar	5
Summary	6
Sammanfattning.....	7
Bakgrund	8
Skördardata	8
Om dagens plantbeställningsverktyg.....	8
Utveckling av plantbeställningsverktyget med hjälp av ny teknik.....	10
Material	11
Studieområden och skördardata	11
Geo-data	14
Metod och Resultat.....	14
Förenklad metod.....	14
Utvecklad metod.....	16
Steg 1. Avgränsa trakten.....	16
Steg 2. Rasterisering av ALS-data.	18
Steg 3. Kronsegmentering	19
Steg 4. Matchning av kronsegmenteringen med hpr-data.....	20
Steg 5. Aggregering av kronsegment till funktionsenheter	21
Steg 6. Beräkning av ståndortsindex och risken för rotröta	22
Steg 7. Uppskattning av planteringsareal	25
Utvärdering och Diskussion	27
Utveckling av Plantbeställningsverktyget (PBV)	27
Plantbeställningsverktygets funktion	27
Slutsats.....	28
Referenser.....	29
Bilaga A. Arealberäkningar för studieområde Butorp	31
Bilaga B. Arealberäkningar för studieområde Tjärnmyrtorp	38
Bilaga C. Arealberäkningar för studieområde Hacken.....	45



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

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts januari 2026 av
Line Djupström, Biträdande Programchef. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef,
granskat och godkänt publikationen för publicering 6 februari 2026.

Redaktör: Charlotte Hessulf, charlotte.hessulf@skogforsk.se
©Skogforsk 2025 ISSN 1404-305X

Förord

I detta projekt har Skogforsk samarbetat med Komatsu, Sydved, skogsentreprenören Hultsjö, samt StoraEnso. Vi tackar samtliga partners för ett bra och trevligt samarbete.

Projektet studerar hur förbättrade maskindata kan användas för att mer exakt uppskatta planteringsareal efter avverkning. Författarna riktar ett starkt erkännande till nuvarande och tidigare kollegor på Skogforsk som har utvecklat den maskindata vi nyttjar, i detta fall hpr-filer från skogsskördare.

Tack också till finansiären Stiftelsen Seydlitz MP bolagen för möjligheten att utveckla konceptet som presenteras i denna rapport.

Uppsala, januari 2026

Rasmus Sörensen, Liviu Ene, Fredrik Johansson, Erik Ling

Förkortningar

ALS	Flygburen laserscanning
SI	Ståndortsindex. Ett mått på skogens produktionsförmåga.
TP	Tillväxtpotential. En approximation av SI.
SoC	Separation of concerns. En uppdelning av en algoritms olika komponenter i enskilda enheter som var och en för sig kan förbättras eller bytas ut utan att algoritmen tappar funktion.
PBV	Plantbeställningsverktyg.
DTM	Digital Terrain Model. Digital Terrängmodell som visar markytans höjd utan vegetation och byggnader.
CHM	Canopy Height Model. Kronhöjdsmodell som visar trädkronans höjd över marken.
LMSR	Lokal Maxima-Slätningsrelation. Kurvan för samband mellan lokala maxima och utjämning

Summary

The forestry industry purchases approximately 452 million seedlings annually for regeneration in Sweden (2021). With a cost of around SEK 5 per seedling and planting, the annual investment amounts to roughly SEK 2.3 billion for the entire country. Studies at Skogforsk indicate that there is uncertainty in estimating the area to be planted and, consequently, the volume of seedlings to be ordered. Even a small improvement in the estimated planting area precision can therefore have a significant effect on the cost of regeneration.

An important step is to develop more accurate data for ordering seedlings, i.e. ensuring that the correct number of seedlings of the correct type are ordered and delivered to the right location. It is crucial to have the most accurate possible estimate of the area to be planted. The common method for estimating planting area is to subtract a standard proportion from the gross area of the plot, but this often proves to be so imprecise that it results in an over- or under-supply of seedlings. The result can then be that too many or too few seedlings are planted per plot.

Today, technology has been developed to log the position of each individual tree being harvested, with an accuracy of less than half a metre. In this project, a seedling ordering tool has been developed to handle higher resolution in machine data and to link with the Swedish nationwide ALS data, thereby increasing the accuracy of the estimated planting area. In four plots, we have compared the two resolutions to determine how much more accurate the higher resolution is in estimating planting area. This can then serve as a basis for more precise seedling orders. The seedling ordering tools have also been compared with the area specified in the final felling notification. Previous studies have shown that the planting area can be estimated more accurately using available digital data in the form of laser data and crane tip positioning.

This study shows that laser data and crane tip positioning also enable continued development of plant ordering tools regarding tree species selection, number of plants per hectare, and site-specific adaptation, all of which increase precision in ordering plants for individual plots. It can be noted that the greatest benefit is moving from template-based plant ordering to harvester data-based plant ordering, and that further precision in the ordering data is possible with laser data and crane tip positioning. However, the truly significant potential for improving a plant ordering tool based on crane tip positioning and laser data can only be realised when increased point density in laser data is available and the accuracy of the crane tip position is ensured.

Sammanfattning

Skogsbruket köper årligen cirka 452 miljoner plantor till förnygringsytor i Sverige (2021). Med en kostnad på runt 5 kronor per planta och plantering blir investeringen årligen i storleksordningen 2,3 miljarder kronor för hela Sverige. Studier på Skogforsk indikerar att det finns en osäkerhet i uppskattningen av areal och därmed i beställningen av plantvolym. Även några få procentenheters förbättring av uppskattad planteringsareal kan därför få stor effekt på kostnaden i förnygringsarbetet. Ett viktigt steg är att utveckla underlag med högre noggrannhet inför plantbeställning, dvs. att rätt antal plantor av rätt sort beställs och levereras till rätt plats. Av avgörande betydelse är att ha en så noggrann uppskattning som möjligt av arean som ska planteras. Den gängse metoden för att uppskatta planteringsareal är att dra bort en schablonmässig andel från traktens bruttoarea, men detta visar sig ofta vara så oprecist att det medför att ett över- eller underskott av plantor levereras till den aktuella trakten. Plantering av onödigt många, alternativt för få, plantor per trakt kan då bli följden.

Idag har tekniken utvecklats till att logga positionen för varje enskilt träd som avverkas, det vill säga vid kranspetsen, med en precision på mindre än en halv meter.

I detta projekt har ett plantbeställningsverktyg utvecklats för att hantera högre upplösning i maskindata samt koppla samman detta med nationella ALS-data, och därvid ökat noggrannheten på uppskattad planteringsareal. På fyra trakter har vi jämfört de två upplösningarna för att ta reda på hur mycket noggrannare den högre upplösningen blir i uppskattning av planteringsareal. Detta kan sedan ligga till grund för mer precisa plantbeställningar. Plantbeställningsverktygen har även jämförts med den areal som anges i avverkningsanmälan.

Studien har visat att planteringsarean är möjlig att uppskatta noggrannare med tillgängliga digitala underlag i form av laserdata och kranspetspositionering. Laserdata och kranspetspositionering möjliggör även fortsatt utveckling av verktyget avseende trädslagsval, plantantal per hektar och ståndortsanpassning; allt som ökar precisionen i plantbeställningen till enskilda trakter.

Det kan konstateras att den största vinsten är att gå från schablonbaserad plantbeställning till skördardatabaserad plantbeställning, och att ytterligare precision i beställningsunderlaget är möjligt med laserdata och kranspetspositionering.

Den riktigt stora förbättringspotentialen med ett kranspetspositionerings- och laserdatabaserat plantbeställningsverktyg kan realiseras först när en ökad punkttäthet i laserdata finns tillgänglig och precisionen på kranspetspositionen är säkerställd.

Bakgrund

Skogsbruket köper årligen cirka 452 miljoner plantor till förnygringsytor i Sverige (2021). Med en kostnad på runt 5 kronor per planta och plantering blir investeringen årligen i storleksordningen 2,3 miljarder kronor för hela Sverige. Studier på Skogforsk (Öhlund m.fl. 2024) indikerar att det finns en osäkerhet i uppskattningen av areal och därmed i beställningen av plantvolym. Även några få procentenheters förbättring av uppskattad planteringsareal kan därför få stor effekt på kostnaden i förnygringsarbetet. Ett viktigt steg är att utveckla underlag med högre noggrannhet inför plantbeställning, dvs. att rätt antal plantor av rätt sort beställs och levereras till rätt plats. Av avgörande betydelse är att få fram så noggrann uppskattning som möjligt av arean som ska planteras. Den gängse metoden för att uppskatta planteringsareal är att dra bort en schablonmässig andel från traktens bruttoarea, men detta visar sig ofta vara så oprecist att det skapar ett över- eller underskott av plantor. Plantering av för många alternativt för få plantor per trakt kan då bli följden. Plantor fraktas vidare också till nästa trakt, och blir de inte planterade inom rimlig tid finns risk för försämrade vitalitet.

En större precision och upplösning i underlaget för plantbeställningen skulle säkerställa att rätt antal plantor planteras på den aktuella trakten och att förflyttningen av plantor mellan trakter, och därmed även spillet av plantor, minskar. Detta förväntas i sin tur ge friskare plantor. Det skulle även öka transparensen mellan entreprenör, uppdragsgivare och beställare/markägare gällande beräkning av plantbehovet.

Ett sätt att uppskatta planteringsareal är att nyttja maskindata från skördaren.

Skördardata

Varje gång en skördare avverkar ett träd registreras trädslaget, samtliga apteringar, och skördarens position i så kallade hpr-filer (Harvester Production Files). Noggrannheten på trädets position blir då upp till 12 meter fel på grund av skördararmens längd och att GPS-positionen registreras i skördarhytten. Ibland väljs den första apteringen manuellt, vilket kan tolkas som förekomst av röta, annars väljs apteringarna automatiskt utifrån det vid tiden rådande behovet av sortiment.

Alla hpr-filer följer den standardiserade filstrukturen StanForD2010 (Arlinger m.fl. 2012).

Om dagens plantbeställningsverktyg

Skördardata innehåller information för att kunna skapa en digital modell av samtliga avvertrade träd inom trakten med avseende på höjd och diameter längs stammen, samt position. Med en känd eller uppskattad ålder blir det då möjligt att beräkna ståndortsindex (SI) på beräkningsytor i skogen. Det gäller för slutavverkningar. Hittills har beräkningsytorna varit cirka 5000 m² stora. I själva verket blir det dock en approximation av SI, eftersom beräkningen av SI kräver större ytor och mer information än vad som är tillgängligt i hpr-data (Skogsstyrelsen 2021). I stället för SI kallar vi det därför för tillväxtpotential (TP) i denna rapport.

Redan år 2017 utvecklade Skogforsk ett plantbeställningsverktyg, PBV, (Friberg m.fl. 2019) baserat på skördardata. PBV anpassar förnygringens trädslag och täthet till förutsättningarna på varje enskild trakt med högre noggrannhet än vid traditionell planering. Allt för att kunna summera behovet av plantor till plantering mer korrekt.

Verktyget använder skördardata till att uppskatta både avverkad areal (ibid) och traktens varierande förutsättningar för förnygringen, TP.

I PBV föreslås som utgångspunkt samma trädslag som fanns där tidigare. Byte av trädslag föreslås i några fall:

1. Vid låga TP för gran föreslås tall.
2. Vid höga TP för tall föreslås gran.
3. Vid hög förekomst av rotröta föreslås byte av trädslag.

Planttätheten definieras i en enkel tabell. Inställningarna kan justeras. Som framgår av exemplet nedan kan användaren anpassa verktygets olika parametrar efter egna preferenser och skiftande förutsättningar i landskapet. Än så länge är verktyget i konceptstadiet, men vid en tillämpning kan en användaryta skapas för dessa justeringar

Nedan visas ett exempel på inställningar i verktyget hämtat från Sörensen m.fl. (2023).

P = pine (Tall), S = spruce (Gran). I detta fall ändras trädslag (SI-species) från tall till gran om SI är högre än P28, då det vid avverkningar fanns minst 25 procent gran. Plantantalet/ytenhet (Plant density) specificerades för olika ståndortsindex (SI detected). Vid förekomst av mindre än 30 procent rotröta, behålls rekommenderat trädslag, mellan 30 procent och 70 procent rotröta rekommenderas blandskog, vid högre förekomst än 70 procent rekommenderas att byta trädslag.

SI-species

SI detected	Plant density (pl/ha)
P25+	2300
P20-p24	2000
< P20	1700
S32+	2300
S24-S31	2000
<S24	1700

Samtliga tröskelvärden för trädslagsbyte samt plantantal vid olika TP kan justeras i användargränssnittet, alternativt kan förvalda värden användas. Det går också enkelt att utveckla till att ta hänsyn till fler val av trädslag i användargränssnittet.

För att öka upplösningen och användningen av verktyget i flera sammanhang har det sedan 2017 utvecklats vidare i andra projekt (Möller m.fl. 2022 och Sörensen m.fl. 2023). Bland annat har kartorna Skogliga grunddata, Markfuktighetsindex, Jordartskartan, och Nationella Vägdata-basen använts för att utesluta områden från att ingå i planteringsytan. Detta har varit nödvändigt för att trädpositioneringen har haft lägre upplösning än variationen för dessa egenskaper i terrängen. Verktygets algoritmer har också testats som indata till en automatisk planteringsmaskin (Hansson m.fl. 2025).

Eftersom felet på trädpositionen kan vara upp till 12 meter har det resulterande förslaget i plantbeställningsverktyget hittills haft motsvarande upplösning. Algoritmerna bakom beräkningarna har varit baserade på flera andra algoritmer som har refererat till varandra inbördes. Detta beror på att algoritmerna från början inte utvecklades för att bygga PBV, utan hpr-filernas syfte var från början att återföra beståndsuppgifter från skördare till

produktionsadministrationen, framför allt vid gallring. Målet var att ge bättre översikt över resultatet av avverkningen med avseende på virkesproduktion, sortiment och uttag av skogsbränsle.

Det betyder att algoritmerna i sig inte är designade för att skapa denna typ av verktyg, där planteringsarean är viktig, men att potentialen i hpr-data ändå har visats i PBV. Underlaget kan även ligga till grund för noggrannare hänsyn och ståndortsanpassning och därmed säkrare beställning. Därmed kan de stora investeringarna i föryngring fördelas rätt och ge större utbyte.

Utveckling av plantbeställningsverktyget med hjälp av ny teknik

Idag har tekniken utvecklats till att logga positionen för varje enskilt träd som avverkas, det vill säga vid kranspetsen, med en precision på mindre än en halv meter, beroende på GNSS-lösning (fix eller float). Det betyder att de algoritmer som ska ingå i PBV behöver byggas upp på ett nytt sätt. Till detta kan kopplas ALS-data för att bättre uppskatta traktgränser, lämnad hänsyn, lämnade träd samt hög- och kulturstubbar.

I detta projekt har vi gjort just det, utvecklat PBV-konceptet för att hantera högre upplösning i maskindata samt koppla samman detta med ALS-data, och därvid ökat noggrannheten på uppskattad planteringsarea. På fyra trakter har vi jämfört de två upplösningarna för att ta reda på hur mycket noggrannare den högre upplösningen blir i uppskattning av planteringsarea. Detta kan sedan ligga till grund för mer precisa plantbeställningar. Vi har också jämfört metoderna med den areal som anges i avverkningsanmälan.

Förutom planteringsareal kan variationen av TP som sagt ligga till grund för val av trädslag och plantantal, och med högre upplösning i underlaget blir det möjligt att nyttja markens tillväxtpotential bättre.

Skogforsk utvecklar eller förvaltar inte färdiga verktyg, utan resultatet som presenteras i denna rapport är ett koncept för hur skördardata tillsammans med ALS-data kan nyttjas för att bättre uppskatta planteringsareal och behov av plantor. Koncept, algoritmer och pseudokoder presenteras för att de ska kunna implementeras lokalt i enskilda företags olika system. Det egenutvecklade Python-skriptet *Plant_area.py*, finns tillgängligt via Skogforsks interna Azure DevOps-miljö https://skogforsk.visualstudio.com/_git/FRJO?path=/notebook1.py.

När vi i denna rapport använder ordet ”verktyg” menar vi det koncept som ligger till grund för ett implementerbart verktyg.

Material

Studieområden och skördardata

Till denna studie nyttjades data från fyra trakter med skördardata (Figur 1). Till trakterna fanns även uppgifter om avverkningsanmäld areal.



Figur 1. Karta med de fyra studieområdena som analyseras i studien: Tjammyrtorp, Butorp, Hacken och Fagerberg.

Observera dock att samtliga exempel i denna rapport baseras på Fagerbergtrakts dataunderlag. Övriga trakter redovisas översiktligt i appendix A-C.

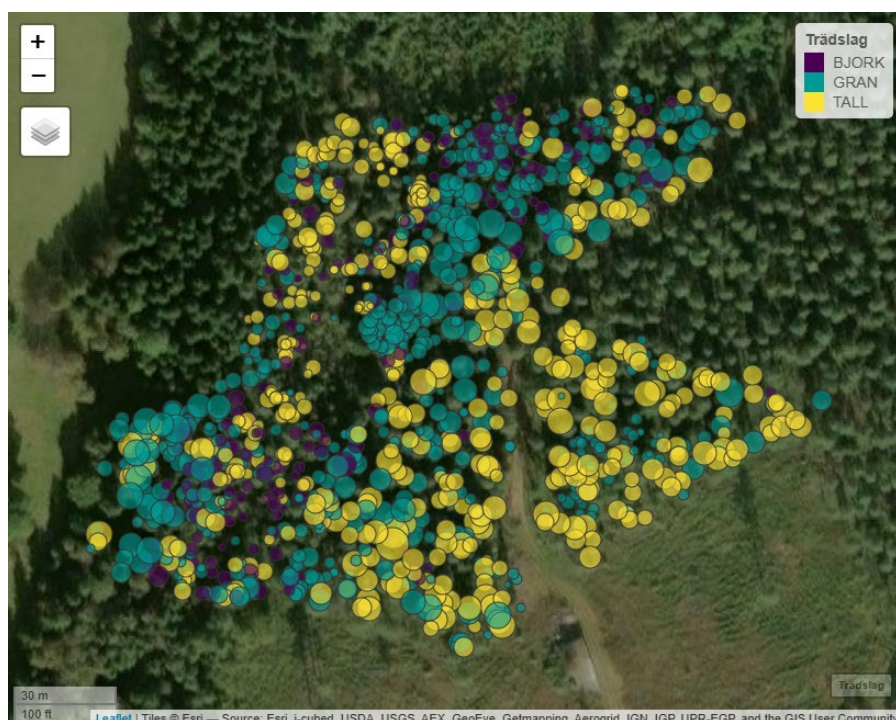
Vid projektets början loggades gps-positionen fel, på ett till synes icke-systematiskt sätt som det då inte gick att korrigera för. Denna skördare gick även i mycket stor utsträckning i gallringsbestånd varför data från väldigt få trakter kunde användas. Därför kompletterades studien med trakter från Stora Enso.

Studien använde hpr-filer från slutavverkningar från två källor:

- Företaget Sydveds geografiska verksamhetsområde, södra Sverige. En av Sydveds entreprenörer, Hultsjö, lät montera en ny gps-utrustning på en av sina skördare, modell Komatsu 901. Utrustningen är utvecklad av Komatsu. Vi nyttjade även filer som Stora Enso delade med sig av.
- Hpr-data som samlas in av skördare utrustade med precisa GNSS-system för kranpositionering har hittills inte gjorts tillgängliga för forskning i större skala.

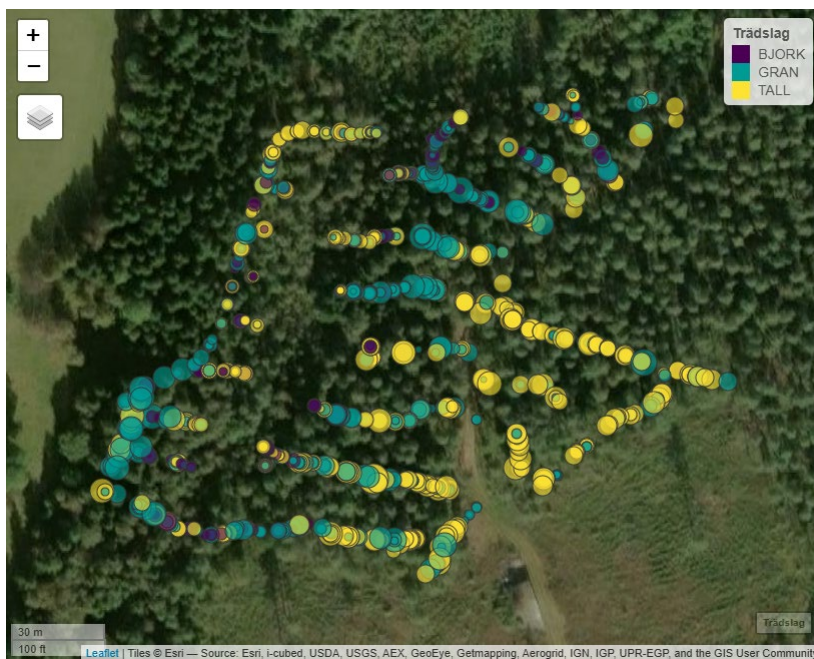
Eftersom teknologin är relativt ny pågår fortfarande utvärderingar av systemets användbarhet och positionsnoggrannhet. Enligt pågående studier och personlig kommunikation med privata aktörer förväntas dock ett positioneringsfel på trädnivå vara mindre än 0,5 meter.

Den nya teknologin möjliggör registrering i hpr-filer av både kranpetsens positioner (Figur 2) och skördarhyttens positioner (Figur 3). Den tidigare teknologin – som fortfarande används i majoriteten av skördarflottan i Sverige – tillåter endast registrering av hyttens position. Detta gör det svårt att beräkna kranpetsens position med tillräcklig noggrannhet, där det förväntade positioneringsfelet ligger mellan 5 och 10 meter, men ibland upp till hela kranens räckvidd.

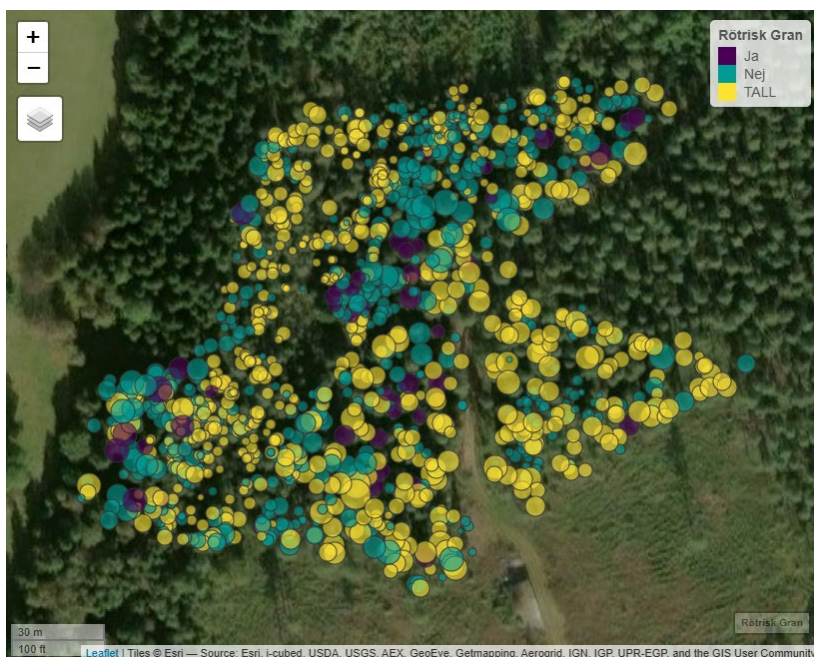


Figur 2. Trädpositioner på Fagerbergstrakten. Cirkarna som visar kranpetsens positioner är färgkodade efter trädslag (björk, gran och tall). Cirkarna är proportionella mot brösthöjdsdiametern, som har hämtats från hpr-filerna.

Vid skörd registreras även trädslag (Figur 2 & 3). I stället för att låta mjukvaran styra var första kap på stocken ska göras, kan skördarföraren välja att kapa tidigare. Om det gäller gran kan detta tolkas som förekomst av röta (Figur 4).



Figur 3. Kartlagda hyttpositioner på Fagerbergstrakten. Cirklarna som visar hyttens positioner är färgkodade efter trädslag (björk, gran och tall). Cirklarna är proportionella mot brösthöjdsdiametern, som hämtats från hpr-filerna.



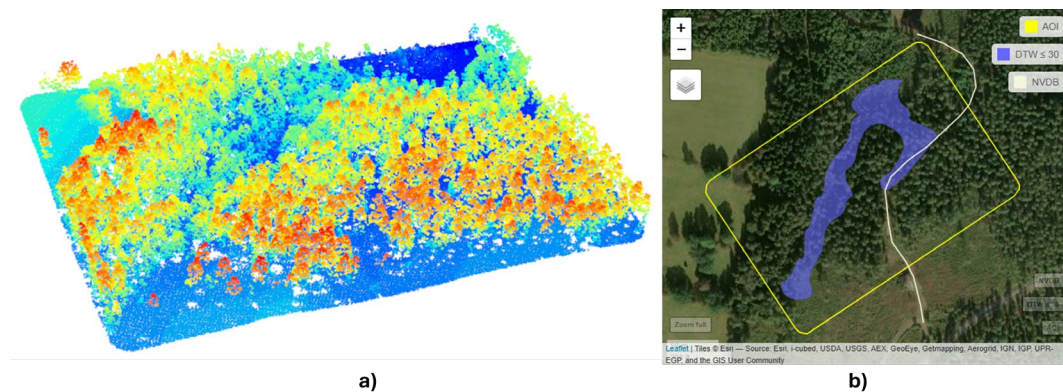
Figur 4. Kartlagda trädpositioner på Fagerbergstrakten. Cirklarna som visar hyttens positioner är färgkodade efter risken för förekomst av rotröta hos gran. Cirklarna är proportionella mot brösthöjdsdiametern, som har hämtats från hpr-filerna.

Geo-data

Geodata som nyttjades i studien var även:

- Tredje och senaste nationella ALS-data från lantmäteriet (3D), tillgänglig i LAS-formatet för punktmolndata (Anon 2026a).
- DTW-kartor (där DTW står för Depth-To-Water) som visar markfuktighet beräknat som avståndet (cm) ner till en modellerad grundvattenyta (Anon 2026b). DTW användes för att ta höjd för de partier i landskapet som är för torra eller för blöta för plantering.
- Nationella vägdatan (NVDB) för att kunna avgränsa hyggesgränser mot väg i vektor format (Anon 2026c).

Ett exempel på de utvalda geodatakällor som används för analyser på Fagerberg-området presenteras i Figur 5.



Figur 5. Exempel på geodata som används för analyser på Fagerberg-området: ALS-data från den nationella skanningen med ellipsoidala höjder (Figur 5a), samt en karta över markfuktighetsområden med överlagrad NDVB vägmärkning (Figur 5b).

Metod och Resultat

Förutom arealangivelserna i avverkningsanmälningar kan som sagt planteringsarean beräknas på två olika sätt beroende på noggrannhet i positionering. Förenklad beräkning utan laserdata (Förenklad metod) och den utvecklade metoden med kranspetspositionering och laserdata (Utvecklad metod).

Analyserna utfördes med den egenutvecklade koden:

- Python-skriptet `Plant_area.py`, tillgängligt via Skogforsks interna Azure DevOps-miljö (<https://tinyurl.com/3xvusxpm>).
- R-skriptet `Fagerberg_example.R`, tillgängligt via Skogforsks interna Azure DevOps-miljö PrecisionPlanting – Repos

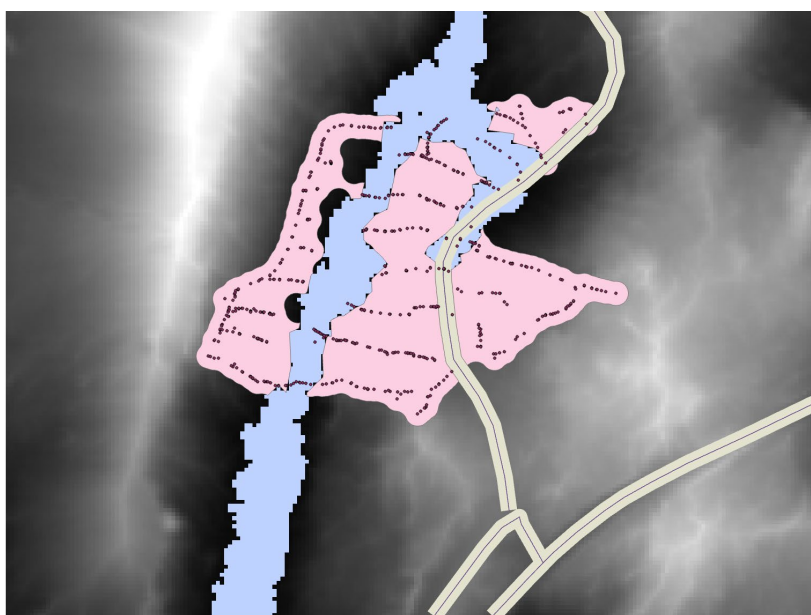
Förenklad metod

För att avgränsa potentiella planteringsytor runt registrerade trädpositioner och maskinspår genomfördes en GIS-analys i ArcGIS Pro med hjälp av ett automatiserat Python-skript (ArcPy). Analysen kombinerade HPR-filer med fuktighetsindex (DTW), och

med vektorlager över vägar samt manuellt kompletterade vägar som saknades i NVDB men som hade inverkan på arealen.

För varje studieområde ("trakt") användes punktlager som representerar antingen maskinpositioner eller individuella träd. Punkternas geografiska utbredning användes för att skapa en buffertzona vars storlek varierade beroende på data typ: 12 m (maskinposition) respektive 5 m (träd dvs. kranspetsposition). Den maskinbaserade bufferten på 12 meter reducerades därefter med en negativ buffert på 6 meter till en 6 meters buffert längs traktgränserna för att bättre motsvara den faktiska planteringsbara ytan, medan trädvarianten behöll den ursprungliga utbredningen. Mindre hål (<50 m² för maskin och <40 m² för träd) eliminerades för att få sammanhängande ytor.

Det hydrologiska rasterlagret (DTW) avgränsades till traktens utbredning plus 100 m marginal och omklassificerades så att celler med värden 0–30 cm markvattennivå (dvs. potentiellt fuktiga områden) markerades. Resultatet konverterades till polygoner och kombinerades med vägdata genom en Merge + Dissolve-operation, vilket skapade en sammanhängande "no-go-yta". Denna yta användes som erase-lager för att ta bort olämpliga områden från bruttoarean, vilket gav en nettoyta med potentiell planteringsareal (Figur 6).



Figur 6. Beräknad planteringsyta (rosa) baserad på maskinposition med avdrag för väg (beige) och ytor där DTW < 30 (blå), exemplifierad på Fagerberg.

I en implementering av verktyget är det oproblematiskt att skapa en användaryta där alla avstånd på buffertar och urval av fuktighetsindex kan justeras manuellt, och därmed anpassas till regionala-, lokala- eller företagsspecifika behov.

I denna rapport redovisas resultatet av arealberäkningen från maskinposition. En bruttoyta beräknad utifrån maskinens position och en yta efter avdrag men antagande att ett DTW < 30 inte planteras.

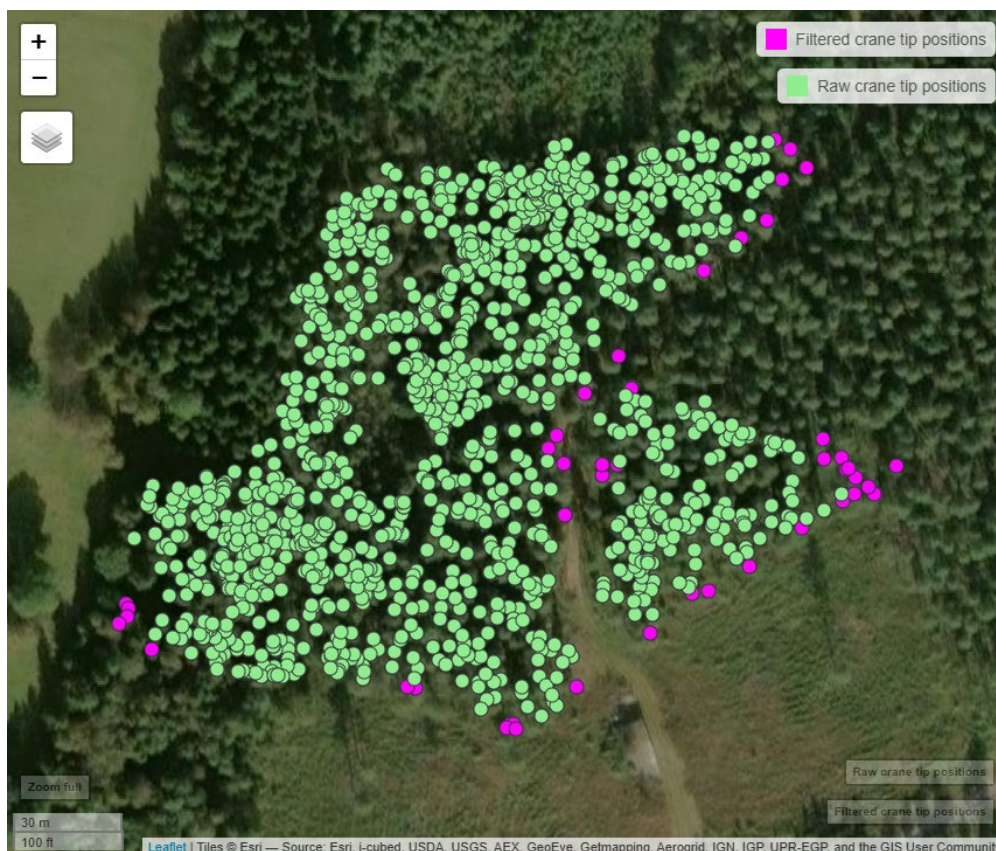
Utvecklad metod

Den övergripande metoden var att använda punktmolnet från lantmäteriets flygburna laserskanning (ALS), från vilken det var möjligt att approximera samtliga träd som fanns på trakten innan avverkning, genom att använda segmentering av trädkronor. Dataprocessering och analyser gjordes i R-programmeringsspråk version 4.4.3 (R Core Team 2025).

Steg 1. Avgränsa trakten

Bortrensning av outliers

Hpr-datafiler från skördare innehåller detaljerade uppgifter från skördarens aktiviteter, men inkluderar ofta information som inte är relevant för det specifika skogsområdet som analyseras. Detta kan omfatta träd som har avverkats längs angränsande vägar, gränsträd från närliggande bestånd samt GNSS-positioneringsdata som har loggats under maskinens rörelse utanför analysområdet. För att säkerställa analytisk noggrannhet krävdes en filtrering av datasetet för att isolera de relevanta träden. Som ett första filter användes klustringsalgoritmen HDBSCAN (McInnes & Healy 2017), implementerad i R-paketet 'dbscan' (Hahsler m.fl. 2019), för att identifiera rumsliga avvikare som inte tillhör huvudklustret för avverkningen (Figur 7).



Figur 7. Kranspetspositioner för individuella träd från hela HPR-datasetet (i grönt) och positioner/träd bortfiltrerade med HDBSCAN-algoritmen (i lila).

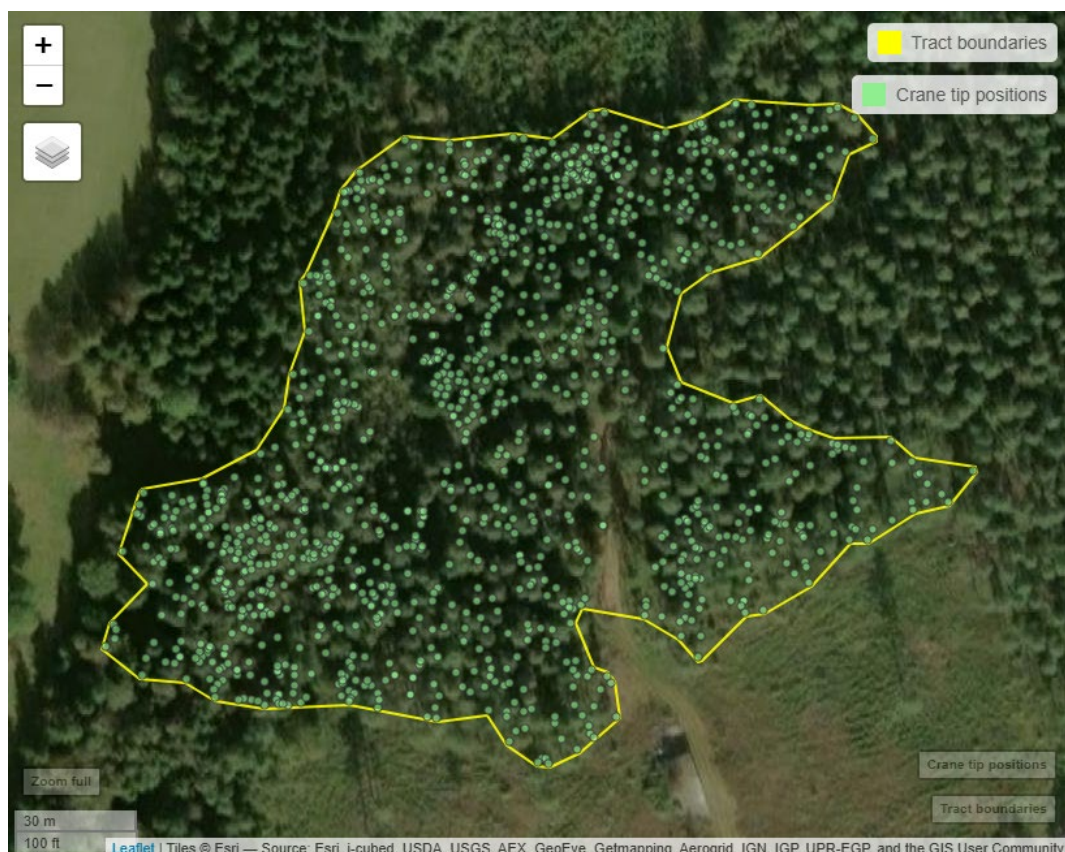
Det slutgiltiga beslutet om att behålla eller ta bort dessa avvikare baserades på tillgänglig kunskap om lokala förhållanden. Efter visuell inspektion inkluderades till exempel avvikarna på Fagerbergstrakten i alla efterföljande analyser på grund av de diffusa gränserna för det avverkade området. Traktgränserna avgränsades iterativt.

Traktgränsen genererades med hjälp av en iterativ algoritm för konkav gränsdragning, tillämpad på både kranspets- och hyttpositioner. En konkav gräns skapar en omslutande polygon som följer punktfördelningen mer exakt än en konvex gräns, vilket minimerar den inneslutna ytan samtidigt som alla punkter inkluderas. Denna operation utfördes med hjälp av R-paketet 'sf' (Pebesma 2018, Pebesma & Bivand 2023). Målet med iterationen var att automatiskt fastställa en lämplig gräns som fångar det huvudsakliga avverkningsområdet utan att påverkas oproportionerligt av glesa avvikare.

Genereringen av traktgräns beräknades enligt följande:

- **Iterativ gränsgenerering:** Algoritmen startade med ett lågt förhållandevärde på 0,005, vilket ger en mycket detaljerad och tät gräns. Förhållandet ökades därefter stegvis med 0,005 i varje iteration. Vid varje steg genererades en ny konkav gräns baserat på geometrin från de föregående iterationerna.
- **Stoppvillkor:** Iterationen fortsatte tills ett stoppvillkor uppfylldes. Detta baserades på den kumulativa ytan av de successiva gränserna. Loopen avslutades när den kumulativa ytan från de första iterationerna (med lägst förhållandevärde) utgjorde mer än 80 % av den totala kumulativa ytan. Denna heuristik indikerar att efterföljande, större förhållandevärden tillförde oproportionerligt stora och sannolikt oönskade ytor (t.ex. genom att binda samman avlägsna avvikare).
- **Slutlig gränskonstruktion:** Det optimala förhållandet fastställdes som det sist skapade värdet innan stoppvillkoret utlöstes. Den slutliga områdesgränsen skapades i två steg: först genom att generera en detaljerad gräns med det initiala förhållandet (0,005), och därefter genom att generalisera denna gräns med det optimerade förhållandet. Detta sista steg säkerställer att gränsen är jämn och representativ för det centrala avverkningsområdet.

I den fortsatta analysen kommer vi att referera till denna polygon som områdets bruttoyta. Figur 8 visar ett exempel på den resulterande gränspolygonen för Fagerbergstrakten.



Figur 8. Traktgränser för Fagervik-trakten skapade med hjälp av kranspetspositioner och iterativ algoritm för konkv gränsdragning.

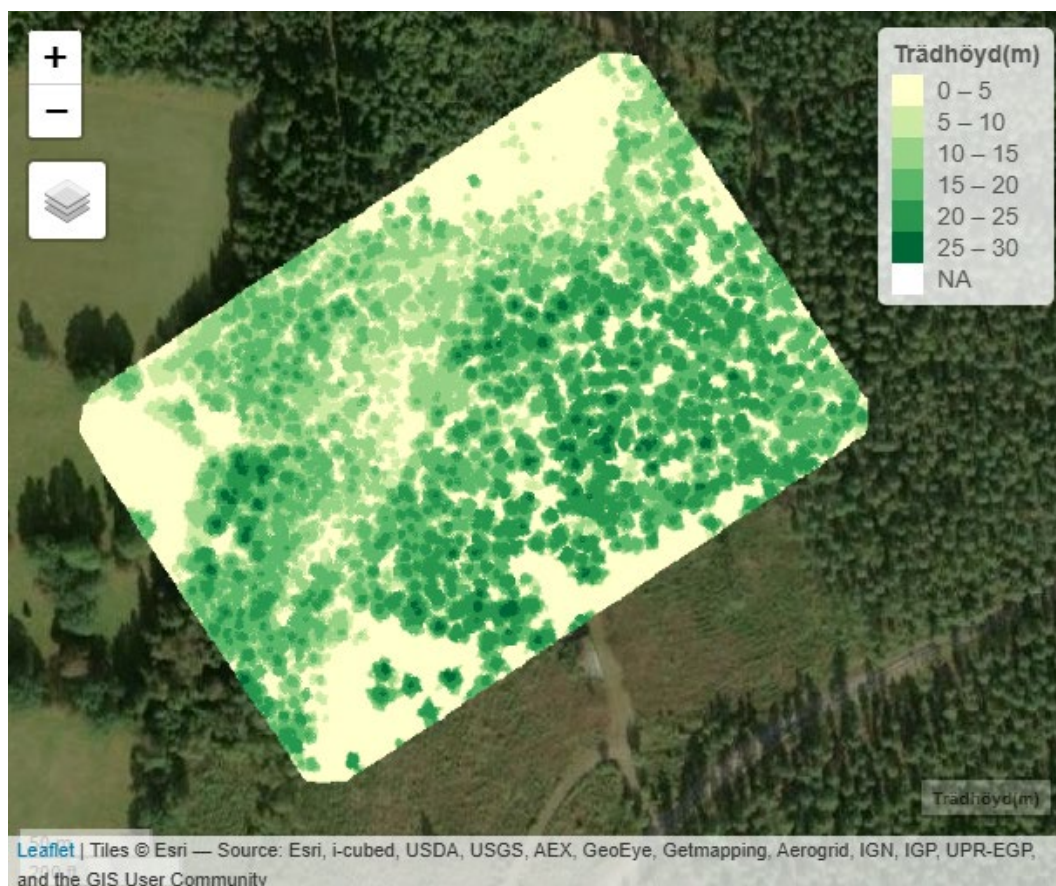
Steg 2. Rasterisering av ALS-data.

ALS-punktmolnet, som hämtats från Lantmäteriet, innehåller träffar från både markytan (punktklass 2) och vegetationen (punktklass 3). Detta möjliggjorde skapandet av en digital terrängmodell (DTM) från markpunkterna och en kronhöjdsmodell (CHM) från vegetationspunkterna, vilket representerar trädens höjd över markytan (Figur 9).

Innan CHM:n genererades höjdanpassades punktmolnet i förhållande till DTM:en, vilket innebar att ellipsoidala höjder omvandlades till höjder över terrängen. Eftersom punktätheten i laserskanningen varierar över landskapet, anpassades rasterupplösningen därefter. Upplösningen för både DTM och CHM bestämdes enligt metoden från Chen m.fl. (2006), definierad som:

$$r = \sqrt{1/d_p}$$

, där r är upplösningen i meter och d_p är punktätheten per kvadratmeter. Bearbetningen av ALS-data genomfördes med hjälp av R-biblioteket 'lidR' (Roussel m.fl. 2020, Roussel & Auty 2025).



Figur 9. Kronhöjdsmodell (CHM) framtagen med 0,5 meters rumslig upplösning från de första träffarna i ALS-punktmolnet vid Fagerberg-lokalen.

Steg 3. Kronsegmentering

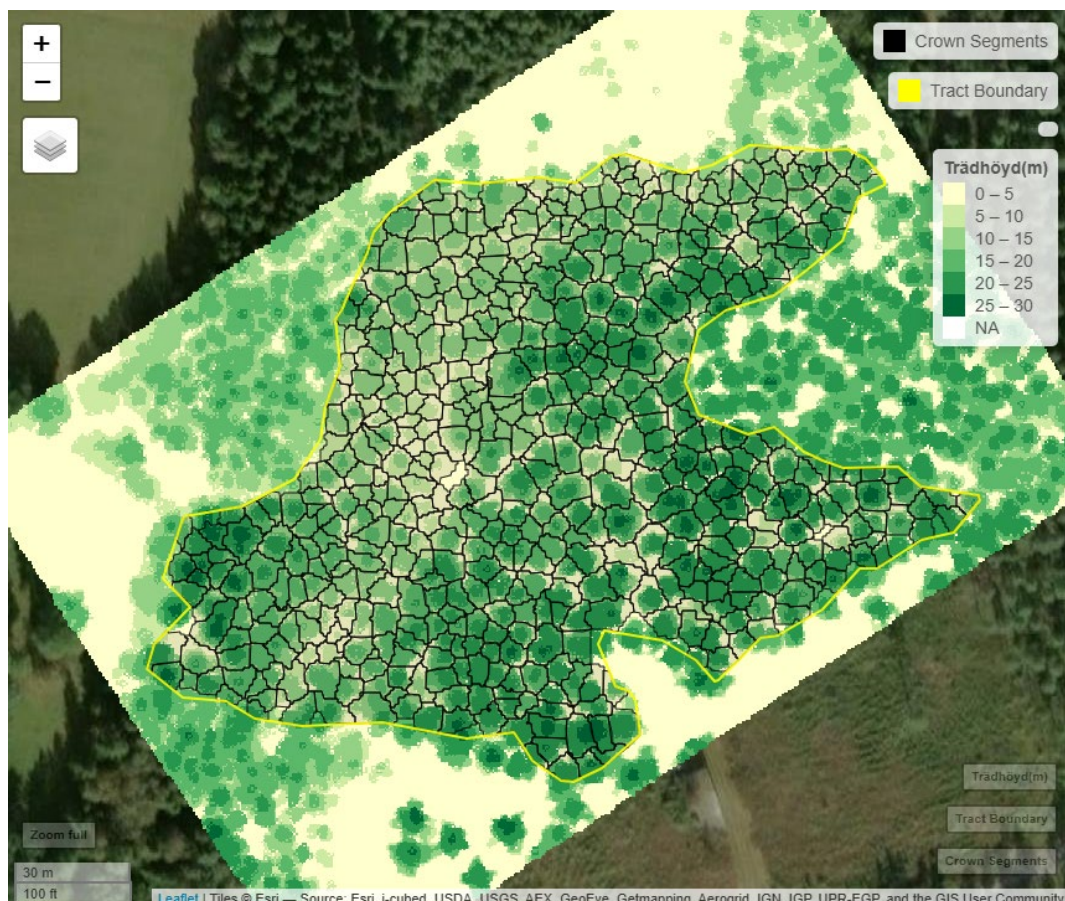
Kronsegmentering genomfördes i två på varandra följande steg:

- (1) identifiering av trädkronor som lokala maxima i en utjämnad CHM
- (2) avgränsning av individuella kronpolygoner baserat på dessa identifierade punkter.

För att optimera CHM:en för identifiering av trädkronor användes en iterativ fokal-filtreringsprocess med Gaussiska lågpassfilter. De optimala utjämningsparametrarna – antal iterationer och filterstorlek – bestämdes genom analys av kurvan för sambandet mellan lokala maxima och utjämnning (LMSR) (Pouliot m.fl. 2005). LMSR-kurvan förfinades först med LOESS-utjämnning, och dess brytpunkt, som indikerar en signifikant förändring i utjämnings effektivitet, identifierades med hjälp av segmenterad regression (Fasola m.fl., 2018). Denna systematiska metod minimerade brus samtidigt som de morfologiska egenskaper som är avgörande för korrekt identifiering av trädkronor bevarades.

Därefter användes en markörbaserad watershed-segenteringsalgoritm, implementerad i R-paketet "ForestTools" (Plowright 2024), för att avgränsa de slutliga kronpolygonerna från CHM:n med hjälp av de identifierade trädkronorna.

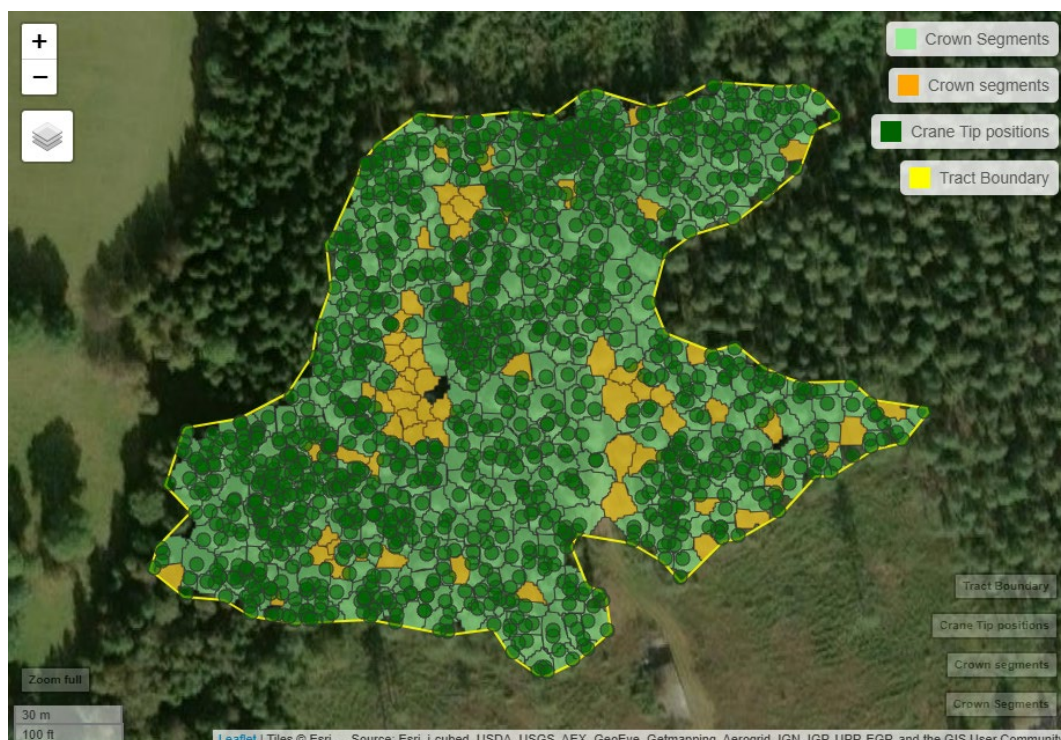
Denna metodik är mest tillförlitlig för att detektera större träd. Deras framträdande höjd och kronstorlek gör att de dominerar det lokala landskapet, vilket minimerar störningar från omgivande vegetation. Som en följd av detta slås träd i undervegetationen och undertryckta individer ofta samman med kronan från närmaste större träd. Den resulterande kronkartan (Figur 10) bör därför inte tolkas som en fullständig inventering av alla träd, utan som en representation av skogens framträdande kronskikt. Den visar främst den rumsliga fördelningen och storleken på dominanta och meddominanta individer.



Figur 10. Segmenterad CHM för testområdet Fagerberg. Gränserna för kronsegmenten (i svart) är överlagrade på kronhöjdsmodellen.

Steg 4. Matchning av kronsegmenteringen med hpr-data.

Syftet med detta steg var att identifiera träd inom kronsegmenteringen som sannolikt hade lämnats kvar vid avverkning. Detta uppnåddes genom att rumsligt koppla alla avverkade träd från skördarens hpr-filer till motsvarande kronsegment baserat på deras koordinater. Kronsegment som inte var kopplade till minst ett avverkat träd klassificerades som kvarlämnade träd, vilket inkluderar kategorier som naturvårdsträd, fröträd, hög- eller kulturstubbar (fler kategorier kan förekomma), vilket illustreras i Figur 11.



Figur 11. Segmenterad CHM för testområdet Fagerberg med kranspetspositioner i plan projicerade som mörkgröna cirkclar. Kronsegment som inte matchats mot någon kranspetsposition visas i orange. Kronsegment som överlappar med minst en kranspetsposition visas i ljusgrönt.

Steg 5. Aggregering av kronsegment till funktionenheter

Att analysera individuella trädsegment bedömdes som olämpligt på grund av den låga punkttheten i ALSdata, vilket begränsar möjligheten att upptäcka relevanta förändringar på mycket lokal skala. För att möjliggöra mer robusta och relevanta analyser aggregerades därför kronsegmenten till större funktionella enheter, benämnda beräkningsytor, med en målstorlek på 500 m². Denna skala valdes för analyser på beståndsnivå, men kan justeras av användaren beroende på tillämpning.

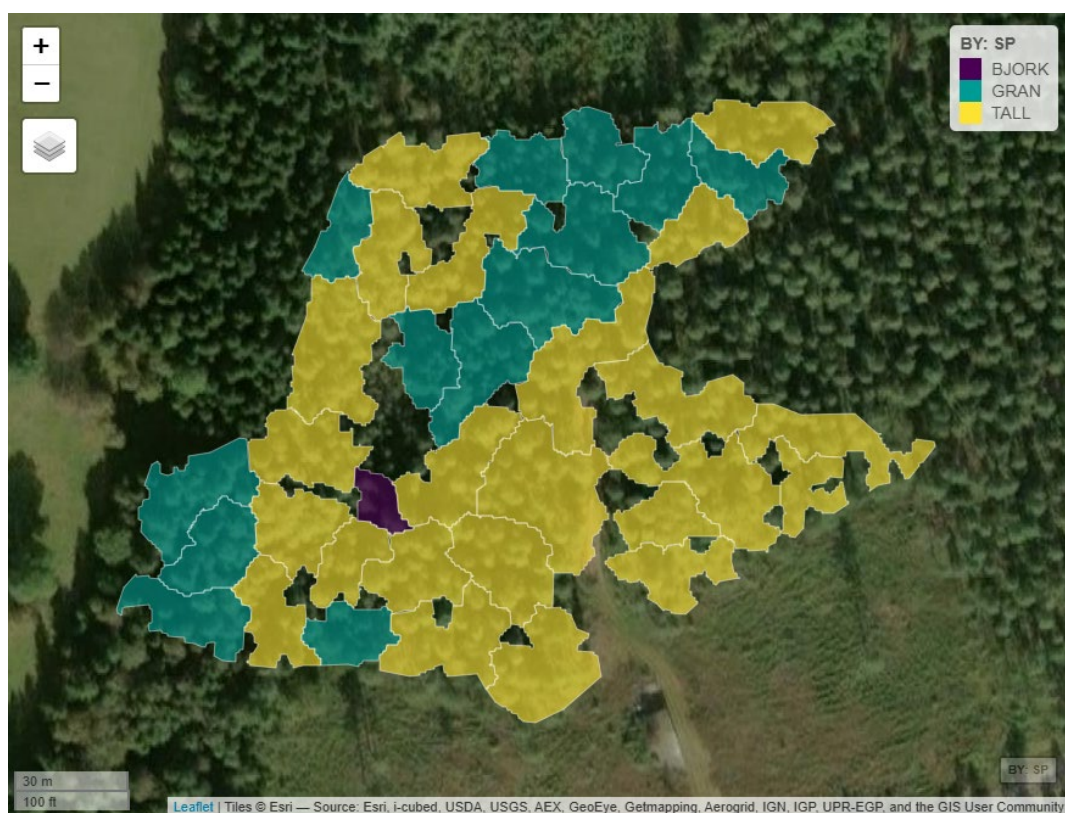
Aggregeringen genomfördes med en iterativ, grafbaserad klustringsmetod med hjälp av Leiden-algoritmen för community detection (Traag m.fl. 2019), implementerad i R-paketet igraph (Csárdi m.fl. 2025), uppdelat i fyra huvudsteg:

1. **Grafkonstruktion:** En rumslig graf konstruerades där varje nod representerade ett kronsegment, definierat av dess tyngdpunkt. Förbindelser (kanter) mellan noder etablerades baserat på ett avståndströskelvärde, definierat som det maximala närmaste grannavståndet i datasetet. Detta säkerställde lokal konnektivitet och möjliggjorde skapandet av en närhetsmatris som omvandlades till en graf.
2. **Iterativ parameteroptimering:** Leiden-algoritmen kräver en upplösningsparameter som styr storleken och antalet resulterande kluster. För att identifiera det optimala värdet, målet om 500 m², kördes algoritmen iterativt över ett intervall av upplösningvärden (från 1 till 20 steg om 0,25). För varje

värde beräknades den genomsnittliga arean för de resulterande klustren efter att geometrin för deras ingående kronsegment slagits samman.

3. **Val av optimal upplösning:** Det upplösningssvärde som resulterade i en genomsnittlig klusterarea närmast målet om 500 m² valdes för den slutliga klustringen.
4. **Klusteravgränsning:** Den slutliga tillämpningen av Leiden-algoritmen med den optimerade parametern tilldelade varje segment ett kluster. Slutresultatet är ett antal klusterpolygoner som representerar den sammanslagna geometrin för alla kronsegment inom respektive identifierad community.

Den resulterande klustringen av kronsegment till funktionella enheter för Fagerbergstrakten visas i Figur 12.



Figur 12. Funktionella enheter för Fagerberg-området. Den dominerande trädarten (i volym) inom varje segment indikeras med färg.

Steg 6. Beräkning av ståndortsindex och risken för rotröta

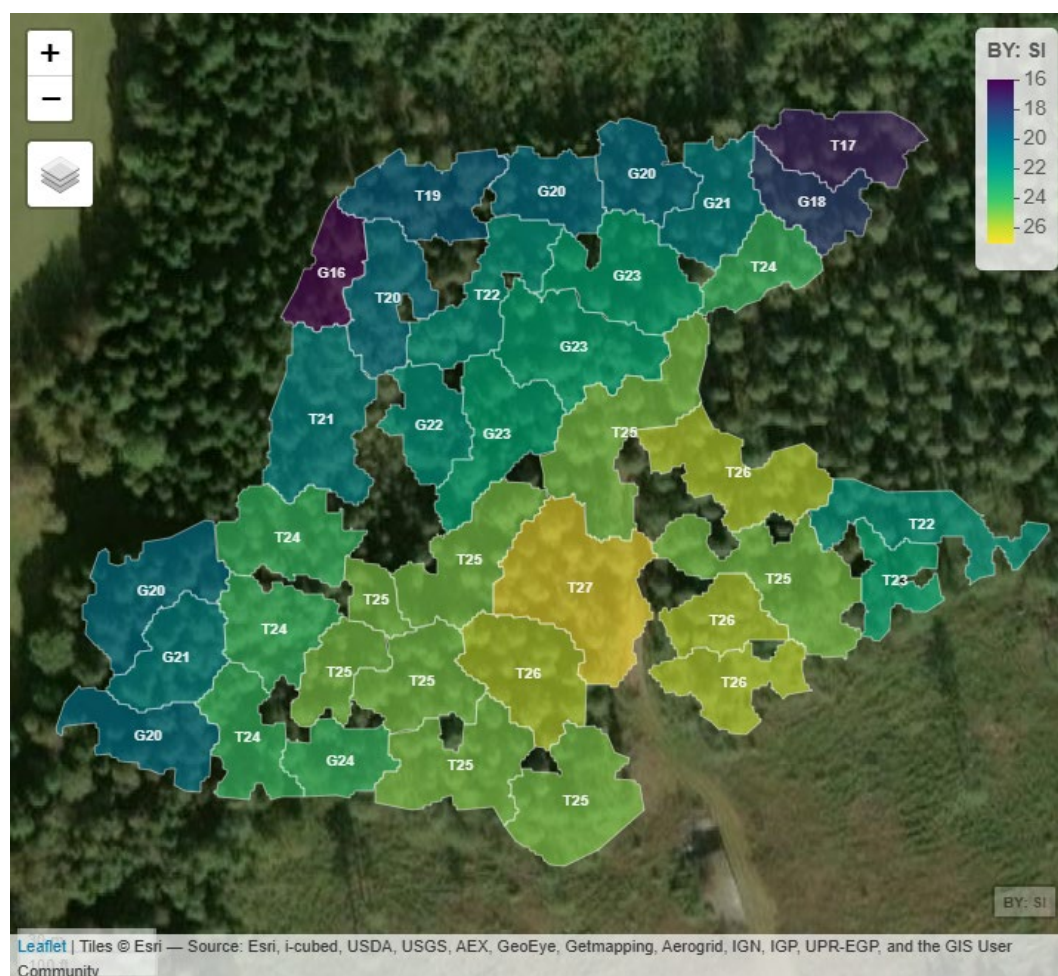
Skattning av beståndsålder och ståndortsindex (SI) genomfördes med en metodik anpassad från Möller m.fl. (2024), som bearbetar skördarens produktionsdata genom en sekventiell, automatiserad rutin. Förfarandet inleds med rådata från skördaren, inklusive trädhöjder, trädslag, geografiska koordinater och höjd över havet. Dessa indata används för att härleda nyckelvariabler såsom latitud, övre höjd och dominerande trädslag för varje funktionell enhet.

En initial uppskattning av SI genereras först baserat på temperatursumman, som i sin tur beräknas utifrån platsens latitud och höjd över havet. Denna preliminära uppskattning är artspecifik, med separata modeller för gran respektive tall. Om beståndsåldern är okänd

beräknas den automatiskt med hjälp av sambandet mellan övre höjd och ålder enligt Elfving och Kiviste (1997). För gran tillämpas en treårig korrektion i ett mellanliggande beräkningssteg. Vid slutavverkning begränsas den beräknade åldern av minimi- och maximivärden för att säkerställa biologisk rimlighet.

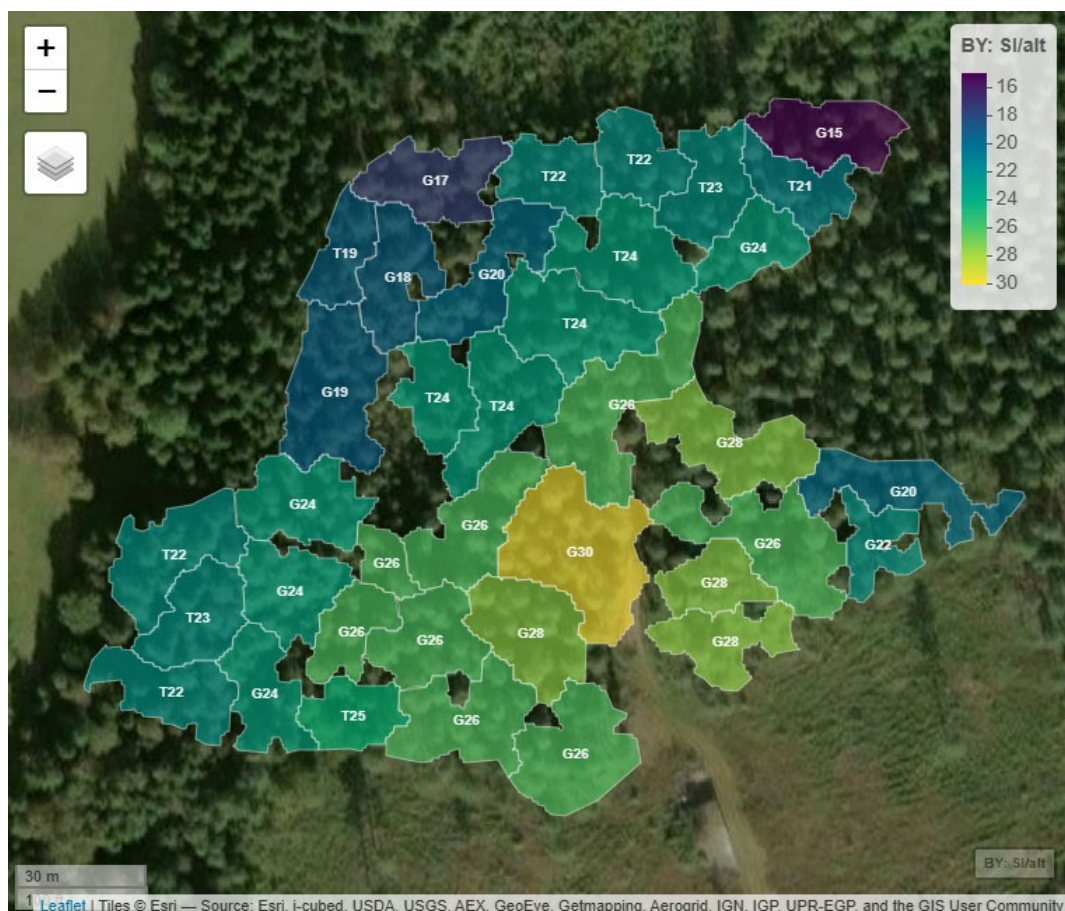
Det slutliga, justerade ståndortsindexet bestäms därefter genom att den beräknade åldern och uppmätt övre höjd matas in i tillväxtmodellen.

Ett exempel på SI-beräkning för Fagerberg-området visas i Figur 13.



Figur 13. Beräkning av ståndortsindex för gran (G) och tall (T) inom funktionella enheter för Fagerbergstrakten.

I vissa fall kan användaren önska att byta trädslag, till exempel vid låga SI för gran då man kan välja att byta till tall, eller vid höga SI för tall kan man önska att byta trädslag till gran. I en tillämpning av indexet kan man välja att skapa ett användargränssnitt för sådana justeringar i villkoren. Användaren kan också välja att justera val av trädslag för plantering utifrån dominerande trädslag. Se exempel i Figur 14.

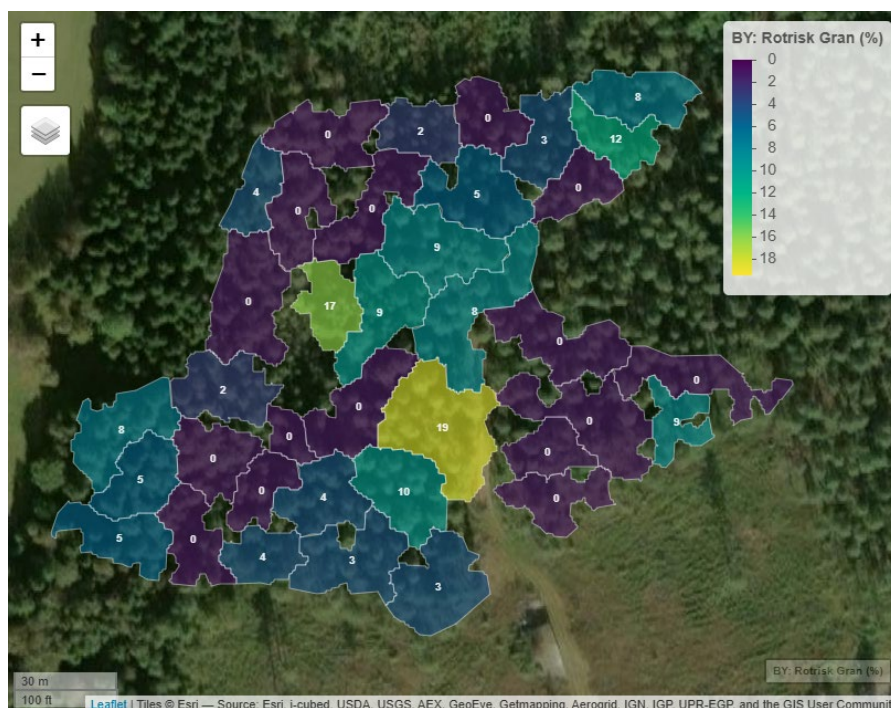


Figur 14. Alternativ beräkning av ståndortsindex för gran (G) och tall (T) inom funktionella enheter för Fagerbergstrakten, med hänsyn till förändringar i dominerande trädslag (gran–tall och gran–gran).

Förebyggandet av rotröta kan vara en avgörande faktor för att skapa förutsättningar för ett nytt, högkvalitativt skogsbestånd. För att bedöma denna risk använde vi data från skördarens logg (hpr-filer), där det loggas om varje stam har bearbetats i automatiskt (optimerad aptering) eller manuellt (operatörsbestämd) läge.

Ett manuellt ingrepp vid apteringen av de första stockarna på en stam av gran är en stark indikation på rotröta, eftersom operatören då måste justera snittet på grund av röta vid stambasen. Därför uppskattades risken för rotröta inom en beräkningsyta genom att summera förekomsten av manuellt apterade förstastockar av gran över samtliga stammar.

Vanligaste åtgärden är att byta trädslag på platser med hög risk för angrepp. Ett exempel på beräkning av rotröterisk för Fagerbergstrakten visas i Figur 15.



Figur 15. Beräkning av rotröterisk (0–100 %) inom funktionella enheter för Fagerbergstrakten.

Steg 7. Uppskattning av planteringsareal

Den planterbara arealen definieras som mark som är lämplig för markberedning och plantering. För att beräkna denna drogs följande kategorier bort från bruttoarealen på 1,95 ha:

- Områden intill mindre vägar, definierade genom att tillämpa en användardefinierad buffert kring vägmittlinjer från NVDB-databasen (0,13 ha).
- Skyddszoner, inklusive buffertar kring kulturmiljöer, skyddade träd och stubbar (0,01 ha).
- Områden täckt av kvarlämnade träd, identifierade från ALS-data (0,19 ha).

Detta resulterade i totalt 1,62 ha som potentiellt är lämpliga för mekaniserad markberedning och plantering.

Därutöver bör även områden som upptas av icke-planterbara element, vattendrag och andra marktyper utanför skogsmark exkluderas om de identifieras på platsen.

Högfuktighetsområden (0,64 ha), definierade som platser där grundvattennivån är grundare än 0,3 meter under markytan, är generellt inte lämpliga för mekaniserade åtgärder som markberedning. Dock kan naturlig föryngring fortfarande ske på sådana platser, och vissa skogsägare har instruktioner om att plantera även på vissa icke-markberedda ytor. Därför bör det slutliga beslutet om huruvida dessa områden ska exkluderas från planteringsarealen lämnas till användaren och till varje region eller det enskilda fallet.

Figur 16 visar bruttoarealen för Fagerbergstrakten (1,95 ha) uppdelat i flera nyckelkomponenter:

- Område där träden är avvercade (1,67 ha).

-

Vid fältbesöket på Fagerbergstrakten den 2 oktober 2025 kunde algoritmen verifieras i praktiken. Tillsammans med representanter från Sydved diskuterades några traktsspecifika avvikelser kopplade till hanteringen av våta områden och en fröträdsställning.

I samma tabell återfinns även den areal som angavs vid avverkningsanmälan. För alla trakterna är arealen större för anmälan än den uppmätta arealen efter avverkning, vilket även är normalt när den anmälda arealen är en bruttoareal inklusive hänsynsområden. För de fyra trakterna motsvarar skillnaden 12 procents avdrag i areal. Arealuppskattningen med enbart skördarpositioner och när man angivit 50 m² som

minsta yta för att modellen ska skatta området som avverkat, är i genomsnitt 5 procent. En mindre yta än 50 m² ger i sin tur mer yta som inte klassas som föryngringsyta.

Det uppdaterade Plantbeställningsverktyget (PBV) ger ytterligare förfining av underlaget, men ytterligare uppföljning krävs för att utvärdera hur mycket bättre underlaget blir kopplat till olika förutsättningar.

Tabell 1. Arealen i hektar för de fyra undersökta trakterna i studien, särskilt med avseende på hur olika metoder för arealuppskattning ger varierande resultat för planteringsytor.

Trakt	Avverkningsyta enligt Skogsstyrelsen ¹	Avverkningsanmälan	Förenklad PBV (utan laserdata ²)	Uppdaterad PBV med laserdata
Fagerberg	1,7	1,9	1,8 (1,4)	1,62
Tjammytorp	6,9	8,5	7,4 (6,7)	7,22
Butorp	12,6	13,6	13,5 (13,5)	13,92
Hacken	6,4	7,3	7,2 (6,7)	6,57

Utvärdering och Diskussion

Utveckling av Plantbeställningsverktyget (PBV)

Utvecklingen av det nya plantbeställningsverktyget följde den grundläggande designprincipen "Separation of Concerns" (ungefär: modulär design). Det innebär att vi strukturerade verktyget som en uppsättning utbytbara moduler, där varje modul (eller komponent) ansvarar för en specifik uppgift.

Den största fördelen med detta är flexibilitet: Om vi vill förbättra en viss funktion – till exempel göra positioneringen ännu mer exakt – behöver vi bara justera eller ersätta den enskilda modulen. Vi riskerar inte att oavsiktligt påverka andra delar.

Plantbeställningsverktygets funktion

Huvudresultatet från Plantbeställningsverktyget är en visuell karta och en sammanställning av planteringsytor inom en trakt, där olika täthetsmål och total areal visas. Användaren kan enkelt anpassa verktyget genom att ange vilka trädslag och vilken planteringsdensitet som ska användas i olika zoner.

Även om verktyget för närvarande använder två trädslag, gör den nya modulära strukturen det enkelt att lägga till stöd för ytterligare trädslag i framtiden.

¹ Från Skogsstyrelsens geodata (<https://geodpags.skogsstyrelsen.se/geodataport/feeds/UtfordAvverk.xml>) hämtades arealerna för den avverkade ytan som är skattat från förändringsanalys (Avverkningsyta enligt Skogsstyrelsen)

² Avverkad areal beräknat efter maskinposition. Inom parentes efter avdrag av yta med dtw < 30

Det gängse sättet att uppskatta planteringsarealen är att göra arealavdrag. Utgångsläget är traktdirektiv från avverkningen, då planeringen för skogsvården oftast utförs i samband med avverkningsplaneringen. Större hänsyn som lämnas kan då utelämnas från markberedning och planering. Areal som lämnas som generell hänsyn vid avverkningen och som inte ska planteras hanteras med procentuella avdrag som varierar beroende på erfarenheter av de lokala förhållandena. För kuperad mark med bergsimpediment kan det krävas arealavdrag på 25 procent för att anpassa den avverkade arealen till planterbar areal.

Generellt är upplevelsen bland plantörer att det beställs för många plantor till trakterna, och de plantor som blir över planteras i bästa fall på en annan trakt, med risk för nedsatt vitalitet på grund av ytterligare transporter.

Denna studie har teoretiskt visat att kranspetspositionering tillsammans med laserdata kan ge förbättrad plantbeställning. Detta har även verifierats i fält. Fyra trakter är dock för få för att skapa en stabil grund för praktisk användning. Det rekommenderas att tillämpa verktyget på betydligt fler trakter och verifiera ytterligare med fältbesök, bland annat för att finjustera storleken på buffertzonen samt hur hantering av vattenkartan och vägar ska ske.

Slutsats

Det finns behov av att enkelt och tidigt i skogsvårdskedjan få uppgifter om avverkad areal och även vilket trädslag som på sikt ger bäst värdetillväxt. Att beslutsstöd grundat på skördardata är ett värdefullt hjälpmedel har tidigare påvisats. Samtidigt har implementeringen gått långsamt.

Utvecklingen och att fler upptäckt fördelarna med GPS-positionering har gjort att möjligheterna har blivit fler. När noggrannheten kring vilka träd som avverkas förbättras, så förbättras även möjligheterna att kombinera informationen med t.ex. ALS-data.

I denna studie har vi visat att planteringsarean är möjlig att uppskatta noggrannare med tillgängliga digitala underlag i form av laserdata och kranspetspositionering. Laserdata och kranspetspositionering möjliggör även fortsatt utveckling av PBV avseende trädslagsval, plantantal per hektar och ståndortsanpassning allt som ökar precisionen i plantbeställningen till enskilda trakter.

Det kan konstateras att den största vinsten är att gå från schablonbaserad plantbeställning till skördardatabaserad plantbeställning, se Tabell 1. Den riktigt stora förbättringspotentialen med ett kranspetspositionerings- och laserdatabaserat plantbeställningsverktyg kan realiseras först när en ökad punkttäthet i laserdata finns tillgänglig och precisionen på kranspetspositionen säkerställs.

Frågan om huruvida kostnaden för att gå vidare och implementera det uppdaterade verktyget är värd att ta för de besparingar som kan skapas i minskade förluster av plantor, besvaras inte i denna studie. Detta undersöks lämpligen genom fortsatt verktygsutveckling och praktiska försök i fält.

Referenser

- Anon (2026a). Laserdata Nedladdning, skog. Lantmäteriet. (Available at <https://tinyurl.com/48jt8rk6>, last accessed 04 Mar. 26)
- Anon (2026b). Kartor. Skogstyrelsen. (Available at <https://tinyurl.com/3u4ss6dz>, last accessed 04 Mar. 26)
- Anon (2026c). Sveriges vägar på karta via NVDB. Trafikverket (Available at <https://tinyurl.com/2s3fsutb>. Last accessed 04 Mar. 26)
- Arlinger J., Nordström M., Möller J.J. 2012. StanForD 2010 – Modern kommunikation med skogsmaskiner. Arbetsrapport 784-2012, Skogforsk.
- Csárdi G., Nepusz T., Traag V., Horvát S.z, Zanini F., Noom D. & Müller K. 2025. igraph: Network Analysis and Visualization in R. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7682609>, R package version 2.1.4, <https://CRAN.R-project.org/package=igraph>.
- Elfving B. & Kiviste A. 1997. Construction of site index equations for *Pinus sylvestris* L. using permanent plot data in Sweden. *For. Ecol. Man.* 98:125–124.
- Fasola S., Muggeo VMR. & Küchenhoff H. 2018. A heuristic, iterative algorithm for Change point detection in abrupt change models. *Computational Statistics* 33: 997–1015.
- Friberg, G., Jacobson, S., Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Willen, E. 2019. Föryngringsplanering med hjälp av skördarinformation och geodata. Arbetsrapport 1002 2019, Skogforsk.
- Hahsler M., Piekenbrock M. & Doran D. 2019. dbscan: Fast Density-Based Clustering with R. *Journal of Statistical Software* 91(1): 1-30. doi:10.18637/jss.v091.i01
- Hansson L., Rowell A., Rönnqvist M., Flisberg P., Johansson F., Sörensen R., Rossander M. & Jönsson P. 2025. Pathfinder: a tool for operational planning of forest regeneration on clearcuts. *Journal of Forestry Research*, 36:47.
- McInne L. & Healy J. 2017. Accelerated Hierarchical Density Clustering. <https://arxiv.org/pdf/1705.07321>

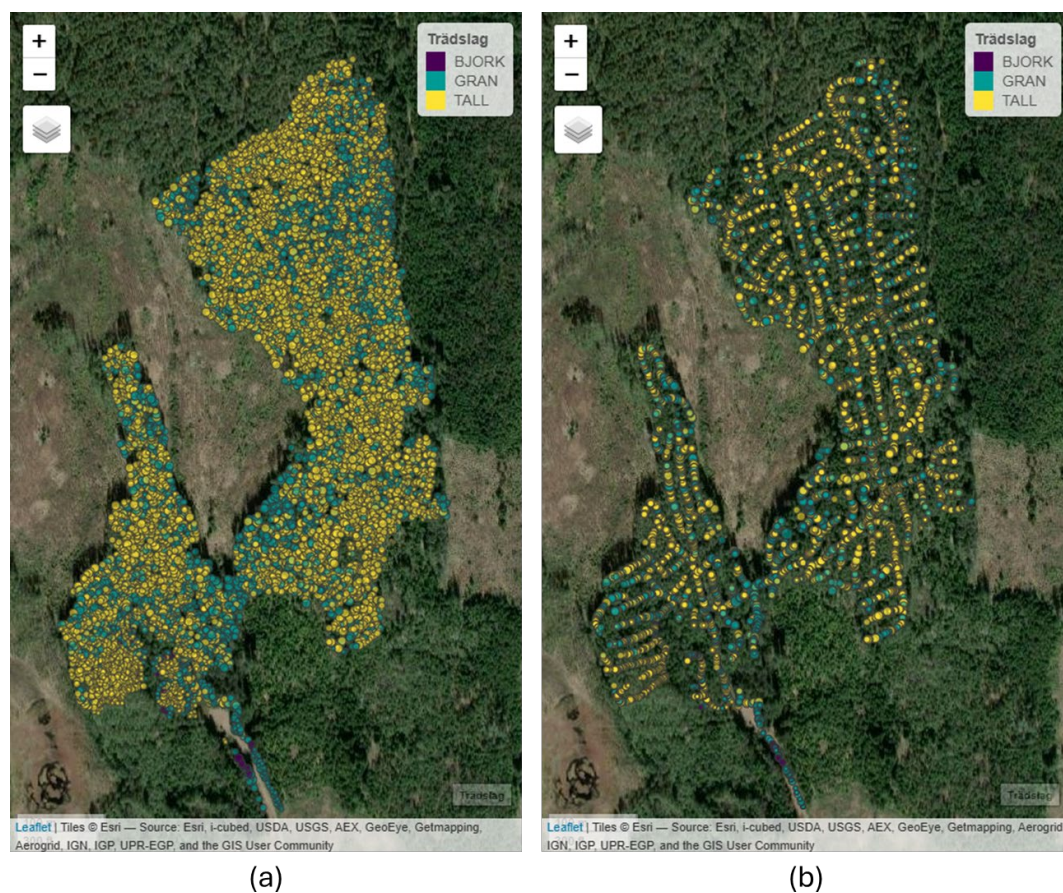
- Möller J.J., Arlinger J., Djupström L., Eriksson I., Hannrup, B. & Hyll K. 2022. Digitaliserad naturvårdsuppföljning – Modellutveckling och utvärdering. Arbetsrapport 1140-2022, Skogforsk.
- Möller J.J., Bhuiyan N., Arlinger J., Eriksson I., Söderberg J. & Hannrup B. 2024. hprYield – beräkningsmodul för generering av geografiskt uppdelade nyckeltal baserade på skördardata. Arbetsrapport 1228-2024, Skogforsk. (in Swedish with English summary). Available at: <https://tinyurl.com/kvdchx3z>
- Naturvårdverket. 2019 Nationella marktäckedata 2018, Teknisk rapport, Utgåva 1.0, naturvårdverket, Stockholm.
- Pebesma E. 2018. Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. The R Journal 10(1): 439-446, <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>
- Pebesma E. & Bivand R. 2023. Spatial Data Science: With Applications in R. Chapman And Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429459016>
- Pouliot D.A., King D.J. & Pitt D.G. 2005. Development and evaluation of an automated Tree detection–delineation algorithm for monitoring regenerating coniferous forests. Canadian Journal of Forest Research 35: 2332–2345.
- Plowright A. 2024. ForestTools: Tools for Analyzing Remote Sensing Forest Data. R package version 1.0.2, <https://CRAN.R-project.org/package=ForestTools>
- R Core Team. 2025. _R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Roussel J-R., Auty D, Coops N.C., Tompalski P., Goodbody TRH., Sánchez Meador A. et al 2020. lidR: An R package for analysis of Airborne Laser Scanning (ALS) data. Remote Sensing of Environment, 251, 112061. doi:10.1016/j.rse.2020.112061
- Roussel J-R. & Auty D. 2025. Airborne LiDAR Data Manipulation and Visualization for Forestry Applications. R package version 4.1.2. <https://cran.r-project.org/package=lidR>
- Skogsstyrelsen. 2021. Bonitering av skogsmark – anvisningar, diagram och tabeller. Skogsstyrelsens Böcker & Broschyrer. ISBN 978-91-986297-2-9.

Sörensen R., Johansson F., Gålnader H. 2023. Ökad skogsproduktion och förbättrad miljöhänsyn – genom anpassning till lokala förutsättningar. Arbetsrapport 1175-2023, Skogforsk.

Traag V.A., Waltman L. & van Eck N.J. 2019. From Louvain to Leiden: guaranteeing well connected communities. Scientific reports, 9, 5233. doi: 10.1038/s41598-019-41695-z, arXiv:1810.08473v3

Öhlund J., Berglund M., Johansson F., Fahlvik N., Ahlinder J., Renman C., Krook M. & Vestlund M. 2025. Årsrapport Föryngringskollen. Arbetsrapport 1241-2025, Skogforsk.

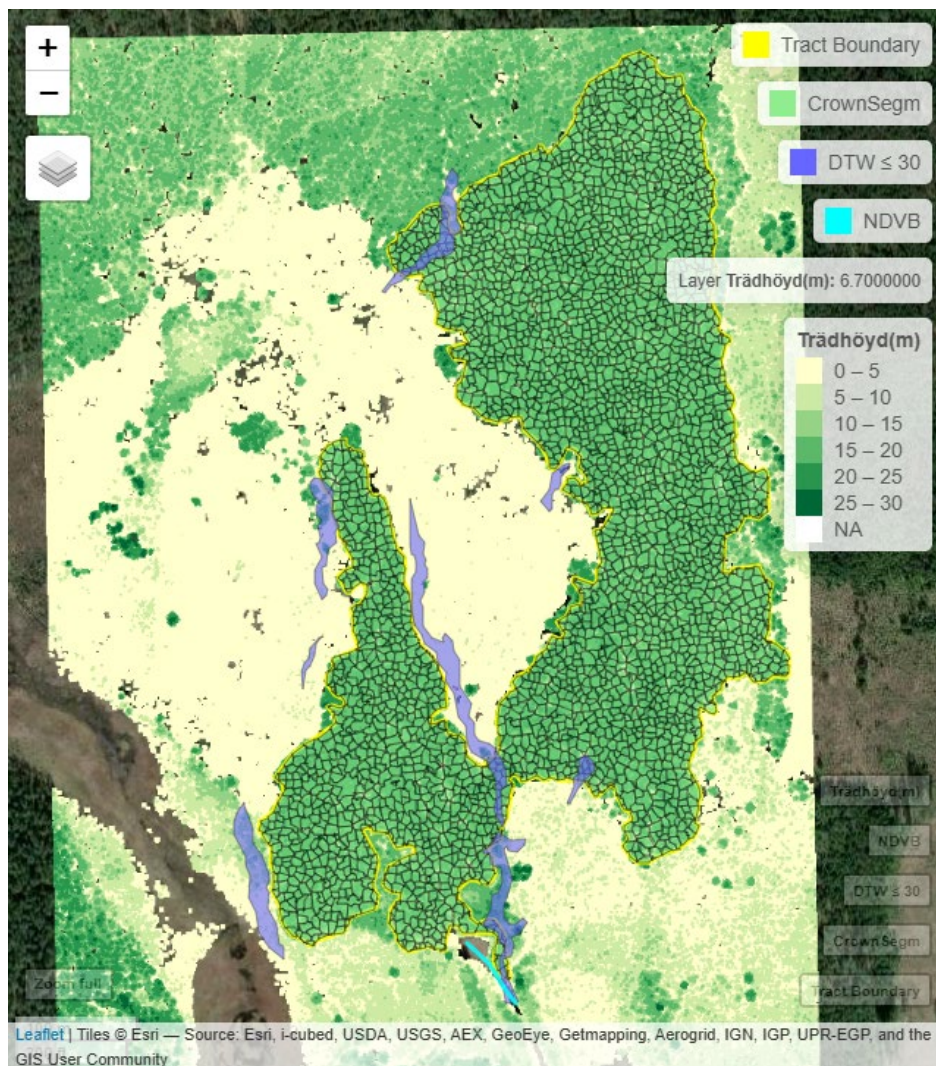
Bilaga A. Arealberäkningar för studieområde Butorp



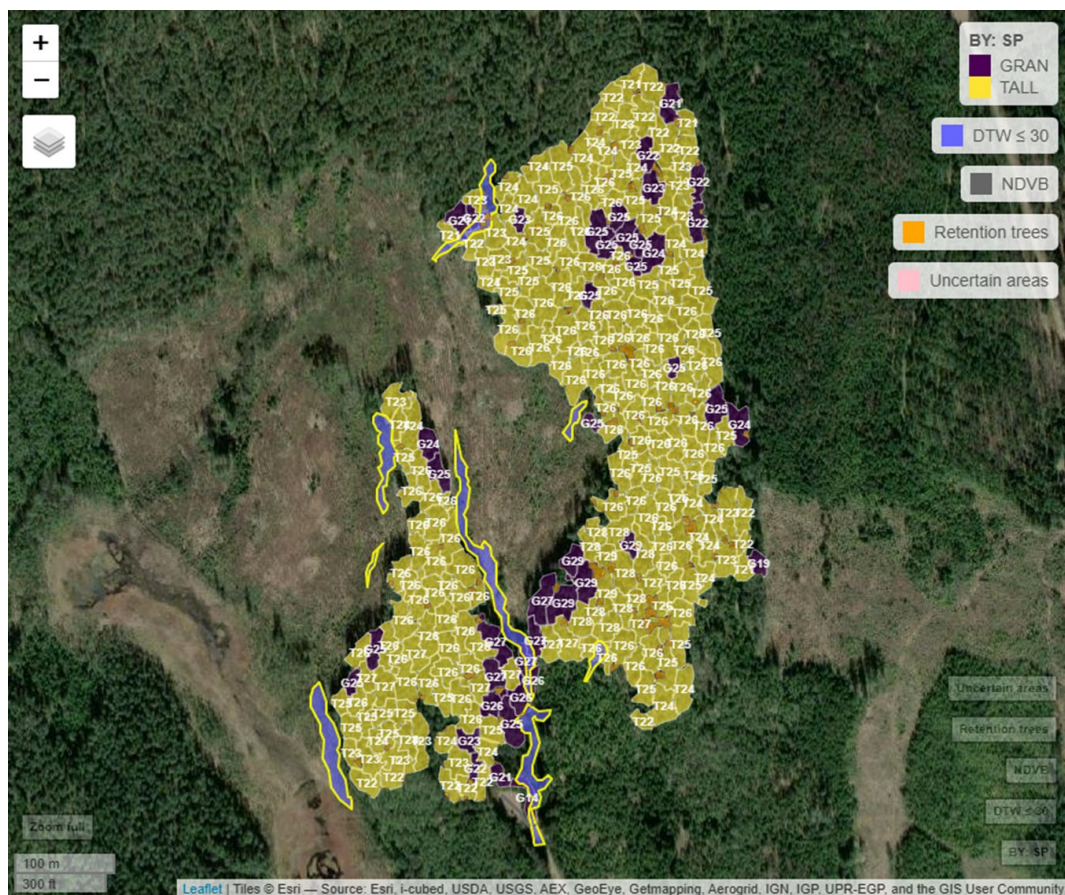
Figur A1. Kranspetspositionering (Figur A1a) och hyttpositionering (Figur A1b).



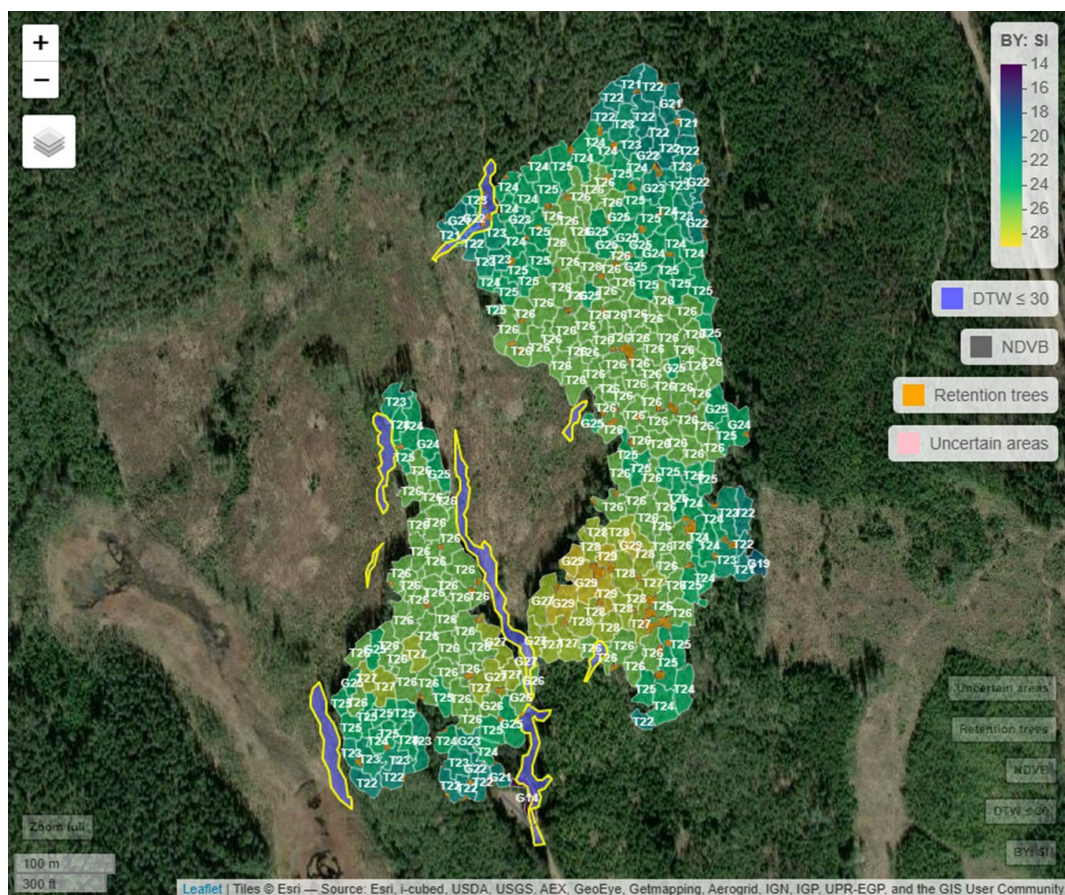
Figur A2. Traktgräns, väg och markfuktighetsområden.



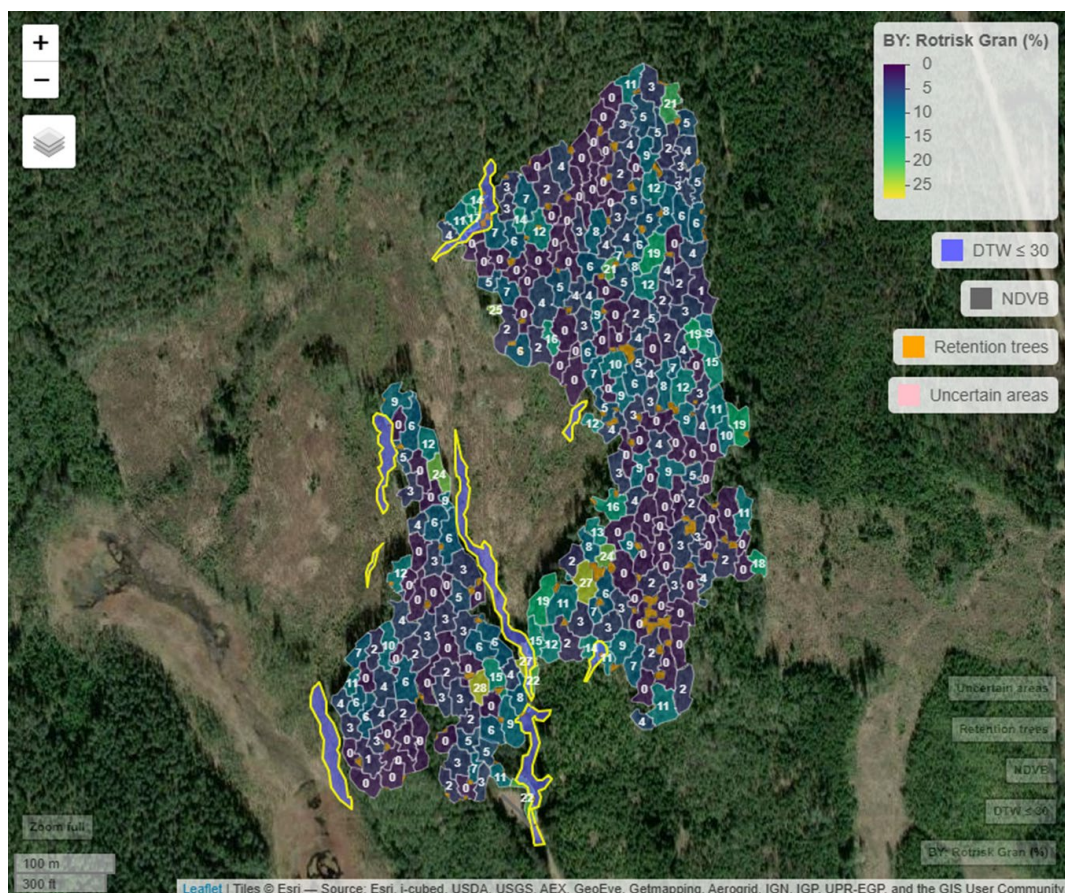
Figur A3. Trädkronesegment lagda över CHM.



Figur A4. Dominerande arter (volym) på funktionella enheter.



Figur A5. Beräkningar av ståldortsindex för funktionella enheter.

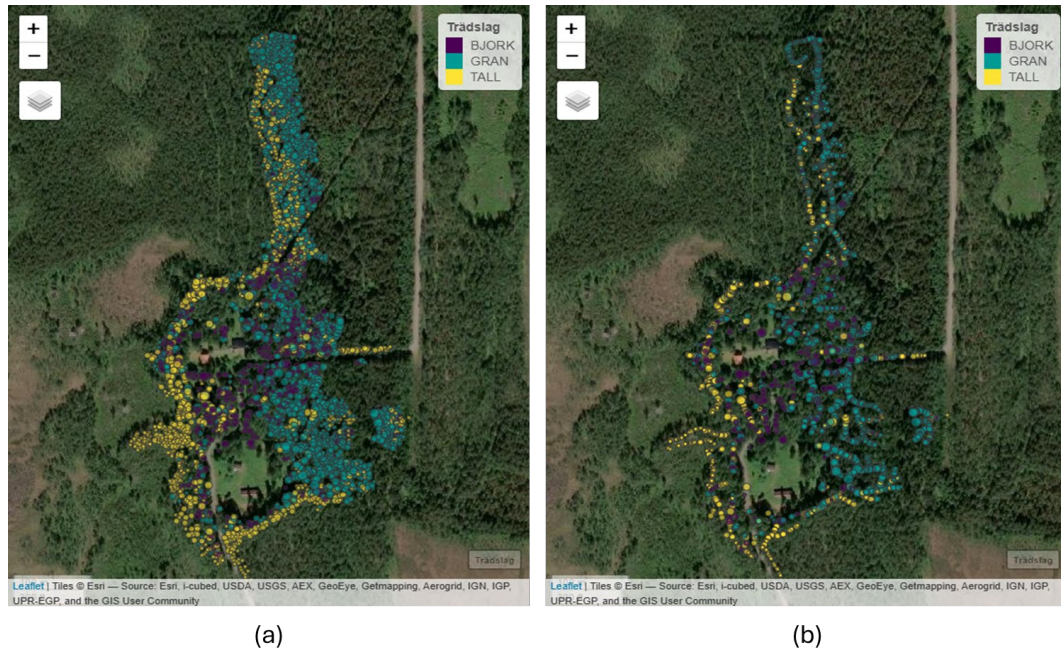


Figur A6. Beräkning av risk för rotsvampsangrepp (0-100 %) på funktionella enheter.

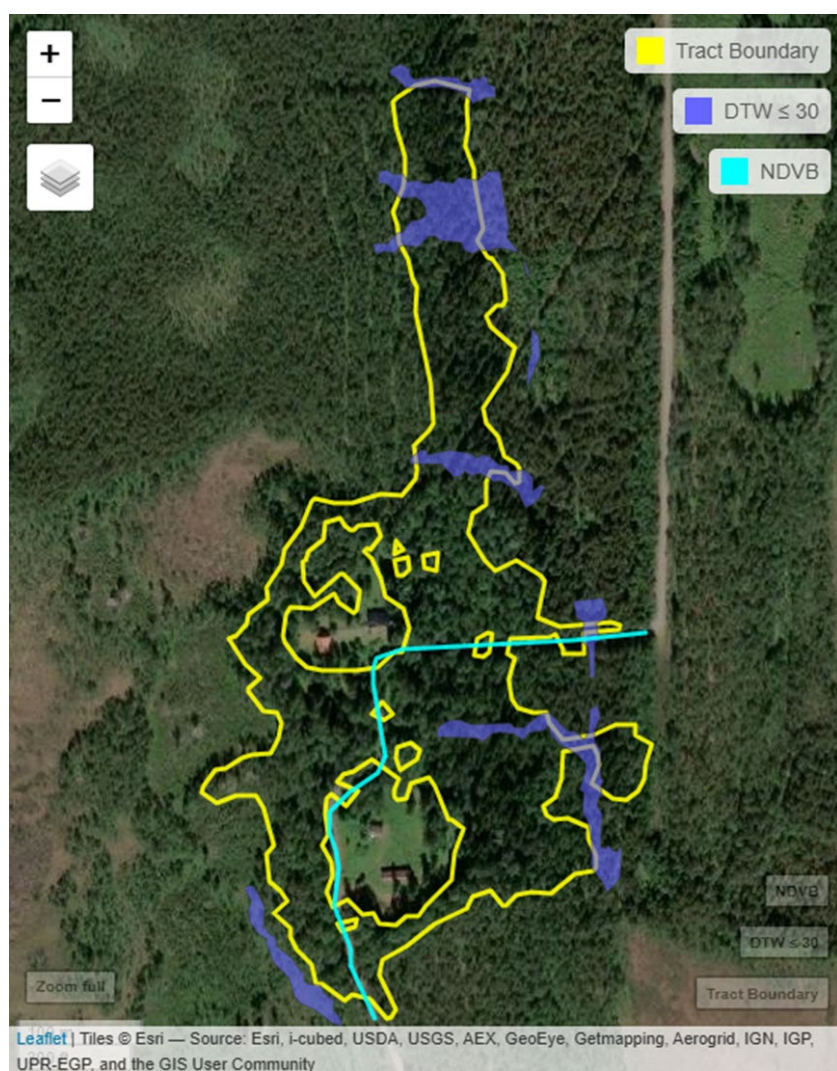


Figur A7. Alternativ beräkning av ståndsindex för gran (G) och tall (T) på funktionella enheter med avseende på förändringar av dominerande arter (Gran-Tall och Tall-Gran).

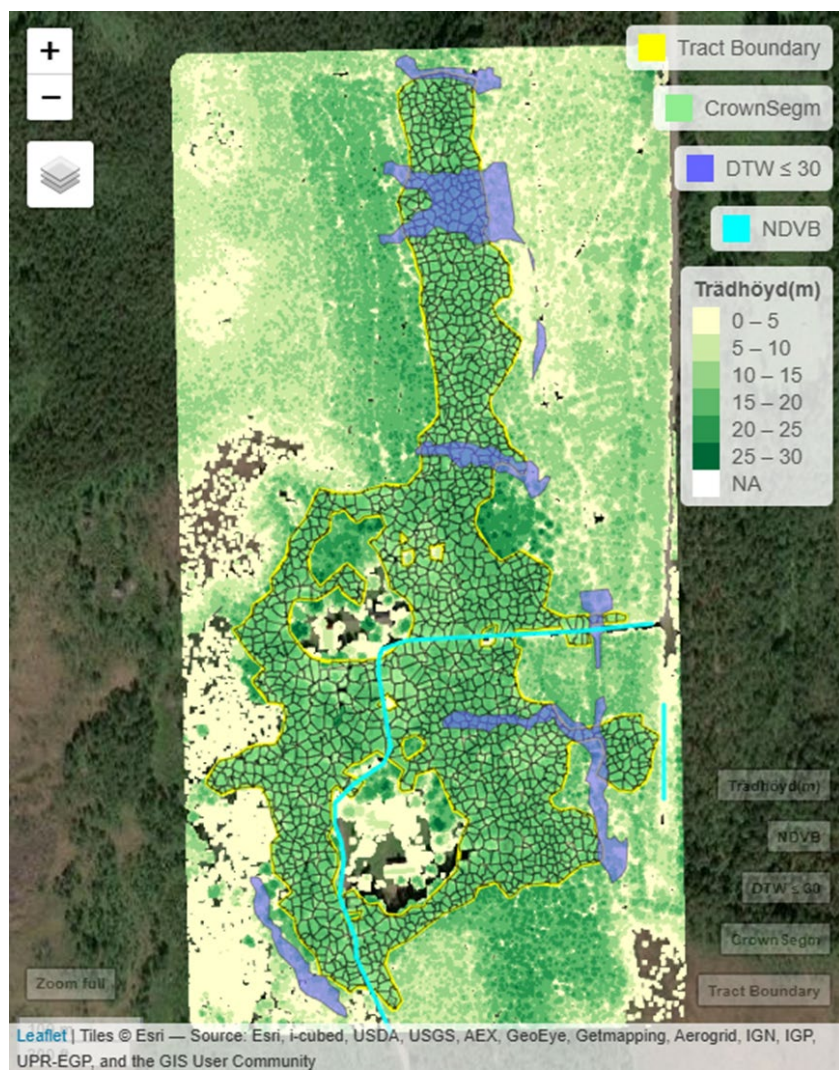
Bilaga B. Arealberäkningar för studieområde Tjärnmyrtorp



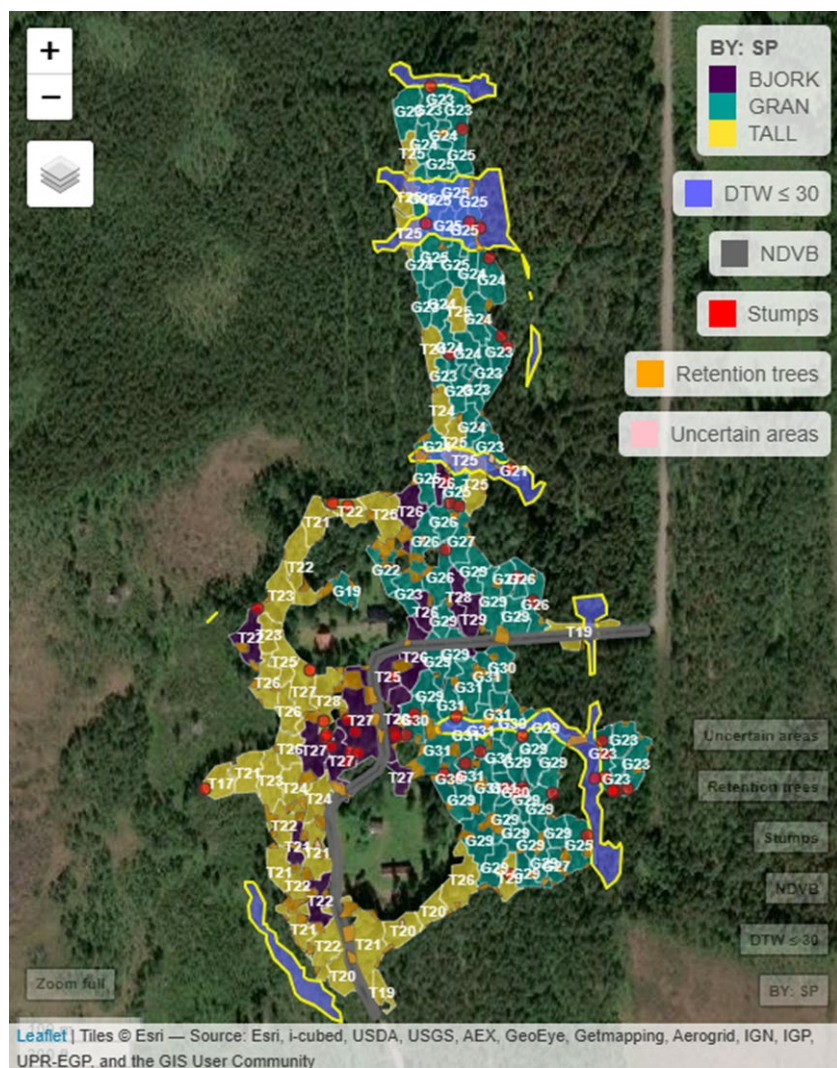
Figur B1. Kranspetspositionering (Figur B1a) and hyttpositionering (Figur B2b).



Figur B2. Traktgräns, väg och markfuktighetsområden.



Figur B3. Trädkronesegment karta lagda över CHM.



Figur B4. Dominerande arter (volym) på funktionella enheter.

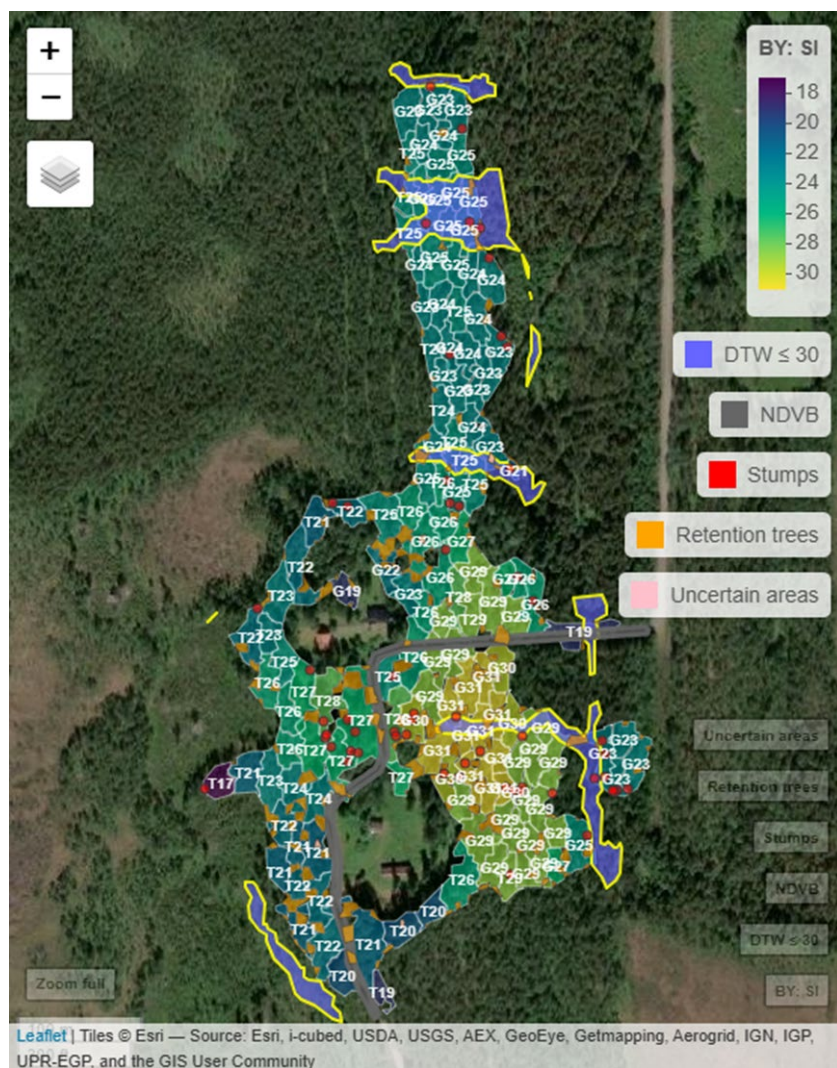


Figure B5. Beräkningar av ståndortsindex för funktionella enheter.

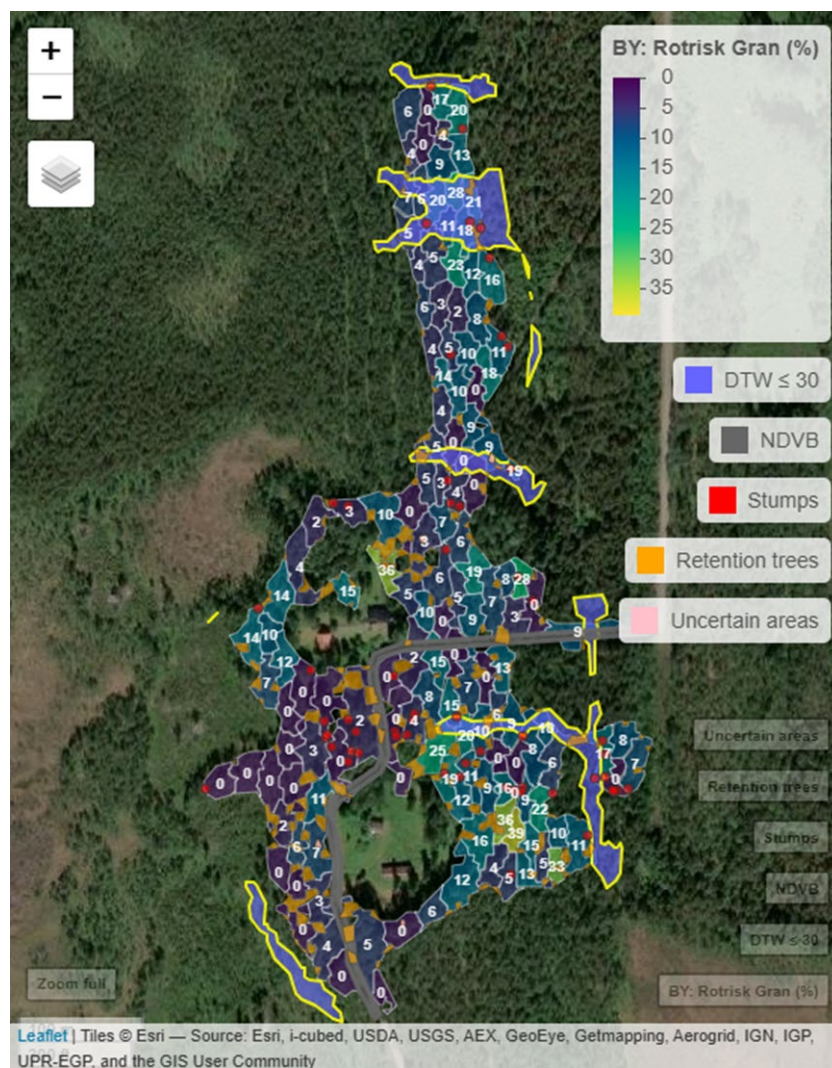
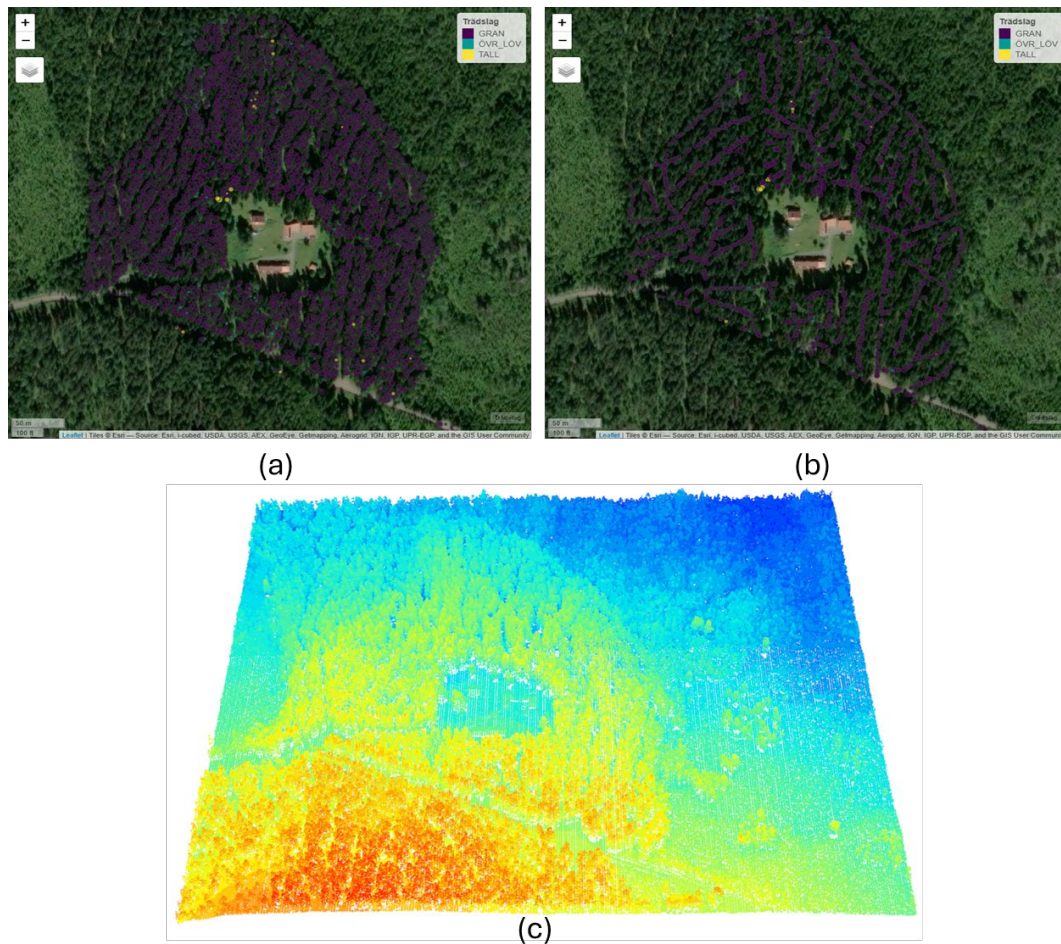


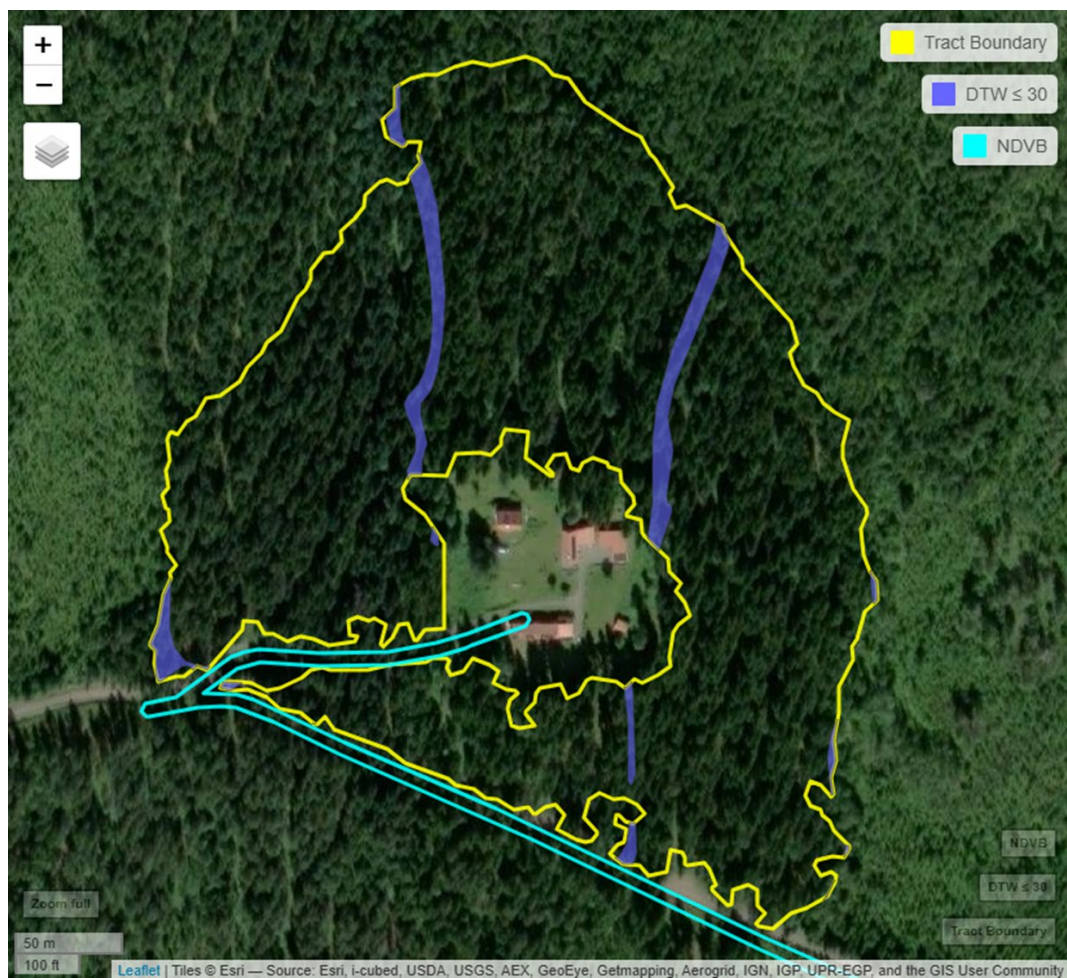
Figure B6. Beräkning av risk för rotsvampsangrepp (0-100 %) på funktionella enheter.

Bilaga C. Arealberäkningar för studieområde Hacken

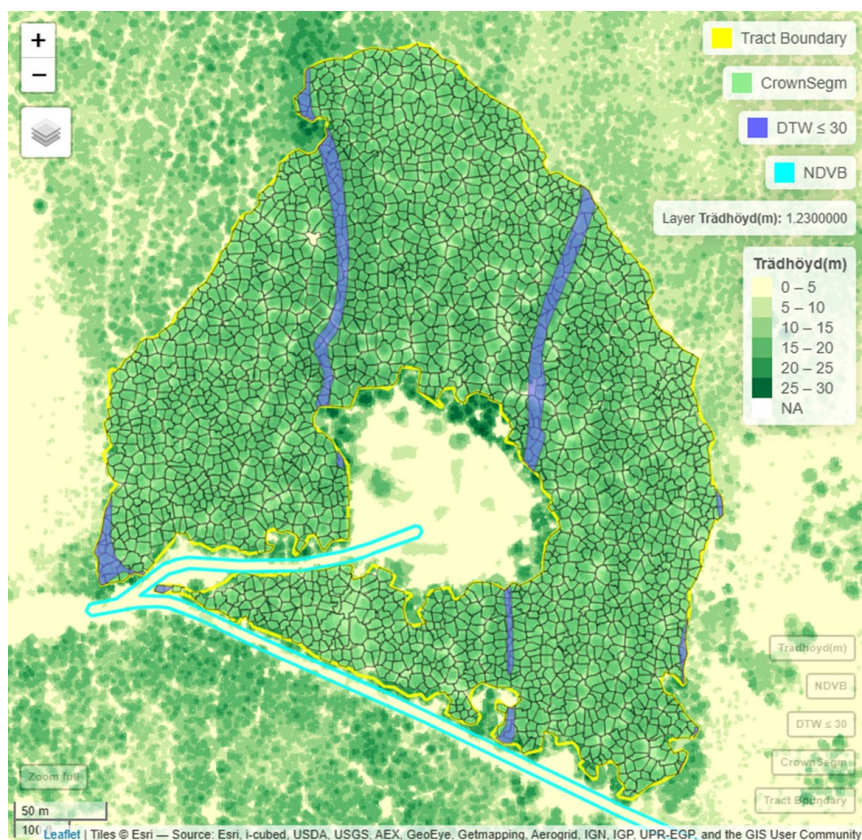


Figur C1. Kranspetspositionering (Figur C1a), hyttpositionering (Figur C1b), och ett icke-normaliserat ALS-punktsdatamoln för trakten (Figure C1c).

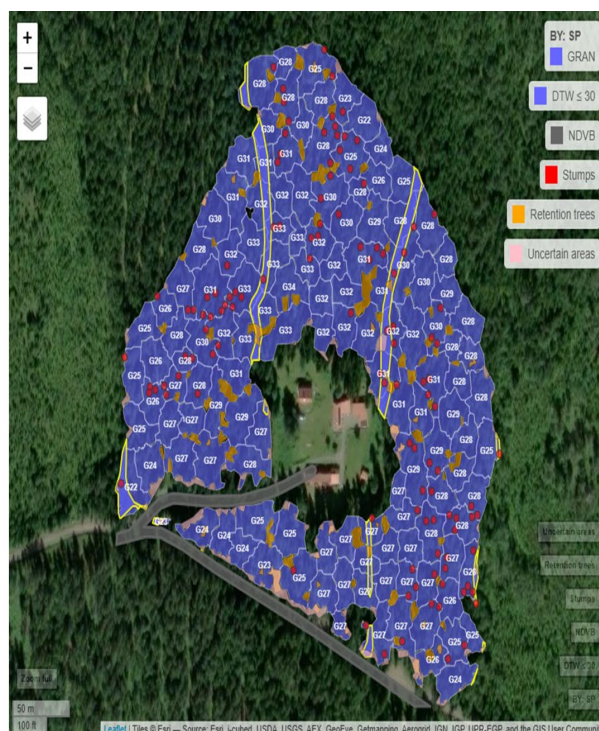
Figur C1. Trädpositioner kartlade med hjälp av dataproduktionsdata från skördare utrustade med kranspetspositioneringssystem (Fig. C1a), hyttpositioneringssystem (Fig. C1b). 3D-strukturen av skogsområdet som tillhandahålls av ALS visas i Fig. C1c



Figur C2. Traktgräns, väg och markfuktighetsområden.



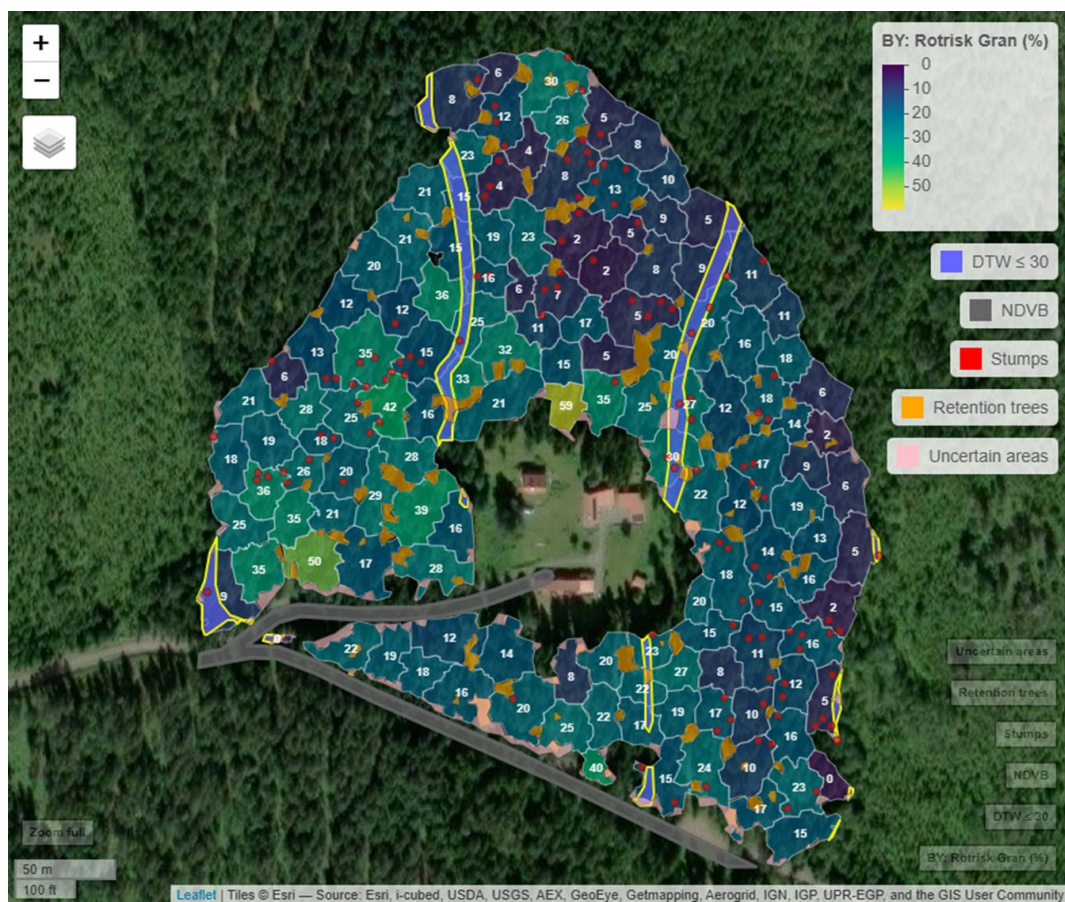
Figur C3. Trädkronesegment karta lagda över CHM.



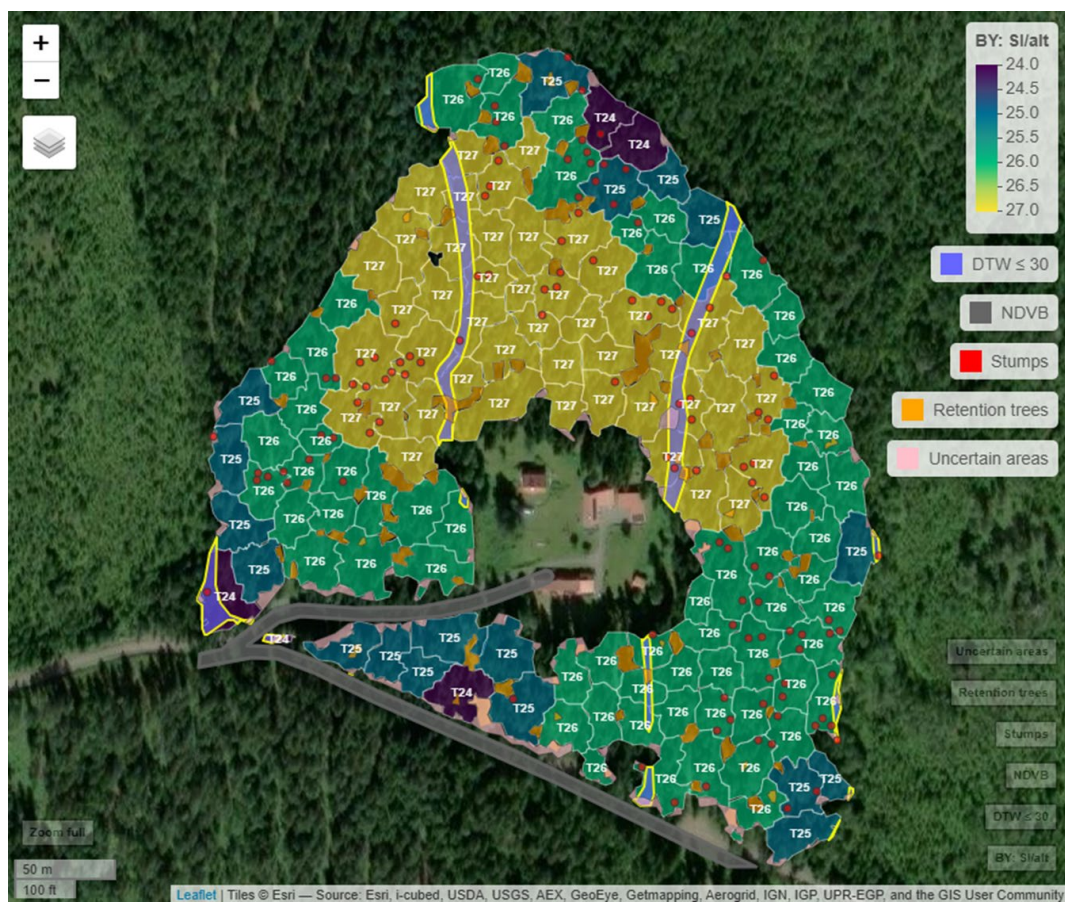
Figur C4. Dominerande arter (volym) på funktionella enheter.



Figur C5. Beräkningar av ståndortsindex för funktionella enheter.



Figur C6. Beräkning av risk för rotsvampsangrepp (0-100 %) på funktionella enheter.



Figur C7. Alternativ beräkning av ståndortsindex för gran (G) och tall (T) på funktionella enheter för Hackenområdet med avseende på förändringar av dominerande arter (Gran-Tall och Tall-Gran).