

Digitaliserad naturvårdsuppföljning

Utvärdering, standardisering av dataflöde samt
demonstration av modellens körbarhet

Björn Hannrup, Johan J. Möller, Ingemar Eriksson & John Arlinger



Innehåll

Förord	4
Summary	5
Sammanfattning.....	7
Bakgrund	9
Syfte och mål.....	10
Material och metoder	11
Projektdelar och modellöversikt.....	11
Registrering av stamkoder i skördarnas kartprogram	13
Standardisering av geografiska data	14
Utveckling och utvärdering av modellen	15
Praktisk demonstration av modellens körbarhet	18
Resultat och diskussion	20
Avverkad areal	20
Areal hänsyn	23
Kvarlämnat trädantal i större trädgrupper	25
Kvarlämnat trädantal per avverkningsobjekt	26
Praktisk demonstration av modellens körbarhet	28
Referenser.....	29
Bilaga 1. Principer för kodning av hänsynsinformation i StanForD 2010 OGI 4.1	30
Bilaga 2. Förteckning över JSON-objekt	33
Bilaga 3. Digitaliserad naturvårdsuppföljning – beskrivning av underliggande programkod	34



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

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 19 september 2025 av
Lovisa Engberg Sundström, tekn. dr. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef,
granskat och godkänt publikationen för publicering 25 september 2025.

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

Förord

Denna rapport är utarbetad inom ramen för projektet “Digitaliserad naturvårdsuppföljning – vidareutveckling av modell och stödjande funktioner”. Projektet har finansierats av Bo Rydins Stiftelse för vetenskaplig forskning, Karl Erik Önneshöjstiftelse för vetenskaplig forskning och utveckling, Skogforsks ramprogram samt av en intressentgrupp bestående av Billerud AB, Holmen Skog AB, Mellanskog ek. för., Norra Skog ek. för., Moelven AB, SCA Skog AB, StoraEnso Skog AB, Skogssällskapet Förvaltning AB, Sveaskog Förvaltning AB, Stiftens Egendomsförvaltningars förening, Sydved AB, Södra Skogsägarna ek. för. och Glommen Mjøsen Skog SA.

Syftet med projektet har varit att vidareutveckla den modell för digitaliserad naturvårdsuppföljning som togs fram i en tidigare studie. Vidare att, i samverkan med relevanta aktörer, stimulera till utveckling av stödjande funktioner t. ex. skördarnas kartprogram. Sammantaget bör det därigenom skapas ett underlag för bred implementering av digitaliserad naturvårdsuppföljning i det svenska skogsbruket.

En viktig del av projektet har varit att demonstrera att modellen för digitaliserad naturvårdsuppföljning fungerar tekniskt på systemnivå under ordinarie avverkning. Under projekttiden har ForestLink och Mellanskog implementerat modellen och tester har utförts tillsammans med två skördarlag. Från ForestLink och Mellanskog har Johan Holmberg Svensson, respektive Stefan Bohlin varit kontaktpersoner. Från skördarlagen medverkade Tobias Wallinder (Lars Wallinder) och Peter Hornvall (Hällstogens Skogsentreprenad).

Under projektets utvärderingsfas gjordes mätningar på avverkade objekt hos värdföretagen. Följande personer var kontaktpersoner inför dessa mätningar: Per Nordahl och John Samuelsson (Billerud), Magnus Bohm och Javier Segura (Holmen) samt Stefan Bohlin och Stefan Andersson (Mellanskog).

Studieupplägg, kontakter med värdföretag, programmerings- och standardiseringsinsatser samt analys av data har utförts av Björn Hannrup och Johan J. Möller (båda Skogforsk), John Arlinger (JDA Forest) samt Ingemar Eriksson (Forbis).

Ett stort Tack till alla som bidragit och medverkat i studiens genomförande!

Johan J. Möller & Björn Hannrup

Summary

Nature and culture conservation measures are important elements when planning and implementing virtually all forestry activities. Measures are normally monitored on the basis of a limited sample and often with a long delay in relation to the time of implementation. A switch to using existing digital information for follow up has potential to broaden and accelerate follow up and documentation of most of the conservation measures implemented during thinning and final felling.

Skogforsk has previously developed a model for digitalised follow up of nature conservation on final felling sites. The model was tested on a limited data sample with promising results. The overall aims of this study were to refine the earlier model, assess the model using more data, and develop and assess support functions together with forestry actors.

The study comprised four parts:

- Register stem codes in the map software in harvesters.
- Standardise geographical data.
- Develop and assess the model.
- Demonstrate the functionality of the model in practical operation.

Stem codes mean that the harvester operator records coordinate information about conservation measures according to a predefined list, such as position of high stumps and other stumps in cultural environments, retention trees and small clumps of trees, and selective cutting. The stem codes are included in the harvesters' production data, comprising key input data to the model for digitalised follow up of nature conservation.

Previously, the harvester operators were unable to see the stem code information in the map they use for navigation. The study included work on developing the map software to enable operators to see what they have registered directly on their map in the harvester. By the end of the study, most of the map software used in harvesters could show stem codes.

For implementation of the model, computers and software must communicate with each other in an automated way. One condition for this is that the data must be standardised as much as possible. Solutions were developed for defining and coding geographical concepts used by the model, and these solutions connect to the latest version of StanForD 2010 and the Forestand standard.

The model for digitalised follow up of conservation is based on two main algorithms for determining the felled and retained area and the total number of retained trees in large tree groups. Evaluation of the algorithms showed that:

- The area algorithm correctly determined the felled area with a precision in line with or higher than the precision attained from existing area algorithms based on harvester data.
- The area algorithm could reproduce the shape of the harvest site in a way that was close to reality.
- For the retained area in harvest sites, there was a very strong relationship between calculated and reference area, but the area algorithm tended to underestimate the retained area.
- In larger groups of trees, the number of trees with a diameter at breast height exceeding 15 cm per hectare was calculated with a margin of error of 20%. The

number of retained trees with a diameter exceeding 15 cm per cut area is a key figure. The model calculated the average number for all sites to be 39 trees/ha, compared with the reference figure of 35.

In the concluding part of the study, the model's functionality was demonstrated in collaboration with Mellanskog and ForestLink. The model was shown to be functional in practical operation, and all data communication took place automatically without manual intervention. During the demonstration, the harvester operators received continual feedback of the results from the conservation model during the ongoing harvest in their map software. Operator responses could then be monitored continually, enabling modification of which conservation information was to be presented in the map software's interface and how.

The overall results from the study strongly support the practical application of the model to improve the efficiency of conservation follow up in forestry. Most of the development work for the first generation of digitalised nature conservation follow up can therefore be regarded as completed, and future efforts should be directed towards implementation of the model.

Sammanfattning

Natur- och kulturhänsynsåtgärder är viktiga inslag vid planering och genomförande av i stort sett alla åtgärder i skogsbruket. Uppföljning av åtgärderna görs vanligen på ett begränsat stickprov och ofta med en stor tidsfördröjning i förhållande till tidpunkten för genomförandet. En övergång till uppföljning baserat på befintlig digital information har potential att bredda och snabba på uppföljning och dokumentation av merparten av de hänsynsåtgärder som utförs vid gallring och slutavverkning.

Skogforsk har nyligen utvecklat en modell för digitaliserad naturvårdsuppföljning av avverkningsobjekt. Modellen har testats med lovande resultat på ett begränsat datamaterial. Det övergripande syftet med den här avrapporterade studien var att vidareutveckla den tidigare framtagna modellen, utvärdera modellen utifrån ett större datamaterial, samt i samarbete med aktörer inom skogsbruket utveckla och utvärdera stödjande funktioner.

Studien omfattade fyra delar:

- Registrering av stamkoder i skördarnas kartprogram.
- Standardisering av geografiska data.
- Utveckling och utvärdering av modellen.
- Praktisk demonstration av modellens körbarhet.

Stamkoder innebär att skördarförarna registrerar koordinatsatt information om hänsynsåtgärder enligt en fördefinierad lista, till exempel ställande av hög- och kulturstubbar, lämnande av naturvärdesträd och mindre trädgrupper samt plockhuggning. Stamkoderna inkluderas i skördarnas produktionsdata och utgör centrala indata till modellen för digitaliserad naturvårdsuppföljning. Det har tidigare inte varit möjligt för skördarförarna att se sina registreringar i kartan de navigerar efter och ett mål med studien var därför att utveckla skördarnas kartprogram så att förarna ska kunna se sina registreringar direkt i kartbilden. Då studien avslutades kunde merparten av de kartprogram som används i skördare visa stamkoder.

Vid implementering av modellen för hänsynsuppföljning behöver datorer och program kommunicera med varandra på ett automatiserat sätt. En förutsättning för att detta ska fungera är att de data som ska hanteras är standardiserade i så hög utsträckning som möjligt. I studien togs lösningar fram för att definiera och koda geografiska begrepp som används av modellen för hänsynsuppföljning. Lösningarna ansluter till den nya versionen av StanForD 2010-standarden och till Forestand-standarden.

Modellen för digitaliserad hänsynsuppföljning är uppbyggd av två huvudalgoritmer för bestämning av avverkad och lämnad areal samt antal lämnade träd i större trädgrupper. Utvärdering av algoritmerna visade:

- Att arealalgoritmen gav en korrekt bestämning av avverkad areal med en precision som var i nivå med eller högre än precisionen som erhålls från befintliga arealalgoritmer baserade på skördardata.
- Att arealalgoritmen hade en god förmåga att återge avverkningsobjektens form på ett verklighetsnära sätt.
- Att det för lämnad areal per objekt fanns ett mycket starkt samband mellan beräknad och referensmätt areal men att arealalgoritmen tenderade att underskatta den lämnade arealen något.
- Att antal träd med brösthöjdsdiameter över 15 cm per hektar i större trädgrupper beräknades med en felmarginal på 20 %. För nyckeltalet antal lämnade träd med

brösthöjdsdiameter över 15 cm per avverkad areal var det beräknade och referensmätta antalet 39, respektive 35 träd/ha uttryckt som genomsnittligt värde för samtliga utvärderade objekt.

Under studiens avslutande del genomfördes en demonstration av modellens körbarhet i samarbete med Mellanskog och ForestLink. Demonstrationen visade att modellen var körbar i praktisk drift och att all datakommunikation kunde ske automatiskt utan manuell handpåläggning. Under demonstrationen fick skördarförarna löpande återkoppling av resultaten från hänsynsmodellen under pågående avverkning i sitt kartprogram. Detta gjorde det möjligt att löpande inhämta synpunkter från förarna och baserat på detta modifiera vilken och hur hänsynsinformation skulle presenteras i kartprogrammets gränssnitt.

De samlade resultaten från studien ger starkt stöd för att modellen för digitaliserad naturvårdsuppföljning är användbar för att effektivisera hänsynsuppföljning vid avverkning i skogsbruket. Huvuddelen av utvecklingsarbetet för den första generationen av digitaliserad naturvårdsuppföljning kan därmed betraktas som avklarad och fortsatta insatser bör inriktas mot att implementera den framtagna modellen.

Bakgrund

Inkludering av natur- och kulturhänsynsåtgärder är ett viktigt inslag vid planering och genomförande av i stort sett alla åtgärder i skogsbruket. Uppföljning av hänsynsåtgärderna görs vanligen på ett begränsat stickprov (Ahlström & Djupström 2020) och ofta med en stor tidsfördröjning i förhållande till tidpunkten för genomförandet. Under de senaste åren har en standardisering skett av skogliga registerdata och en systematisk uppbyggnad av företagsvisa databaser innehållande detaljerad information om samtliga avvercade träd (Arlinger m. fl. 2018). Denna utveckling öppnar möjligheter att, baserat på befintlig digital information, bredda och snabba upp uppföljning och dokumentation av merparten av de hänsynsåtgärder som utförs vid gallring och slutavverkning.

Skogforsk har tillsammans med skogsföretag utvecklat en modell för digitaliserad naturvårdsuppföljning av avverkningsobjekt (Hannrup m. fl. 2020, Möller m. fl. 2022). Modellen utnyttjar standardiserade produktionsdata från skördarna, information från planeringen av avverkningarna (traktdirektiv) samt allmänt tillgänglig geodata som information från den nationella laserskanningen och den nationella vägdatabasen. Med hjälp av de algoritmer som utvecklats och implementerats i modellen sker beräkningar som möjliggör en redovisning av utförda natur- och kulturhänsynsåtgärder per avverkningsobjekt, såväl på detaljerad nivå som på aggregerad nivå. Den information som modellen genererar är anpassad att användas för: *i)* direkt uppföljning, *ii)* redovisning/dokumentation inom de skogliga certifieringssystemen samt *iii)* återföring till företagens bestandsregister.

En central input till den tidigare framtagna modellen är skördarförarnas registrering av stamkoder. Denna innebär att förarna registrerar koordinatsatt information om hänsynsåtgärder enligt en fördefinierad lista, till exempel ställande av hög- och kulturstubbar, lämnande av naturvärdesträd och mindre träddungar samt plockhuggning. I syfte att säkerställa att förarnas registrering av stamkoder blir så komplett som möjligt är det angeläget att utveckla och utvärdera funktioner som underlättar för förarna. Till exempel bör funktioner utvecklas så att förarna direkt ser registreringen av stamkoder i sitt kartprogram och på aggregerad nivå ser aktuellt läge i förhållande till måltal när det gäller centrala parametrar i certifieringssystemen som antal högstubbar per hektar och avstånd till hyggesbrytande objekt (Anon 2020).

Ett centralt nyckeltal vid hänsynsuppföljning är antalet lämnade levande träd per hektar med diameter i brösthöjd över 15 cm. Enligt det regelverk som överenskommit inom FSC-certifieringen (Anon 2020) får dock inte alla sådana lämnade träd inräknas utan inräkningsbara träd är beroende av avverkningens storlek, läge i landet och typen av hänsyn. Detta regelverk har implementerats i den tidigare framtagna modellen. För att regelverket ska kunna appliceras korrekt i modellen krävs dock för större lämnade trädgrupper information om typen av hänsyn utifrån en tregradig klassificering; skyddsvärd biotop, kantzon eller övrig hänsyn. Sådan klassificering görs i dagsläget inte vid avverkningsplaneringen. Det är därför angeläget att i samarbete med skogsföretag utveckla avverkningsplaneringen så att information om typ av hänsyn för större trädgrupper som ska lämnas följer med i traktdirektiven.

Resultaten från den tidigare framtagna modellen har visat god överensstämmelse med resultaten från manuella referensmätningar utifrån data från ett tiotal avverkningsobjekt (Möller m.fl. 2022). I syfte att öka modellens robusthet är det angeläget att den utvärderas utifrån data från ett större antal avverkningsobjekt med stor variation när det

gäller hänsynsåtgärder. Tillhörande tekniska lösningar bör också anpassas så att skördarföraren kan kvittera resultaten från modellen och/eller lämna kompletterande input.

Syfte och mål

Det övergripande syftet med projektet var att vidareutveckla den tidigare framtagna modellen för digitaliserad naturvårdsuppföljning, utvärdera modellen utifrån ett större datamaterial, samt i samarbete med aktörer inom skogsbruket utveckla och utvärdera stödjande funktioner. Därigenom bör ett underlag skapas som möjliggör en bred och effektiv implementering av digital naturvårdsuppföljning i det svenska skogsbruket.

Målen med projektet var:

- Att i samarbete med företag som tillhandahåller mjukvara för skördare utveckla nuvarande kartprogram så att förarna löpande kan se de registrerade stamkoderna, enskilt samt på aggregerad nivå.
- Att i samarbete med företag som tillhandahåller mjukvara för skördare utveckla och testa prototypprogram som möjliggör att förarna kan se resultat från Skogforsks modell för digitaliserad naturvårdsuppföljning via en så kallad server/klientlösning. Prototypprogram som möjliggör att föraren kan korrigera modellens resultat ska också utvecklas och testas.
- Att i samarbete med ett antal skogsföretag utveckla avverkningsplaneringen så att relevant och standardiserad information om den planerade hänsynen skickas till skördarlagen i de så kallade traktdirektiven.
- Att utveckla infrastrukturen vad gäller kommunikation mellan företagssystem och skördare kopplat till standarderna StanForD 2010 och Forestand för ogr- respektive ogr-filer.
- Att i samarbete med ett antal skogsföretag utföra praktiska tester där lämnad hänsyn vid avverkning följs upp och dokumenteras med Skogforsks modell för digitaliserad naturvårdsuppföljning.
- Att på femton avverkade objekt göra manuell inventering av utförda hänsynsåtgärder samt jämföra resultatet med motsvarande resultat från Skogforsks modell för digitaliserad naturvårdsuppföljning.
- Att utifrån de praktiska testerna och de manuella referensmätningarna av utförd hänsyn vidareutveckla Skogforsks modell för digitaliserad naturvårdsuppföljning så att den får en ökad robusthet att hantera den variation som förekommer när det gäller lämnad hänsyn i svenskt skogsbruk.

Material och metoder

Projektdelar och modellöversikt

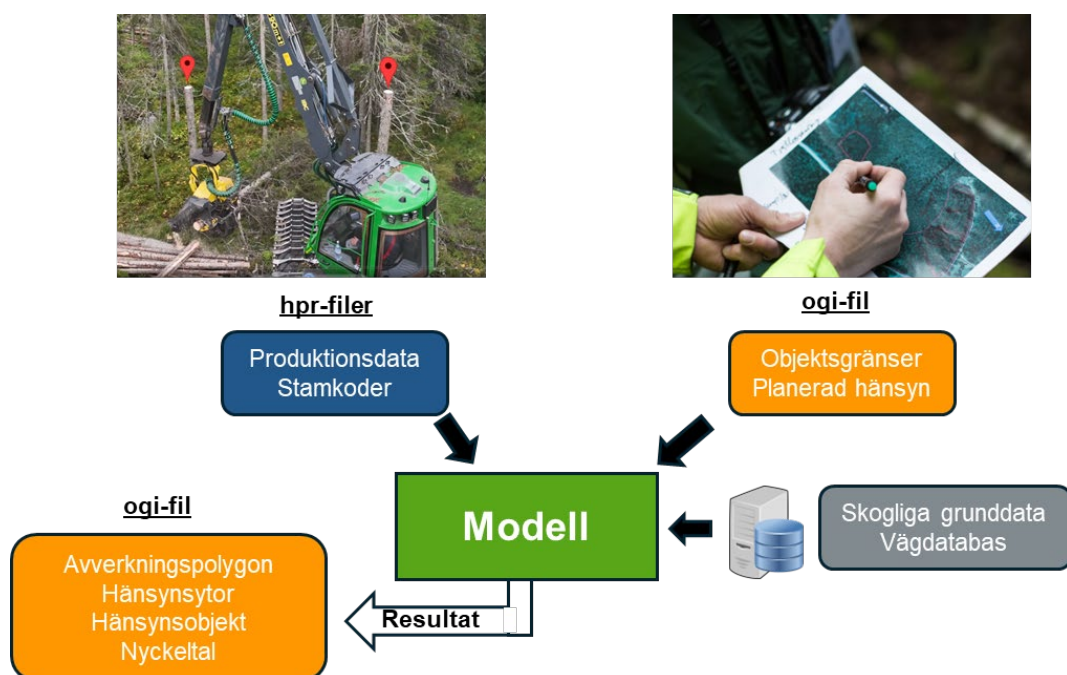
En tidigare studie har visat att modellen för digitaliserad naturvårdsuppföljning har potential att effektivisera hänsynsuppföljningen i skogsbruket (Möller m.fl. 2022). För att denna potential ska realiseras krävs inte bara att modellen utvecklas vidare utan även att lösningar tas fram som möjliggör och demonstrerar att modellen kan användas operativt i skogsbruket. Föreliggande studie har bedrivits utifrån en sådan bred ansats och har varit uppbyggd av fyra delar:

- Registrering av stamkoder i skördarnas kartprogram.
- Standardisering av geografiska data.
- Utveckling och utvärdering av modellen.
- Praktisk demonstration av modellens körbarhet.

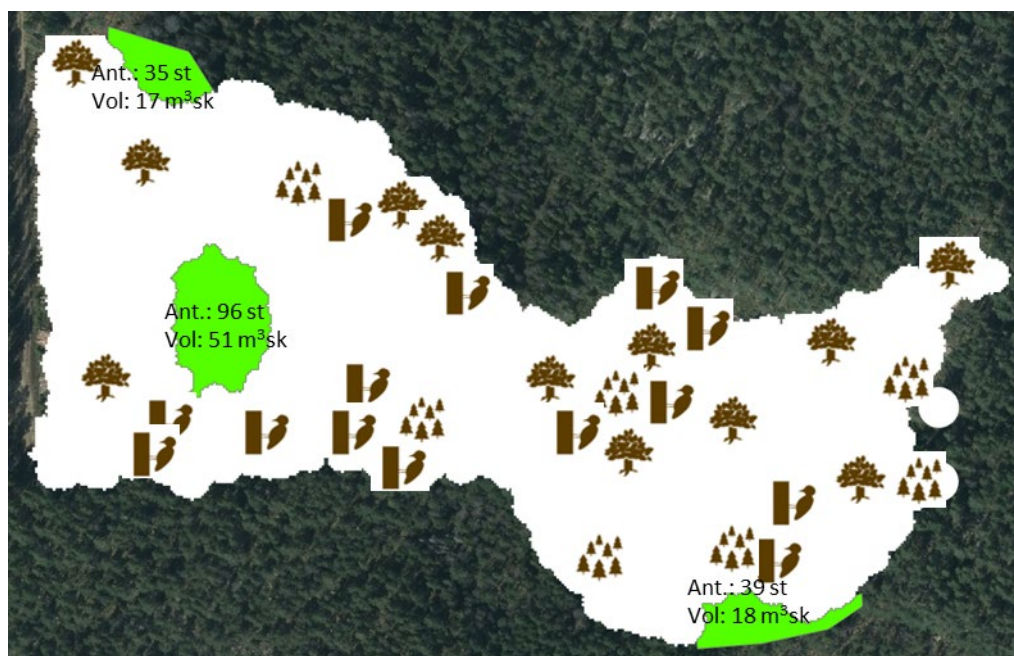
De två förstnämnda delarna fokuserade på vilka indata som behövs och hur de kan standardiseras för att modellen ska fungera på systemnivå. I den tredje delen utvärderades modellen med hjälp av manuella referensmätningar och i den avslutande delen demonstrerades att och hur modellen fungerar tekniskt på systemnivå under praktisk drift. Arbetet inom de olika delarna har bedrivits i nära samverkan med centrala aktörer inom skogsbruket och detta arbete beskrivs, efter en översiktlig modellbeskrivning, närmare nedan.

Modellen för digitaliserad naturvårdsuppföljning finns utförligt beskriven av Möller m.fl. (2022) och återges schematiskt i Figur 1. Indata till modellen utgörs av produktionsdata från skördare, planeringsdata insamlade inför avverkning samt nationell geodata i form av skogliga grunddata och data över vägnätet. I modellen används genomgående data i standardiserad form, förpackad i två huvudsakliga filtyper innehållande produktionsdata (hpr), respektive geografisk information (ogi). Resultaten, som beskriver hänsynsåtgärder, genereras av modellen och förs vidare till mottagande system, alternativt till den avverkande skördaren. I det senare fallet förs resultaten vidare kontinuerligt under pågående avverkning för att ge skördarförare direkt återkoppling.

Resultat från modellen, redovisat i en karta, exemplifieras närmare i Figur 2. Symbolerna i kartan indikerar position för ställda högstubbar, evighetsträd och mindre trädgrupper. För de större trädgrupperna visas utbredning, antal lämnade större träd samt deras totala volym. En central del av modellen är beräkning av areal för den avverkade ytan och de lämnade trädgrupperna. Med hjälp av arealskattningarna kan arealbaserade nyckeltal redovisas på objektsnivå som till exempel uttrycker antalet högstubbar och evighetsträd per hektar eller det totala antalet lämnade träd per hektar.



Figur 1. Schematisk illustration av modellen för digitaliserad naturvårdsuppföljning där indata utgörs av produktionsdata från skördare, planeringsinformation och geodata. Genomgående används data i standardiserad form förpackad i två huvudsakliga filtyper innehållande produktionsdata (hpr), respektive geografiska data (ogi). Resultaten från modellen förs vidare till mottagande system och till avverkanse skördare för direkt återkoppling till skördarföraren.



Figur 2. Exempel på hänsynsinformation från modellen för ett avverkningsobjekt. De tre symbolerna representerar högstubbar, evighetsträd och mindre trädgrupper. Större trädgrupper representeras som gröna polygoner och för dessa indikeras skattat antal lämnade träd med dbh > 15 cm samt total volym. Med hjälp av informationen kan arealbaserade nyckeltal redovisas på objektsnivå.

Registrering av stamkoder i skördarnas kartprogram

Stamkoder innebär att skördarförarna registrerar koordinatsatt information om hänsynsåtgärder enligt en fördefinierad lista, till exempel ställande av hög- och kulturstubbar, lämnande av naturvärdesträd och mindre trädgångar samt plockhuggning. Stamkoderna inkluderas i skördarnas produktionsdata och är av central betydelse för tillämpning av digitaliserad naturvårdsuppföljning. Registrering av stamkoder i skördarna är en relativt ny företeelse som successivt vuxit fram i skogsbruket under de fem senaste åren. I en första etapp av denna utveckling möjliggjorde samtliga större maskintillverkande företag att registrering kunde ske i respektive företags styrsystem. Detta gjordes inom tidsramen för den föregående studien kring digitaliserad naturvårdsuppföljning (Möller m.fl. 2022). Dock var det då inte möjligt för skördarförarna att se sina registreringar i kartan de navigerade efter utan registrering fick ske ”i blindo”; en uppenbar begränsning. Inom ramen för den föreliggande studien har insatserna därför fokuserats på att arbeta för att skördarnas kartprogram utvecklas så att förarna kan se sina registreringar direkt i kartbilden. Detta har framför allt skett genom dialog med de olika leverantörerna.

I Sverige används ett tiotal olika kartprogram i skördarna (Tabell 1). Leverantörerna kan klassificeras i tre kategorier: i) maskintillverkande företag, ii) IT-företag och iii) skogsföretag. Den breda sammansättningen av företag i studiens intressentgrupp har haft stor betydelse för att kunna förmedla att det funnits ett generellt branschbehov kring att kartprogrammen utvecklas vidare med avseende på stamkodsregistreringen. Då vår studie inleddes hade enbart ett kartprogram funktionalitet för att visa stamkoder. Under projektiden har denna funktionalitet integrerats i allt fler av dem och i dagsläget kan sex av nio program visa stamkoder (Tabell 1).

Tabell 1. Lista över de kartprogram som används i skördare i Sverige, leverantörer, en indelning av leverantörerna i tre kategorier samt redovisning av huruvida kartprogrammen kan visa stamkoder registrerade i produktionsdata.

Kartprogram	Leverantör	Leverantörs-kategori	Kan visa stamkoder registrerade i produktionsdata
TimberMatic Maps	John Deere	Maskintillverkare	Ja
MaxiVision	Komatsu	Maskintillverkare	Ja
OptiMap	Ponsse	Maskintillverkare	Ja
ROM	CGI	IT-företag	Ja
GeoInfo	Dasa	IT-företag	Nej
FLMaps	Forest Link	IT-företag	Ja
CFHarvest	Trimble Forestry	IT-företag	Nej
Stina	Sveaskog	Skogsföretag	Ja
SCA maskinGIS	SCA	Skogsföretag	Nej

När registrering av hänsynsföreteelser sker via stamkoder hämtas de i förekommande fall till kartprogrammen via hpr-data. Vissa kartprogramstillverkare har en alternativ lösning där företeelserna registreras direkt i kartprogrammen. Följden av detta blir att modellen för hänsynsuppföljning måste kunna hantera att samma typ av information kan komma

två olika vägar, dels via hpr-data dels via ogf-filer. Projektet utvecklade därför ett system för att kodningen i ogf-filen skulle kunna översättas till motsvarande stamkod.

Standardisering av geografiska data

Ett karaktärsdrag för den utvecklade modellen är att den utnyttjar flera informationskällor, olika databaser och utför komplexa GIS-beräkningar. Modellen bör därför lämpligen implementeras som en molntjänst, där beräkningar utförs på en central server och resultaten kommuniceras ut till program, till exempel skördarnas kartprogram, via ett applikationsprogrammeringsgränssnitt (API). Kommunikation kan ske med hjälp av dataanrop på internet. En implementering av modellen på detta sätt innebär alltså att datorer och program behöver kommunicera med varandra på ett automatiserat sätt. En förutsättning för att detta ska fungera brett i skogsbruket är att de data som ska hanteras är standardiserade i så hög utsträckning som möjligt.

StanForD-standard (Standard for Forest machine Data) är en "framgångssaga" som haft och har en mycket stor betydelse för digitaliseringen av skogsbruket i Sverige och internationellt (Arlinger & Möller 2024). Nästan all data som kommuniceras till och från skogsmaskiner i Sverige är standardiserad genom denna standard. Även geografiska data täcks av StanForD-standard men denna del av standarden har av olika skäl blivit tillämpad i mindre utsträckning och i stället har företagsvisa dataformat vuxit fram. Inom ramen för den stora uppdatering av StanForD 2010-standard som nu introduceras (version 4.1) finns dock ett förslag för modernisering av delen som berör standardisering av geografiska data (Arlinger 2024). Förslaget bedöms ha stora möjligheter att få brett genomslag (Personlig kommunikation: John Arlinger, JDA Forest).

I vår studie har vi utifrån förslaget på ny StanForD 2010-standard för geografiska data tagit fram lösningar för att definiera och koda geografiska begrepp som används av modellen för hänsynsuppföljning. Lösningarna har tagits fram utifrån två vägledande principer:

1. *Geografiska data ska genomgående representeras med JSON-objekt (Java Script Object Notification).*
JSON-objekt kan betraktas som en "Swiss Army Knife" inom programmering som kan användas för att definiera begrepp och tilldela dem unika koder. Att använda sådana objekt är en tillkommande möjlighet i den nya StanForD 2010-versionen.
2. *Att genomgående använda Forestand-standardens metodik för definition av begrepp.*
Forestand-standard är en befintlig standard för stående skog (Anon. 2024). En del av begreppen som används av modellen för hänsynsuppföljning finns sedan tidigare definierade i denna standard och i dessa fall sker direkt referering i JSON-objektet till Forestand. I de fall begreppen inte förekommer i Forestand-standard har standardens principer använts för definition av nya begrepp.

Ett exempel på ett JSON-objekt som representerar data för registrering av "areal övrig hänsyn uttryckt i måttslaget hektar" återfinns i Tabell 2. JSON-objekt är uppbyggda av ett antal värdepar där varje par består av en förklarande nyckel och ett värde. Värdena är unika koder och JSON-objektet blir därmed en samling av unika koder som tillsammans kan tolkas till en definition. I tabell 2 är de förklarande nycklarna rödmarkerade och koderna blåmarkerade. Den första förklarande nyckeln "about" anger på övergripande nivå vad som avses. Därefter följer tillhörande kod vilken refererar till Forestand-standard som definierar att det är hänsynskategorin "övrig hänsyn" som avses. Den

andra förklarande nyckeln "obs" anger vilken storhet som avses och tillhörande kod definierar via referens till Forestand att det är areal som avses. Den tredje nyckeln "uom" anger måttslaget och tillhörande kod definierar via referens till SiS-standard att måttslaget är hektar. Den avslutande nyckeln "per" är kopplad till måttslaget och tillhörande kod definierar via referens till Forestand att arealen uttrycks i hektar per geografisk förekomst (feature).

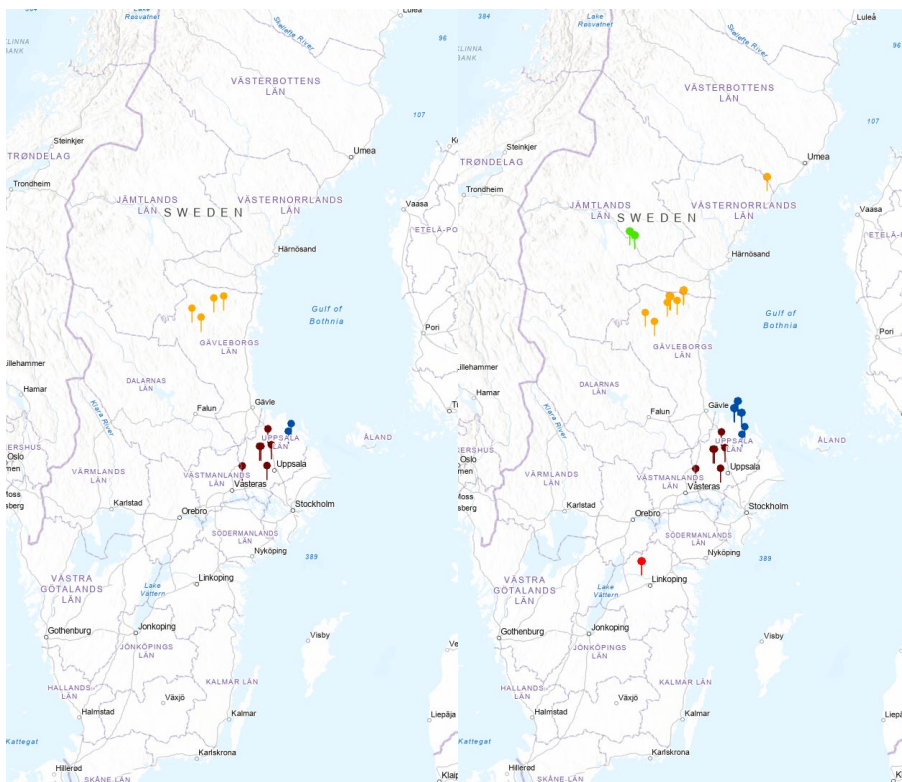
Tabell 2. JSON-objekt som representerar data för "areal övrig hänsyn i måttslaget hektar". Röda textdelar i JSON-objektet är förklarande nycklar och blå textdelar är tillhörande koder.

```
{"about": "http://forestand.skogforsk.se/hansyn/ovrig", "obs": "http://forestand.skogforsk.se/obs/area", "uom": "http://www.sis.se/637009/uom/ha", "per": "http://forestand.skogforsk.se/per/feature"}
```

I Bilaga 1 återfinns en utförligare beskrivning av JSON-objekt och hur de integreras i strukturen för den nya versionen av StanForD 2010-standard. I Bilaga 2 återges en kodlista för samtliga geografiska begrepp som används av modellen för hänsynsuppföljning.

Utveckling och utvärdering av modellen

Modellen för hänsynsuppföljning är uppbyggd av två huvudalgoritmer. En för bestämning av areal och en för bestämning av antal kvarlämnade träd i större trädgrupper (Möller m.fl. 2022). En central del i utvärderingen var att utvärdera noggrannheten i algoritmernas bestämningar genom jämförelse med data från manuella referensmätningar. I studien utfördes sådana referensmätningar på 12 avverkningsobjekt. Dessa mätningar kombinerades sedan med ett tidigare insamlat referensmätt material från 13 objekt (Möller m.fl. 2022). Totalt omfattade utvärderingen alltså referensmätningar från 25 objekt belägna från Linköping till Örnsköldsvik och där avverkningarna utförts i regi av sex olika företag (Figur 3 och Tabell 3).



Figur 3. Position för de 12 avverkningsobjekt som referensmättes inom ramen för studien (vänster), respektive de 25 avverkningsobjekt som totalt ingick i utvärderingen (höger).

Samtliga manuella referensmätningar på objekten gjordes efter avverkning. Följande mätningar/registreringar genomfördes:

- Registrering av koordinaterna för den avverkade ytans yttergränser med hjälp av en handburen GNSS-mottagare.
- Registrering av koordinaterna för yttergränserna för lämnade områden med hjälp av handburen GNSS-mottagare. Lämnade områden inkluderade mindre och större trädgrupper, kantzoner, hänsynskrävande biotoper samt kulturmiljöer som avgränsats med kulturstubbar. De lämnade områden som mättes in var belägna inom den avverkade ytan eller i direkt angränsning till den avverkade ytan.
- Räkning av antalet lämnade träd med brösthöjdsdiameter över 15 cm för de lämnade områdena.
- Kontroll av förarnas registreringar av högstubbar, kulturstubbar, evighetsträd och mindre trädgrupper utifrån data från hpr-filerna. I de fall sådana hänsynsobjekt inte registrerats i hpr-filerna gjordes kompletterande manuell registrering av koordinater för objekten.

Tabell 3. Identitet, läge, fabrikat på avverkande skördare, värd företag samt areal för de 12 objekt som referensmättes inom ramen för studien (ovan streckad linje), respektive de 13 objekt som referensmättes i en tidigare studie (Möller m. fl. 2022) men inkluderades i utvärderingen (nedan streckad linje).

Identitet	Läge	Skördare	Värd företag	Areal
M_2_1	Uppland	Komatsu	Mellanskog	0,70
M_2_2	Uppland	Komatsu	Mellanskog	0,63
M_2_3	Uppland	Komatsu	Mellanskog	4,23
M_2_4	Uppland	Komatsu	Mellanskog	4,86
M_2_5	Uppland	John Deere	Mellanskog	1,58
M_2_6	Uppland	John Deere	Mellanskog	4,56
M_2_7	Uppland	John Deere	Mellanskog	4,58
H_2_1	Hälsingland	Komatsu	Holmen	6,56
H_2_2	Hälsingland	John Deere	Holmen	4,28
H_2_3	Hälsingland	John Deere	Holmen	2,44
B_2_1	Uppland	Komatsu	Billerud	8,50
B_2_2	Uppland	Komatsu	Billerud	17,56
B_1_1	Uppland	Komatsu	Billerud	30,08
B_1_2	Uppland	Komatsu	Billerud	13,77
B_1_3	Uppland	Komatsu	Billerud	15,46
B_1_4	Uppland	Komatsu	Billerud	9,99
H_1_1	Ångermanland	John Deere	Holmen	7,37
H_1_2	Hälsingland	Komatsu	Holmen	3,37
H_1_3	Hälsingland	Komatsu	Holmen	9,76
H_1_4	Hälsingland	Komatsu	Holmen	22,20
H_1_5	Hälsingland	Komatsu	Holmen	5,53
SC_1_1	Jämtland	Rottne	SCA	6,67
SC_1_2	Jämtland	Rottne	SCA	18,83
SC_1_3	Jämtland	Rottne	SCA	3,02
SÖ_1	Östergötland	Rottne	Södra	2,79

Vid utvärderingen jämfördes resultat från referensmätningarna med skattningarna från modellen för hänsynsuppföljning.

Jämförelse gjordes med avseende på:

- Areal för den avverkade ytan.
- Areal för lämnad hänsyn.
- Stamantal per hektar i större trädgrupper för stammar med dbh > 15 cm.
- Antalet stammar med brösthöjdsdiameter över 15 cm som lämnats i större och mindre trädgrupper uttryckt som antal per avverkat hektar

De två huvudalgoritmer som användes i modellen för hänsynsuppföljning för bestämning av areal, respektive antal kvarlämnade träd finns utförligt beskrivna i Möller m.fl. (2022). Algoritmen för bestämning av antal kvarlämnade träd baseras på kvotskattning från skogliga grunddata och i studien utvärderades denna algoritm men även en modifierad variant.

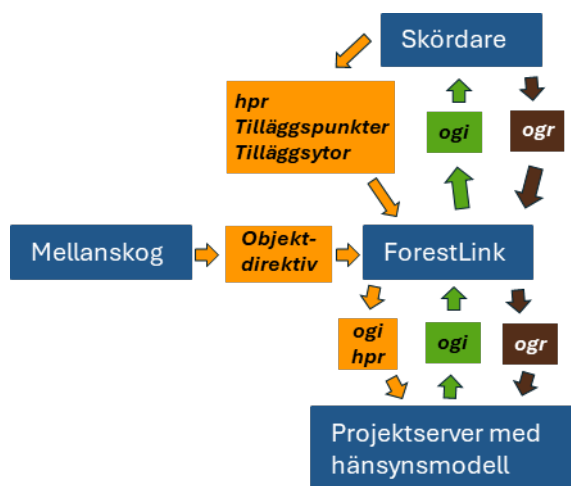
Den modifierade algoritmen för bestämning av antal kvarlämnade träd utnyttjade följande beräkningssteg:

- För grundytavägd höjd och volym per hektar från skogliga grunddata etablerades relationen mellan de två variablernas värden för respektive hänsynsområde och variablernas värden för det närmast intilliggande avverkade området.
- Från skördarens produktionsfil extraherades en stamlista för stammarna som avverkats inom det närmast intilliggande området till varje hänsynsområde.
- För varje hänsynsområde skapades en fiktiv stamlista. Den fiktiva stamlistan skapades genom att stamlistan för det närmast intilliggande avverkade området modifierades så att de ingående stammarnas grundytavägda höjd och volym per hektar motsvarade relationen i skogliga grunddata mellan de två variablernas värden för hänsynsområdet och det närmast intilliggande avverkade området.
- Antalet lämnade stammar med brösthöjdsdiameter över 15 cm beräknades genom direkt räkning i respektive hänsynsområdes modifierade stamlista.

En mer utförlig beskrivning av algoritmens beräkningssteg återfinns i Bilaga 3.

Praktisk demonstration av modellens körbarhet

En viktig del av projektet var att demonstrera att modellen för hänsynsuppföljning fungerade tekniskt på systemnivå under praktisk drift. Demonstrationen genomfördes i samarbete med Mellanskog och ForestLink. Modellen för hänsynsuppföljning integrerades i ett dataflöde som låg parallellt med organisationernas ordinarie dataflöde (Figur 4).



Figur 4. Schematisk illustration av dataflödet som användes under demonstrationen av modellens körbarhet.

Från skördare som avverkade åt Mellanskog skickades hpr-filer löpande till en server hos ForestLink. hpr-filerna innehöll information om hänsynsobjekt registrerade med hjälp av stamkoder. I vissa fall hade skördarföraren även registrerat hänsynsobjekt direkt i ForestLinks kartprogram FLMaps och i dessa fall skickades informationen om hänsynsobjekten direkt från kartprogrammet i form av tilläggs punkter och tilläggs ytor.

Till ForestLinks server skickades även Mellanskogs objektdirektiv, innehållande planerad hänsyn och gränser för respektive avverkning. Från ForestLinks server skickades hpr-filerna från skördarna vidare direkt till en projektserver som var försedd med programvara för att utföra beräkningarna i modellen för hänsynsuppföljning (Bilaga 3). På ForestLinks server förpackades även objektdirektivens information om planerad hänsyn och gränser för avverkningen i en ogi-fil. I samma ogi-fil inkluderades informationen om tilläggs punkter/tilläggsytor från kartprogrammet i skördaren. I ett viktigt förberedande delsteg kodades det primära formatet från kartprogrammet om till att följa koderna i StanForD 2010, version 4.1 (Bilaga 1) innan ogi-filen skickades till projektservern.

Alla beräkningar samt databashantering utfördes på projektservern. Resultaten, i form av geometrier för avverkad yta och lämnad hänsyn samt tillhörande nyckeltal, förpackades i en ogi-fil som skickades från projektservern via ForestLink till skördarna. I skördarna presenterades informationen från hänsynsmodellen löpande för skördarföraren genom att informationen i ogi-filen lästes in i skördarnas kartprogram, FLMaps.

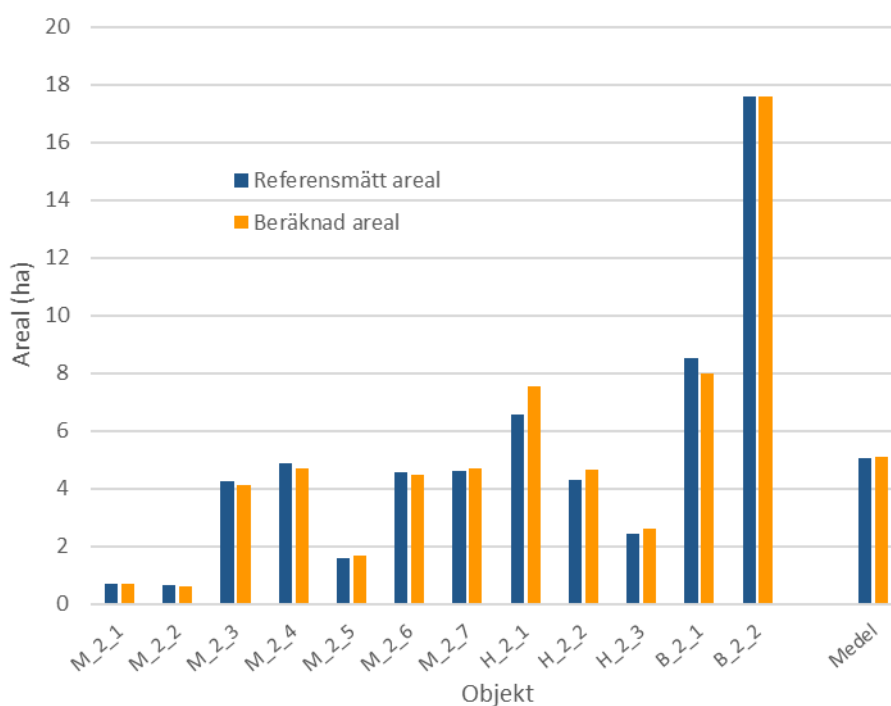
En viktig funktion som implementerades var att skördarförarna kunde korrigera resultaten från hänsynsmodellen under pågående avverkning. Till exempel om skördarföraren noterade att utbredningen av ett hänsynsområde var uppenbart felaktigt. I sådana fall returnerades det redigerade resultatet i en ogr-fil tillbaka till projektservern via ForestLinks server. En ogr-fil är i grunden en ogi-fil men med annan benämning för att, i enlighet med StanForD 2010-regelverket, förtydliga att filen är skickad från skördaren. Det redigerade resultatet betraktades i de efterkommande beräkningsiterationerna på projektservern som det "sanna resultatet" vilket fick gälla i efterkommande resultat från beräkningarna.

All kommunikation mellan alla inblandade datorer/servrar var helt automatiserad och utväxling av filer skedde genom API-anrop över internet.

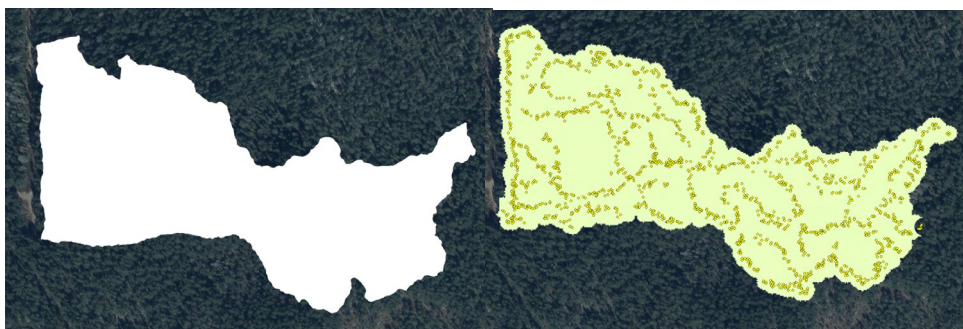
Resultat och diskussion

Avverkad areal

I Figur 5 visas en jämförelse mellan referensmätt och beräknad avverkad areal för de 12 avverkningsobjekten som referensmättes inom ramen för studien. Det var generellt god överensstämmelse mellan de två bestämningarna och i genomsnitt var den referensmätta arealen 5,04 ha medan den beräknade var 5,10 ha. Visuellt granskning av polygoner från de två arealbestämningarna för de 12 avverkningsobjekten gav ytterligare stöd för att algoritmen för arealbestämning ger en korrekt arealbestämning men också att den har en god förmåga att återge avverkningsobjektens yttre form på ett verklighetsnära sätt (se exempel i Figur 6).

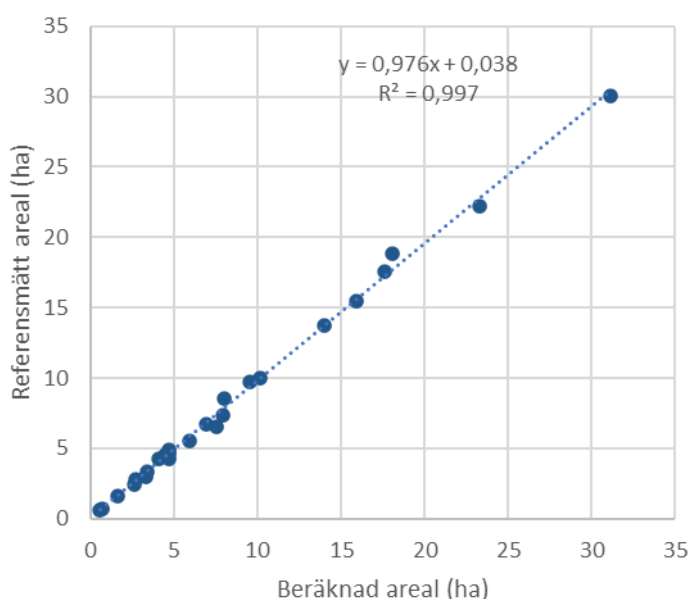


Figur 5. Jämförelse mellan avverkad areal från referensmätning och motsvarande areal beräknad med algoritmen för arealbestämning för de 12 avverkningsobjekten som referensmättes inom ramen för studien.



Figur 6. Exempel på arealpolygon för ett avverkningsobjekt genererad från manuell referensmätning (vänster figur), respektive arealalgorithm (höger figur). De gula prickarna i den högra figuren representerar skördarpositioner.

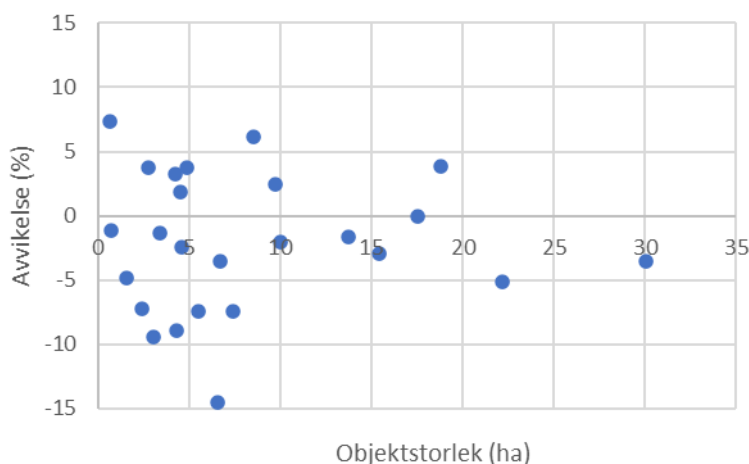
För det samlade materialet, det vill säga då data från 13 tidigare referensmätta avverkningsobjekt inkluderades, noterades på samma sätt ett starkt samband mellan referensmätt och beräknad avverkad areal (figur 7). Dock noterades även för det samlade materialet att den genomsnittliga referensmätta avverkade arealen (8,37 ha) var något lägre än motsvarande areal från arealalgoritmen (8,55 ha).



Figur 7. Samband mellan avverkad areal från referensmätning och motsvarande areal beräknad med algoritmen för arealbestämning för samtliga referensmätta objekt.

För att närmare undersöka skattningarna från arealalgoritmen plottades den relativa avvikelsen mellan referensmätt och beräknad avverkad areal mot den referensmätta objektsstorleken (Figur 8). De relativa avvikelserna var väl balanserade runt noll-värdet oberoende av objektsstorlek. Detta indikerar att arealalgoritmen har förmåga att skatta den avverkade arealen med ett litet eller negligerbart systematiskt fel oberoende av objektsstorlek. Den svaga tendens som noterats; att arealalgoritmen överskattar den avverkade arealen (Figur 5 och 7), är alltså inte knuten till objektsstorlek. Vidare indikerade plotten att storleken på spridningen för de relativa avvikelserna var likartad

för mindre och större avverkningsobjekt. Detta innebär att det slumpmässiga felet för arealalgoritmen uttryckt i relativa tal kan förväntas vara likartat för små och stora objekt.



Figur 8. Plot av den relativa avvikelsen mellan referensmätt och beräknad avverkad areal mot den referensmätta objektstorleken

I Tabell 4 redovisas övergripande prestanda för arealalgoritmens skattning av avverkad areal. För samtliga 25 referensmätta avverkningsobjekt uppgick den systematiska avvikelsen i algoritmens skattning av avverkad areal till en överskattning på 0,18 ha (2,0 %). Algoritmens slumpmässiga fel, uttryckt som standardavvikelsen för avvikelserna mellan referensmätt och beräknad avverkad areal, uppgick till 0,4 ha (5,2 %). Sammantaget indikerar resultaten att algoritmen kan förväntas skatta den avverkade arealen med ett litet systematiskt fel vars relativa storlek är oberoende av objektstorleken och med en spridning som är i nivå med eller något lägre än spridningen för de arealalgoritmer baserade på skördardata som tidigare använts (Hannrup m.fl. 2011, Bhuiyan m.fl. 2016).

För att ytterligare förbättra algoritmbaserad skattning av avverkad areal krävs sannolikt förbättrade indata. Den algoritm som utvärderats är framtagen för att skatta avverkad areal baserat på indata från skördare där hyttens position vid fällning av stammarna registrerats. Idag är en allt större andel av nya skördare utrustade med förbättrad positioneringsteknik där de enskilda stammarnas positioner registreras med en hög grad av noggrannhet (Hannrup & Möller 2022). Utnyttjande av denna typ av indata har sannolikt potential att ytterligare förbättra arealskattningen.

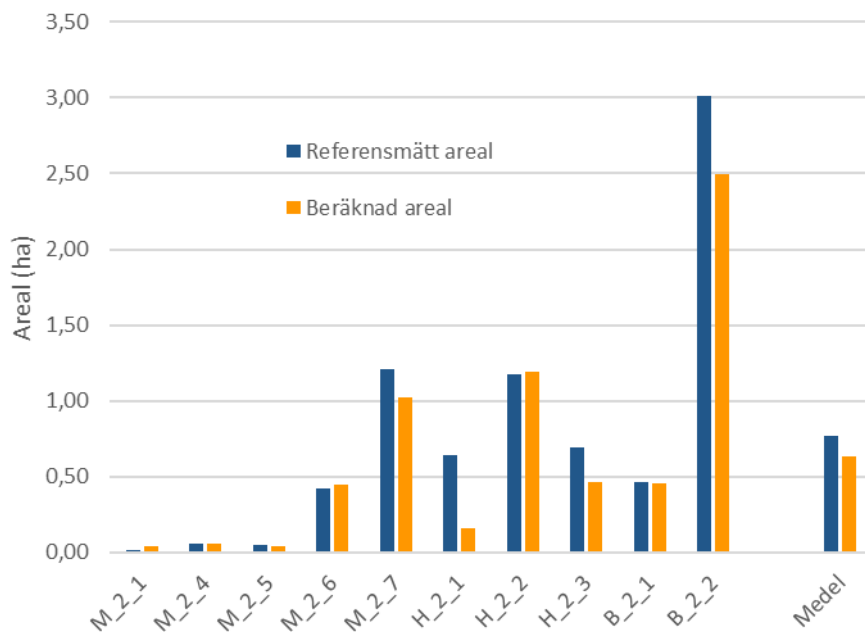
Tabell 4. Antal objekt, spridningsmått samt standardavvikelse för avvikelsen mellan referensmätt avverkad respektive lämnad areal och motsvarande areal beräknad med algoritmen för arealbestämning.

	N (Antal)	Medel (ha)	Min (ha)	Max (ha)	<u>Standard avv.</u> (ha) (%)	
<u>Avverkad areal</u>						
Referensmätt	25	8,37	0,63	30,08		
Arealalgoritm	25	8,55	0,59	31,15	0,44	5,2
<u>Lämnad areal</u>						
Referensmätt	23	0,71	0	3,01		
Arealalgoritm	23	0,65	0	2,50	0,16	22,8

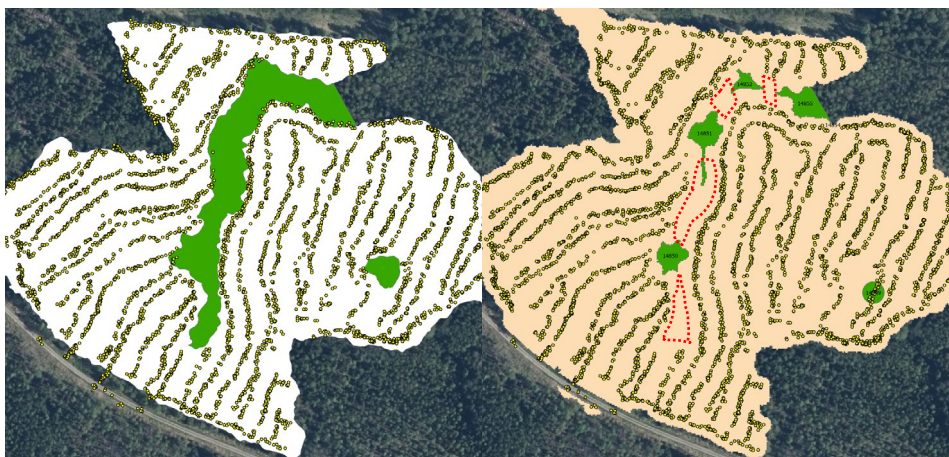
Areal hänsyn

I Figur 9 redovisas en jämförelse mellan den totalt lämnade arealen per objekt för referensmätningen respektive beräknad med arealalgoritmen, för avverkningsobjekten som mättes inom ramen för studien. I genomsnitt var den totalt lämnade arealen beräknad från arealalgoritmen något lägre (0,64 ha) än motsvarande areal från referensmätningen (0,77 ha). Vi tolkar denna tendens till systematisk underskattning som att arealalgoritmens skattning av avverkad areal och lämnad areal kan betraktas som kommunicerande kärl. Den svaga tendens till systematisk överskattning av avverkad areal som tidigare har noterats (Tabell 4) har fortplantat sig till en tendens till systematisk underskattning av lämnad areal.

För merparten av avverkningsobjekten följde arealalgoritmens skattning av totalt lämnad areal väl den areal som uppmättes vid referensmätningen. För objektet H_2_1 (Figur 9) noterades dock en större underskattning av arealalgoritmen vilket uppmärksammade ett generellt problem för algoritmen. Hänsynsobjektet på detta avverkningsobjekt bestod av en smal skyddszon längs en bäck där skördaren avverkat från ömse sidor (Figur 10). Avståndet mellan skördarpositionerna på ömse sidor om skyddszonen var lågt vilket medförde att algoritmen felaktigt klassificerade stora delar av den lämnade hänsynen som avverkad areal. Det bör dock poängteras att kartbilden i Figur 10 återger den primära skattningen från arealalgoritmen i syfte att utvärdera algoritmens grundläggande prestanda. I det system för hänsynsuppföljning som implementerats får skördarföraren löpande återkoppling kring hur algoritmen identifierat avverkad respektive lämnad areal och har då möjlighet att korrigera uppenbara felklassificeringar.

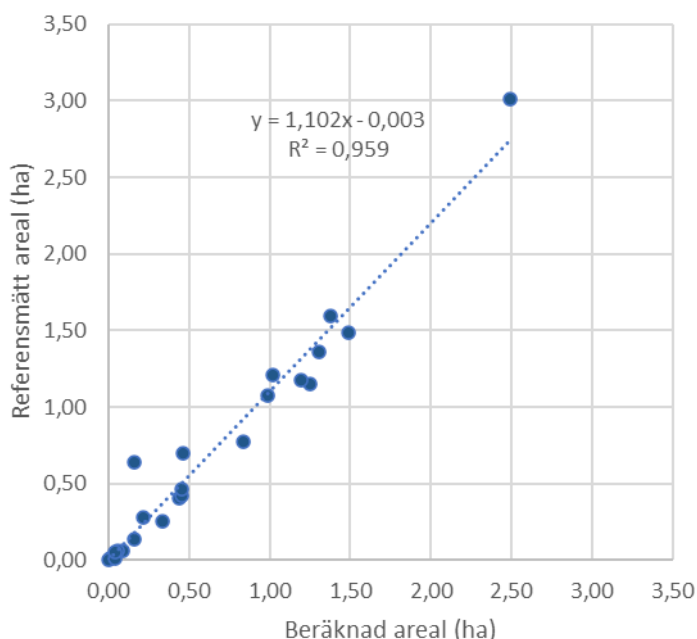


Figur 9. Jämförelse mellan totalt lämnad areal hänsyn per objekt från referensmätning och motsvarande areal beräknad med algoritmen för arealbestämning för avverkningsobjekten som referensmättes inom ramen för studien.



Figur 10. Kartor med gröna polygoner som representerar lämnad hänsyn för objektet H_2_1 från referensmätningen (vänster), respektive från arealalgoritmen (höger). Streckade röda linjer indikerar områden med lämnad hänsyn som inte identifierats av arealalgoritmen.

För det samlade materialet fanns ett starkt samband mellan referensmätt och beräknad avverkad areal (Figur 11). Dock noterades även för det samlade materialet (Tabell 4) att den genomsnittliga lämnade arealen per objekt från arealalgoritmen (0,65 ha) var något lägre än motsvarande areal från referensmätningen (0,71 ha).



Figur 11. Samband mellan totalt lämnad areal per objekt från referensmätning och motsvarande areal beräknad med algoritmen för arealbestämning för samtliga referensmätta objekt.

Sammanfattningsvis visar utvärderingen att arealalgoritmens skattningar av totalt lämnad areal har ett starkt samband med motsvarande referensmätt areal. Det systematiska fel (-8 %) och slumpmässiga fel (23 %) som uppmättes för algoritmen i studien (Tabell 4) bör tolkas med en viss försiktighet. I ett färdigt system får skördarföraren löpande återkoppling från algoritmen och har möjlighet att korrigera för felaktigheter. Detta bör ha en positiv påverkan på arealskattningarnas noggrannhet och precision.

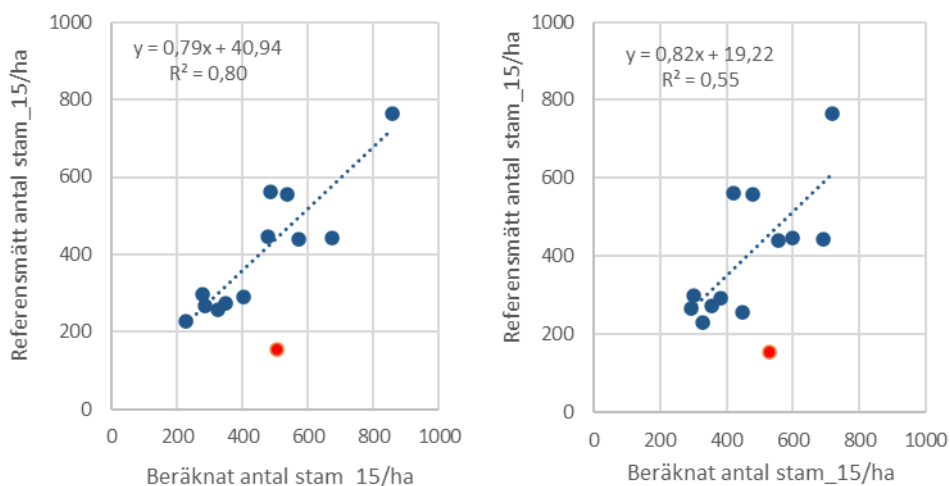
Kvarlämnat trädantal i större trädgrupper

I Figur 12 redovisas samband mellan objektsvisa värden för beräknat och referensmätt antal stammar med brösthöjdsdiameter över 15 cm per hektar för stammar i större trädgrupper. De två algoritmer som användes vid beräkningarna baserades båda på kvotskattningar från skogliga grunddata (Möller m.fl. 2022) men den andra algoritmen utnyttjade även information om diameterfördelningen för stammar som avverkats i närheten av respektive trädgrupp (Bilaga 3). Stamantal beräknat med den senare algoritmen (Figur 12) visade ett starkare samband med referensmätt stamantal och denna algoritm användes därför i de följande analyserna.

Det slumpmässiga felet för den valda algoritmen, uttryckt som standardavvikelsen för avvikelserna mellan referensmätt och beräknat stamantal uppgick till 20 % (Tabell 5). Spridningen är i nivå med den som redovisats för andra metoder som används för beräkning av stamantal från indirekta mätdata (Naesset 2007, Hannrup m.fl. 2015). Båda de utvärderade algoritmerna uppvisade dock en tendens till att överskatta stamantalet. Sådana systematiska fel kan kalibreras bort men för detta krävs det att ett större dataunderlag samlas in vilket inte varit möjligt inom ramen för vår studie.

Data från objektet H_2_1 har exkluderats i utvärderingen av de två alternativa algoritmerna. Det är uppenbart att båda algoritmerna ger markanta överskattningar för

detta objekt vilket har två förklaringar: 1) arealalgoritmen har inte förmått ge en korrekt identifiering av den större trädgrupp som lämnats (Figur 10) och 2) vid avverkningen högs de större granar som fanns inom trädgruppen bort. Skogliga grunddata som används vid kvotskattningen beskriver skogen i trädgruppen före avverkning, innan granarna avverkades, vilket förmodligen är huvudorsaken till de kraftiga överskattningar som algoritmerna genererat.



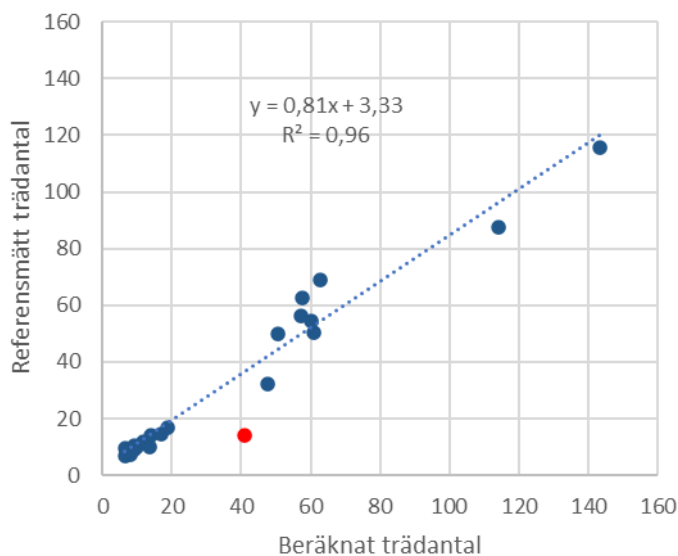
Figur 12. Samband mellan beräknat och referensmätt antal stammar med brösthöjdsdiameter över 15 cm per hektar i större trädgrupper då beräknade värden baserades på modifierad kvotskattning från skogliga grunddata (vänster), respektive renodlad kvotskattning från skogliga grunddata (höger). Vid beräkningen av regressionssambanden har data för objektet H_2_1 exkluderats (rödmarkerade punkter).

Tabell 5. Antal objekt, spridningsmått samt standardavvikelse för avvikelsen mellan referensmätt antal stammar med brösthöjdsdiameter över 15 cm per hektar för stammar i större trädgrupper och motsvarande stamantal beräknat med två alternativa algoritmer. Redovisade värden är beräknade exklusive data för objektet H_2_1.

	N Antal	Medel antal/ha	Min antal/ha	Max antal/ha	Std. avv. antal/ha	%
Referensmätning	12	383	228	765		
Modifierad kvotskattning	12	455	225	857	82	20
Kvotskattning	12	465	293	719	113	28

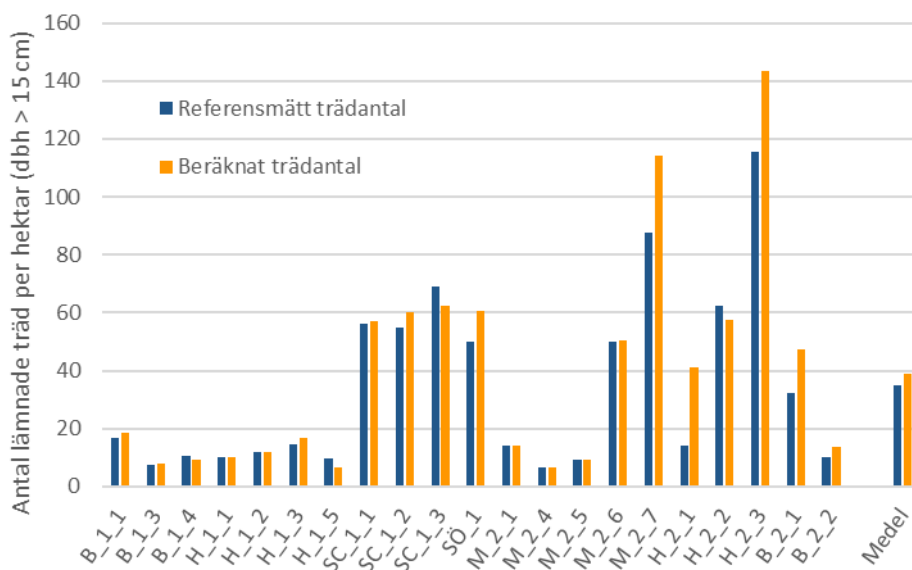
Kvarlämnat trädantal per avverkningsobjekt

Antalet lämnade träd med brösthöjdsdiameter över 15 cm per avverkad hektar är ett centralt nyckeltal vid hänsynsuppföljning och inom de skogliga certifieringssystemen (Anon 2020, Anon 2024). För de 22 utvärderade avverkningsobjekten var det ett starkt samband mellan totalt antal lämnade träd per avverkad hektar med brösthöjdsdiameter över 15 cm från referensmätning och motsvarande trädantal beräknat med modellen för hänsynsuppföljning (Figur 13). I det lämnade antalet träd inkluderades träd som lämnats i mindre och större trädgrupper.



Figur 13. Samband mellan totalt antal lämnade träd per avverkad hektar med brösthöjdsdiameter över 15 cm per avverkningsobjekt från referensmätning och motsvarande trädantal beräknat med modellen för hänsynsuppföljning. Vid beräkningen av regressionssambandet har data för objektet H_2_1 exkluderats (rödmarkerade punkten).

Objektsvis jämförelse mellan beräknat och referensmätt antal lämnade träd per hektar förstärkte bilden av ett starkt samband (Figur 14). För merparten av avverkningsobjekten följde det beräknade trädantalet väl det referensmätta antalet. Större avvikelser noterades framför allt för avverkningsobjekt där merparten av de lämnade träden lämnats i större trädgrupper, till exempel för objekten M_2_7 och H_2_3. I genomsnitt för samtliga avverkningsobjekt var det beräknade trädantalet något högre (39 stammar/ha) än det referensmätta (35 stammar/ha).



Figur 14. Jämförelse mellan totalt antal lämnade träd per hektar med brösthöjdsdiameter över 15 cm per avverkningsobjekt från manuell referensmätning och motsvarande antal lämnade träd beräknat med modellen för hänsynsuppföljning.

Vilken noggrannhet och precision kan modellen förväntas ge vid praktisk användning? Vår studie indikerar att modellen kan förväntas skatta antalet kvarlämnade träd per hektar med ett marginellt eller mindre systematiskt fel (överskattning) och med en spridning på 27 % (Tabell 6). Detta innebär till exempel att för objekt där det sanna antalet kvarlämnade träd är 11 träd per hektar så kan modellen i flertalet fall förväntas skatta antalet kvarlämnade träd inom intervallet 8 till 14 träd per hektar.

Sammanfattningsvis förstärker resultaten i vår studie den bild som förmedlades i den tidigare utvärderingen av modellen för hänsynsuppföljning (Möller m. fl. 2022) och ger därmed ytterligare stöd för att modellen har god förmåga att skatta antal kvarlämnade träd med såväl hög noggrannhet som godtagbar precision. Modellen bör därför vara användbar för flera tillämpningar, till exempel: att ge återkoppling av utfört arbete till skördarförare och planeringsansvariga; att bidra till automatiserad uppdatering/redovisning av åtgärder i skogsbruksplan/register; samt att generera motsvarande redovisning inom ramen för de skogliga certifieringssystemen.

Tabell 6. Antal objekt, spridningsmått samt standardavvikelse för avvikelsen mellan referensmätt totalt antal lämnade träd per hektar med brösthöjdsdimeter över 15 cm per avverkningsobjekt och motsvarande stamantal beräknat med modellen för hänsynsuppföljning. Redovisade värden är beräknade exklusive data för objektet H_2_1.

	N Antal	Medel antal/ha	Min antal/ha	Max antal/ha	Std. avv. antal/ha	%
Referensmätning	21	35	7	116		
Modell	21	39	6	143	9	27

Praktisk demonstration av modellens körbarhet

Under studiens sex avslutande månader genomfördes en demonstration av modellens körbarhet i samarbete med Mellanskog och ForestLink (Figur 4). Demonstrationen visade att modellen var körbar i praktisk drift och att all datakommunikation kunde ske automatiskt utan manuell handpåläggning. En avgörande faktor som låg till grund för det positiva utfallet under demonstrationen var de omfattande insatser som gjorts i studien för att standardisera den geografiska informationen som ingick i dataflödet.

Då modellen kördes på systemnivå under demonstrationen fick skördarförarna löpande återkoppling av resultaten från hänsynsmodellen under pågående avverkning. Resultaten presenterades i ForestLinks kartprogram, FLMaps. Detta gjorde det möjligt att löpande inhämta synpunkter från förarna och baserat på detta modifiera vilken och hur hänsynsinformationen skulle presenteras i kartprogrammets gränssnitt.

Två viktiga förändringar som gjordes under tiden för demonstrationen var:

- Att utöka möjligheten för skördarförarna att redigera geometrier framtagna av hänsynsmodellens arealalgorithm. Till exempel att skördarförarna kunde rita in tilläggsytor för att komplettera traktdirektivet eller för att knyta samman den avverkade ytan med intilliggande hänsynsyta i de fall det uppstått glapp mellan hänsyns- och avverkad yta.
- Att utöka möjligheten för skördarförarna att redigera modellens skattningar av antalet lämnade träd. Detta gällde både mindre trädgrupper och större trädgrupper som identifierats med hjälp av arealalgoritmen.

Referenser

- Anon. 2020. FSC-standard för skogsbruk i Sverige. Rapport, FSC Sverige. 76 s.
<https://se.fsc.org/se-sv/regler/skogsbruksstandard> [25-07-29].
- Anon. 2024. PEFC skogsbruksstandard. Rapport Svenska PEFC. 28 s.
<https://pefc.se/vara-standarder/svenska-pefc-standarden> [25-08-08].
- Arlinger, J., Bhuiyan, N., Möller, J.J., Nordström, M., Söderberg, J. & Eriksson, I. 2018. Skördardatabasen – digital infrastruktur för skördardata. Del av rapporten ”Intressentmedelsprojekt 2017”.
<https://www.skogforsk.se/contentassets/1f429ac071fb48f3830faa3a99297d5e/intressentmedelsprojekt-2017.pdf> [25-09-03].
- Arlinger, J. 2024. Ogi 4.0 Documentation and Examples.
<https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/> [25-08-08].
- Arlinger, J. & Möller, J.J. 2024. StanForD.
<https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/> [25-08-08].
- Ahlström A. & Djupström L. 2020. Skogsbrukets gemensamma hänsynsuppföljning. Resultat från fältinventeringen 2019. Arbetsrapport från Skogforsk, nr. 1059. 23 s.
- Bhuiyan, N., Möller, J.J., Hannrup, B. & Arlinger, J. 2016. Automatisk gallringsuppföljning - arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot. Arbetsrapport från Skogforsk, nr. 899. 39 s.
- Hannrup, B., Bhuiyan, N. & Möller, J.J. 2011. Utvärdering av ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register och planeringssystem. Arbetsrapport från Skogforsk, nr 757. 39 s.
- Hannrup B., Djupström L., Hyll K & Möller J.J. 2020. Digitaliserad naturvårdsuppföljning. Arbetsrapport från Skogforsk, nr. 1068. 12 s.
- Hannrup, B., Bhuiyan, N. & Möller J.J. 2015. Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning. Arbetsrapport från Skogforsk, nr. 857. 48 s.
- Hannrup, B. & Möller, J.J. 2022. Positionering av enskilda träd vid avverkning med skördare. Arbetsrapport från Skogforsk, nr. 1111. 18 s.
- Möller, J. J., Arlinger, J., Djupström L., Ericsson I., Hannrup B. & Hyll K. 2022. Digitaliserad naturvårdsuppföljning – modellutveckling och utvärdering. Arbetsrapport Skogforsk nr. 1140. 30 s.
- Naesset, E. 2007. Airborne laser scanning as a method in operational forest inventory: Status of accuracy assessments accomplished in Scandinavia. *Scandinavian Journal of Forest Research* (22): 433–442.

Bilaga 1. Principer för kodning av hänsynsinformation i StanForD 2010 OGI

4.1

Syfte

Här beskrivs principerna för att bygga upp koder, kopplade till Forestand, för användning i den kommande versionen av StanForD 2010, version 4.1 (ogi/ogr) inom tillämpningen digitaliserad hänsynsuppföljning. Koderna används i elementet PropertyInfo i PropertyDefinition.

För beskrivning av den nya geografiska delen i StanForD 2010-standarderna se Arlinger (2024).

Kodningsprinciper

I den geografiska standarden (ogi/ogr) används listor med värdepar som kopplas till olika geografiska objekt. Varje värdepar består av en nyckel (PropertyUserID) och ett värde (PropertyValue). PropertyUserID ligger sedan kopplat mot en rad i PropertyDefinition. Listan med värdepar är en enkel datastruktur, den saknar exempelvis hierarkiska nivåer.

Skogforsks metod för att hantera komplexa data går ut på att placera ett JSON-objekt i PropertyInfo under PropertyDefinition. Varje JSON-objekt innehåller ett antal värdepar, där värdena i sin tur är koder. JSON-objekten blir därmed en samling av koder som tillsammans kan tolkas till en definition. Till exempel kan koden för övrig hänsyn kombineras med koden för storheten areal och koden för måttslaget hektar för att skapa betydelsen "Areal övrig hänsyn uttryckt i måttslaget hektar".

I möjligaste mån har de begrepp och definitioner som finns i Forestand återanvänts och byggts in i JSON-objekten. Några värdeförråd har kunnat kopieras rakt av, medan andra endast har ärvt principen för egna värdeförråd, där koderna byggs upp som URI-strängar. Avsikten är att dessa ska infogas i de allmänt tillgängliga koderna på Skogforsks webbplats.

JSON-objektets delar

Namndelen i JSON-objektets värdepar på första nivån kan anta något av följande värden:

"about"

"obs"

"uom"

"per"

"population_subset"

Värdepar med namnen "about", "obs" och "uom" är obligatoriska i alla JSON-objekt.

about

Namnet "about" fungerar som en övergripande etikett, alltså vad det är som avses. Via about anges exempelvis om det handlar om en åtgärdsbeskrivning, hänsynsbeskrivning eller av en beskrivning av beståndet som helhet.

obs

Via obs-värdeparet anges vilken storhet, alltså egenskap hos beståndet eller ståndorten som avses. Exempel på storhet kan vara antal, area eller volym.

uom

Värdeparet med namnet "uom" används för att specificera måttslaget för en viss storhet. Typiskt kan storheten volym specificeras med måttslaget m³sk eller m³fub.

per

Namnet "per" är del av det som normalt ingår måttslagsbegreppet. Begreppet används för att ange nämnaren i måttslaget, till exempel per hektar eller per kubikmeter.

population_subset

Värdeparet med namnet "population_subset" är en motsvarighet till Forestands "ObjectPopulation". Det används för att beskriva vilket eventuellt urval av stammar som avses. JSON-Objektet innehåller en undernivå med två värdepar som är direkt hämtade från Forestand: "objective" och "species". Objective används för att ange om stamurvalet avser beståndet före avverkning, beståndet efter avverkning eller den uttagna andelen, medan species används för att specificera vilket/vilka trädslag som avses.

Ytterligare ett värdepar i undernivån, "dbhmin_mm", fungerar som en nedre diametergräns för stamurvalet.

Kodexempel

Antal lämnade träd över 15 cm per ha

about	"http://forestand.skogforsk.se/hansyn"
obs	"http://forestand.skogforsk.se/obs/count"
uom	"http://forestand.skogforsk.se/uom/pcs"
per	"http://forestand.skogforsk.se/per/ha"
population_subset	"dbhmin_mm": 150, "objective": "http://forestand.skogforsk.se/code_inventoryobjective/E20"

Åtgärdsareal

About	"http://forestand.skogforsk.se/activity"
obs	"http://forestand.skogforsk.se/obs/area"
uom	"http://forestand.skogforsk.se/uom/ha"

Stamkodstryck för trädgrupp

about	"http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/tradgrupp"
obs	"http://forestand.skogforsk.se/obs/count"
uom	"http://forestand.skogforsk.se/uom/pcs"

Kommentar: Koden används om information motsvarande en stamkod i hpr-data, istället skickas via ogi. Om värdet är ett för stamkoden trädgrupp, motsvarar det alltså ett stamkodstryck, vilket i sin tur kan motsvara fem eller tio lämnade träd beroende på vilken lokal definition som används.

Kodlista

En lista med de JSON-objekt som representerar de geografiska begrepp som används av modellen för hänsynsuppföljning återfinns i Bilaga 2.

Bilaga 2. Förteckning över JSON-objekt

I tabellen nedan listas de JSON-objekt (PropertyInfo) som representerar de geografiska begrepp som används av modellen för hänsynsuppföljning. I tabellen ges också ett förslag på hur de olika begreppen kan namnges (PropertyUserId).

PropertyUserId	PropertyInfo
codeHansynAreal	{"about":"http://forestand.skogforsk.se/hansyn","obs":"http://forestand.skogforsk.se/obs/area","uom":"http://www.sis.se/637009/uom/ha","per":"http://forestand.skogforsk.se/per/feature"}
codeHansynKravandeAreal	{"about":"http://forestand.skogforsk.se/hansyn/kravande","obs":"http://forestand.skogforsk.se/obs/area","uom":"http://www.sis.se/637009/uom/ha","per":"http://forestand.skogforsk.se/per/feature"}
codeHansynOvrigAreal	{"about":"http://forestand.skogforsk.se/hansyn/ovrig","obs":"http://forestand.skogforsk.se/obs/area","uom":"http://www.sis.se/637009/uom/ha","per":"http://forestand.skogforsk.se/per/feature"}
codeDbh15PerHa	{"about":"http://forestand.skogforsk.se/hansyn","obs":"http://forestand.skogforsk.se/obs/count","uom":"http://forestand.skogforsk.se/uom/pcs","per":"http://forestand.skogforsk.se/per/ha","population_subset":{"dbhmin_mm": 150,"objective":"http://forestand.skogforsk.se/code_inventoryobjective/E20"}}
codeHogstubbarPerHa	{"about":"http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/hogstubbe","obs":"http://forestand.skogforsk.se/obs/count","uom":"http://forestand.skogforsk.se/uom/pcs","per":"http://forestand.skogforsk.se/per/ha"}
codeEvighetstradPerHa	{"about":"http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/evighetstrad","obs":"http://forestand.skogforsk.se/obs/count","uom":"http://forestand.skogforsk.se/uom/pcs","per":"http://forestand.skogforsk.se/per/ha"}
codeEjHyggesbrutenAreal	{"about":"http://forestand.skogforsk.se/hansynsuppfoljning/ej_hyggesbruten_areal","obs":"http://forestand.skogforsk.se/obs/area","uom":"http://www.sis.se/637009/uom/ha","per":"http://forestand.skogforsk.se/per/feature"}
codeAtgardsAreal	{"about":"http://forestand.skogforsk.se/activity","obs":"http://forestand.skogforsk.se/obs/area","uom":"http://www.sis.se/637009/uom/ha","per":"http://forestand.skogforsk.se/per/feature"}
codeAndelDeladGrans	{"about":"http://forestand.skogforsk.se/hansynsuppfoljning/andel_delad_grans","obs":"http://forestand.skogforsk.se/obs/share","uom":"http://www.sis.se/637009/uom/percent","per":"http://forestand.skogforsk.se/per/feature"}
codeHogstubbe	{"about":"http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/hogstubbe","obs":"http://forestand.skogforsk.se/obs/count","uom":"http://forestand.skogforsk.se/uom/pcs"}
codeEvighetstrad	{"about":"http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/evighetstrad","obs":"http://forestand.skogforsk.se/obs/count","uom":"http://forestand.skogforsk.se/uom/pcs"}
codeKulturstubbe	{"about":"http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/kulturstubbe","obs":"http://forestand.skogforsk.se/obs/count","uom":"http://forestand.skogforsk.se/uom/pcs"}
codeTradgrupp	{"about":"http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/tradgrupp","obs":"http://forestand.skogforsk.se/obs/count","uom":"http://forestand.skogforsk.se/uom/pcs"}

Bilaga 3. Digitaliserad naturvårdsuppföljning – beskrivning av underliggande programkod

Inledning

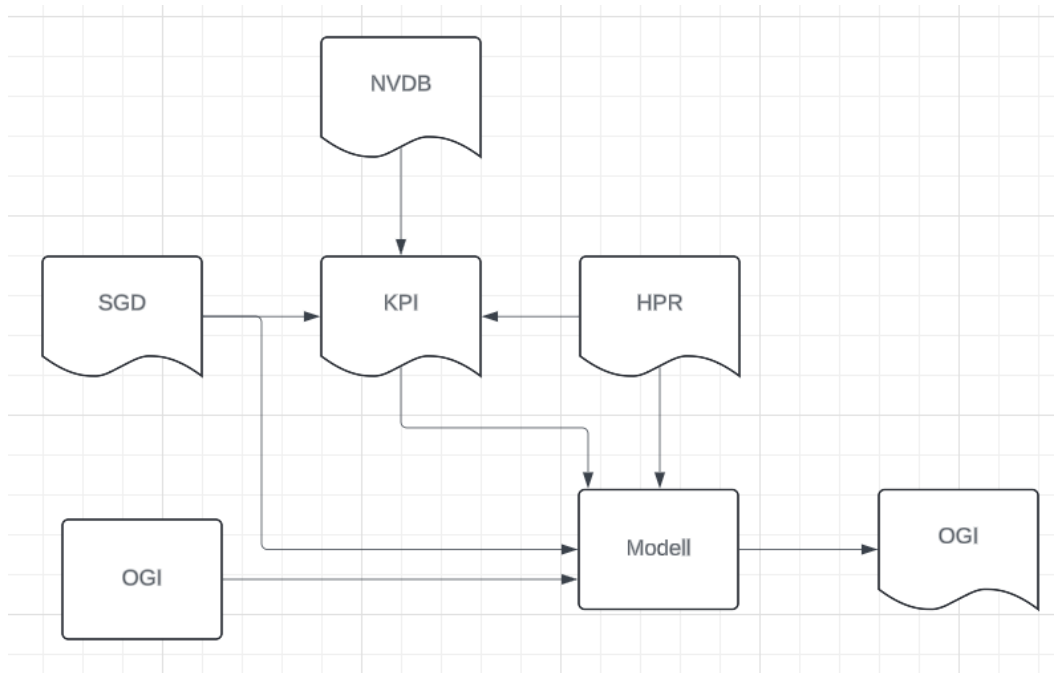
Modellen för digitaliserad naturvårdsuppföljning använder data från planering och genomförande av avverkning tillsammans med allmänt tillgängliga data om skog och vägar för att skatta nyckeltal om lämnad hänsyn. Informationsflödet involverar ett antal steg för att tillrättalägga informationen och genomföra beräkningarna. Koden är skriven i en blandning mellan JAVA och SQL, där data hanteras i PostgreSQL. PostgreSQL-tillägget PostGIS utnyttjas i hög grad. Den relativt stora andelen SQL beror på att många av beräkningarna involverar databasens programbibliotek för GIS-analys. Blandningen av programspråk bidrar till att göra koden svårtolkad.

Syftet här är att ge en beskrivning av hur koden fungerar. Målgruppen är dels de som eventuellt ska implementera koden i ett eget system, dels de som behöver förstå koden mer grundligt av andra skäl.

Övergripande informationsflöde

Figuren nedan visar hur informationsflödet ser ut i stora drag:

- Den StanForD 2010-definierade ogri-filen som skickas via http/POST innehåller styrdata i form av traktgränser, ritad hänsyn, kompletterande punktobjekt samt koder för bland annat typ av hänsyn.
- Skogliga grunddata (SGD).
- KPI-ytor med avverkningspolygon, avverkningsform m.m. härstammande från arealberäkningsalgoritmen (Möller m. fl. 2022). KPI-ytorna i sin tur baseras på hpr-data, skogliga grunddata och nationella vägdata-basen (NVDB).
- hpr-data med stamkoder.
- Resultatet från modellen förpackas i ett ogri-meddelande. Resultatet innehåller hänsynsytor och avverkningspolygon med nyckeltal. I de fall då skördarföraren redigerat/korrigerat resultaten från modellen skickas en ogr-fil tillbaka till skördaren.



Beräkningsflöde

Nedan följer en beskrivning steg för steg vad som händer från det att anropet till modellen mottas till dess att svaret från modellen skickas.

Ta emot meddelande och initiera beräkning

Anropet innehåller ogi-data samt en URL med inställningsparametrar. ogi-data blir inlästa till ett XML-dokument medan parametrarna översätts till ett JSON-objekt. Dessa två datastrukturer används som indata till beräkningsklassen.

Det första som sker i beräkningsklassen är att inställningsparametrarna läses in.

Dessa är:

- Om hyggesbrytning ska beräknas enligt regelverket från FSC-standard (Anon 2020).
- Ytradie för stamkodsregistrerade trädgrupper. Ytradien kan betraktas som en företagsspecifik nyckel för att omvandla en stamkodsregistrering för trädgrupp till antal lämnade träd för trädgruppen samt dess yta. I studien använde vissa företag en nyckel där en stamkod för trädgrupp motsvarade 5 lämnade träd medan andra företag använde en nyckel där en stamkod för trädgrupp motsvarade 10 träd. I modellen antas varje träd uppta en yta på 20 m² vilket innebär att ytradierna för de två nycklarna var 5,64, respektive 7,98 m.

Läsa data i ogi

En särskild klass ansvarar för läsningen av ogi-filen. Data som hämtas är:

- Virkesorder.
- Geometri för planerad traktgräns.
- Geometri och hänsynskod för planerade hänsynsytor. Två hänsynskategorier (koder) används; hänsynskrävande biotop och övrig hänsyn. Information om

hänsynskategori är nödvändig för att modellen ska kunna tillämpa FSC-standardens räkneregler för antal kvarlämnade träd på ett korrekt sätt.

- Geometri och kod för tilläggs punkter registrerade direkt i skördarens kartprogram och som ska tolkas som stamkoder. Detta förekommer alltså i de fall skördarföraren valt att inte registrera punktformad hänsyn (högstubbar, kulturstubbar, evighetsträd och mindre trädgrupper) som stamkoder utan i stället registrerat i kartprogrammet.
- Geometri och kod för tilläggs ytor, det vill säga större lämnade trädgrupper, registrerade direkt i skördarnas kartprogram.

Uthämtningen av data ur ogi sker i form av GeoJSON-objekt. Det finns funktioner för att hämta var och en av ovanstående kategorier. Varje objekt har en eller flera properties eller värdepar (key,value). Nyckeln utgörs av strängen som återfinns i PropertyDefinition-elementet i ogi-filen, medan värdet hämtats från elementet PropertyValue. Därutöver byggs även en aggregerad kod som innehåller samtliga koder som taggats med nyckeln "about" och som är kopplade till geometrin. Denna får nyckelvärdet "concept" i de olika exporterade JSON-objekten.

En hjälpklass används för översättning av koder. Den organiserar data på ett sätt så att algoritmen kan läsa ut data oberoende av vilka specifika "PropertyNames" som har använts i ogi-filen.

Rensa tidigare beräkningar

Förutom att modellen returnerar en ogi-fil, lagras beräkningsdata även i en databas. Dessa data måste rensas varje gång en ny beräkning ska göras för en specifik virkesorder i takt med att nya data tillkommit. En särskild funktion används för detta städarbete.

Skapa geometri för avverkad yta

Den verkliga avverkade ytan beräknas genom sammanslagning av databasens KPI-ytor genom utnyttjande av POSTGIS-funktionen ST_Union. Geometrin kommer att innehålla yttergränser såväl som de inneslutna ytor som senare kommer att extraheras till hänsynsytor (Figur 1).



Figur 1. Exempel på geometri för avverkad yta. Grå yta är avverkad yta. Inneslutna ej markerade ytor är områden som enligt modellen ej har avverkats.

Omvandla JSON-objekt till SQL

Ett flertal SQL-frågor använder data i JSON-objekten. Därför finns en funktion som skapar SQL-uttryck baserat på dessa. Detta kan sedan användas som en underfråga i andra SQL-frågor. Underfrågan kommer att returnera geometrier kopplat till "concept"-nyckeln beskriven ovan. Funktionen anropas med GeoJSON innehållande valfritt antal "features" som argument.

Sammanställning av stamkoder

Stamkoder kan ha två ursprung: Antingen förekommer de som stamkoder i hpr-filen, eller som punktojekt i ogf-filen (se avsnittet "Läsa data i ogf"). En SQL-fråga används för att hämta data från båda dessa för att lagra stamkoderna som punktojekt med tillhörande kod i en databastabell för senare bruk. Den filtreringsregel som tillämpas är att inga stamkoder från hpr lagras om det finns stamkodsobjekt från ogf inom en meters radie.

Aggregera ritade ytor

De ritade geometrierna, dvs. polygon för planerad avverkning och polygoner för planerad hänsyn, aggregeras till multigeometrier för hänsyn samt total ritad yta vilket benämns bruttopolygon (Figur 2). Dessa används senare för överlappsanalys.



Figur 2. Exempel på ritad (planerad) yttergräns och ritade (planerade) hänsynsytor. Tillsammans bildar dessa den s.k. "bruttopolygonen".

Extrahera automatiskt identifierade hänsynsytor

Eventuella inneslutna ringar (hål) i avverkningspolygonen betraktas som lämnad hänsyn under förutsättning att

- de är minst 100 kvadratmeter stora; mindre geometrier betraktas generellt som misstag från arealalgoritmen men kan i verkligheten vara till exempel naturliga gläntor i skogen
- de befinner sig inom bruttopolygonen.

Anledningen till att de måste finnas sig innanför bruttopolygonen är att inneslutna ringar som inte är en del av objektet (t.ex. ett gallringsbestånd) annars kan medräknas som hänsyn.

I Figur 3 återges exempel på geometrier inneslutna i avverkningspolygonen som kommer att räknas som hänsynsytor.



Figur 3. Exempel på inneslutna geometrier inom den avverkade ytan (se Figur 1) som ej avverkats och som då kommer att räknas som hänsynsytor.

Beräkna total avverkningspolygon inom bruttopolygon

Ytterligare en geometri som används i senare beräkningar är avverkningspolygonen utan inneslutna ringar och där inneslutna ytor som inte helt täcks av bruttopolygonen dras bort (Figur 4). Skälet till att inte helt inneslutna inre ringar tas bort är återigen att ytor som inte ska ingå i objektet inte kommer med i beräkningen, här som en del av avverkningspolygonen.



Figur 4. Exempel på total avverkad yta utan hål. I figuren gråmarkerad.

Täta glipor mellan ritade hänsynsytor och avverkningspolygonen

Ett vanligt problem är att den avverkade ytan inte fullt ut överlappar med den ritade (planerade) hänsynen längs med den förväntade anslutande gränsen. För att beräkning av andel delad gräns enligt tårthitsprincipen (se nedan) ska blir rätt behöver dessa glipor tätas till. Det sker enligt följande steg:

1. Skapa union av yttre avverkad utan hål och ritad hänsyn.
2. Extrahera de hål som ringar som ev. uppstått mellan ritat och avverkat, men endast de som är innanför bruttopolygonen.
3. Skapa en ny geometri som en union av de extraherade ringarna, ritad hänsyn och avverkad geometri utan hål (Figur 5).



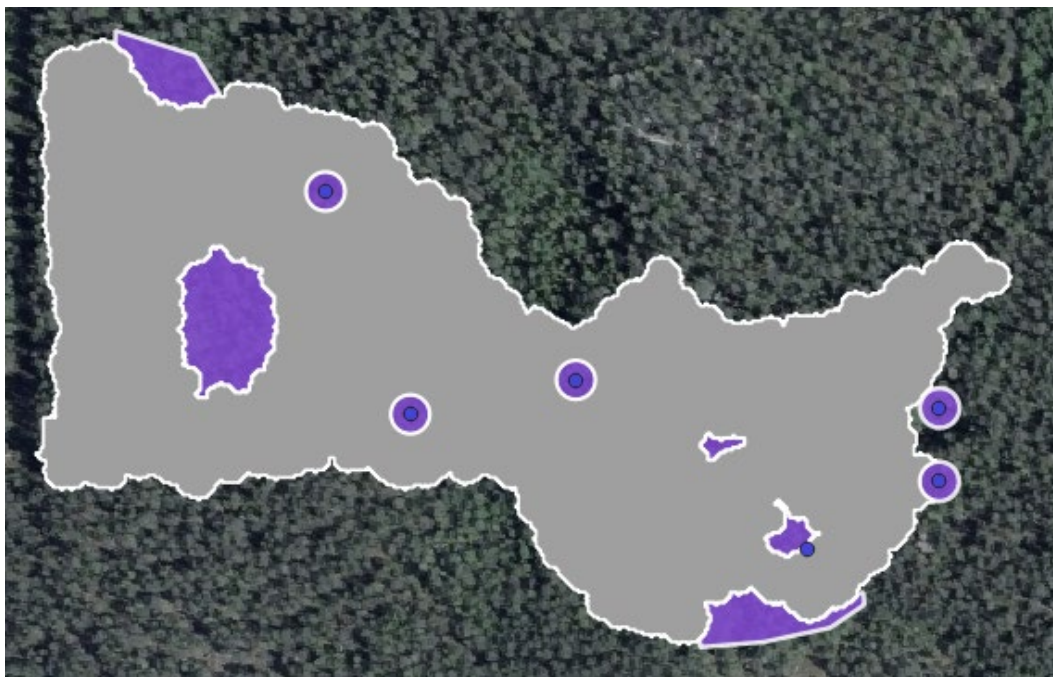
Figur 5. Hänsynsytor har anpassats mot avverkningspolygonen och eventuella glipor har tätats.

Lagra alla hänsynsytor och traktpolygon till databas inklusive trädgrupper

I det här steget lagras hänsynsytor i databasen. Hänsynsytor blir:

- Alla inneslutna ringar över 100 kvadratmeter.
- Ritade hänsynsytor klippta mot avverkningspolygonen och med utfyllda glipor adderade.

Därutöver görs även stamkoder för trädgrupp om till ytor med en konfigurerbar radie. Dessa ytor får ett fast stamantal per hektar, så att det resulterande antalet stammar blir detsamma som är bestämt ska motsvara ett stamkodstryck. Stamkoder som befinner sig inom 15 meter från en identifierad hänsynsyta exkluderas dock i detta steg (Figur 6). Anledningen till detta är att undvika dubbelräkning i fall där skördarföraren registrerat en stamkod för mindre trädgrupp och samma trädgrupp identifierats som en hänsynsyta av arealalgoritmen.



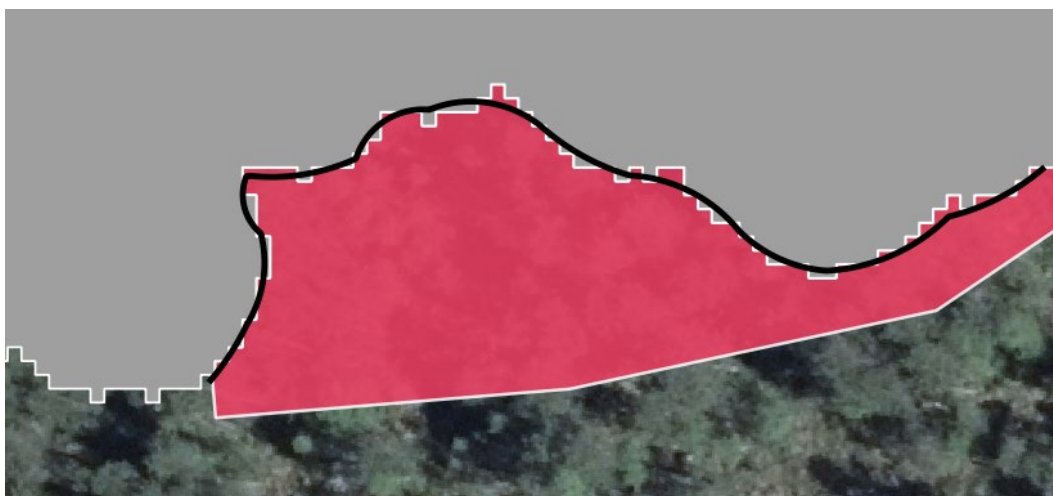
Figur 6. I den slutgiltiga geometriska representationen har stamkoder för trädgrupp (mörkblå cirklar) fått cirkulära ytor. I ett fall låg stamkoden dock för nära en befintlig yta för att få en egen geometri.

Hantera blandad typ av hänsyn inom en hänsynsyta

Om en innesluten yta har överlappande ritade ytor med olika hänsynskoder, delas den inneslutna ytan med de ritade ytorna gränslinjer som verktyg. Efter delningen görs en överläggsanalys, där de resulterande delarna får hänsynskod enligt vad som är satt på de ritade motsvarigheterna. Om det inte finns någon överlappande ritad yta, antas den nya ytan vara övrig hänsyn.

Beräkning av andel delad gräns

Andel delad gräns beräknas som kvoten mellan den längden gräns som är gemensam för hänsynsytan och den avverkade ytan och hänsynsyttans hela perimeter. Då Skogforsks arealberäkningsalgoritm arbetar med en rasterbaserad modell, kommer gränsen mellan ritade ytor och avverkad yta få en sicksacksträckning (Figur 7). För att gränslinjens längd inte ska överskattas, sker en uträtning av linjen innan längden räknas ut.



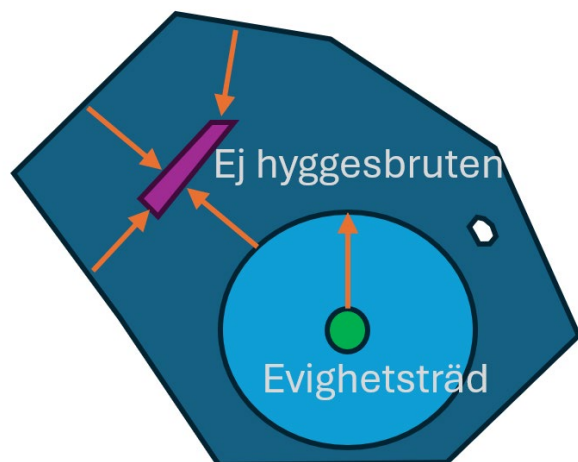
Figur 7. Den delade gränsen rätas ut för att längdberäkningen ska bli rätt.

Bestämning av storleksklass

För tillämpning av FSC:s räkneregler behöver avverkningen klassificeras som antingen stor eller liten yta. För att göra denna bestämning tar algoritmen reda på om objektet ligger ovanför eller nedanför den biologiska norrlandsgränsen (*Limes Norrlandicus*). För objekt söder om gränsen räknas arealer större än fyra hektar som stora ytor. Norr om gränsen räknas objekt större än tio hektar som stora ytor (Anon 2020).

Areal som inte är hyggesbruten

Hyggesbrytande objekt utgörs av de hänsynsytor som identifierats automatiskt samt evighetsträd registrerade via stamkod. Den areal som inte är hyggesbruten beräknas genom att först beräkna skillnadsgeometrin mellan nettopolygonen (den avverkade ytan utan hänsynsytor) och en buffert runt evighetsträden (Figur 8). Skillnadsgeometrin krymps sedan med samma buffetradie och den eventuella kvarvarande geometrin räknas som ej hyggesbruten areal. Den använda buffetradien är konfigurerbar men enligt räknereglererna i FSC-standarderna ska värdet 70 meter användas (Anon 2020).



Figur 8. Principskiss för beräkning av areal som inte är hyggesbruten (lila yta). De orangea pilarna ska vara lika långa och representerar buffertradien.

Tvingande yta och eller tvingande antal

Modellen tillåter att den automatiska beräkningen av hänsynsgeometri och antal lämnade träd över 15 cm i DBH bestäms manuellt för ritad hänsyn. Om ogi-data innehåller uppgift om areal för en viss geometri, ersätts rutinen för att anpassa den ritade hänsynen efter den avverkade geometrin med en funktion som gör det motsatta, dv. anpassar den avverkade polygonen efter den ritade geometrin (Figur 9).

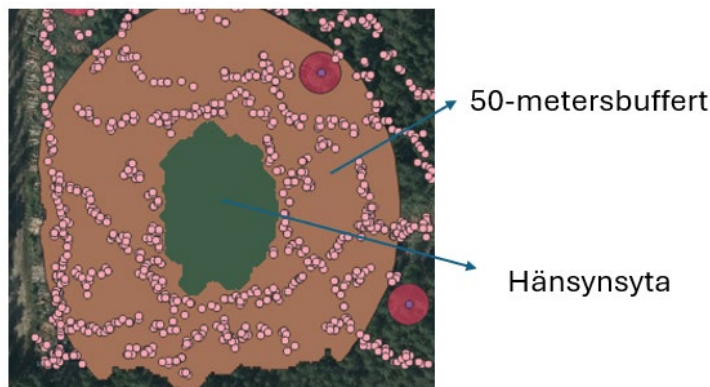
Om ogi-data även innehåller uppgift om antal träd, ersätts eventuell modellskattning med denna uppgift.



Figur 9. Exempel på yta där först tvingande yta, sedan tvingande antal har använts.

Skattning av antalet kvarlämnade träd över 15 cm i DBH

Skattning av trädantal över 15 cm i brösthöjd på en hänsynsyta sker genom att utgå från omgivande avverkade stammar och sedan utnyttja förhållandet mellan omgivningens skogliga grunddata och hänsynsykans skogliga grunddata. Figur 10 nedan visar en hänsynsyta och den 50 meter breda buffertzonen som utgör den beräkningsgrundande omgivningen.



Figur 10. Hänsynsyta med omgivande buffertzon. De avvergade stammar som befinner sig inom buffertzonen bildar den använda stamlistan.

Beräkningen sker i följande steg:

1. Bestäm omgivande avverkningsform.
2. Skapa buffert runt hänsynsytan.
3. Beräkna skogliga grunddata (SGD) för hänsynsyta och buffertzon.
4. Sök ut avvergade stammar inom buffertzonen och skapa en stamlista av dessa.
5. Kontrollera årtalen för skanning respektive avverkning för att se huruvida omdrev ett eller två ska användas.
6. Beräkna kvoter mellan hänsynsyttans och buffertzonens SGD för HGV och volym per hektar.
7. Räkna ut total skördad volym i buffertzonen. Om avverkningsformen inte är slutavverkning, utan någon form av dimensionsavverkning, sätts den skördade volymen till samma som volymen enligt skogliga grunddata.
8. Den skördade volymen multipliceras med SGD-volymskvoten.
9. Räkna ut HGV för de avvergade stammarna inom buffertzonen.
10. Räkna ut hänsynsyttans motsvarande HGV genom att multiplicera HGV för de avvergade stammarna inom buffertzonen med kvoten mellan hänsynsyttans och buffertzonens SGD för HGV.
11. Anpassa den avvergade stamlistan så att den får samma HGV som hänsynsyttan, se avsnittet "Beskrivning av algoritm för anpassning av Hgv hos en stamlista".
12. Anpassa den avvergade stamlistan så att den får samma volym som skördade volymen multiplicerad med SGD-volymskvoten.
13. Filtdera denna stamlista så att den endast innehåller stammar över 15 cm DBH.
14. Beräkna antalet stammar över 15 cm DBH genom att använda arealförhållandet mellan omgivning och hänsynsyta.

Tolkning av kulturstubbar

En beräkningsregel anger att om det finns minst tre kulturstubbar inom 15 meter från en hänsynsyta, sätts antal lämnade träd till noll. Detta baseras på antagandet att kulturstubbar kopplade till en yta oftast innebär att det handlar om en typ av objekt där det saknas träd, alternativt där träd inte ska lämnas kvar.

Tolkning av stamkoder för trädgrupp i närheten av hänsynsyta

Modellen skattar trädantal för samtliga ytor oavsett om det finns stamkoder för trädgrupp i närheten (inom 15 meter) eller inte. Men om antalet träd som angivits via stamkod

överskrider antalet som modellen har räknat fram, kommer det stamkodsregistrerade antalet att vara det som används vid beräkning av nyckeltalen.

Dvs. om modellen exempelvis räknar fram att det står 18 träd på en yta, och det finns två stamkodstryck inom 15 meter och var och en av dessa ska tolkas som 10 träd, kommer antalet som används vid sammanräkning vara 20 och inte 18.

Beskrivning av algoritm för anpassning av HGV hos en stamlista

Syftet med algoritmen är att modifiera en stamlista så att den korresponderar mot en given grundtyevägd medelhöjd ($HGV_{mål}$), utan att det sker en ändring av totalvolymen.

Algoritmen startar med att avgöra om HGV ska justeras uppåt eller nedåt. En initial beräkning av stamlistans HGV görs och jämförs med $HGV_{mål}$.

Nästa steg är att avgöra om det är möjligt att åstadkomma den sökta höjden med de stammar som finns i listan. Kontrollen är att det måste finnas minst tre procent av antal stammar på vardera sidan om $HGV_{mål}$.

Följande sker i iterationer som avslutas först när stamlistan uppfyller $HGV_{mål}$. Varje iteration inleds med att en stam i stamlistan slumpas ut. Därefter jämförs stammens höjd med den HGV som för tillfället råder för stamlistan. Beroende på det testets utfall och beroende på om HGV ska justeras uppåt eller nedåt kommer stammen antingen plockas bort ur listan eller dupliceras. I det första fallet kommer stammen alltså att förekomma en gång mindre i stamlistan än den gjorde före iterationen, i det andra en gång mer. Resultatet blir en anrikning av stammar med en höjd som drar åt $HGV_{mål}$.

När $HGV_{mål}$ har uppnåtts, kommer stamlistans volym att ha ändrats. Korrigering av volym sker på ett liknande men enklare sätt. Algoritmen fortsätter att använda samma slumpmässiga metod för att identifiera stammar i listan, som sedan antingen dupliceras eller tas bort, beroende på om volymen ska justeras uppåt eller nedåt.

Metoden har fördelen att den går snabbt. En svaghet är dock att urvalet av stammar som antingen dupliceras eller tas bort kommer att vara överrepresenterat i mitten av diameterfördelningen. För större justeringar av HGV bör en annan metod övervägas. Ett förslag kan vara att använda en liknande metod som används för att modifiera gallringskvot mot en målgallringskvot i hprGallring.