

Digitaliserad naturvårdsuppföljning

Modellutveckling och utvärdering

Johan J. Möller, John Arlinger, Line Djupström, Ingemar Eriksson, Björn Hannrup & Kari Hyll



Bild framsida. Illustration av några av de hänsynsåtgärder som lämnas vid normal avverkning och kan följas upp med hjälp av digitala datakällor.

Innehåll

Innehåll	2
Förord	3
Sammanfattning	4
Bakgrund	5
Syfte, projektmål och avgränsningar	5
Material o metoder	7
Modell för uppföljning av hänsynsåtgärder	7
Indata	8
Algoritm för arealbestämning	10
Resultat från modellen	12
Utvärdering av den utvecklade modellen	14
Datainsamling och manuella referensmätningar	15
Resultat och diskussion	17
Stamkodsregistrering – förarnas upplevelser	17
Mjukvaruimplementering av modellen och körbarhet	17
Arealbestämning	17
Kvarlämnat trädantal	20
Utvecklingsbehov	23
Referenser	24
Bilaga 1. Beskrivning av arealberäkningsalgoritmen	25
Bilaga 2. Förslag på hantering av stamkoder	33



skogforsk

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

Förord

Denna rapport är utarbetad inom ramen för projektet “Digitaliserad naturvårdsuppföljning”. Projektet har finansierats av Stiftelsen Skogssällskapet, Mistra Digital Forest Task 1.3 samt av medel från Skogforskens ramprogram.

Avrapportering från projektet sker via två delstudier. I en första delstudie (Hannrup m. fl. 2020) skedde urval av de natur- och kulturhänsynsåtgärder som ska vara uppföljningsbara i ett system för digitaliserad naturvårdsuppföljning. Urvalet skedde i samarbete med representanter från tre skogsföretag och inkluderade också utarbetande av definitioner för de nyckeltal som ska användas i systemet för att på aggregerad nivå beskriva utförda natur- och kulturhänsynsåtgärder.

Den föreliggande delstudien syftar till att utveckla en modell som möjliggör uppföljning av natur- och kulturhänsynsåtgärder baserat på digitala datakällor. Vidare att utvärdera den framtagna modellen utifrån manuella referensmätningar.

Under projektets utvärderingsfas gjordes mätningar på avverkade objekt hos värdföretagen. Följande personer var kontaktpersoner inför dessa mätningar: Per Nordahl (BillerudKorsnäs), Magnus Bohm och Robert Johansson (Holmen) samt Markus Näsman och Andreas Kjellman (SCA).

En viktig del av projektet var att testa registreringen av stamkoder i skördarna. Dessa tester gjordes av Niklas Elander (Kents Skogsavverkningar) och Jonas Walberg (SCA).

Arbetet i projektet har varit organiserat med en referens- och en arbetsgrupp. Referensgruppen har haft följande sammansättning: Anna Cabrajic (SCA), Jens Brorsson (BillerudKorsnäs), Staffan Mattsson (Skogssällskapet) och Olof Norgren (Holmen).

Studieupplägg, kontakter med värdföretag, programmeringsinsatser samt analys av data har skett av en arbetsgrupp bestående av Line Djupström, Björn Hannrup, Kari Hyll och Johan J. Möller, samtliga Skogforsk, samt av John Arlinger (JDForestry) och Ingemar Eriksson (Forbis).

Ett stort Tack till samtliga som bidragit till studiens genomförande!

Uppsala 2022

Johan J Möller (projektledare)

Sammanfattning

Inkludering av natur- och kulturhänsynsåtgärder är ett viktigt inslag vid planering och genomförande av i stort sett alla åtgärder i skogsbruket. Uppföljning av åtgärderna görs vanligen på ett begränsat stickprov (Djupström m. fl. 2019) 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 upp uppföljning och dokumentation av merparten av de hänsynsåtgärder som utförs vid gallring och slutavverkning.

Skogforsk har nyligen tillsammans med värd företag definierat nyckeltal som bör vara möjliga att generera i ett system för hänsynsuppföljning baserat på digital information (Hannrup m. fl. 2020). I den här avrapporterade studien beskrivs efterföljande insatser i syfte att: *i*) utveckla en modell som möjliggör uppföljning av de vanligare hänsynsåtgärderna vid avverkning: högstubbar, kulturstubbar vid kulturmiljöer, naturvärdes- och utvecklingsträd, mindre trädgrupper samt större trädgrupper, till exempel kantzoner och hänsynskrävande biotoper, *ii*) bygga in modellen i programvara samt *iii*) utvärdera modellen utifrån manuella referensmätningar.

Indata till modellen som utvecklades i studien utgörs av produktionsdata från skördare med registrerade stamkoder, objekt direktiv med geometrier för de planerade åtgärderna och där den planerade hänsynen klassificerats utifrån hänsynstyp samt geodata inkluderande skogliga grunddata och information från den nationella vägdatabasen (NVDB). Modellens beräkningssteg är uppbyggt av två huvudalgoritmer och ett efterföljande summeringssteg. I den inledande algoritmen utförs arealberäkning och avgränsning av de hänsynsåtgärder som har areell utbredning. I den efterföljande algoritmen skattas antalet kvarlämnade träd, inklusive volymer. De senare beräkningarna baseras på produktionsdata från tidigare avverkade objekt och imputering med skogliga grunddata som bärardata. I det avslutande summeringssteget genereras beskrivande nyckeltal på objektsnivå. I detta steg implementerades även regelverket för FSC-standarden (Anon 2020) för att möjliggöra redovisning av nyckeltal gentemot de skogliga certifieringssystemen.

För utvärdering genomfördes manuella referensmätningar på 13 avverkningsobjekt belägna inom fem områden från Östergötland till Ångermanland. Vid referensmätningarna registrerades koordinaterna för avverkade och lämnade ytor samt att antalet lämnade träd räknades. För analys med hjälp av den utvecklade modellen insamlades nödvändiga indata, det vill säga trakt direktiv från avverkningsplaneringen, hpr-filer med stamkodsregistrering, samt data från den nationella vägdatabasen och skogliga grunddata.

Jämförelse av resultaten från modellen med de manuella referensmätningarna visade att den utvecklade modellen för arealbestämning skattade såväl större avverkade ytor och mindre lämnade ytor med hög precision. En svag tendens fanns dock att algoritmen överskattade den avverkade arealen. För kvarlämnat antal träd med brösthöjdsdiameter över 15 cm var det ett starkt samband mellan referensmätt antal och beräknat antal från modellen.

Sammanfattningsvis ger studien starkt stöd för att den utvecklade modellen har potential att effektivisera hänsynsuppföljningen. För att detta ska realiseras är det viktigt att efterföljande utvecklingsinsatser tar vid. Ett förslag på sådana insatser ges i rapporten.

Bakgrund

Inkludering av natur- och kulturhänsynsåtgärder är ett viktigt inslag vid planering och genomförande av i stort sett alla åtgärder i skogsbruket. Uppföljning av åtgärderna görs vanligen på ett begränsat stickprov (Djupström m. fl. 2019) 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.

Inriktning och omfattning av skogliga natur- och kulturhänsynsåtgärder styrs av företagsvisa mål, av krav i skogsvårdslagen och inom de certifieringssystem som används samt av de målbilder för god miljöhänsyn vid avverkning som gemensamt formulerats inom skogsbruket (Skogsstyrelsen 2016). De åtgärder som är vanligast vid avverkning kan beskrivas i termer av: 1) åtgärder vid hänsynskrävande biotoper, inklusive vatten/våtmarker och 2) lämnade av kultur- och högstubbar, mindre trädgångar, naturvärdes-/utvecklingsträd och döda träd. I ett uppföljningsperspektiv leder den första typen av åtgärd till hänsynsobjekt med areell utbredning medan den senare skapar objekt med punktliknande karaktär.

En förstudie har nyligen genomförts i syfte att utveckla en modell för att dokumentera hänsynsåtgärder av den senare typen (Möller & Weslien 2018). Modellen bygger på att åtgärderna registreras i skördarnas produktionsdata med hjälp av så kallade stamkoder, vilka följer med i den fortsatta digitala kedjan. För kultur- och högstubbar registreras stamkoder då de egentliga träden avverkas medan registreringen för natur-/utvecklingsträd, döda träd och mindre trädgångar sker då intilliggande träd avverkas. Slutsatsen från förstudien är att modellen har potential att effektivisera uppföljningen men för att nå praktisk implementering är det angeläget att modellen utvecklas vidare och följs upp med manuella referensmätningar i fält.

Genom att väva samman information från skördare med digitala traktordirektiv och registerdata bör det vara möjligt att utveckla en modell som möjliggör registrering och uppföljning av åtgärder som skapar hänsynsobjekt med areell utbredning. I det föreslagna projektet kommer vi att arbeta utifrån en sådan ansats. Kan denna ansats visa sig vara framgångsrik öppnar det upp för att ersätta en stor del av dagens manuella uppföljning med en automatiserad uppföljning baserad på befintliga datakällor. De potentiella nyttorna av en sådan övergång kan sammanfattas i form av: *i)* omedelbar återkoppling av utfört arbete till skördarförare och planeringsansvariga, *ii)* automatiserad uppdatering/redovisning av åtgärder i skogsbruksplan/register samt *iii)* motsvarande redovisning inom ramen för certifieringssystemen.

Syfte, projektmål och avgränsningar

Det övergripande syftet med projektet ”Digitaliserad naturvårdsuppföljning” var att utveckla en modell för uppföljning och dokumentation av natur- och kulturhänsynsåtgärder baserat på digitala datakällor.

Projektet har varit uppbyggt av två delstudier där inledande insatser för att välja ut och definiera ingående hänsynsåtgärder avrapporterats separat (Hannrup m. fl 2020). Den nu avrapporterade delstudien har haft följande delmål:

- Att utveckla en modell som baserat på digital information möjliggör dokumentation av de natur- och kulturhansynsåtgärder som ska vara uppföljningsbara i systemet.
- Att bygga in modellen i programvara som visualiserar genomförda natur- och kulturhansynsåtgärder samt exporterar resultaten i standardiserat dataformat (Forestand).
- Att på ett tiotal avverkade objekt göra manuell inventering av utförda natur- och kulturhansynsåtgärder samt jämföra resultatet med motsvarande resultat från den utvecklade modellen.

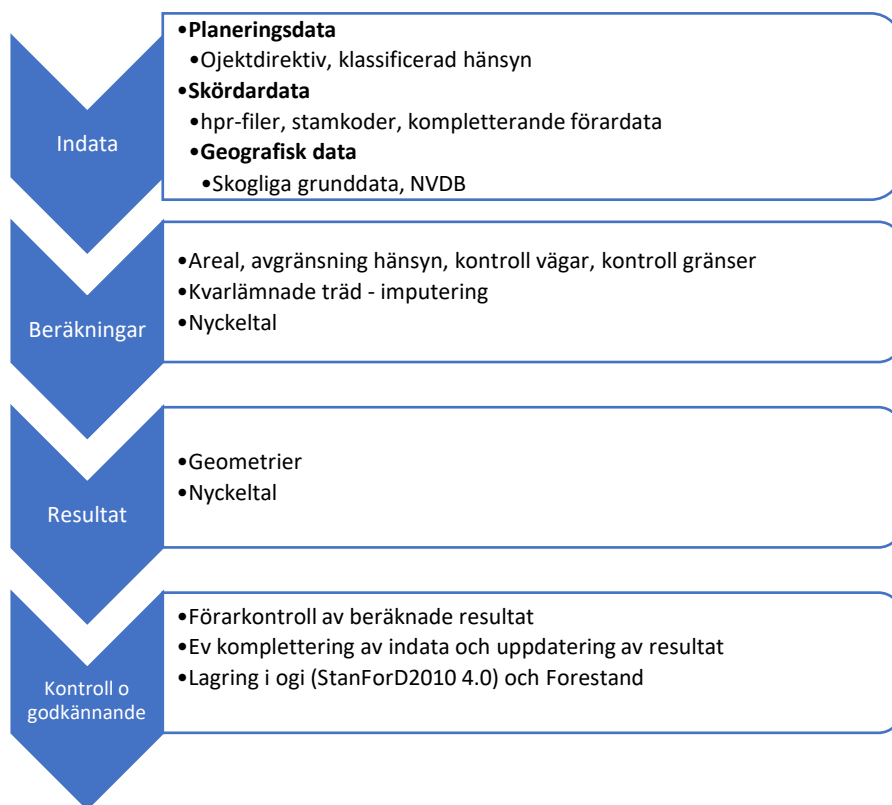


Figur 1. Illustration av de hänsynsåtgärder som kan följas upp med hjälp av modellen som utvecklades i projektet: högstubbar, kulturstubbar vid kulturmiljöer, naturvärdes- och utvecklingsträd, mindre trädgrupper samt större trädgrupper.

Material o metoder

Modell för uppföljning av hänsynsåtgärder

I projektet utvecklades en modell för uppföljning av de vanligare hänsynsåtgärderna vid avverkning: högstubbar, kulturstubbar vid kulturmiljöer, naturvärdes- och utvecklingsträd, mindre trädgrupper samt större trädgrupper, till exempel kantzoner och hänsynskrävande biotoper (figur 1). Modellen baseras på digitala datakällor och dess principiella arbetssätt kan illustreras i figur 2.



Figur 2. Principiellt arbetssätt för modellen som utvecklades i projektet för uppföljning av natur- och kulturhänsynsåtgärder vid avverkning.

Indata till modellen utgörs av produktionsdata från skördare med registrerade stamkoder, objekt direktiv med geometrier för de planerade åtgärderna och där den planerade hänsynen klassificerats (se vidare nedan) samt geodata inkluderande skogliga grunddata och information från den nationella vägdatatabasen (NVDB).

Modellens beräkningssteg är uppbyggt av två huvudalgoritmer och ett efterföljande summeringssteg. I den inledande algoritmen utförs arealberäkning och avgränsning av de hänsynsåtgärder som har areell utbredning. I den efterföljande algoritmen skattas antalet kvarlämnade träd, inklusive volymer. De senare beräkningarna baseras på produktionsdata från tidigare avverkade objekt och imputering med skogliga grunddata som bärardata. I det avslutande summeringssteget genereras beskrivande nyckeltal på objektsnivå. I detta steg implementerades även regelverket för FSC-standarden (Anon 2020) för att möjliggöra redovisning av nyckeltal gentemot de skogliga certifieringssystemen.

En central del av modellens arbetssätt är att möjliggöra en löpande återkoppling av resultaten till skördarförare. Modellen medger att föraren kompletterar och justerar resultaten från modellen och lämnar godkännande av resultaten då objekt avslutas. Det slutliga resultatet kan därefter exporteras vidare i standardiserat format till mottagande system. Informationen kan användas för central uppföljning, inläsning i skogsbruksplan/skogligt register eller redovisning mot de skogliga certifieringssystemen.

De olika delarna i modellen beskrivs närmare nedan.

Indata

Produktionsdata från skördare utgör den primära datakällan till den utvecklade modellen för uppföljning av hänsynsåtgärder. Dessa data innehåller koordinatsatt information om samtliga avverkade träd. Informationen lagras i så kallade hpr-filer (harvester production) i ett format som följer standarden för skoglig datakommunikation, StanFord2010 (Arlinger & Möller 2020).

Centralt för modellens funktion är användande av stamkoder. Stamkoder är ett nytt element i skördarnas produktionsrapportering och innebär att skördarförarna registrerar olika åtgärder enligt en fördefinierad lista. Registreringen sker med hjälp av knapparna på styrspakarna (figur 3). Registreringen innebär ett visst merarbete för förarna och som en separat del av projektet har två förares upplevelser av stamkodsregistrering utvärderats.



Figur 3. Illustration av förarnas registrering av stamkoder.

Inom ramen för projektet avgränsades en uppsättning av åtgärder som registrerades med hjälp av stamkoder (tabell 1). Stamkodsregistrering är ett mycket användbart verktyg för registrering av flera andra åtgärder och under projekttiden har användandet av stamkoder i det praktiska skogsbruket tagit fart. För att vidmakthålla en likformig hantering av stamkoder över företagsgränserna är det angeläget att de behov som uppstår i takt med ett ökat användande kan fångas inom ramen för StanForD2010-standard. I bilaga 2 ges en översikt över nu gällande förslag på hur stamkoder ska hanteras i det

svenska skogsbruket samt tillkommande funktioner kring stamkodsregistreringen i den senaste versionen av StanFord2010-standarden (version 4.0).

Tabell 1. Lista över de stamkoder som användes i projektet.

KOD	STAMKOD	KOMMENTAR
1	Högstubbe	Registrering sker då trädet avverkas
2	Kulturstubbe	Registrering sker då trädet avverkas
3	Evighetsträd	Inkluderar naturvärdes- och utvecklingsträd. Registrering sker då <i>intilliggande</i> träd avverkas
4	Trädgrupp	Registrering sker då <i>intilliggande</i> träd avverkas. En registrering från föraren innebär att 5 träd ingår i gruppen, 2 registreringar 10 träd osv. Alternativt kan en registrering motsvara 10 träd, 2 registreringar 20 träd osv.
5	Plockhuggning	
6	Överfart	

För högstubbar och kulturstubbar sker registrering då tillhörande stamdel upparbetas. För evighetsträd och mindre trädgrupper sker registrering då ett intilliggande träd avverkas. För mindre trädgrupper används en företagsspecifik översättningsnyckel som översätter en stamkodsregistrering till ett visst antal lämnade träd i trädgruppen. I projektet använde ett av företagen en nyckel som innebar att en stamkodsregistrering motsvarade 5 lämnade träd, två registreringar 10 träd och så vidare. Två av företagen använde en nyckel som innebar att en stamkodsregistrering motsvarade 10 lämnade träd, två registreringar 20 träd och så vidare.

Information från objekt direktiv upprättade vid avverkningsplaneringen utgör en annan viktig indata-källa till modellen. Informationen som utnyttjas är geometrier för den planerade hänsynen och den planerade avverkningen. Centralt för efterföljande arealberäkning är att geometrin för en bruttopolygon inkluderas, vilken beskriver yttergränser för den yta som nyckeltal ska beräknas för. Bruttopolygonen inkluderar ytan som ska avverkas, områden som ska lämnas *inom* ytan som ska avverkas samt angränsande områden som ska lämnas och som ligger *utanför* ytan som ska avverkas.

För att den utvecklade modellen ska kunna fungera fullt ut krävs att den planerade hänsynen som redovisas i objektsdirektiven är klassificerad utifrån en tregradig skala: hänsynskrävande biotop, kantzon eller övrig hänsyn. Denna klassificering kopplar till ett kriterium i den senaste versionen av FSC-standarden (Anon 2020). Detta kriterium anger att vid förnygringsavverkning ska i genomsnitt minst 10 levande träd lämnas per hektar. Vidare finns i standarden ett regelverk som reglerar vilka träd som får inräknas beroende på läge i landet, avverkningens storlek och typ av hänsyn. Till exempel får träd lämnade i kantzoner och på hänsynskrävande biotoper enbart inräknas för mindre avverkningar medan lämnade träd i kantzoner och på hänsynskrävande biotoper inte får medräknas på större avverkningar. För att möjliggöra en modellbaserad automatiserad beräkning av antalet lämnade träd i överrensstämmelse med regelverket i FSC-standarden är det alltså nödvändigt att informationen om den planerade hänsynen innehåller information om hänsynstyp.

Som indata till modellen används utöver skördardata och planeringsdata geografiska data i form av skogliga grunddata och data från den nationella vägdatan innehållande information om det statliga och enskilda vägnätet (Trafikverket 2022). Skogliga grunddata är digitala kartor upprättade utifrån sambearbetning av data från Lantmäteriets nationella laserskanning och Riksskogstaxeringens nät av fasta provtytor (Skogsstyrelsen 2022). Kartorna innehåller information om grundyta, volym, samt grundyttevägd diameter och höjd. Informationen har en upplösning på 12,5 x 12,5 meter.

Algoritm för arealbestämning

I projektet gjordes omfattande ansträngningar för att utveckla en ny algoritm för arealbestämning. I jämförelse med den rutnät-baserade arealalgoritmen som använts tidigare, och som byggts in i ett flertal skogliga tillämpningar (Bhuiyan m. fl. 2016) bidrar den nya algoritmen med en mer verklighetstrogen återgivning av gränser för avverkade och lämnade ytor samt med förmåga att hantera fall då delar av ett objekt avverkats med skördaren positionerad på väg eller på intilliggande hygge. Den tidigare algoritmen var ursprungligen framtagen för användning i skördare. Den utnyttjade enbart skördardata samt var utvecklad för att vara resurssnål med avseende på minnesanvändning och beräkningskraft. Den nya algoritmen är framtagen för användning i servermiljö; utnyttjar mer indata, har högre minnesanvändning och kräver mer beräkningskraft.



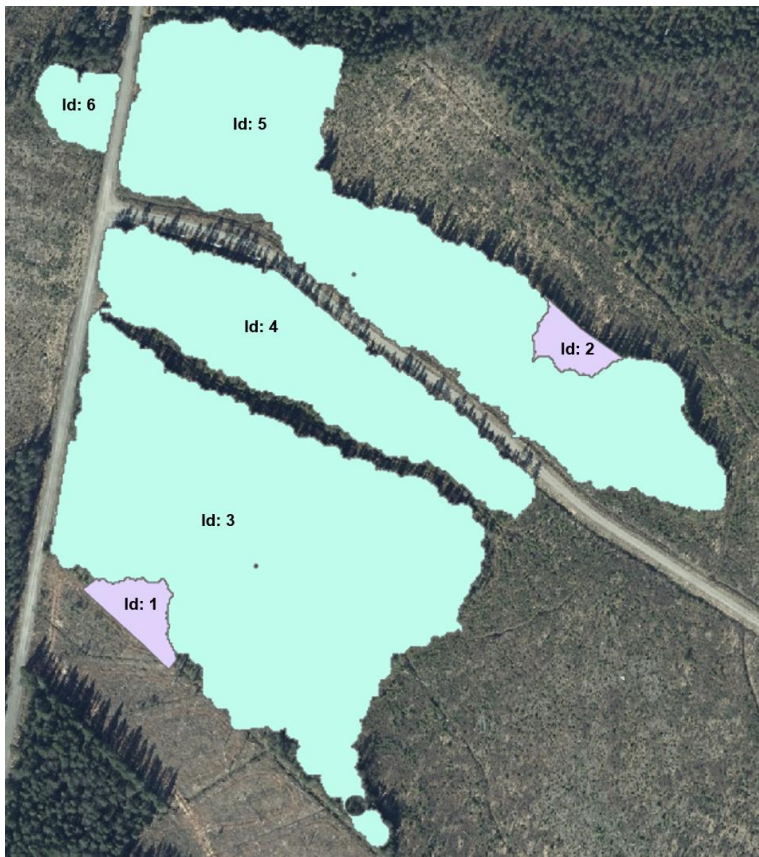
Figur 4. Karta över ett avverkningsobjekt där röda cirklar symboliserar avverkningspositioner, det vill säga basmaskinens position vid upparbetning av stammarna. Avverkningspositioner belägna inom de gröna cirklarna identifieras med hjälp av data från den nationella vägdatatabasen respektive skogliga grunddata och exkluderas vid bestämningen av den avverkade ytans utbredning.

Produktionsfiler från skördare, innehållande avverkningspositioner för samtliga avverkade träd, är den primära indatakällan till den nya algoritmen för arealbestämning. I dagens skördare är GNSS-mottagaren monterad på förarhytten, vilket innebär att det är

koordinaterna för skördarens uppställningsplats som registreras då respektive träd avverkas. Trädens verkliga position (exklusive eventuella mätfel från positioneringsutrustningen) kan därmed avvika från det registrerade med upp till ett maximalt avstånd motsvarande kranens räckvidd (cirka 12 meter). I dagsläget finns i Sverige ett fåtal skördare försedda med mer avancerad positioneringsutrustning som medger en noggrann bestämning av de enskilda trädens position. Algoritmen är anpassad för den förra typen av typen av data men kan succesivt förfinas i takt med att den senare typen av data blir mer allmänt tillgänglig.

Nedan beskrivs algoritmens huvudsteg. I bilaga 1 återfinns en mer detaljerad beskrivning av dess uppbyggnad.

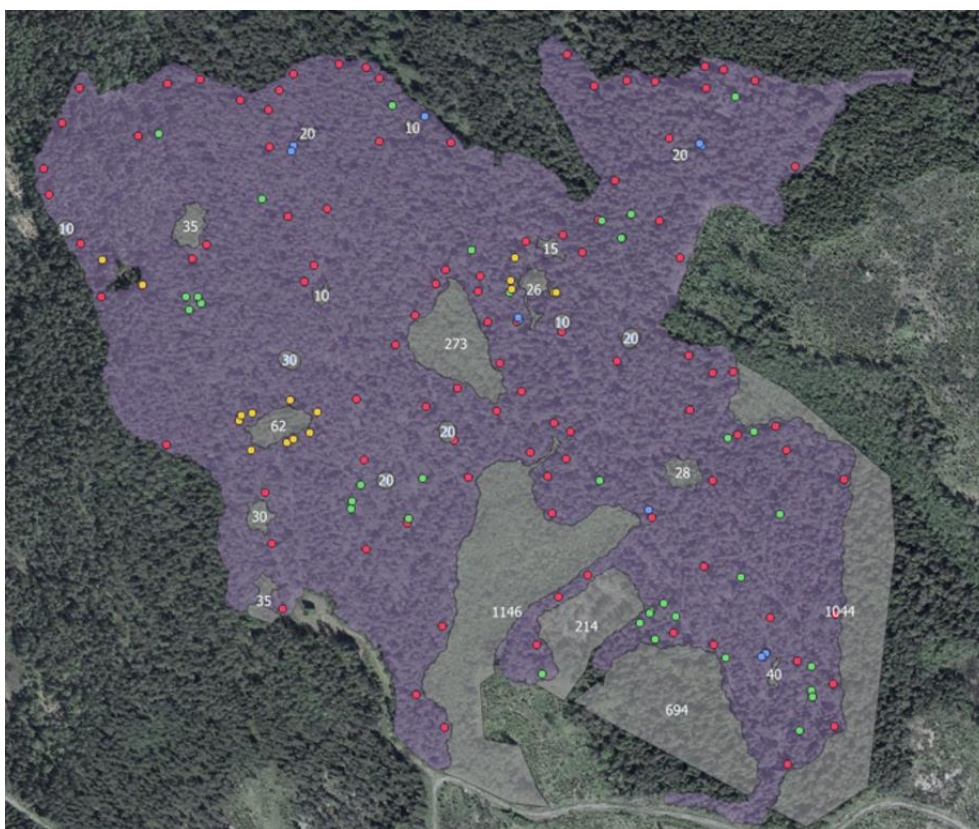
1. Inläsning av avverkningspositioner från skördarnas produktionsfiler (hpr-filer).
2. Uppdelning av utspridda områden av ett objekt i sammanhållna delar baserat på avverkningspositionerna.
3. Utläggning av ett finmaskigt rutnät (1x1 m) över de sammanhållna delarna. Avverkningspositionerna placeras in i rutnätets celler och till varje cell knyts information från den nationella vägdatan och skogliga grunddata.
4. I en iterativ process klassificeras celler med avseende på om de utgör en del av den avverkade ytan eller inte. I en första iteration anses celler innehållande avverkningspositioner och angränsande celler inom ett gränsvärde på sex meter tillhöra den avverkade ytan. Gränsvärdet ökas därefter successivt, upp till ett maxvärde på 12 meter, efter att objektets yttre gränslinjer etablerats. Vid klassificeringen utnyttjas den kopplade informationen från den nationella vägdatan och skogliga grunddata. Detta innebär till exempel att celler med avverkningspositioner belägna på en väg, eller celler med avverkningspositioner belägna i ett angränsande bestånd som baserat på skogliga grunddata klassificerats som kraftigt avvikande, inte anses ingå i den avverkade ytan (figur 4).
5. Som en integrerad del av algoritmen för arealberäkning sker en segmentering av den avverkade ytan, ytor som är direkt angränsande till den avverkade samt lämnade ytor inom avverkningsytan. Indelningen i segment baseras på höjd- och volyminformation från skogliga grunddata. Höjd- och volyminformationen från respektive segment används i efterföljande beräkning av kvarlämnat trädantal.
6. Resultaten från modellen utgörs av geometrier för avverkade yta, ytor som är direkt angränsande till den avverkade samt lämnade ytor inom avverkningsytan. Geometrierna lagras som vektordata. Till varje geometri kopplas en identitet samt information från segmenteringen. Ett exempel på beräknade geometrier för ett objekts avverkade ytor och större lämnade trädgrupper återfinns i figur 5.



Figur 5. Exempel på geometrier genererade från arealberäkningsalgoritmen för ett objekt. I figuren indikeras avverkade ytor och större lämnade trädgrupper med grön respektive lila färg.

Resultat från modellen

I ett efterföljande steg summeras resultaten från modellens två huvudalgoritmer. Därigenom kan rapporter skapas och nyckeltal genereras som ger beskrivande information på objektsnivå. I figur 6 ges exempel på en detaljerad GIS-rapport genererad från modellen. För samtliga geometrier inkluderade i kartbilden finns information om beräknad area, skattat antal lämnade träd med brösthöjdsdiameter över 15 cm, hänsynstyp samt andel som medräknas vid nyckeltalsberäkningen för det aktuella objektet (tabell 2). Andelen som medräknas är ett uttryck för det aktuella objektets andel av den lämnade hänsynen och en reducerad andel ($< 1,0$) används för lämnad hänsyn som är angränsande eller delvis innesluten av den avverkade ytan. Andelen beräknas med hjälp av "tårtbitsprincipen", det vill säga den medräknade andelen är proportionell mot hur stor andel av det lämnade områdets omkrets som gränsar mot den avverkade ytan (Hannrup m. fl. 2020).



Figur 6. Exempel på GIS-rapport från den utvecklade modellen för ett objekt. Färgade cirklar symboliserar högstubbar (rött), kulturstubbar (gult), evighetsträd (grönt) och mindre trädgrupper (blått). Grå ytor indikerar lämnade områden där vita siffror anger modellens skattning av antalet lämnade träd med brösthöjdsdiameter över 15 cm.

Tabell 2. Information kopplad till geometrier avgränsade med algoritmen för arealbestämning.

ID	AREA (HA)	ANTAL TRÄD (DBH>15 CM)	ANDEL MEDRÄKNAS	HÄNSYNSTYP
8393	0,030	15	1,0	Övrig hänsyn
8388	0,066	26	1,0	Övrig hänsyn
8390	0,143	62	1,0	Övrig hänsyn
8399	2,402	1146	0,73	Hänsynskrävande biotop
8398	0,613	214	0,74	Hänsynskrävande biotop

I tabell 3 redovisas exempel på nyckeltal som ger beskrivande information på objektsnivå. För tre av nyckeltalen: antal högstubbar och levande träd per hektar samt ej hyggesbruten areal, finns kravnivåer inom FSC-standarden (Anon 2020). Det senare nyckeltalet har en

koppling till arealen sammanhängande kalmark och enligt regelverket får avståndet från en enskild punkt på den avverkade ytan till närmaste hyggesbrytande objekt inte överstiga 70 meter.

Tabell 3. Exempel på nyckeltal på objektsnivå genererade från den utvecklade modellen.

NYCKELTAL	VÄRDE
Avverkat (area)	31,4 ha
Övrig hänsyn (area)	0,7 ha
Hänsynskrävande biotop (area)	6,9 ha
Högstubbar (antal per hektar)	3,1 st
Evighetsträd (antal per hektar)	1,1
Levande träd med dbh > 15 cm (antal per hektar)	11,1 st
Ej hyggesbruten area (area)	0,8 ha

Utvärdering av den utvecklade modellen

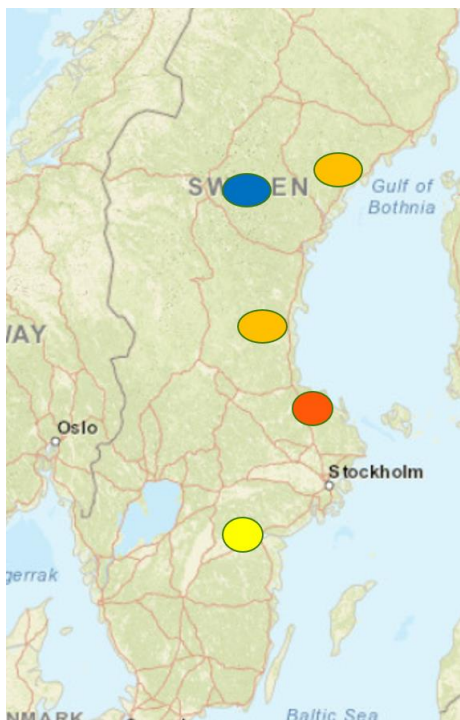
Under projekttiden har det inte varit möjligt att direkt utvärdera samtliga komponenter i den utvecklade modellen. Utvärderingen har strukturerats och avgränsats utifrån följande resonemang:

- Stamkodsregistrering. En inledande, central del av projektarbetet var att kommunicera vikten av att stamkodsregistrering implementeras i skördarnas styrsystem. Under projekttiden har samtliga maskintillverkare/tillverkare av styrsystem möjliggjort en stamkodsregistrering som följer StanForD standarden. I studien har utvärderingen avgränsats till att följa upp förarnas upplevelser av stamkodsregistrering när det gäller teknisk funktionalitet och påverkan på arbetsbelastningen.
- Mjukvaruimplementering av modellen och körbarhet. Den utvecklade modellen har implementerats i Skogforsks databasmiljö baserad på programmering i Java och SQL-server. I studien har utvärdering skett av den implementerade modellens körbarhet på data från 13 avverkningsobjekt beskrivna nedan.
- Resultat från modellen kan indelas i tre kategorier vilka används direkt eller indirekt för nyckeltalsberäkning; *i*) area för avverkade och lämnade ytor, *ii*) antal lämnade träd för större och mindre trädgrupper och *iii*) punktformig hänsyn registrerad med stamkoder, det vill säga hög- och kulturstubbar samt evighetsträd.

I studien har utvärderingen varit avgränsad till att omfatta resultat för de två förstnämnda kategorierna. Utvärdering av noggrannheten i förarnas registrering av punktformig hänsyn har inte genomförts. Detta eftersom stödsystem för registreringen inte varit tillgängliga under projekttiden, det vill säga system som möjliggör att förarna kan se sina registreringar, enskilt och summerat på objektsnivå, i skördarnas kartprogram.

Datainsamling och manuella referensmätningar

I syfte att generera ett referensmaterial för utvärderingen baserat på manuella mätningar samlades data in från totalt 13 avverkningsobjekt belägna inom fem områden (figur 7). 12 av objekten var belägna på värdföretagens mark medan ett objekt låg på mark tillhörande en privat skogsägare. Objektens storlek varierade mellan tre och 30 hektar. Avverkningen utfördes av fem olika skördarlag med skördare från tre olika maskintillverkare (tabell 4).



Figur 7. Manuella referensmätningar utfördes på 13 objekt belägna inom fem områden. Två av objekten låg på mark tillhörande en privat skogsägare (gult) medan återstående objekt tillhörde värdföretagen; BillerudKorsnäs (rött), Holmen (orange) och SCA (blått).

Samtliga manuella referensmätningar på de 13 objekten gjordes efter avverkning. Följande mätningar/registreringar genomfördes:

- Registrering av koordinaterna för den avverkade ytans yttergränser med hjälp av en handburen GNSS-mottagare (figur 8).
- Registrering av koordinaterna för yttergränserna för lämnade områden med hjälp av handburen GNS-mottagare. Lämnade områden inkluderade mindre och större trädgrupper, kantzoner, hänsynskrävande biotoper samt kulturmiljöer som avgränsats med kulturstubbar. De lämnade områdena 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 lämnade områdena.
- Kontroll av förarnas registreringar av högstubbar, kulturstubbar, evighetsträd och mindre trädgrupper utifrån data från hpr-filerna. I de fall sådana objekt inte registrerats i hpr-filerna gjordes kompletterande manuell registrering av objektens koordinater.

Tabell 4. Identitet, läge, fabrikat på avverkande skördare, värd företag samt areal för de objekt som referensmättes manuellt i studien.

OBJEKT	ID	OMRÅDE	SKÖRDARE	VÄRDFÖRETAG	AREAL (HA)
Olarsbo	O1	Uppland	Komatsu	BillerudKorsnäs	30,1
Rödhäll	O2	Uppland	Komatsu	BillerudKorsnäs	13,8
Lönnö Kolbotten	O3	Uppland	Komatsu	BillerudKorsnäs	15,5
Lönnösjön	O4	Uppland	Komatsu	BillerudKorsnäs	10,0
Stormyran	O5	Ångermanland	John Deere	Holmen	7,4
Rödbagarmyran	O6	Hälsingland	Komatsu	Holmen	3,4
Gammelhusåsen	O7	Hälsingland	Komatsu	Holmen	9,8
Gammelvalsbacken	O8	Hälsingland	Komatsu	Holmen	22,2
Gretastorpet	O9	Hälsingland	Komatsu	Holmen	5,5
Strandåker Södra	O10	Jämtland	Rottne	SCA	6,7
Strandåker Norra	O11	Jämtland	Rottne	SCA	18,8
Täcksjövikén	O12	Jämtland	Rottne	SCA	3,0
Råby	O13	Östergötland	Rottne	Privat	2,8



Figur 8. Manuell referensmätning av lämnade och avverkade ytor med hjälp av handburen GNSS-mottagare.

De 13 avverkningsobjekten analyserades med den utvecklade modellen. För detta ändamål insamlades de nödvändiga indata till modellen, det vill säga trakttdirektiv från avverkningsplaneringen, hpr-filer med stamkodsregistrering, samt data från den nationella vägdatan och skogliga grunddata.

Resultat och diskussion

Stamkodsregistrering – förarnas upplevelser

Förarnas registreringar av stamkoder var knutna till knapparna på styrspakarna. Utformningen av registreringen varierade något mellan maskintillverkare men gjordes vanligen med två knapptryckningar, där förarna med en första knapptryckning synliggjorde en lista över stamkoderna och med en andra knapptryckning valde vilken stamkod som skulle registreras.

Förarnas upplevelser av registrering kan sammanfattas enligt följande:

- Tekniken för registrering fungerade mycket bra.
- Det krävdes en viss igångkörningsperiod innan det blev en vana att registrera.
- När man väl ”kommit igång” flöt registreringen på och medförde en marginellt ökad belastning.
- Det är mycket viktigt att kunna få direkt återkoppling om registreringen via det normalt använda kartprogrammet. Viktigt att också kunna tillföra kompletterande registreringar när man missat. Detta gällde såväl enskilda registreringar som uppföljning på objektsnivå.

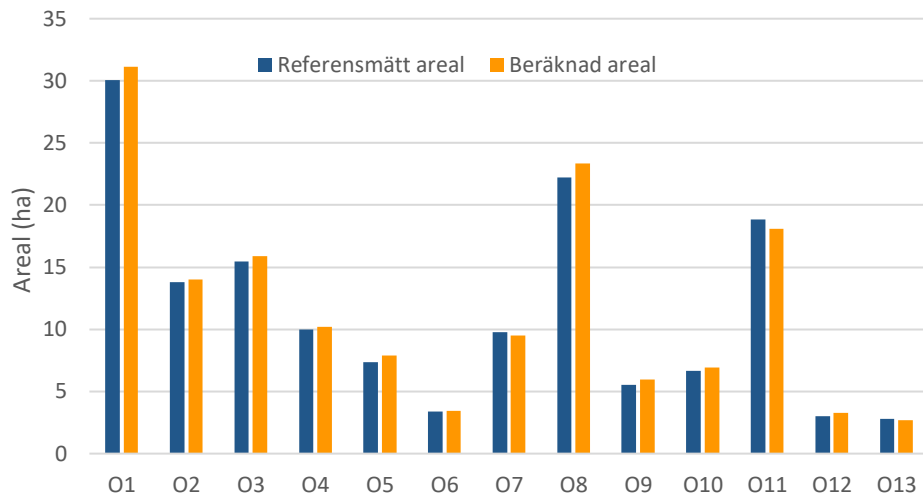
Mjukvaruimplementering av modellen och körbarhet

Samtliga delar av modellen implementerades i Skogforsks databasmiljö så att modellen kunde köras helt automatiskt. Undantaget utgjordes av inläsningen av geometrierna för den planerade hänsynen i traktdirektiven. Dessa geometrier fick ritas in manuellt med hjälp av ett kartverktyg. För att modellen ska kunna köras helt fristående framöver är det viktigt att informationen i traktdirektiven lagras i ett standardiserat dataformat. Sådana möjligheter finns inom ramen för den kommande versionen av StanForD standarden (version 4.0).

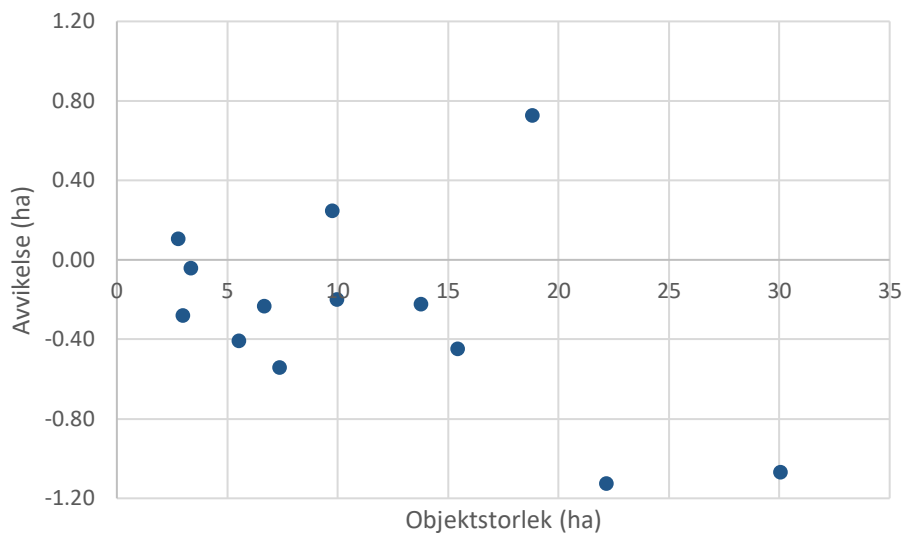
Test av modellen på de 13 avverkningsobjekten visade att den i samtliga fall var fullt körbar.

Arealbestämning

Jämförelse mellan avverkad areal från manuell referensmätning och algoritmen för arealbestämning visade generellt god överensstämmelse (figur 9). Närmare granskning av de objektsvisa avvikelserna mellan referensmätt och beräknad area indikerade dock att det fanns en svag tendens att algoritmen överskattade den avverkade arean (figur 10). I genomsnitt uppgick avvikelsen till 0,27 ha, motsvarande 2,4 % (tabell 5). Precisionen för algoritmen, uttryckt som standardavvikelsen för avvikelsen mellan referensmätt och beräknad area, uppgick till 4,2 % (tabell 5). Precisionen är likartad med den precision som noterats från utvärdering av tidigare använd algoritmer för arealbestämning baserad på objekt med motsvarande storlek (Hannrup m. fl. 2011).



Figur 9. Jämförelse mellan avverkad areal från manuell referensmätning och motsvarande areal beräknad med den utvecklade algoritmen för arealbestämning.

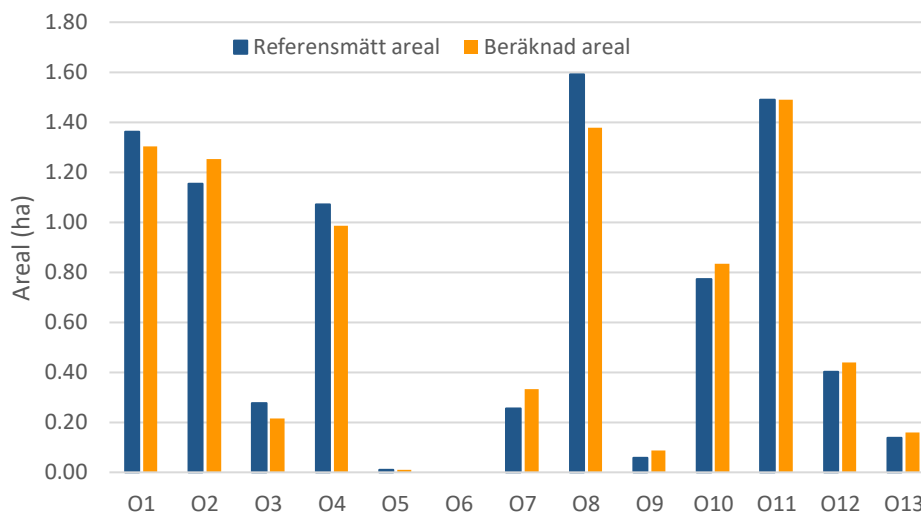


Figur 10. Avvikelse mellan referensmätt avverkad area och motsvarande area beräknad med den utvecklade algoritmen för arealbestämning för de 13 avverkningsobjekten.

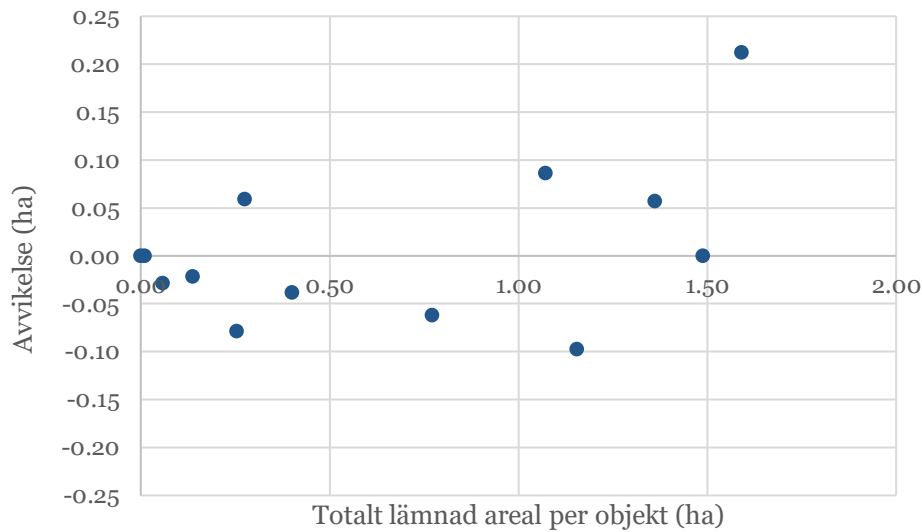
Tabell 5. Antal objekt, spridningsmått samt standardavvikelse för avvikelser mellan referensmätt avverkad respektive lämnad areal och motsvarande areal beräknad med den utvecklade algoritmen för arealbestämning.

	N	MEDEL	MIN	MAX	<u>STANDARD AVV.</u>	
	(Antal)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(%)
<u>Avverkad areal</u>						
Referensmätt	13	11,4	2,8	30,1		
Arealalgoritm	13	11,7	2,7	31,2	0,5	4,2
<u>Lämnad areal</u>						
Referensmätt	13	0,66	0,0	1,6		
Arealalgoritm	13	0,65	0,0	1,5	0,08	18

I figur 11 redovisas en jämförelse mellan den totalt lämnade arealen per objekt för referensmätningen respektive beräknad från den utvecklade algoritmen för arealbestämning. Den genomsnittliga skillnaden (tabell 6) var marginell och uppgick till 0,007 ha (70 m²). Detta indikerar att modellens skattning av totalt lämnad areal per objekt var fri från systematiska fel vilket styrks av en närmare granskning av avvikelserna från modellen (figur 12).



Figur 11. Jämförelse mellan totalt lämnad areal per objekt från manuell referensmätning och motsvarande areal beräknad med den utvecklade algoritmen för arealbestämning.

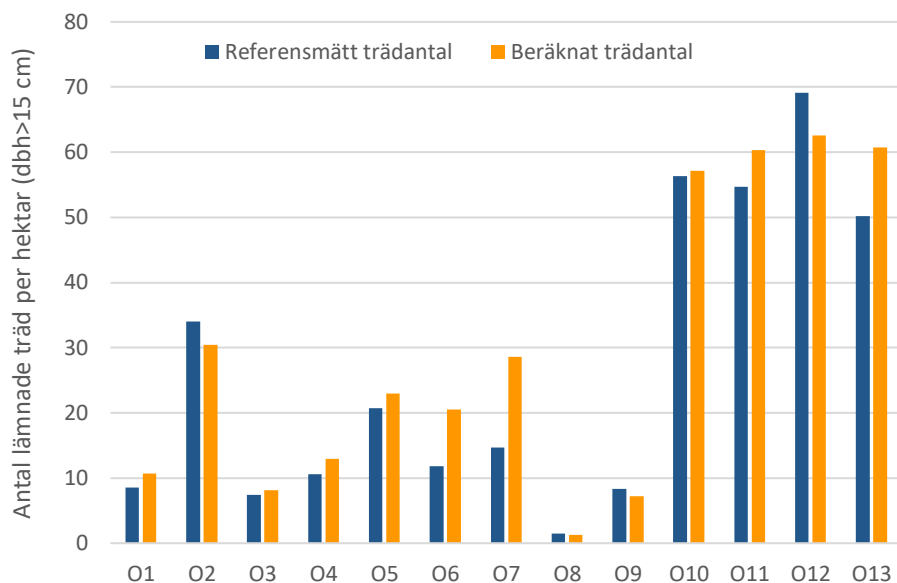


Figur 12. Avvikelse mellan referensmätt totalt lämnad area per objekt och motsvarande area beräknad med den utvecklade algoritmen för arealbestämning för de 13 avverkningsobjekten.

Sammanfattningsvis indikerar utvärderingen att den utvecklade algoritmen för arealbestämning har god förmåga att skatta såväl den lämnade arealen som den avverkade. I studien noterades en svag, systematiska överskattning av den avverkade arealen. Kan detta visas också i uppföljande mätningar bör en justering ske av algoritmen.

Kvarlämnat trädantal

I figur 13 redovisas en jämförelse mellan referensmätt totalt antal lämnade träd per hektar med brösthöjdsdiameter över 15 cm och motsvarande trädantal beräknat från den utvecklade modellen. I båda fallen är de inkluderade träden sådana som får medräknas enligt den senaste versionen av FSC-standarden, det vill säga att för större avverkningar får träd lämnade i kantzoner och på skyddsvärda biotoper inte medräknas (Anon 2020). I den tidigare versionen av standarden fanns inte detta regelverk och flera av de studerade objekten var avverkningsplanerade enligt den äldre versionen av FSC-standarden. Att antalet lämnade träd för fyra av objekten understeg den nu gällande kravnivån på 10 träd per hektar ska ses i ljuset av detta.



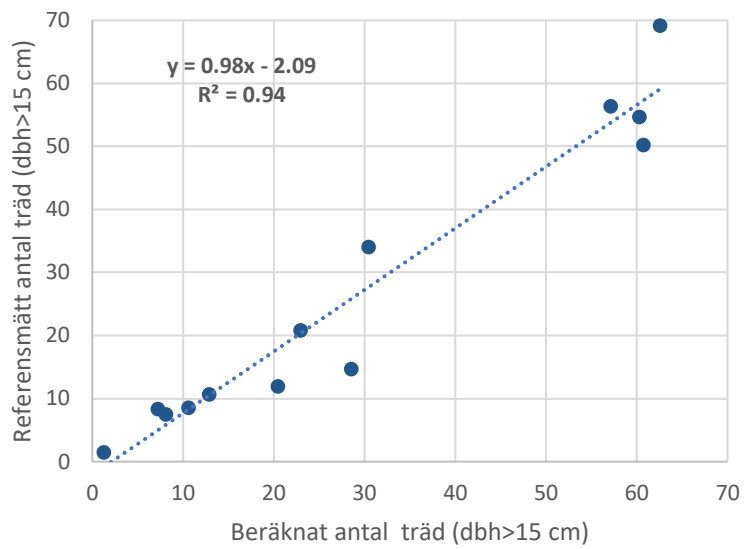
Figur 13. Jämförelse mellan totalt antal lämnade träd per hektar med brösthöjdsdimeter över 15 cm per objekt från manuell referensmätning och motsvarande antal lämnade träd beräknat med den utvecklade modellen.

Det var generellt ett starkt samband mellan det beräknade antalet lämnade träd och det referensmätta antalet (figur 14). För två av objekten, O6 och O7 (figur 13) var det stora relativa avvikelser. Närmare granskning visade att i båda dessa fall orsakades avvikelserna av modellens imputeringssteg vilket överskattat antalet lämnade träd kraftigt. Fortsatta insatser kring metodiken för Automatiserad naturvårdsuppföljning bör fokusera på att närmare förstå och hantera den här typen av avvikelser.

Exkludera man de två objekten med större avvikelser reduceras den uppmätta standardavvikelsen för avvikelserna mellan referensmätt och beräknat antal lämnade träd från 33% till 15 %. Detta innebär att ett beräknat antal lämnade träd per hektar på 10 träd kan anges med precisionen +/- 1,5 träd. En sådan precision bör vara fullt tillräcklig för många tillämpningar.

Tabell 6. Antal objekt, spridningsmått samt standardavvikelse för avvikelserna mellan referensmätt totalt antal lämnade träd per hektar och objekt med brösthöjdsdiameter över 15 cm och motsvarande trädantal beräknat med den utvecklade modellen.

	N	Medel	Min	Max	STANDARD AVV.	
					(Antal)	(%)
<u>Avverkad areal</u>						
Referensmätt	13	26,8	1,5	69,1		
Arealalgoritm	13	29,5	1,3	62,6	5,7	32,9



Figur 14. Sambandet mellan beräknat och referensmätt totalt antal lämnade träd per hektar med brösthöjdsdiameter över 15 cm per objekt.

Utvecklingsbehov

Det innevarande projektet har bidragit med grundläggande utveckling av metodiken kring Digitaliserad naturvårdsuppföljning. För att nå en bred implementering av metodiken i skogsbruket är det angeläget att arbeta vidare inom nedanstående områden. De olika insatserna bör göras i bred samverkan med relevanta aktörer.

- Att utveckla nuvarande kartprogram i skördarna så att förarna löpande kan se de registrerade stamkoderna, enskilt samt på aggregerad nivå.
- Att 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 utveckla avverkningsplaneringen så att relevant och standardiserad information om den planerade hänsynen skickas till skördarlagen i traktdirektiven. Detta inkluderar att den planerade hänsynen klassificeras som normal hänsyn, hänsynskrävande biotop eller kanzon.
- Att utföra storskaliga praktiska tester där lämnad hänsyn vid avverkning följs upp och dokumenteras med Skogforsks modell för digitaliserad naturvårdsuppföljning.
- Att utifrån de praktiska testerna 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.

Referenser

Anon 2020. FSC-standard för skogsbruk i Sverige. Rapport, FSC Sverige. 76 s.
<https://se.fsc.org/se-sv/regler/skogsbruksstandard> (tillgänglig 221013).

Arlinger, J. & Möller J. J. 2020. StanForD 2010 modern kommunikation med skogsmaskiner. <https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/> (tillgänglig 221013).

Hannrup, B., Djupström, L., Hyll, K. & Möller J.J. 2020. Digitaliserad naturvårdsuppföljning. Arbetsrapport Skogforsk, 11 s.

Skogsstyrelsen 2022. <https://skogsstyrelsen.se/skogligagrunddata> (tillgänglig 221018).

Trafikverket 2022. <https://www.nvdb.se/sv> (tillgänglig 221018).

Bilaga 1. Beskrivning av arealberäkningsalgoritmen

Bakgrund

Målsättningen var att åstadkomma en arealberäkningsalgoritm baserad på skördardata som förbättrar möjligheterna att identifiera, klassificera och kvantifiera lämnad hänsyn. Skogforsks hittillsvarande algoritm baserad på skördardata har varit en integrerad del i automatiserad gallringsuppföljning och beräkningsmodulen hprYield. Den har dock begränsat värde för hänsynsuppföljning, eftersom utdata inte innehåller data om lämnad hänsyn, och eftersom geometrierna inte exakt korresponderar mot den beräknade arealen.

Syfte

Målet var att åstadkomma en algoritm som

- Så bra som möjligt identifierar gränserna för avverkningen, både mot lämnad hänsyn inom avverkningen och mot omgivningen.
- Sammanställer information om kvarlämnade ytor utifrån allmänna data.

Datakällor som skulle utvärderas var, förutom skördardata, främst nationella vägdatabasen samt skogliga grunddata.

Beskrivning av algoritmen

Algoritmen resulterar i vektoriserad data, men beräkningarna baseras på en matrismodell. Matrisen har en upplösning på en meter, vilket innebär att för stora objekt, blir det ganska omfattande datamängder att hantera. Det första steget är därför att dela upp utspridda objekt i geografiskt sammanhållna delar, för att minska minnesåtgången och öka prestanda.

För varje del skapas en matris som även täcker en del av omgivningen. Matrisens celler tilldelas data från tillgängliga rasterdata såsom skogliga grunddata, marktäckedata och nationella höjddatabasen. Eftersom rasterdata har en lägre upplösning än matrisen, sker en avståndsvägd interpolering för varje cell från närliggande rasterpunkter. Inläsning sker också av de vägar i nationella vägdatabasen som korsar matrisen, och celler inom ett visst avstånd från vägen kategoriseras sedan som väg i de fortsatta beräkningarna.

Nästa steg är att koppla celler till stamdata baserat på position. När detta är gjort kan avståndet till närmaste träd räknas ut från varje cell och en preliminär klassificering ske beträffande om en cell ingår i objektets yta eller inte. I utgångsläget räknas alla celler inom 6 meter som inte är väg in i objektet. Men efter ett test som avgör om gränsen vätter inåt mot en annan del av objektet inom visst avstånd kan celler upp till full kranlängd (12 meter) inkluderas.

I en omvänd process kan celler ändras till att inte inkluderas i objektet. Det avgörs genom en jämförelse mellan cellens skogliga grunddata (grundyta) och den genomsnittliga grundytan för den preliminära utsträckningen. Detta steg kan leda till att stammar hamnar i celler som inte ingår i objektet, och att de i ett senare steg måste pekats om för att summeringarna av cellerna ska bli korrekta.

Med gränserna mellan objektets omgivning, kan både insidan och utsidan segmenteras i mindre ytor. Syftet med det kan vara att skapa beräkningsytor för gallringsuppföljning, eller för att få lämpliga ytor för beräkning av kvarlämnad naturvård inom eller i anslutning till objektet. Segmenteringen sker genom att celler klustras baserat på en egenskap, t.ex. volym eller höjd. Från början är varje cell ett eget kluster. Cellernas kluster

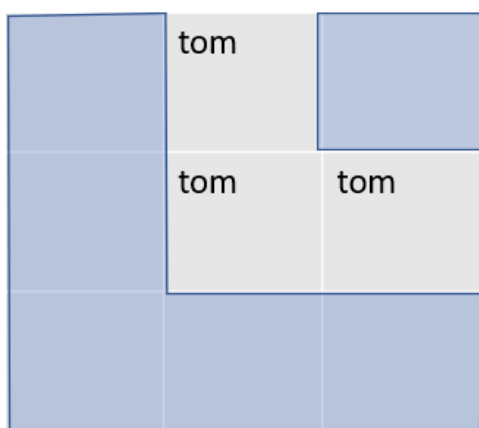
tillåts vartefter att slås samman med andra kluster, med en successivt ökande tolerans för avvikelse mellan klustrens egenskaper, till dess att en viss maxareal har uppnåtts.

Efter en avslutande sammanläggning av eventuellt förekommande smådelar som har varit isolerade eller för kraftigt avvikande för att slås samman, kan sammanställning av data göras från ytornas fjärranalysdata och/ eller från de tillhörande stammarna. För varje yta genereras dessutom vektorer för ytans yttre och inre ringar för lagring av data i vektorformat. Noderna i dessa vektorer kommer att utgöras av utsidan av de ingående cellerna.

I följande avsnitt beskrivs algoritmen i detalj.

Dela upp hpr-data

För att dela geografiskt osammanhängande stamlistor används en matris där varje cell har sidan 30 meter. Matrisen skapas genom att utgå från max- och minvärden för x och y och dela in den resulterande rektangeln i celler. Sedan fördelas stamdata på respektive cell baserat på stammens position.



Figur 1. Matris för uppdelning av stamlista. Resultatet blir en stamlista per sammanhängande område. I exemplet skapas alltså två stamlistor.

För att avgöra vilka stammar som ska höra ihop i en stamlista kontrolleras vilka celler som är angränsande till varandra via hörn eller sida. Alla stammar som befinner sig i en viss grupp av celler som hänger ihop bildar en stamlista i resultatet.

Skapa matris samt inläsning och interpolering av rasterdata

Den fortsatta processen sker per stamlista som resulterar från den inledande uppdelningen. Det första som sker med varje stamlista är att skapa och preparera en matris, nu med upplösningen en meter och med en ytterkant som sträcker sig 20 meter utanför de yttersta stammarna. Stamlistan fördelas ut på cellerna så att det förutom en stamlista för matrisen som helhet, även finns en stamlista per cell.

Inläsning av rasterdata sker individuellt per typ av datakälla. En databasfråga klipper ut området ur tabellens raster, fogar ihop eventuella delade bilder och gör om rasterdata till datapunkter med uppgift om x och y koordinat och tillhörande värden. Eftersom matrisen har högre upplösning än de data som hittills använts, sker en interpolering mellan datapunkterna för merparten av datakällorna. Interpolering görs inte för kodade datakällor som exempelvis vegetationsindex, utan där väljs istället värdet från den närmast liggande datapunkten.

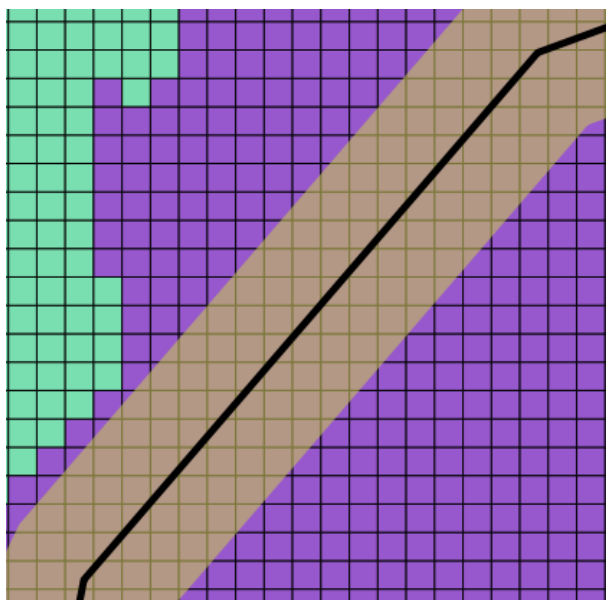
Interpoleringen går till enligt följande: Först sätts värden för de celler som överlappar datapunkterna. Därefter itereras varje cell som inte innehåller en datapunkt. För varje

sådan cell söks sedan de datapunkter som finns inom 13 meters radie. Värdena för datapunkterna viktas till ett medelvärde genom att först addera datapunkternas värden multiplicerat med det inverterade avståndet och sedan dividera summan med summan av de inverterade avstånden:

$$A = \frac{\sum a * 1/r}{\sum 1/r}$$

Inläsning av NVDB

Data från nationella vägdatabasen hämtas genom att använda matrisens omskrivande rektangel i en SQL-fråga. Denna resulterar i en lista med alla överlappande väglänkar (vektorer). För varje vektor beräknas sedan en omskrivande rektangel som även inbegriper vägens bredd. Med hjälp av denna rektangel kan de celler som potentiellt ska ingå i vägens utbredning väljas ut för iteration.



Figur 2. Väglänk med sex meters buffertzoon. Alla celler som har centrum inom buffertzoonen räknas som väg.

För varje cell som ingår i vektorns omskrivande rektangel, kontrolleras till att börja med om det finns en normal till vektorn som går igenom cellens centripunkt. I så fall beräknas därefter avståndet mellan cellen och vektorn. Annars beräknas avståndet som det minsta av avstånden till de två noder som bildar början och slut för vektorn. Om det erhållna avståndet understiger vägens halva bredd, tilldelas cellen egenskapen att den ingår i väg.

Preliminär beräkning av den avverkade ytans utbredning

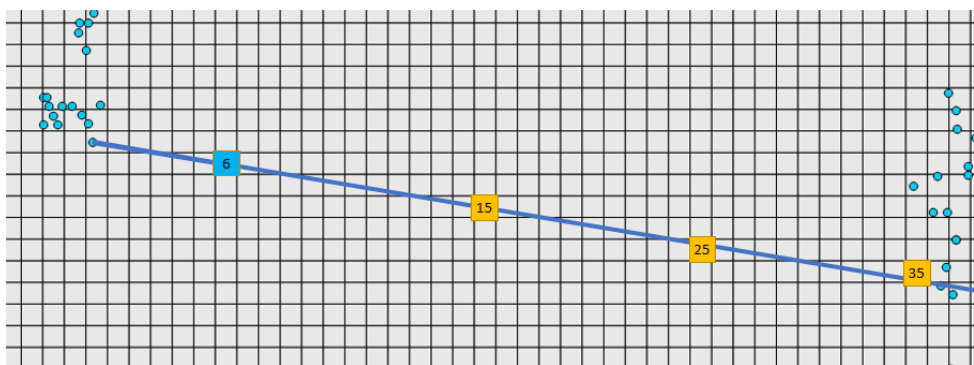
I det följande görs en avståndsberäkning från cellcentrum till närmaste träd. Det sker genom att för varje cell gå igenom de omgivande cellerna inom en omskrivande kvadrat med sidan 30 meter, och söka det minsta avståndet till en stam som ingår i någon av cellernas stamlistor. Om det minsta avståndet understiger eller är lika med 15 meter, registreras avståndet som minsta trädavstånd. Om det inte gör det, registreras 15 meter, vilket alltså i praktiken betyder större än 15. Skälet till denna avgränsning är att celler som har mer än 15 meters avstånd till närmaste träd, aldrig kommer att betraktas som en del av den avverkade ytan.

Baserat på denna beräkning kan sedan en preliminär klassning av celler som ingående i ytan ske genom att alla celler som har maximalt sex meters minsta trädavstånd och inte är väg väljs ut.

Undersökning av omgivning

I det här läget går algoritmen vidare och undersöker om den preliminära sexmetersgränsen ska utökas till 12 meter, d.v.s. den antagna maximala kranlängden. För att avgöra det, undersöks om nuvarande gränsceller vid sex meter vätter mot en annan del av objektet. Det innebär i sin tur att algoritmen behöver beräkna en radiell riktningskoefficient, som sedan kan användas i en funktion för att stega utåt från gränscellen och kontrollera de celler som befinner sig på dessa punkter.

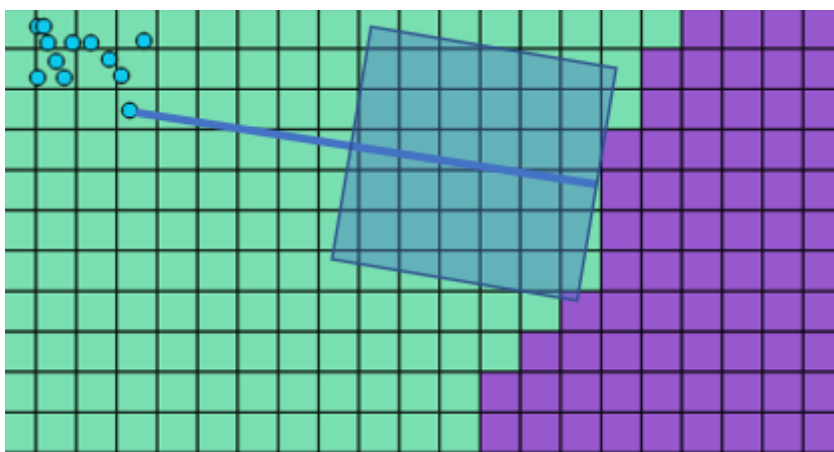
Den radiella riktningskoefficienten bestäms tillsammans med en konstanterterm genom att använda gränscellens centrumpunkt och positionen för cellens närmaste träd. Genom att även hålla reda på riktningen mellan punkterna, kan en vektor åstadkommas med sin startpunkt mittemellan gränscellen och den närmaste stammen. Vektorns slutpunkt bestäms genom att tillämpa avstånden 15, 25 och 35 meter i en trigonometrisk beräkning där dessa avstånd bildar hypotenusor i rätvinkliga trianglar.



Figur 3. En beräknad vektor som visar att gränsen i en viss gränscell (6) vätter mot annan del av objektet, eftersom vektorn vid avståndet 35 m träffar en cell som har ett minsta trädavstånd som är mindre än sex meter.

Om det vid någon av de testade avstånden påträffas en cell som har minsta trädavstånd sex meter eller mindre, definieras gränsen i den aktuella gränscellen som en gräns som vätter mot annan del av objektet. Om så är fallet, sker en expansion från sex meter till tolv meter.

Om en gräns buktar utåt, d.v.s. är konvex, räcker det inte att bara behandla de celler som berörs av den radiella vektorn. Därför beräknas en omslutande kvadrat runt vektorn som har sidan sex meter, och alla celler vars centrumpunkt befinner sig innanför kvadraten och inte är väg definieras som tillhörande den avverkade ytan.



Figur 4. Alla celler med centrum innanför kvadraten ändras att tillhöra den avverkade ytan.

Reducering baserat på tydliga gränser skogliga grunddata

För att identifiera gräns mot kraftigt avvikande bestånd, utnyttjas den interpolerade uppgiften om grundyta per cell från den senaste tillgängliga uppsättningen skogliga grunddata. Algoritmen läser igenom hela matrisen och söker efter celler där grundytan är mindre än en tredjedel av den genomsnittliga grundytan för den preliminära avgränsningen, d.v.s. alla celler med ett minsta träдавstånd mindre eller lika med sex meter.

Samtliga celler som understiger villkoret för grundyta, sätts om till att inte ingå i den avverkade ytan.

Segmentering

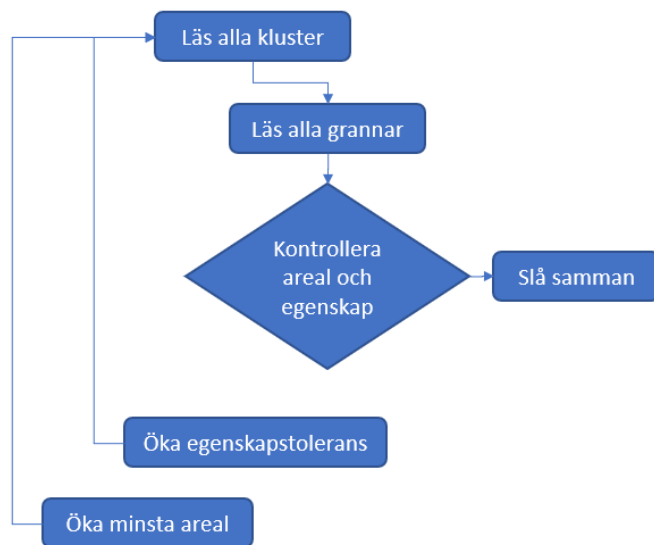
Segmentering sker först av omgivningen och därefter av själva avverkningsobjektet. Samma algoritm används i båda fallen men med olika parametrar för maximal storlek och klustringsegenskap, d.v.s. den cellvariabel som ligger till grund för vilka celler som ska höra samman. När omgivningen klustras begränsas storleken till 0.15 ha, medan 1.5 ha gäller för den avverkade ytan. Någon begränsning för minsta storlek finns inte i själva klustringsalgoritmen.

När omgivningen segmenteras används volym enligt skogliga grunddata, medan höjd från samma källa används i det andra fallet. Principen är att de kluster som celler tillhör slås samman om skillnaden i klustringsegenskap (alltså antingen volym eller höjd) mellan klustren är mindre än det för tillfället rådande gränsvärdet. Algoritmen läser kluster för kluster och kontrollerar om sammanslagning ska ske. Ett visst kluster fortsätter att slås samman med sina grannar så länge det finns några som uppfyller villkoret.

Då samtliga kluster har itererats, sänks sedan kravet så att skillnaden mellan kluster som slås samman kan vara större än tidigare. När så alla kluster återigen har itererats, sker sänkning av kraven igen. Denna procedur upprepas till dess att ytterligare sammanslagningar inte sker.

I det läget är det antingen själva den sammanhängande ytans storlek som begränsar sammanslagning, eller så är det arealbegränsningen för klustrens storlek. I en första omgång är den maximala arealen två tredjedelar av det slutgiltiga kravet, d.v.s. 0.1 eller 1.0 hektar.

Hela förloppet sammanfattas i nedanstående flödesschema.



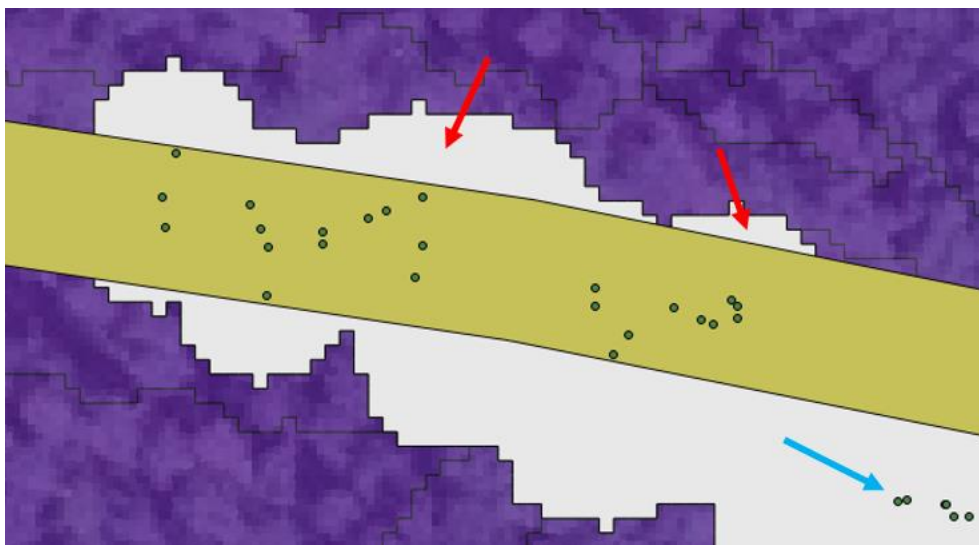
Figur 5. Flödesschema över segmenteringsalgoritmen

Filtrering av småytor samt ytor utan stammar

Flera av ovanstående procedurer kan leda till att mycket små ytor eller isolerade ytor utan tillhörande stammar bildas. I den avslutande delen av algoritmen finns därför mekanismer för att dels låta småytor uppgå i någon av sina grannar, dels för att rensa bort isolerade ytor. Dessutom finns en funktion för att peka om stammar som hamnat utanför det avverkade objektet, till exempel för att avverkning har skett från bilväg.

Först behandlas småytorna. Om ett kluster påträffas som har färre än 10 celler, letas en granne upp som har 10 celler eller fler och det aktuella klustrets celler pekas om till grannen. Detta fortgår till dess att inga kluster som inte är isolerade har färre än 10 celler.

Därefter söks kluster som saknar stammar, d.v.s. alla de ingående cellernas stamlistor är tomma. Sådana kan till exempel uppkomma då avverkning sker i en riktning från en kalyta, men buffringsproceduren leder till att celler på motstående sida sätts att ingå i den avverkade ytan. Om ett kluster saknar stammar, leder det till samma logik som för småytor, d.v.s. klustret slås samman med en större granne.



Figur 6. Klustren vid de röda pilarna kommer att slås ihop med något av de omgivande klustren, medan det nedre söder om vägen kommer att behållas eftersom det har stammar inom sin yttergräns.

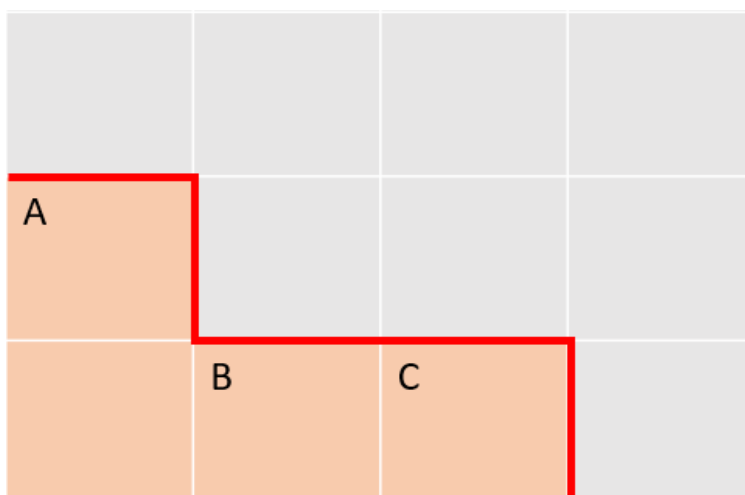
Om en cell som är kopplad till en eller flera stammar har hamnat utanför ytan, måste det sättas en pekare från en cell som är innanför gränsen för att beräkningarna per segment ska bli korrekta och stämma överens med totalen för hela objektet. En implikation är dock att kopplingen till den ursprungliga cellen fortfarande kan ha betydelse, exempelvis för beräkning av var maskinen har stått och för var stickvägarna går. Därför sker ompekning av stammar i ett separat steg, som anropas efter det att övriga beräkningar är klara.

När en utanförliggande cell med stammar i sin stamlista påträffas, söker algoritmen efter närmaste cell som ingår i ett kluster som tillhör den avverkade ytan. Stammen läggs till i den cellens stamlista.

Vektorisering av ytor

För att åstadkomma en SQL-syntax som lagrar klustren som vektorinformation och där endast gränser mot andra kluster sparas, används en ganska invecklad procedur. Den går ut på att söka celler som har minst en granne som delar sida och som tillhör ett annat kluster (gränscell), och sedan knyta samman sidorna på alla dessa celler som bildar en ring. Proceduren avslutas då det inte finns någon gränscell som inte ingår i en ring.

Då en gränscell påträffas, skapas ett nytt ringobjekt och cellen kopplas till detta. Därefter söks angränsade cell genom en medursrotation, där nästa cell blir den gränscell som först påträffas efter det att en cell tillhörande ett annat kluster har passerats. Till slut kommer algoritmen tillbaka till den första cellen, varvid det resulterande ringobjektet består av ett antal celler kopplade till varandra i en medurs riktad ring.



Figur 7. Vektorisering sker genom att knyta samman kanterna på gränscellerna.

Själva koordinatsekvensen byggs upp genom att läsa cellerna i ringobjektet i ordning och lägga till de sidor på cellerna som utgör gränslinjer till celler tillhörande ett annat kluster. För att avgöra vilka sidor som ska läggas till utnyttjas gränscellernas inbördes förhållande. I figuren har cellen A nästa granne B i sydöst. Därmed kan slutsatsen dras att den östra sidan av cellen A ska läggas till. Nästa cell som är C befinner sig öster om B. Alltså ska norra sidan av cellen B ingå i gränsen.

Inre och yttre ringar

Ett kluster kan ha flera inre ringar men bara ha en yttre ring. Med inre ringar menas ringar som omsluter ett kluster som är helt omslutet av ett annat. För att avgöra vilken ring som är den yttre, sker helt enkelt en sortering på antalet celler i ringen i fallande ordning. Den ring som hamnar först antas vara den yttre ringen. Det finns en teoretisk risk att en inre ring har fler celler än en yttre och detta följaktligen är en möjlig om än mycket sällan förekommande felkälla.

Lagring av resultat

När vektorisering av klustren är klart, kan data lagras i databasen. Detta sker i ett antal steg, där det första är att skapa poster med enbart de geometriska objekten samt identiteter. Därefter fylls tabeller med statistik och data från klusterobjekt och stamlistor. Vilka tabeller som används och vilka data som finns i dem framgår av annan dokumentation.

Bilaga 2. Förslag på hantering av stamkoder

För att bibehålla likformighet över företagsgränser föreslås ett regelverk för hur stamkoderna ska hanteras i spi-filerna. Förslaget innebär att spi-filen ska specificera ett antal stamkoder som "måste" ingå och som behövs för att Skogforskens modell för Digitaliserad naturvårdsuppföljning ska kunna köras. Därutöver ett antal stamkoder som är frivilliga och kan variera över tid och organisation. Det är viktigt att alla svenska aktörer kommunicerar eventuella behov att utöka listan med Skogforsk innan nya koder läggs till.

Förslag på regelverk!

<u>Högstubbe</u>	http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/hogstubbe
<u>Kulturstubbe</u>	http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/kulturstubbe
<u>Evighetsträd</u>	http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/evighetstrad
<u>Trädgrupp</u>	http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/tradgrupp
<u>Plockhuggning</u>	http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/plockhuggning
<u>Överfart</u>	http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/overfart
<u>Brandskada</u>	http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/brandskada
<u>Insektsskada</u>	http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/insektsskada
<u>Vindfalle</u>	http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/vindfalle
<u>Toppbrott</u>	http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/toppbrott
<u>Grovtopp</u>	http://forestand.skogforsk.se/stemcodes/grovtopp

Absolut krav för digital naturvårdsuppföljning!

Frivilliga!
Behov varierar över tid och mellan organisationer!