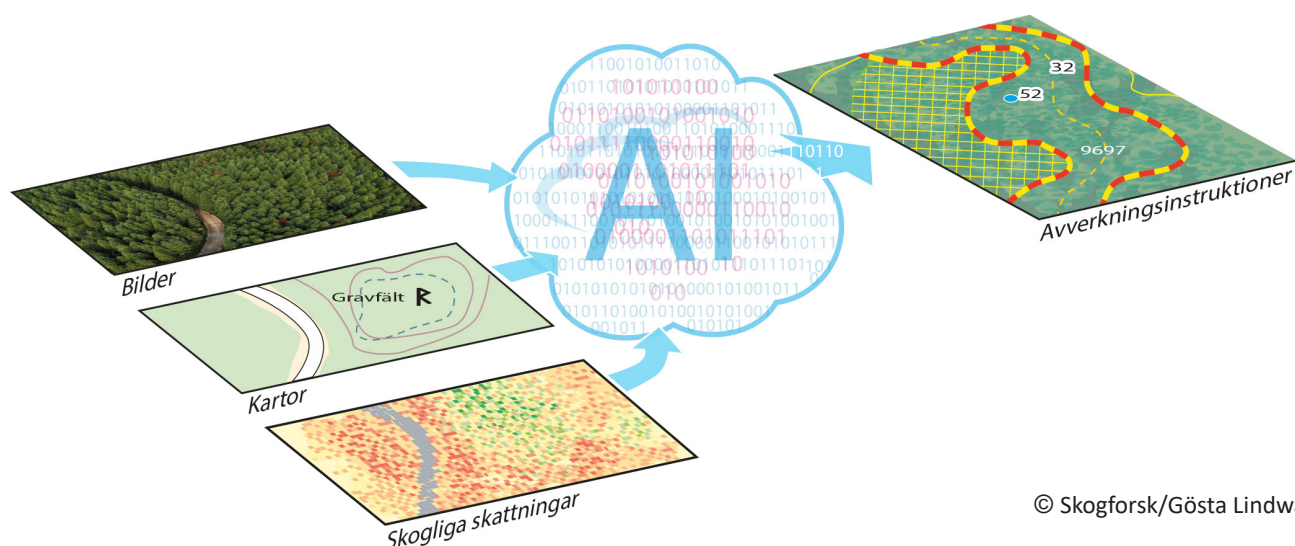


Planeringsrobot för traktplanering

Automation in forestry site planning



© Skogforsk/Gösta Lindwall



© Metria AB



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

Manus har granskats av Erik Willén, Processledare, Skogforsk den 15 januari 2021.
Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, Skogforsk granskat och godkänt
publikationen för publicering den 2 februari 2021.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2021 ISSN 1404-305X

Förord

Denna förstudie behandlar hur avverkningsplanering i skogsbruket med hjälp av geodata och artificiell intelligens (AI) skulle kunna automatiseras från en idag ganska manuellt tung process till en mer digital och dynamisk process. Arbetet har utförts som ett samarbete mellan Metria AB och Skogforsk. Vi vill rikta ett stort tack till Elin Kollberg på Holmen Skog som ställt upp på intervjuer och gett goda råd gällande dagens planering.

Stockholm den 14 december 2020

Gustav Friberg, Luke Webber,
Johanna Skarpman Sundholm & Erik Willén

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	5
Summary	6
Bakgrund	7
Skoglig planering	7
Syfte och mål	8
Dagens traktplanering	8
Geodata	16
Metoder för automatisering	19
Metod	27
Genomförande	23
Resultat	28
Traktplanering på Holmen Skog	28
Förflyttning mot automatisering	30
Analys	48
Diskussion	51
Referenser	53

Sammanfattning

Traktplanering är ett relativt manuellt arbete där en stor del av tiden går åt i fält för att placera ut band (snitslar) som visar maskinförare eller förröjare vilka hänsynsåtgärder som de ska ta och gränser för avverkningen. Traktplaneringen inleds genom att förtolka olika geografiska informationsskikt för att bedöma eventuella hänsyn på trakten. Detta verifieras sedan i fält. Dagens teknikutveckling har gjort det möjligt att med hjälp av AI-metoder analysera stora och komplexa data på helt nya sätt. Denna teknik utnyttjas nu i allt fler branscher och områden. Även den skogliga traktplaneringen är möjlig att automatisera med olika AI-tekniker.

Studien syftar till att beskriva lämpliga metoder för en automatiserad traktplaneringsprocess och ge förslag på hur olika moment kan automatiseras. Målet är att göra traktplaneringen mer effektiv och samtidigt säkerställa att inte kvaliteten försämras.

Projektet har bestått av litteraturstudier som utförts parallellt med workshopar samt en djupintervju med en traktplanerare på Holmen skog.

Resultaten visar att vissa arbetsmoment av traktplaneringen är möjliga att automatisera idag medan andra kräver fortsatta fältkontroller.

Traktplaneringsprocessen föreslås delas in i de tre block:

- Kvalificering av trakter
- Planering
- Förberedelse av produktion

Denna indelning fokuserar moment som kan behöva fältarbete till blocket planering medan de två andra blocken stödjer själva planeringsarbetet. Vidare utredning och utveckling kommer att behövas innan hela traktplaneringen är fullständigt automatiserad, men automatiseringsarbetet kan påbörjas direkt för att snabbare nå målet.

Summary

Forestry site planning is a relatively manual task ahead of harvest or pre-commercial thinning operations. Site planning begins by interpreting various geographical information layers to identify any possible retention measures on the site. This is then verified in the field. Much of the time involves placing ribbons on trees to show machine operators which retention measures are to be taken and also limits of felling.

Technological development has made it possible to use AI methods to analyse large quantities of complex data in a completely new way. This technology is now being used in many sectors and areas. Forestry site planning is one area that can be automated using various AI technologies.

The aim of this study is to describe suitable methods for an automated forestry site planning process, and to give proposals on how various parts of the process can be automated. The objective is to improve the efficiency of forestry site planning, while ensuring that quality is maintained.

The project has comprised literature reviews, performed in parallel with workshops and an in-depth interview with a forestry site planner at Holmen Skog.

The results show that some work processes in forestry site planning could already be automated, but others require more field verification.

We propose that the forestry site planning process be divided into three blocks:

- Assessment of sites
- Planning
- Preparation for production

This division focuses on work elements that may require field work for the planning block, while the other two blocks support the actual planning work. Further investigation and development will be needed before the entire forestry site planning process can be fully automated, but some automation can be introduced immediately to enable earlier attainment of the objective.

Bakgrund

SKOGLIG PLANERING

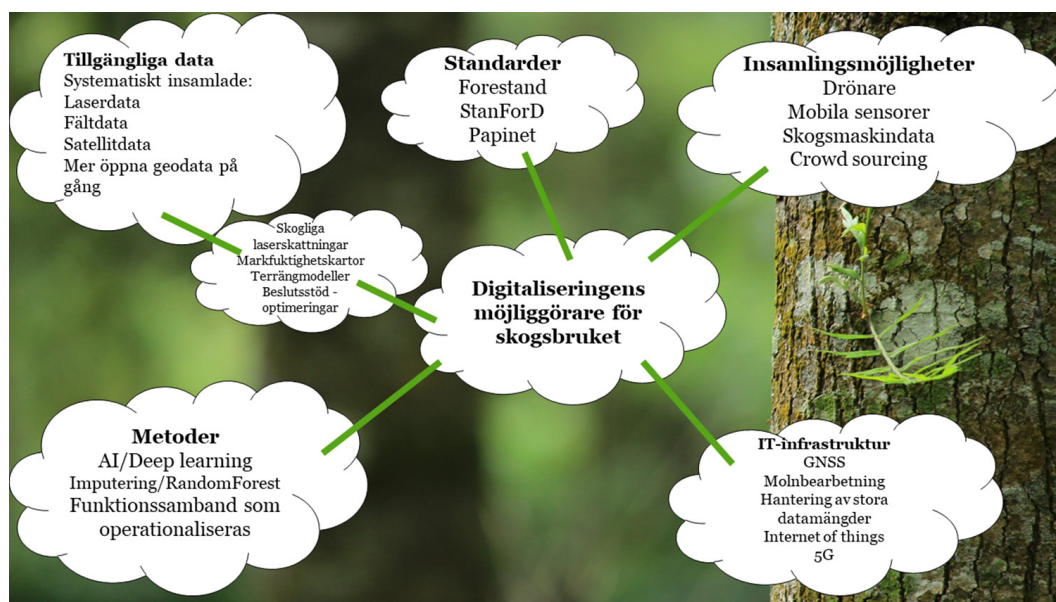
Den skogliga planeringen av avverkningar delas ofta upp i tre olika nivåer:

- Operativ planering med planeringshorisont inom 2 år
- Taktisk planering med planeringshorisont inom 5 år
- Strategisk planering med planeringshorisont > 5 år

Traktplaneringen som denna rapport behandlar utgörs främst av operativ planeringen, men kan också tangera taktisk planering.

Beslut och åtgärder behöver behandlas och planeras med olika tidshorisont för att den dagliga verksamheten ska fungera och för att industrierna ska försörjas med rätt virke över tid. Traditionellt har den skogliga planeringen inriktats på produktion av virke och logistiken kring att få virket från skogen till rätt industri. I takt med att kraven från omvärlden ökar i såväl lagtext och certifieringar som hänsynstagande, har den skogliga planeringen blivit allt mer komplex och behovet av anpassning och unika lösningar för varje trakt blir allt större (Willén & Andersson 2015).

Nya tekniska landvinningar inom många områden visar hur olika möjliggörare bidrar till en ökad digitalisering inom skoglig planering (Figur 1).



Figur 1. Digitaliseringens möjliggörare för skogsbrukets planering.

Nya insamlingsmöjligheter öppnar för att nyttja mer aktuella data från exempelvis drönare eller skogsmaskiner.

Förbättrad IT-infrastruktur bidrar till förenklad bearbetning av stora datamängder, vilket ofta är en förutsättning för mer avancerade metoder av databearbetning. När det gäller GNSS (Global Navigation Satellite Systems) har det ökande antalet satelliter bidragit till förbättrad lägesnoggrannhet även inne i skogen (Hannrup m.fl. 2020).

Nya bearbetningsmetoder utvecklas, men även möjligheten att använda redan utvecklade metoder som krävt stor bearbetningskapacitet innebär nya möjligheter.

En allt större mängd data blir tillgänglig och samlas in regelbundet, vilket ofta är en förutsättning för att säkra kontinuerlig dataförsörjning. Ett tidigt exempel var flygbilder och ortofoton via Lantmäteriets bildförsörjningsprogram, men numer finns även omdrevsplaner för laserdata över landet.

Även framväxandet av olika standarder bör nämnas, eftersom de är centrala för att data ska bli lätt att använda i olika tillämpningar. StanForD hanterar data till och från datorer i skogsmaskiner och tillämpas av de stora skogsmaskintillverkarna i Norden och globalt. Forestand beskriver den stående skogen och används främst för skogsbruksplaner, men kan även nyttjas för större beståndsdatabaser. Papinet-standarderna innehåller bland annat affärstransaktioner senare i skogsbrukets värdekedja.

SYFTE OCH MÅL

Studien syftar till att beskriva hur dagens traktplaneringsprocess kan bli mer automatiserad och ger förslag på olika metoder som kan vara lämpliga för detta. Metodernas styrkor och svagheter beskrivs utifrån det område som de lämpar sig att användas till.

Målet är att öka graden av automatisering i traktplaneringen och på så sätt minska tidsåtgången för i synnerhet fältarbetet, utan att försämra kvaliteten på arbetet.

Avgränsningar

Denna rapport fokuserar på traktplanering inför avverkning med maskiner och då i synnerhet slutavverkningar.

Studien föreslår metoder för automatisering som är befintliga i dagsläget och metoder som kan vara möjliga för operativ implementering inom 5–10 år.

DAGENS TRAKTPLANERING

Willén och Andersson (2015) beskriver dagens traktplaneringsprocess för slutavverkning i fyra block där flera olika moment utförs (Tabell 1). Denna beskrivning är en sammanställning från flera organisationer och avvikelser mellan dessa finns. Momenten ger dock en översiktlig och generell bild av traktplaneringens beståndsdelar.

Tabell 1. Drivningsplaneringens moment (Willén & Andersson 2015).

Förplanering	Fältarbete	Efterarbete	Under drivning
Urval från beståndsdata	Naturvärdesbedömning	Samråd	Placering av detaljhänsyn
Kontroll av närbelägna bestånd för samtidiga åtgärder	Bandning av hänsyn och traktgränser	Skapande av traktdirektiv och traktkarta	Kulturstubbar
Förtolkning av hänsyn	Bedömning av skogliga data	Ajourhållning av skogsregister	
Utskrift eller export av fältmaterial till fältdator	Bedömning av behov av underväxtröjning och uttag av skogsbränsle	Fördelning av avverkningar till maskinlag	
	Planering av skogsvård	Framställande av underlag till maskindator	
	Förslag till avlägg och kojplats		
	Bandning av basväg och basstråk		
	Planering av väg för vidaretransport av virke		

Beskrivning av moment

Innebörden av varje traktplaneringsmoment i Tabell 1 beskrivs övergripande nedan.

Förplanering

Förplaneringen görs generellt via datorn på kontoret, där det är enkelt att komma åt olika digitala kartor och information. I och med IT-utvecklingen är det dock möjligt att utföra dessa moment även på annan plats, men traditionen är ändå att göra arbetet på kontoret. Det finns heller inte alltid funktionella IT-stöd för alla moment utanför kontoret.

Urval från beståndsdata

Trakturval sker från beståndsregister med hjälp av beståndsregisterdata. Urvalet görs genom att beståndet har ett identifierat behov av till exempel gallring eller slutavverkning. Urvalet syftar också till att matcha efterfrågan från de industrier dit leveransen ska ske. Vid avverkning av skog ägd av privata markägare startar urvalet i samband med inspektorns eller virkesköparens kontraktsskrivning.

Kontroll av närbelägna bestånd för samtidiga åtgärder

För att skapa samordningsvinster vid till exempel transport av maskiner och upprustning av vägar kontrolleras avståndet mellan trakterna. På så sätt kan åtgärder på närbelägna bestånd planeras in att utföras efter varandra.

Förtolkning av hänsyn

Kartmaterial från flera olika källor studeras, ofta i en GIS-programvara, för att identifiera delar på trakten som kan ha höga naturvärden. Idag utförs detta arbete manuellt där planerarens erfarenhet spelar stor roll för resultatet.

Utskrift eller export av fältmaterial till fältdator

I detta moment anpassas det förplanerade underlaget till en fältenhet. Olika IT-lösningar har olika automatiseringsgrad i dagsläget. Momentet är av administrativ karaktär.

Fältarbete

Arbetet i fält utförs normalt med digitalt fältstöd. Detta fältstöd innehåller kartor samt det material som sammanställts under förplaneringen. Genom att besöka områden som föreslagits hänsyn och åtgärder i förplaneringen kan dessa bekräftas eller avskrivas. Arbetet innefattar att skapa sig en bild över trakten, dess olika svårigheter samt behovet av hänsynstaganden. Efter fältarbetet finns en färdig plan för hur arbetet på trakten ska gå till för att vara effektivt och hänsynstagande.

Naturvärdesbedömning

En beskrivning av en trakts kvaliteter avseende naturvärden görs i fält enligt en standardmall. Objekten bedöms efter förekomst av olika arter, mängd död ved i olika faser och andra strukturer som kopplas till höga naturvärden. Detta är ett krav om skogsbruket är certifierat.

Bandning av hänsyn och traktgränser

Band (snitslar) utplaceras för att kommunicera olika gränser och hänsynstaganden på trakten. Färgen och mönstret på banden förklarar vad markeringarna innebär. Banden placeras runt all hänsyn och även på enskilda träd som ska sparas. I traktgränser bandas vanligtvis traktgräns mot gränsande fastighet och även traktgräns som är svår att urskilja. Momentet innefattar utöver själva bandningen också att identifiera ytterligare hänsynsbehov om sådana finns.

Hänsyn i traktplaneringssammanhang kopplas till skogsvårdslagen, där skogsproduktion och hänsyn är av lika vikt. Det finns olika former av hänsyn. Den generella hänsynen är särskilt viktig för traktplaneraren och innebär att vid samtliga skogsbruksåtgärder tillse att naturvärden skyddas, bevaras och främjas. Generell hänsyn tas överallt men är inte formaliserad så att den ska rapporteras. Då finns andra mer formella skyddsformer, som exempelvis naturreservat, med andra krav. Men på dessa bedrivs ingen skogsproduktion. Den generella hänsynen däremot behöver beaktas på varje område och det är en traktplanerarens uppgift att se till att detta sker.

Då den generella hänsynen innefattar en stor andel olika objektstyper fördjupas några huvudtyper av dessa tydligare nedan.

Naturhänsyn

Lokala biotoper och enskilda objekt i landskapet ska skyddas enligt generell hänsyn. Gemensam nämnare är ofta att dessa avviker från övriga traktdelar och därför blir extra viktiga för biologisk mångfald. Vanligt förekommande typer är:

- Kantzoner mot sumpmark, vattendrag och sjöar
- Hällmarker
- Trädgrupper
- Enskilda naturvärdesträd
- Stående och liggande död ved
- Fuktiga och blöta områden
- Grova lövträd

Det finns andra mer eller mindre ovanliga typer såväl som kombinationer av olika typer. Vissa hänsynstyper är också knutna till olika delar av landet, vilket gör att de inte förekommer över hela Sverige.

Social hänsyn

Högre krav ställs idag på att skogliga åtgärder ska ta hänsyn till lokalbefolkning som lever och verkar intill trakter. Det finns inte sällan en förväntan från allmänheten att markägarna tar hänsyn till önskemål och aktiviteter som bedrivs i skogarna. Intill mer tätbefolkade områden blir också detta mer påtagligt. Några vanliga hänsynstaganden är:

- Skydda och inte göra stigar och vandringsleder otillgängliga efter en avverkning
- Minska hyggesintrycket genom att lämna träd och trädgrupper samt minska den avverkade arealen
- Inte göra körskador (alltid viktigt)

Kulturhistorisk hänsyn:

Svensk skogsmark är på få ställen helt orörd, vilket innebär att det kan förväntas dyka upp olika lämningar efter mänsklig aktivitet i hela Sveriges skogslandskap. Dessa lämningar skyddas enligt fornminneslagen. Mer utmärkande lämningar som ofta kan påträffas är:

- Kolmilor
- Tjärdalar
- Stenmurar/stenrösen/gränsstenar
- Husgrunder
- Fornåkrar med odlingsrösen
- Tidigare bosättningar och fornlämningsområden

Lämningarna kan vara svårupptäckta då de under århundraden har överlagrats av mossa och jord, vilket gör att de inte syns förrän de påverkas i samband med avverkning. Det ställs därför stora krav på traktplanerare som ska kunna hitta dessa i landskapet innan åtgärden påbörjats. Riksantikvarieämbetet och Skogsstyrelsen har geodataskikt med kända fornlämningar som ger en god hjälp för arbetet, men de är inte kompletta. Ofta finns koncentrationer av lämningar intill områden som projekterats för nybyggnation eller väg och järnvägsdragning, medan större skogsområden inte har undersökts lika grundligt.

Bedömning av skogliga data

En kontroll av registerinformationen om virkesinnehållet (volym, medelstam och trädslagsblandning) på trakten görs i fält för att se om någon större förändring skett. Det kan handla om en storm som fällt en del av beståndet eller att träd dött av olika orsaker. Vid större förändringar behöver informationen uppdateras för att produktionsplaneringen ska kunna förvänta sig rätt utfall från avverkningen.

Bedömning av behov av underväxtröjning

Är beståndet skiktat och finns det behov av röjning av underväxt?

Uttag av skogsbränsle

Vidare bedöms även förutsättningarna för uttag av skogsbränsle på trakten. Det finns två huvudsakliga bedömningsgrunder till om skogsbränsleuttag lämpar sig: markens bärighet och avstånd till skogsbilväg. På trakter med dålig bärighet behöver man avverkningsresterna som förstärkning av maskinernas körvägar och inget eller lite skogsbränsle blir möjligt att ta ut på trakten. Vid långt avstånd till skogsbilväg blir skotningskostanden hög vilket gör att det inte lönar sig att ta ut skogsbränsle.

Planering av skogsvård

I samband med att traktplaneringen görs också en planering av skogsvården som efterföljer slutavverkningen. När skogen fortfarande står på plats är det möjligt att bedöma den med orört markskikt och kvalitet på trädstammarna. Detta ligger till grund för val av skogsvårdsstrategi inkluderande markberedningsmetod, trädslagsval och antal plantor.

Placera virkesavlägg, kojplats och larmkoordinater

Beslut om avläggets plats med möjlighet till uppställning av entreprenörens arbetskoja görs i samband med traktplaneringen. Basvägen från trakten går ut till avlägget och där intill behöver också entreprenören kunna ställa sin koja innehållande servicematerial och raststuga. Avlägget ska placeras så att det finns rum att trava det avvercade virket, trafiksäkerheten inte äventyras och markens bärighet klarar av att belastas av många överfarter med skogsmaskin.

Bandning av basväg och basstråk

Bandning görs med färgmarkeringar för att visa var basväg/basstråk ska förläggas. Att sträckningen av basvägarna planeras noggrant är viktigt, eftersom merparten av virket på trakten ska skotas ut längs dessa, vilket innebär en stor påfrestning på marken. Är bärigheten inte tillräcklig bör marken förstärkas med grenar och toppar från avverkningsområdet. Det är också viktigt att vägarna placeras med god marginal från känsliga områden och att eventuella behov av byggnationer av broar över diken och bäckar planeras.

Planering av väg för vidaretransport av virke

För vissa trakter krävs en investering i en skogsbilväg för att avverkningsområdet ska kunna utföras effektivt. Detta moment behöver dock längre framförhållning än de andra momenten, då det tar minst två år att konstruera en bra skogsbilväg. Därför bör det egentligen hamna i den taktiska planeringen, men det kan förekomma att en vägdragning planeras i samband med traktplanering.

Efterarbete

När förplanering och fältarbete utförts sammanställs informationen i efterarbetet. Informationen förs in i en traktdirektivmall som ser lika ut för alla trakter. Då skapas också kartan med utplacerad information om traktens disponering där olika hänsynstaganden och åtgärdsbehov finns utritade.

Samråd

Samråd i samband med traktplanering sker främst för åtgärder i områden med renskötsel, där samer och markägare innan avverkningsområdet behöver prata igenom hur rennäringen ska kunna bedrivas. Det finns också andra samråd men de är inte lika vanligt förekommande.

Skapande av traktdirektiv och traktkarta

Efter att material från förarbetet skapats och kompletterats eller justerats med information från fältbesök sammanställs detta och ett traktdirektiv skapas med en tillhörande karta som kan distribueras till entreprenören.

Ajourhållning av skogsregister

Fältinhämtad information om förändringar uppdateras i företagets skogliga register. Informationen är ofta uppdelad i bestånd eller brukningsenheter med skogliga variabler om enhetens volym, trädslagsfördelning och medelstam. Det finns även information om tekniska aspekter som bärighet kopplat till bestånden. Likaså beskrivs vilka åtgärder som är lämpliga framöver för bestånden och när dessa åtgärder bedöms vara lämpliga att utföra.

Fördelning av avverkningar till maskinlag

En entreprenör tilldelas trakten innan avverkningen startar. Detta görs utifrån vilka maskiner som krävs för jobbet och vilka maskiner som entreprenören arbetar med samt i vilken geografi entreprenören arbetar så att inte pendlingsavståndet ska bli för långt.

Framställande av underlag till maskindator

Detta moment innebär att den information som presenteras i kartan tillgängliggörs i geodataformat istället för på en papperskarta. Kartan levereras till en GIS¹-programvara som maskinföraren bär med sig i maskindatorn eller en handenhet.

Under drivning

Maskinlaget utför också en planering av arbetet med utgångspunkt i traktdirektivet. Med hjälp av informationen kan maskinlaget förbereda sig för att på effektivaste sätt möta ett hänsynsområde eller en föreslagen brobyggnation över ett dike. Maskinlaget tar även beslut som behöver återföras till materialet, om inte för användning direkt så åtminstone som underlag inför nästa åtgärd på trakten.

Placering av detaljhänsyn

Viss detaljhänsyn som utställande av evighetsträd eller kvarlämnande av trädgrupp och död ved görs av maskinföraren under själva arbetet. Registrering av denna hänsyn fungerar som ett viktigt planeringsunderlag för nästkommande åtgärder.

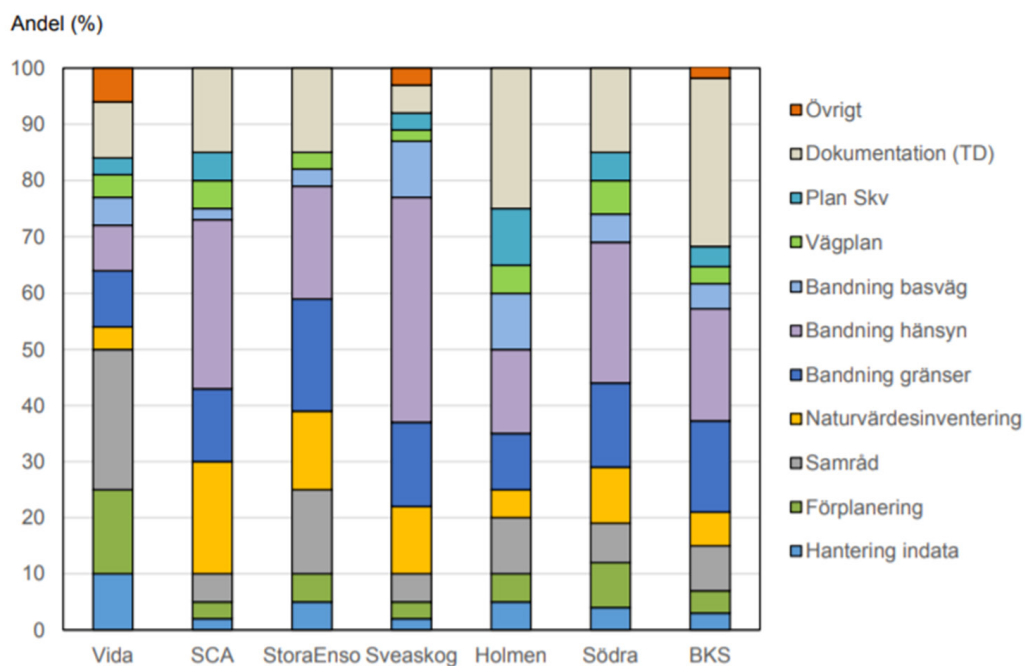
Kulturstubbar

Kulturstubbar lämnas för att uppmärksamma skotarförare och utförare av efterföljande skogsvård på att det intill stubbarna finns kulturhänsyn att ta hänsyn till under arbetet. Stubbarna utgör inte bara en visuell markering utan fungerar även som ett mekaniskt skydd, då det inte går att forcera med maskinen utan att märka detta.

Tidsåtgång

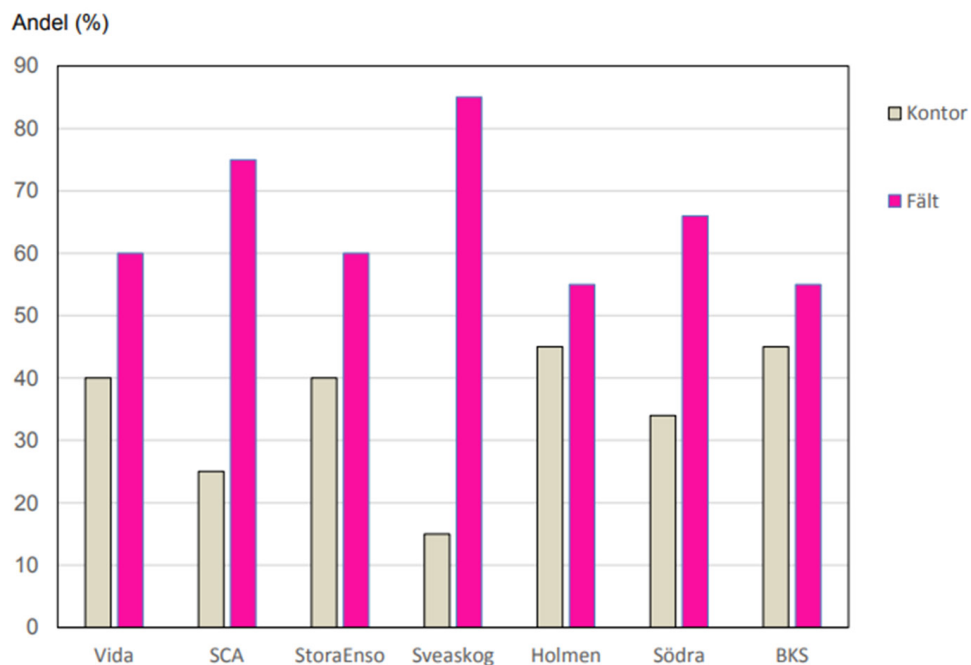
Tidsåtgång för de olika arbetsmomenten har uppskattats av planerare i studien av Willén och Andersson (2015) och resultatet presenteras som andelar i Figur 1. Där syns tydligt att momentet bandning generellt tar stor tid i anspråk liksom momentet dokumentation.

¹ Geografiska informationssystem



Figur 1. Fördelning av arbetstid för olika moment i traktplaneringen uppdelat per skogsbolag (Willén och & Andersson, 2015).

Om tiden istället fördelades mellan arbete i fält och på kontor uppskattades andelarna enligt Figur 2.



Figur 2. Fördelning av arbetstid mellan fält och kontor för olika skogsbolag (Willén & Andersson, 2015).

Där framträder fälttiden som mer omfattande generellt för samtliga tillfrågade skogsbolag. Willén och Andersson (2015) poängterar att uppskattningarna är gjorda av enskilda planerare och att det finns en stor variation mellan olika individer. Men det går ändå att skönja ett mönster av att fälttiden dominerar traktplaneringsarbetet.

Själva slutmålet med traktplaneringsprocessen är att ha ett färdigställt traktdirektiv (avverkningsinstruktioner) som ges till entreprenören som ska utföra arbetet. Traktdirektivet innehåller information som är relevant för avverkningsarbetet på trakten och beskriver till exempel var olika hänsyn behöver tas, var gränser finns, hur maskinlaget ska gå tillväga vid arbetet och var virket ska placeras. Detta direktiv är centralt för entreprenören och styr arbetet som ska utföras. Planeraren står för innehållet och kvaliteten i traktdirektivet och det finns en arbetsprocess som ska säkerställa att information inte utesluts eller förbises. Arbetsprocessen innehåller de moment som visas i Tabell 1 och delas upp i olika block som förhåller sig till fältarbetet. Med för- respektive efterarbete åsyftas arbetet före och efter fält och momenten i dessa block har vanligtvis skett på kontor, medan fältarbetet utförs på själva trakten. Momenten har placerats ut rent funktionellt efter var de passar för att göra arbetsprocessen effektiv.

Digitaliseringsutvecklingen i skogsbranschen har hittills lett till att digitala kartor och verktyg som tidigare bara kunde användas på kontoret tillgängliggjorts i fält. Teknikutvecklingen gör att processen i framtiden också kan vändas, så att mer detaljrika data kan fås från fält till kontoret. Detta skapar nya möjligheter och därmed behov av nya arbetsrutiner, processer och verktyg. Skulle en helt automatisk traktplanering bli möjlig förändras också planerarens roll, som då kan tillgodogöra sig information vid varje beslutstillfälle samt få hjälp att förstå vilken information som är relevant för den aktuella trakten utan att behöva gå igenom dagens hela traktplaneringsprocess.

GEODATA

Geodata (geografiska data) är information som kan knytas till en geografisk plats. Geodata delas vanligen upp i raster- och vektordata:

- Rasterdata består av ett pixelsystem där alla pixlar är lika stora och gränsar till varandra i ett stort rutnät. Varje pixel innehåller ett värde som beskriver vad just den pixeln innehåller. Ett vanligt raster är ett ortofoto där det beskrivna värdet är RGB-färgen som flygkameran registrerat. Genom att färgsätta pixlarna efter det beskrivna värdet skapas den bild som utgör ortofotot.
- Vektordata består av vektorer som bygger upp objekt. De finns som punkter, linjer eller polygoner. Av dessa har endast punkter en bestämd form. Punkterna är placerade på en viss plats. Linjer och polygoner byggs upp genom olika segment och kan skapa fria former. En klassisk orienteringskarta är uppbyggd av vektorer som visar höjdkurvor, byggnader och vägar med mera i kartbilden. Varje objekt kan bära attributinformation som beskriver objektet. Polygoner som beskriver byggnader skulle exempelvis kunna innehålla information om byggnadens höjd, färg och namn.

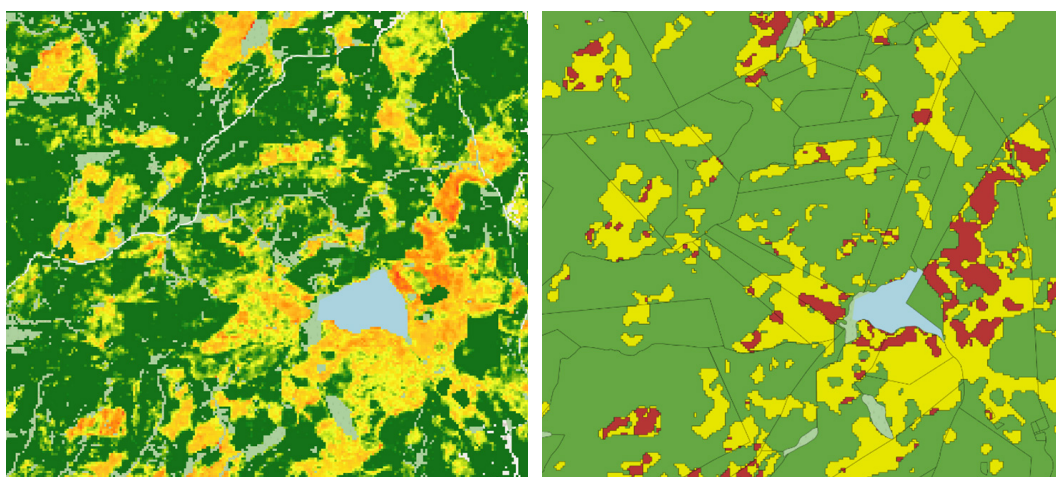


Bild 3. Vänster bild: Skogsstyrelsens barkborreriskindexkarta (<https://skogsstyrelsen.se/sjalvservice/karttjanster/skador-pa-skog/>), där rasterdata visar kontinuerliga värden från 0 (låg risk = grön) till 100 (hög risk = röd). Höger bild: Riskindex över samma data som bilden till vänster men istället som polygonvektordata indelade i tre klasser (låg risk = grön, medelrisk = gul, hög risk = röd) och delad av fastighetsgränser.

Raster- och vektordata (exempel i figur 3) har olika fördelar och nackdelar och information kan omvandlas mellan de olika formaten för anpassning till användningsområdet. Rasterformat brukar föredras när heltäckande kontinuerlig information ska hanteras, medan vektordata brukar föredras när enskilda och detaljrika objekt ska hanteras.

I skoglig planering används många typer av geodata. Det finns en uppsättning data från myndigheter och dessa kompletteras ofta av skogsbolagens egna data som samlats in genom åren eller som förädlats vidare från andra data. I denna studie har utgångspunkten varit Holmen Skogs uppsättning av geodata för traktplanering (Tabell 2).

Tabell 2. Lista över geodata som Holmen använder vid traktplanering.

Geodata	Källa
Skoglig grunddata	Skogsstyrelsen
Markfuktighetskarta	Skogsstyrelsen/Geodataleverantör
Fornlämningar	RAÄ (Riksantikvarieämbetet)
Skog & Historia	Skogsstyrelsen
Naturhänsyn - Nyckelbiotoper - Naturresevat - Natura 2000 - Biotopskydd - Sumpskogar	Skogsstyrelsen/Naturvårdsverket
Terrängmodell	Geodataleverantör
Beståndsregisterdata - Holmens skogliga data* - Egna avsättningar - Trädslag	Holmen
Fastighetsgränser	Lantmäteriet
Skördardata	Holmen
Granbarkborreanalys	Holmen
SNVDB	Trafikverket/Biometria
Körspår från maskiner	Holmen
Ortofoto	Lantmäteriet

* Holmens beståndsinformation uppdateras årligen med skoglig tillväxt för parametrarna volym, grundyta, diameter, höjd och stamantal.

En planerare kombinerar ofta olika data för att skapa sig bra kunskap om trakten. Detta görs idag främst manuellt med hjälp av olika GIS-mjukvaror. Erfarna traktplanerare förstår kopplingen mellan olika data och kan dra rätt slutsatser utifrån utfallet. Dock utförs ofta planeringen av personer som är relativt nya i rollen och för dessa finns behov av ett system som kan underlätta arbetet. Omfattande forskning och utvecklingsinsatser pågår för att skapa nya beslutsunderlag till traktplaneringen, men också för att kunna kombinera och sammanfoga redan befintliga data till nya resultat och insikter. Dock blir datamängden allt större och dessutom finns det olika versioner och uppdateringsintervall, vilket kan göra det till en utmaning att tillgängliggöra sig all information.

Andra tillgängliga geodata

Utöver de geodata som Holmen använder till sin traktplanering finns även andra data som kan vara lämpliga att använda (Tabell 3). En del av dessa insamlas idag manuellt under fältarbetet, medan andra kan vara användbara tillsammans med automatiska metoder som senare föreslås.

Tabell 3. Lista över användbara geodata för traktplanering som inte nödvändigtvis används i dagsläget.

Geodata	Källa
Höjd över havet	Geodataleverantör
Kontinuitetsskogar – för identifiering av naturhän-syn	Naturvårdsverket
Laserdata (Laserdata NH & Laserdata skog)	Lantmäteriet
Nationella Marktäckedata (NMD) – för trädslagsk-lassning	Naturvårdsverket
Lutningskarta – för drivningsförutsättningar	Skogsstyrelsen/Geodataleverantör
Dikeskarta	Geodataleverantör
Satellitdata (multitemporal) – för förändringar i skogen	Geodataleverantör
Geografiska kvalitetsegenskaper på virke	Företagsspecifik insamling/Biometria
Nederbördsdata	SMHI
Markfuktighetsindex som klassar torr – blöt mark	Geodataleverantör
Förslag på fornminnen – för hänsyn	Geodataleverantör
Förändringsanalys – för att identifiera spektrala förändringar i skogen som indikerar skador	Skogsstyrelsen
Översiktsplaner (för data till social hänsyn)	Kommuner
LIS-plan (Landsbygdsutveckling i strandnära lägen) (för data till social hänsyn)	Kommuner

Produktionsdata

Utöver geografiskt kopplad information kan också olika produktionsdata vara intressanta vid planeringen. Sådana data kan särskilja olika beteenden och skillnader i utfall och också fungera som förklaringsvariabler. Denna information kan behöva samlas in företagsspecifikt och kan även innehålla känsliga uppgifter kopplade till personer, vilket behöver beaktas och utredas innan det tas i bruk.

Några exempel är:

- Användardata från interna system
- Maskindata (olika typer av StanForD²-skogsmaskindata)
- Utförande entreprenör
- Utförande planerare
- Typ av mätutrustning
- Tid för att avverka trakten
- Leveransbehov till industri

Lokalt insamlade geodata från drönare och helikopter

Även drönare kan användas som hjälpmedel vid skoglig planering (Willén & Friberg 2018). Drönarna har potential att samla in detaljerad information om en trakt då de har lägre flyghöjd och kommer närmare intressanta objekt. Drönarflygning är dock förenat med ett regelverk som inte gör det möjligt att flyga längre bort än att drönaren

² StanForD 2010 – Modern kommunikation med skogsmaskiner – Skogforsk

är synlig för operatören, vilket medför att planeraren behöver befinna sig på trakten under flygningen. Drönarna samlar också in stora mängder data, vilket skulle kunna resultera i en mer omfattande datahantering istället för en effektivisering. Utveckling inom området där bland annat insamlingen av data standardiseras kombinerat med ett förändrat regelverk skulle kunna ge en effektiv fältinsamling av mer detaljerade data, där tiden per trakt kan reduceras i framtiden.

Helikopterinventering är också något som skogsbolag använder sig av med jämna mellanrum. Ofta sker en sådan under en mer riktad insats som vid en större storm eller viss inventeringsinsats. Detaljgraden från en helikopterinventering kan bli hög men är också förenad med en hög kostnad. Inventeringen görs heller sällan heltäckande, vilket begränsar användningen av informationen.

Begränsningar med geodata

Detaljeringsgraden hos olika geodata är helt beroende av upplösning och frekvens. Detta får till följd att det finns en begränsning i vad som är möjligt att urskilja från dagens geodata. Skogsbranschen har kommit långt med att fånga viktig information om skogen genom olika fjärranalysmetoder. Laserskanning som idag finns med nationell täckning har gjort det möjligt att analysera terrängens lutning och kupering samt modellera markens fuktighet. Dock räcker inte detaljgraden för att identifiera block och stenar eller liggande död ved, vilket i traktplaneringssammanhang är viktig information för såväl hänsyn som drivningsplanering. När det kommer till att fånga fenologi med hjälp av olika sensorer kan trädslag till viss del identifieras med kostnadseffektiva metoder genom satellitkartering. Dock är upplösningen inte tillräcklig för enskilda träd, vilket är viktigt ur ett hänsynsperspektiv. Det går heller inte att identifiera markflora med dessa metoder, vilket är helt avgörande för traktplanering i områden med höga naturvärden. Mycket utvecklingsarbete pågår och innovationer kommer regelbundet, men dagens metoder har stora begränsningar gällande detaljgrad på lokala områden vilket får till följd att automation av traktplaneringen med de krav som ställs via regelverk och certifieringsregler inte helt och hållet kan mötas med befintliga geodata.

METODER FÖR AUTOMATISERING

Intresset för automatiserade metoder för analys och datahantering ökar. Under decenniet 2010–2020 har digitaliseringen lett till omvälvande globala förändringar. Självklart skapar denna utveckling även möjligheter för skogsnäringen. Inom det skogliga planeringsarbetet kan arbetsmoment rationaliseras genom automatiserade metoder för analys och en förbättrad datahantering.

Förutsättningar

För att planeringsprocessen ska bli bra bör data och processer standardiseras. Automatisering av en viss process riskerar annars att bli ineffektiv och generera behov av manuell ombearbetning och kvalitetsgranskning av data, varmed den stora vinsten med automatiseringen kan riskera att försvinna.

AI och maskininlärning

AI (artificiell intelligens) är ett begrepp som rör alla typer av system som beter sig på ett ”intelligent” sätt. AI är också nära kopplat med begreppet *maskininlärning*, där maskininlärning ses som ett delområde till AI eller som en samling metoder som kan användas för att skapa AI-system.

Maskininlärning omfattar en grupp metoder och algoritmer där en modell skapas genom att "lära" sig från data. Denna modell ska sedan hjälpa en dator att klara av att utföra uppgifter som klassificering, prediktion och klustring med mera. I rapporten föreslås ett flertal automatiseringssteg som bygger på olika metoder inom maskininlärning.

Vanliga begrepp inom maskininlärning:

- **Attribut (feature)** – Dimension, egenskap, mätvärde.
- **Attributdata (feature data)** - Beskriver objektet (till exempel trädhöjd, grundyta och markfuktighet) och benämns också ofta indata, eftersom det är detta som förs in i modellen för att sedan inferera (prediktera) en output.
- **Referensdata (label data/target data)** – Data som innehåller det värde man vill inferera (till exempel gallringsbehov och höjdtillväxt).
- **Träningsdata** – Attributdata kopplat till referensdata är det som utgör träningsdata för modellen.
- **Testdata** – Del av data som modellen inte fått träna på där man kan testa hur korrekt den är.
- **Hyperparametrar** – De parametrar som inte lärs in genom direkt träning av modellen, utan snarare kontrollerar inlärningsprocessen. Några exempel är maximalt träddjup i metoden random forest, eller learning rate, arkitektur och batch size vid deep learning.
- **Träning** – När man genererar en modell.
- **Prediktion/inferens** – När man låter den tränade modellen göra en förutsägelse.
- **Valideringsdata** – Del av data som används i vissa metoder för att förbättra hyperparametrar.
- **Output** – Ordet beskriver ofta resultaten eller delresultaten som kommer från en modell.
- **Modell** – Resultatet av träningen, där vikter och parametrar justerats.

Maskininlärningskategorier

Maskininlärningsmetoder delas ofta in i de tre huvudkategorierna supervised learning, unsupervised learning och reinforcement learning, där de två förstnämnda kan anses vara de vanligaste kategorierna. Kategorierna definieras i det här fallet av hur metoderna arbetar för att lösa ett problem.

Supervised learning:

- Det finns tillgång till referensdata som en modell kan tränas på för att hitta samband mellan attributdata och referensdata. Modellen används sedan för att kunna skapa data från ny attributdata.
- Ett av de vanligaste sätten att formulera maskininlärningsproblem.
- Det kan ofta vara svårt att hitta tillräcklig mängd referensdata.
- Exempel: Modell som kan läsa handskrivna siffror baserat på träningsdata taggad med information om vilken siffra som finns i bilden.

Unsupervised learning:

- Det finns inte tillgång till referensdata utan algoritmen försöker endast hitta underliggande strukturer eller kluster i data.
- Exempel: Dela upp kunder på en e-handelssida i olika grupper baserat på inbördes likhet, utan att modellen får information om vilka som "egentligen" är lika.

Reinforcement learning:

- En "agent" får prova sig fram genom att utföra en handling och se vad som händer. Målet är att försöka maximera någon slags belöning.
- Jämför hund som får godis när den gör rätt.
- Vanligt inom robotikforskning.
- Exempel: Robot som ska lära sig att inte ramla får poängavdrag om den ramlar.

Typiska problem att lösa med maskininläring:

- **Klassificering** – binära problem (exempelvis gallringsbehov eller ej) och multiklassproblem (exempelvis trädslag). Löses ofta med supervised learning-metoder.
- **Regression** – inferera ett eller flera reella tal (exempelvis höjdtillväxt eller andelar av olika trädslag). Löses ofta med supervised learning-metoder.
- **Anomalidetektion** – hitta avvikelser från andra liknande objekt (till exempel plötslig förändring i en tidsserie över satellitdata som indikerar att en avverkning har gjorts). Löses ofta med unsupervised learning-metoder, men även supervised learning-metoder kan användas, men då ofta för att prediktera ett värde som man sedan jämför mot det faktiska värdet.

Exempel på vanliga maskininlärningsalgoritmer

Nedan anges vanliga metoder och vilka typer av problem de vanligtvis löser samt vilka för- och nackdelar som finns med respektive metod. Detta får dock anses vara en beskrivning av grundversionen, eftersom mer eller mindre innovativa varianter finns. Forskningsläget rör sig dessutom snabbt, så gamla sanningar kommer att ändras.

Support vector machines (SVM):

- Supervised learning-metod. Benämns ofta som en traditionell maskininlärningsalgoritm.
- Bygger på binär klassificering, men standardmässiga sätt att formulera om multiklass- och regressionsproblem gör att SVM kan lösa även sådana.
- Anses prestera bra med lite träningsdata.
- Skalar dåligt med mycket data (svårt att parallellisera inlärningsprocessen som därför kan ta mycket lång tid med mycket data).

Random forest:

- Supervised learning-metod. Benämns ofta som en traditionell maskininlärningsalgoritm.
- Olika implementationer kan användas för att lösa allt från binära klassificeringsproblem till multiklassklassificering och regression.
- Inläringen kan parallelliseras i viss mån och skalar därför relativt väl med mängden data.

Deep learning:

- Supervised learning-metod (vanligen). Deep learning brukar ställas som motsats till traditionella maskininlärningsalgoritmer.
- Mycket flexibel metod, vilket också kan kräva mer av användaren. Jämfört med metoder som SVM och Random Forest krävs att man gör fler val när det kommer till hyperparametrar (alltifrån rena parametrar till hur man bygger ihop olika beståndsdelar till en viss arkitektur) för att metoden överhuvudtaget ska fungera, inte bara för att förbättra resultat.
- Speciella typer av lager kan hantera viss feature-extraktion (exempelvis hur ett objekt i en bild ska beskrivas i egenskaper som en dator kan förstå).
- Anses behöva större mängd träningsdata än de nämnda traditionella algoritmerna.
- Kan anpassas för stora mängder data eftersom träning och prediktion lämpar sig väl för parallellisering.
- Olika typer av färdiga arkitekturer kan tillämpas för olika typer av problem.

k-nearest neighbor (kNN)

- Supervised learning-metod för klassificering och regression, men är också vanlig vid anomalidetektion.
- Viktigt att definiera "närhet" (se avsnitt om similarity learning) och/eller normera indata.
- Är känslig för allt för många dimensioner i indata (curse of dimensionality).
- Är bra på att ge förståelse för varför en viss prediktion gjorts eftersom de k närmaste grannarna i indata kan hittas.
- Kan användas för att hitta de k närmaste grannarna.
- Träningen av modellen görs för varje objekt som man vill klassificera, inferenssteget kan därmed ta lång tid att utföra för stora datamängder.

k-means

- Unsupervised klustringsmetod, kan alltså användas för att hitta andra "liknande" objekt utan att referensdata finns.
- Hittar k stycken kluster i data utifrån de dimensioner som finns i attributdata.
- Standardimplementationen har svagheter när det kommer till allt för många dimensioner (curse of dimensionality) och olika stora och olikformade kluster.
- Skalar väl med stora datamängder och kan enkelt fortsätta lära sig från nya indata kontinuerligt.
- Används ofta till rekommendationssystem.

Generella kommentarer angående ovanstående algoritmer:

- Idag görs sällan egna implementationer av algoritmerna utan färdiga sådana från exempelvis open source-bibliotek som scikit-learn i Python används. Även Matlab och R har en stor bredd och kvalitet på implementationerna och med liknande gränssnitt (API).
- I många fall är SVM och Random Forest utbytbara. I exempelvis scikit-learn så är API:erna desamma oavsett val av algoritm. Flera olika kan därför testas på samma problem utan någon större arbetsinsats.
- För deep learning används framförallt open source-bibliotek som TensorFlow i kombination med förenklade ramverk och API:er från Keras i Python. PyTorch är ett annat bibliotek som idag ofta lyfts fram i dessa sammanhang.
- Även om flexibiliteten och därmed också komplexiteten med deep learning kan verka avskräckande finns det många färdiga exempel att utgå ifrån.
- Ett generellt råd för de flesta av ovanstående metoder är att förprocessa och normera data genom dimensionsreducering (exempelvis Principal Component Analysis) och standardisering.

Särskilda maskininlärningsproblem som omnämns i rapporten

Objektdetektering

Objektdetektering är en teknik för att hitta objekt i en bild. Inom området maskininläring och computer vision är detta ett stort forskningsfält, men i grunden bygger de flesta av dagens mest använda metoder på någon deep learning-arkitektur oftast byggd med så kallade CNN-lager (convolutional neural networks). Forskningsläget ändras ständigt och nya arkitekturer som sägs prestera bäst presenteras kontinuerligt. Vilken arkitektur som ska väljas beror sedan i viss mån på hur problemet ser ut och på aktuella data. En viktig aspekt är också vilka resurser som finns tillgängliga på den typ av enhet som ska göra beräkningarna. Ska beräkningar exempelvis kunna göras direkt på en mobil enhet behöver man välja modeller som passar för det (Jiao m.fl. 2019).

Inom området objektdetektering i fjärranalysdata återfinns flera exempel på forskning som bedrivits de senaste åren. Bland annat finns studier där arkeologiska fynd hittas i data från flygburen laserskanning (Kazimi m.fl. 2018) eller där objekt igenkänns i drönbilder (Radovic, Adarkwa & Wang 2017). Kopplat till geografisk information kan nämnas att ESRI-produkten ArcGIS Pro har färdiga implementationer för objektdetektering (ESRI 2019). Cheng och Han (2016) har gjort en genomgång av forskningsläget och områdesspecifika svårigheter.

Similarity learning (likhetsinläring)

Similarity learning är en samling metoder inom maskininläring där man söker efter sätt att hitta likheter mellan olika objekt (Bellet 2014, Kulis 2012). Flera olika metoder finns för att hitta sådana likheter. Bland dessa finns Mahalanobis avståndsmått och metoder för dimensionsreducering som PCA (Principal Component Analysis) och LDA (Linear Discriminant Analysis).

Eftersom likheten mellan olika objekt kan mätas över många dimensioner är det sällan trivialt att hitta ett avståndsmått där också de mest relevanta dimensionerna betyder mest. I skogliga sammanhang skulle ett fiktivt exempel kunna vara att bestämma trädslag utifrån vissa attribut såsom "har barr", "lövsprickningstidpunkt" och "har stam". Dessa utgör mätdimensionerna. Similarity learning går då ut på att hitta en metrik som gör att avståndet mellan olika trädslag blir så stort som möjligt, medan liknande trädslag ska finnas så nära varandra som möjligt. Eftersom många trädslag har stam bör den dimensionen väga mindre än attribut som lövsprickningstidpunkt eller barrförekomst.

Similarity learning är grundbulten i flera olika problem inom datavetenskap och maskininläring och ett flertal metoder bygger på att ha ett relevant avståndsmått. Bland dessa metoder finns k-nearest neighbors och k-means-klustring. Bland tillämpningarna finns rekommendationssystem (recommender systems) och informationssökning (information retrieval) där de mest relevanta sökresultaten ska tas fram, om det så handlar om musikrekommendation, DNA-sekvensering eller sökmotorer på internet (Ricci m.fl. 2011).

Similarity learning-metoder kan användas för att interpolera värden för ett objekt där man saknar vissa data genom att hitta snarlika andra objekt. Vad som är snarlikt baseras på den metrik som modellen har lärt sig. Exempelvis skulle flera olika ännu inte ifyllda fält i en traktplanering kunna interpoleras med hjälp av tidigare gjorda traktplaner där likheter hittas i olika relevanta egenskaper (exempelvis storlek, trädslagsfördelning, diken och fornlämningar).

Utöver att hitta liknande objekt kan similarity learning omvänt användas för att hitta objekt som avviker, det vill säga *anomalidetektion*.

Förändringsanalys

Förändringsanalys är en maskininlärningsmetod särskilt anpassad efter GIS-analyser som mäter egenskaperna hos ett område som har förändrats över tid. Det kan göras med antingen vektordata eller rasterdata, men i den här rapporten är användningen av rasterdata den mest relevanta för traktplanering. I syftet att övervaka skogstrakter används ofta två eller fler satellitbilder. En förändringsanalys kan vara både övervakad (där stickprovsdata över förändringar används för att träna en modell) och oövervakad (där statistik från data används för att upptäcka förändring). Det finns en uppsjö av modeller och forskning om tillämpningen av förändringsanalys på skogsbruksproblem; från enkel subtraktion av pixelvärden för att erhålla skillnad över tid (Coppin m.fl. 1996) till mer komplexa modeller som de som används i objektsigenkänning med metoder som deep learning med neurala nätverk (Khan m.fl. 2017).

Förändringsanalys är en snabb och enkel analys att genomföra, men svårigheten kommer till att tolka områden där förändring har skett. När man försöker integrera förändringsanalys i ett automatiserat system kan det vara svårt att skilja alla fall av bakgrundsförändring (till exempel lövsprickning) från förändring som är intressant för traktplaneraren. Ju mer träningsdata för att träna en förändringsdetekteringsmodell, desto färre falskt positiva resultat kommer det att finnas.

Befintliga skogliga automatiseringsmodeller

Optimering

Att använda optimeringsmodeller är vanligt i planeringssammanhang i skogsbranschen. Optimeringar är en form av automatiska lösningar som kan vara användbara för att lösa många typer av problem. Projektet BestWay som Skogforsk drivit under många års tid (Rönnqvist m.fl. 2020) har resulterat i en optimeringsmetod för att planera lämpliga basvägar på avverkningstrakter. Metoden tar hänsyn till drivningsförutsättningar som markfuktighet, lutning och virkesvolym. Utifrån dessa beräknas en optimal placering för avlägg till trakten och sedan även huvudbasvägar på trakten för att minimera påverkan på mark och vatten samt för att minimera körsträckan för maskinerna. Utvärderingar har visat att optimeringen ger användbara basvägar samt att verktyget funktionellt och automatiskt ger förslag på var basvägarna ska placeras för bästa resultat.

Under arbetet har också en metod för att automatiskt lokalisera lämpliga avläggsytor skapats (Friberg & Davidsson 2018), där terräng och förutsättningar längs skogsbilvägnätet analyseras för att detektera vilka sträckor som lämpar sig för virkesavlägg. Hänsyn tas såväl till trafiksäkerhet som till miljö och arbetets effektivitet.

Genom att kombinera avläggsanalysen med optimeringen av basvägar skapas ett funktionellt verktyg som kan hantera planeringen av virkets utforsling från trakten till bilvägen automatiskt.

Vidare har Skogforsk i studien Turordningsplanering (Flisberg m.fl. 2017) utrett hur en dynamisk och automatiserad optimering av olika maskinresurser kan göras för avverkningsobjekt som finns planlagda att utföras inom de närmsta månaderna. Optimeringens mål är att minska kostnader förknippade med flytt av avverkningsresurser och således avverka närbelägna trakter utan att behöva använda en trailertransport. Samtidigt behöver hänsyn tas till maskinförarnas stationering och maskinresursernas användningsområde så att varje trakt får rätt typ av maskin till ändamålet. Tillvägagångssättet kan vara användbart även för andra typer av resursbeläggningar, som till exempel tillsättning av planerare till olika trakter.

Utbytesberäkningar

För att kunna uppskatta hur mycket virke av olika sortiment som faller ut från en avverkning har ett arbetssätt för att kalkylera utbytesprognoser utvecklats (Söderberg m.fl. 2017). Skogliga grunddata och andra skogliga parametrar på en trakt används och utfallet beräknas genom att använda närliggande avverkade tracters utfall på vilka de skogliga parametrarna är snarlika den aktuella trakten. Detta tillvägagångssätt har visat sig fungera väl för en uppskattning av hur mycket som faller ut vid avverkningen.

Metod

Studien har utgått från dagens skogliga traktplanering och den dokumentation som finns tillgänglig inom ämnet. Litteraturstudier av ämnet har gjorts parallellt med att arbetsgruppen hållit workshopar inom avgränsande ämnesområden för att där identifiera vilka moment och metoder som lämpar sig för automatisering i olika utsträckning.

- Workshop 1: Ämnesgenomgång och avgränsningar
- Workshop 2: Identifiering av förflyttningar av traktplaneringens moment
- Workshop 3: Sammankoppling av AI-metoder med förflyttade moment

Djupintervju med Elin Kollberg (Kollberg 2020), traktplanerare på Holmen, gjordes som en delstudie för att kontrollera vilka moment som utförs inom traktplanering i praktiken och för att verifiera kopplingen mellan teoretisk beskrivning av traktplanering och praktisk traktplanering.

GENOMFÖRANDE

De teknikområden som föreslås som lösningar i rapporten beskrivs på ett övergripande plan under bakgrund. Utgångspunkt är vad som i dagsläget anses vara vanligt förekommande eller bäst presterande metoder. Forskningsläget är under snabb utveckling och förändring varför det vid en implementation av metoden som ska väljas eller utvecklas behövs en djupare utredning och kanske även viss grad av innovation. Det finns dessutom ofta mer än ett tillvägagångssätt för automatisering. Engelsk terminologi för föreslagna metoder har i första hand använts för att möjliggöra för läsaren att fördjupa sig vidare i ämnet även om svenska översättningar finns. Av samma anledning har ibland både svenskt och engelskt begrepp angetts.

Resultat

För att knyta an till ett reellt företag djupintervjuades en planerare (Kollberg 2020) på Holmen Skog om hur traktplaneringen går till där idag och vilka underlag som används. Utifrån detta kopplades sedan möjligheter med automatiserade tekniker samman med den mottagna informationen.

TRAKTPLANERING PÅ HOLMEN SKOG

I intervju med Kollberg (2020) återges samma indelning av traktplanering i block som Willén (2015) beskriver: förplanering, fältarbete, efterarbete och under drivning. Två moment beskrevs av Kollberg (2020) som inte Willén och Andersson (2015) beskrev. Momentet samråd var förlagt till blocket förplanering hos Holmen men var placerat i efterarbete i rapporten (Willén & Andersson 2015). Till stor del inkluderar samtliga moment och delar manuellt arbete enligt Kollberg (2020) och det finns utrymme för att automatisera såväl mer avancerade som triviala moment. Med utgångspunkt från Tabell 1 där momenten från Willén och Andersson (2015) beskrevs har tabellen modifierats och de moment som Kollberg (2020) beskrev har lagts till (Tabell 4).

Tabell 4. Modifierad tabell från Willén och Andersson (2015) i orange färg med tillägg från Kollberg (2020) i blå färg.

Källa	Förplanering	Fältarbete	Efterarbete	Under drivning
Kollberg (2020)	Planering av väg för vidaretransport av virke			
Kollberg (2020)	Samråd			
Kollberg (2020)	Tilldelning av traktbank för planering			
Willén & Andersson (2015)	Urval från beståndsdata	Naturvärdesbedömning	Samråd	Placering av detaljhänsyn
Willén & Andersson (2015)	Kontroll av närbelägna bestånd för samtida åtgärder	Bandning av hänsyn och traktgränser	Skapande av trakt direktiv och traktkarta	Kulturstubbar
Willén & Andersson (2015)	Förtolkning av hänsyn	Bedömning av skogliga data	Ajourhållning av skogsregister	
Willén & Andersson (2015)	Utskrift eller export av fältmaterial till fältdator	Bedömning av behov av underväxtröjning och uttag av skogsbränsle	Fördelning av avverkningar till maskinlag	
Willén & Andersson (2015)		Planering av skogsvård	Framställande av underlag till maskindator	
Kollberg (2020)		Klassificering av vägar för vidaretransport av virke	Efterkontroll	
Willén & Andersson (2015)		Förslag till avlägg och kojplats		
Willén & Andersson (2015)		Bandning av basväg och basstråk		
Willén & Andersson (2015)		Planering av väg för vidaretransport av virke		

Beskrivning av moment

De moment som tillkommit från Kollberg (2020) beskrivs nedan, övriga moment har samma beskrivning som under kapitlet Bakgrund.

Planering av väg för vidaretransport av virke

På Holmen hanteras vägfrågor av en annan roll än traktplaneraren, varför momentet planera skogsbilvägar inte är en del av traktplaneringsprocessen. Detta moment har därför ställts ut på annan plats än vad Willén och Andersson (2015) beskriver. Planering av väg är också något som utförs under en längre tidshorisont än traktplanering varför detta moment inte inkluderas i traktplaneringen.

Samråd

För Holmen sker samråd innan trakterna tillgängliggörs för planeraren, vilket innebär att alla trakter som planeras redan har det momentet avklarat.

Tilldelning av traktbank för planering

Kollberg (2020) beskriver att varje planerare inför fältsäsongen tilldelas en traktbank som ska planeras. Trakterna tilldelas efter geografi och placeringsort för att planerarna ska kunna verka inom rimligt avstånd från hemmet. Varje planerare disponerar sedan arbetstiden för att hinna med att utföra de traktplaneringar som tilldelats.

Klassificering av vägar för vidaretransport av virke

Traktplanerare på Holmen har som en del av arbetsuppgiften att klassificera bärigheten på skogsbilvägen som ska användas för virkets vidaretransport. Klassningen är en viktig del av processen då den ger förutsättningar för när under året som transport på vägen är lämplig. Kan vägen inte användas under en viss del av året kan inte heller trakten avverkas då. Detta gäller även om trakten i sig skulle lämpa sig för avverkning, eftersom virket då inte kan transporteras vidare.

Efterkontroll

I samband med färdigställandet av traktdirektiv görs en genomgående kontroll att all information som ska finnas med är på plats. Om något saknas kompletteras detta för att säkerställa att korrekt information finns och att traktdirektivet är fullständigt.

Traktplanering i praktiken

Förplanering

Kollberg (2020) beskriver förplaneringen som en process där många olika informationstyper och data sammanfogas och analyseras visuellt i ett GIS-program. Planerarens erfarenhet spelar stor roll här, då tolkning av flygbilder och andra geografiska data ska göras. Samtidigt beskrivs förplaneringen vara en viktig grund för ett effektivt fältarbete. Under förplaneringen studeras olika detaljer som kan vara möjliga att upptäcka via geodata på trakten, exempelvis lämpliga hänsynsytor för naturvård, om det finns strukturer som liknar fornlämningar/kulturlämningar och om det finns diken eller bäckar på trakten. Målbilden med förplaneringen är att göra fältarbetet effektivt och att ha ett underlag som kan användas i fält för att validera och verifiera det förtolkade materialet. Beslut om exempelvis vägdragningar, avlägg, träd att spara, förslag på åtgärder och dylikt görs ofta grundat på ett regelverk och en stor mängd instruktioner, vilket får till följd att det under förplaneringen kan vara svårt att få all nödvändig information tillgängliggjord på grund av att tillräckligt högupplösta data saknas. Den stora informationsmängden ökar också komplexiteten och ofta krävs lång erfarenhet för att arbetet ska kunna göras effektivt.

Fältarbete

I blocket fältarbete kontrolleras förplaneringen. Kontroll av bestandsregisterdata nämns särskilt av Kollberg (2020) som viktigt. Efter en stormfällning eller att många träd dött av andra anledningar finns behov att ändra ingångsdata. Men generellt fungerar framräknade skogliga grunddata bra och kan användas som informationskälla vid traktplaneringen. Dock är det vanligare att de förändringar som görs gäller drivningen. Till exempel kan ett dike upptäckas som inte fanns inritat i kartmaterialet eller en hänsynsyta skapas för att skydda känsliga objekt. Kollberg (2020) och Willén och Andersson (2015) beskriver båda att en stor del av tiden under fältarbetet går åt till att banda traktens gränser och hänsynsytor, enskilda träd som ska sparas, fornlämningar och eventuella andra hänsyn. Kollberg (2020) beskriver att bandningen styr fältarbetet och att den utförs genom att planeraren går genom beståndet. Bandning av gränser och hänsyn sker parallellt.

Efterarbete

Efterarbete och dokumentation tar enligt Kollberg (2020) och Willén (2015) upp en stor del av den totala tiden för traktplaneringen. Kollberg (2020) beskriver hur information som samlats in flyttas över mellan datorsystem och att det även sker en kontroll av informationen. Att gå igenom tidigare delar beskrivs som en bra process då det fungerar som en kvalitetskontroll av traktplaneringen, men önskemål finns om att detta kunde ske automatiskt för att spara tid. Under efterarbetet görs trakten färdig och hamnar med traktdirektiv och kartinformation redo i traktbanken över färdiga trakter för avverkning.

FÖRFLYTTNING MOT AUTOMATISERING

En planeringsprocess som är mer automatisk och innefattar lite eller inget manuellt arbete kommer att förändra traktplaneringsarbetet. Bland annat kommer det att behövas mindre tid i fält och mer tid på kontoret. Att inte besöka trakten innan avverkning sparar tid och kostnader. Andra fördelar med automatisering är ett mer homogent resultat med en beskriven kvalitet, vilket underlättar när nya planerare kommer till organisationen.

De tre block som traktplaneringen består av blir vid en automatisk traktplanering inte lika relevanta för arbetets uppdelning. Blocken har därför undantagits och ersatts av ett förslag på arbetsflöde anpassat efter att olika automatiska planeringsmetoder ersätter vissa manuella arbetsmoment. Det föreslagna arbetsflödet visas i Tabell 5. Vissa moment har bedömts som svåra att automatisera. Dessa har markerats med ett X i kolumnen "Fältkomplettering". Gulmarkerade moment har flyttats från sitt nuvarande läge i traktplaneringen till en ny plats medan blåmarkerade moment befinner sig på tidigare plats i processen. Det röda fältet "Förslag på basväg och basstråk" har lagts till som ett nytt moment baserat på automatiska metoder som finns tillgängliga. Det andra röda fältet, "Bandning av hänsyn, traktgränser, basväg och basstråk", är en sammanslagning av två olika moment. I kolumnen "Ej traktplanering" har ett x placerats på moment som inte bedöms tillhöra traktplaneringsprocessen och därför inte behandlas vidare.

Tabell 5. Föreslaget arbetsflöde vid en mer automatisk traktplanering. Orangefärgade moment har flyttats från tidigare plats i processen, blå rader har samma plats som i tidigare process och gröna rader är nya föreslagna moment på grund av automatiseringsmöjlighet. Moment som bedöms behöva fältkomplettering trots automatisering har ett x i kolumnen "Fältkomplettering" och moment som inte bedömts tillhöra traktplaneringsprocessen har ett X i kolumnen "Ej traktplanering".

Moment	Utförs idag under	Fältkomplettering	Ej traktplanering
Planering av väg för vidaretransport av virke	Fältarbete		X
Samråd	Förplanering		X
Urval från beståndsdata	Förplanering		
Bedömning av skogliga data	Fältarbete		
Bedömning av behov av underväxtröjning och uttag av skogsbränsle	Fältarbete		
Kontroll av närbelägna bestånd för samtida åtgärder	Förplanering		
Tilldelning av traktbank för planering	Förplanering		
Förtolkning av hänsyn	Förplanering	X	
Förslag till avlägg och kojplats	Fältarbete		
Förslag på basväg och basstråk	Fältarbete		
Utskrift eller export av fältmaterial till fältdator	Förplanering	X	
Naturvärdesbedömning	Fältarbete	X	
Bandning av hänsyn, traktgränser, basväg och basstråk	Fältarbete	X	
Planering av skogsvård	Fältarbete	X	
Klassificering av vägar för vidaretransport av virke	Fältarbete	X	
Fördelning av avverkningar till maskinlag	Efterarbete		
Efterkontroll	Efterarbete		
Skapande av traktdirektiv och traktkarta	Efterarbete		
Framställande av underlag till maskindator	Efterarbete		
Ajourhållning av skogsregister	Efterarbete		X

Nedan beskrivs automatiseringsförslag för varje moment i Tabell 5 som tillhör traktplaneringen. Det finns fler sätt att angripa respektive förslag, men här sammanfattas de metoder som bedöms vara mest tillämpbara i dagsläget.

Urval från beståndsdata

Urval av trakter som ska traktplaneras görs framförallt efter det föreliggande behovet av olika virkessortiment som efterfrågas av köpande industri. Det sker ofta genom att planering sker mot ett antal måltal, som till exempel att det ska finnas X m³ grantimmer i planerade trakter.

Den första utmaningen är därför att prognostisera utfallet från avverkningen för att veta vilka mängder av olika sortiment som kan väntas falla ut. Detta görs idag hos skogsbolag genom data i beståndsregister och olika erfarenhetstal och även genom mer avancerade beräkningar kallade utbytesprognoser, där skördardata från tidigare avverkade närbelägna trakter används för att estimerar vilket utfall som kan förväntas. Dessa beräkningar skulle kunna göras med AI som kan tränas upp för att estimerar utfallet. Genom att använda utfall från skördardata som referensdata och ställa detta mot geodata som beskriver virkets egenskaper på trakten, kan denna modell sedan användas på kommande avverkningar för estimering av utfallande sortiment och volymer. Att bedöma varje träd individuellt hade givit allra bäst möjlighet för dessa beräkningar, då data för ett bestånd inte i tillräckligt hög grad beskriver egenskaper för varje stock. Eftersom geografisk närhet idag anses vara en viktig faktor bör geografisk plats finnas representerad bland attributdata (till exempel koordinater). Supervised learning-metoder kan användas för att bygga modeller för utfall på volym (regressionsproblem) och förutbestämda kategorier på sortiment (multiklass-klassificering). Ett alternativ är att använda similarity learning-metoder för att interpolera fram sortiment och volym liknande metoden med utbytesprognoser, men närhet behöver inte begränsas till spatial närhet.

Högupplösta data på trädnivå finns endast i forskningssammanhang idag, varför implementering av en mer detaljerad modell ligger längre fram i tiden.

Även mängden skogsbränsle kan beräknas utifrån befintliga modeller för hur stora mängder som faller ut från trakten.

Metoder

- Supervised learning-metod uppsatt för regressionsproblem (utfall på volym) respektive multiklass-klassificering (utfall på förutbestämda kategorier på sortiment).
- Alternativ: similarity learning-metoder för interpolering.

Geodata:

- Trädslag
- Volym
- Trädhöjd
- Grundyta
- Diameter
- Geografiska kvalitetsegenskaper på virke
- Skördardata

Bedömning av skogliga data

Beskrivning

När den utvalda traktens data och utfall prognostiserats behöver en kontroll göras för att se om någon större förändring eller händelse skett som gör att utbytet behöver korrigeras. Det är i synnerhet aktuellt att leta efter händelser som vindfällning av skog och skadeangrepp av insekter eller svamp. Idag finns metoder som kan detektera förändring av skogens hälsa med hjälp av satellitbilder och dessa kan ge en indikation på att en större förändring skett. Skogsstyrelsens förändringskarta är redan tillgänglig men visar bara förändringsstorlek (skillnad i pixelvärden mellan olika datum hos satellitbilder). För att göra detta mer användbart för planeraren måste typen av förändring identifieras. Detta kan ske automatiskt med maskininlärning eftersom till exempel stormskador, brandskador och stressade träd har olika identifierbara signaturer i satellitbilder.

Metoder:

- Förändringsanalys

Geodata:

- Spektrala satellitbilder, antingen optiska data eller radardata över det tidsspann som ska studeras
- Förändringskarta från Skogsstyrelsen
- Beståndsregisterdata
- Skördardata

Bedömning av behov av underväxtröjning och uttag av skogsbränsle

Beskrivning

Underväxtröjning

Nästa steg i processen blir att urskilja om trakten har behov av underväxtröjning. Med laserdata kan returerna från olika skikt i beståndet genereras i vilket returerna i mellersta skiktet (mellan mark och trädtoppar) kan spegla mängden träd som behöver underväxtröjas. Genom att använda tidigare trakters behov av underväxtröjning som referensdata kan en supervised learning-metod användas för att potentiellt lära sig skillnader i laserdata för områden med och utan behov av underväxtröjning. Delar av trakten kan således hanteras och trakten behöver inte bedömas som helhet. På detta sätt skulle en prediktion av behovet av underväxtröjning kunna göras automatiskt för en traktplanering.

Problemet kan ställas upp som ett binärt klassificeringsproblem (röjningsbehov eller ej röjningsbehov). Även andra täthetsmått kopplade till densitet och intensitet på laserdata kan användas för att stärka metoden för högre detaljeringsgrad.

Skogsbränsleuttag

Gällande skogsbränsleuttag behöver en automatisk modell först identifiera om trakten lämpar sig för detta. Har trakten för lång skotningssträcka från avlägget utesluts skogsbränsleuttag på grund av för dålig lönsamhet.

Är bärigheten för dålig lämpar sig heller inte skogsbränsleuttag. Bärigheten kan analyseras genom tröskelvärden i en markfuktighetskarta kombinerat med senaste tidens nederbörd. Vissa traktdelar kan lämpa sig, medan andra inte gör det. De traktdelar där skogsbränslet behöver användas i maskinernas körvägar för att skydda marken identifieras först och undantas för skogsbränsleuttag. För övriga traktdelar kan mängden skogsbränsle som blir tillgängligt för uttag beräknas automatiskt, utifrån skogliga grunddata eller beståndsdata och befintliga modeller. Därefter kalkyleras om lönsamheten är tillräcklig för att ta ut skogsbränsle på trakten.

Ytterligare ett möjligt spår för att uppskatta mängden skogsbränsle är att låta en supervised learning-metod tränas på data över mängden tillgängligt skogsbränsle på en trakt (regressionsproblem) genom att använda historiska utfall och koppla dessa mot markfuktighet, trädslag, nederbördsmängder och virkesvolym. Modellen kan inferera hur stor mängd skogsbränsle som kan tas ut från den aktuella platsen vid den aktuella tidpunkten. Detta kräver då att den historiska mängden skogsbränsle kan fördelas ut över trakter för att kopplingen till nederbörd och markfuktighet ska kunna göras.

Metoder:

- GIS-analys
- Supervised learning-metod för binär klassificering (röjningsbehov eller ej) och regression (utfall på skogsbränsleuttag)

Geodata:

- Laserdata
- Markfuktighetskarta
- Nederbördsdata
- Beståndsregister
- Skogliga grunddata

Övriga data:

- Verksamhetsdata över mängden skogsbränsle som tagits ut på olika trakter

Kontroll av närbelägna bestånd för samtidigta åtgärder

I detta steg länkas två eller flera trakter samman som är belägna nära varandra i geografin och har samma åtgärdsbehov eller åtgärdsbeslut kopplat till sig. Planeraren får en notis om att samordningsvinster att göras om dessa trakter avverkas i följd. Här behöver leveransbehovet av virke kontrolleras för att bedöma om utfallet från trakterna matchar det behov av virkesleveranser som föreligger. Det går att automatiskt besluta om det är lämpligt att samordna traktplaneringen genom att använda tröskelvärden för avvikelser inom olika sortiment mot leveransplanen eller en uppdatering av den. Problemet är komplext och en fördjupning av analysen skulle kunna göras om samtliga trakter har en länk till de närbelägna trakter där samordningsvinster finns. Det skapar ett nätverk där alla trakter är individuella men också har en koppling till varandra. Redan vid urvalet för traktplaneringen kan då dimensionen att kostnadseffektivisera samordningsvinster beaktas. Detta är en variant på traveling salesman problem/rutt-optimeringsproblem, där man söker kortast färdväg mellan trakter i kombination med optimalt användande av avverkningsutfallet. Det finns en uppsjö metoder för att hantera problemet, däribland maskininlärningsmetoder som nearest neighbor.

Metoder:

- Exempelvis nearest neighbor search för traveling salesman-problem
- Turordningsplanering

Geodata:

- Geografiskt avstånd mellan trakter
- Estimerad tid för att avverka trakten
- Leveransbehov till industri
- Skogliga grunddata
- Beståndsregisterdata

Tilldelning av traktbank för fältplanering

Beskrivning:

Efter tidigare steg som kvalificerat en trakt för att faktiskt bli traktplanerad, tillsätts en traktplanerare. Genom att matcha samman dennes specialkompetens, erfarenhet och geografiska stationering med de utmaningar som identifierats på en trakt i förtolkningen, går det att anpassa vilken trakt som ska planeras av vilken traktplanerare. Det kan göras automatiskt genom att ett AI får väga ihop planerarens profil med de utmaningar som förväntas på trakten. Detta kan anses vara en typ av rekommendationssystem (se avsnitt Similarity learning (likhetsinlärning)).

Ett matchningssystem som ser till flera olika faktorer borgar för ett högkvalitativt resultat.

Metoder:

- Turordningsplanering (Anpassning för planerare istället för entreprenörer)
- Rekommendationssystem där planerarens profil kopplas till egenskaper på trakten. En matchning mellan trakt och planerare kan genereras.

Geodata:

Geodata som på olika sätt beskriver komplexitet och speciella förutsättningar vid planering är aktuella i detta fall. I och med att olika planerare har olika kunskaper kommer det att finnas många typer av möjliga matchningar för många typer av kompetensområden varför också indatamängden blir ganska omfattande. Exempel kan vara:

- Beståndsregister
- Forn- och kulturlämningar
- Naturhänsyn (många skyddsformer)

Övriga data:

- Planerares profil
 - o Specialkunskap
 - o Stationering
 - o Tillgänglig tid
 - o Erfarenhet
 - o Intresse

Förtolkning av hänsyn

Naturhänsyn

Beskrivning:

Flera olika informationskällor för naturhänsyn finns tillgängliga att använda direkt för att avgränsa hänsynsområden.

Kantzoner kan föreslås med en supervised maskininlärningsmetod för regression som tränas på bredden på andra kantzoner i beståndsregisterinformationen. Ett annat angreppssätt kan vara att använda similarity learning-metoder för att interpolera fram en modell för kantzonplaneringen. En modell för hur ett kantzonförslag borde se ut för den aktuella trakten kan därmed skapas och på detta sätt kan flera olika aspekter av kantzonplaneringen tas fram, såsom åtgärdsförslag (exempelvis att friställa lövträd). Kartmaterial som trädslag, trädhöjd, täthetsmått på skogen och markfuktighet är lämpliga att använda för dylikt arbete. Som träningsdata till denna metod behövs också en identifierad hänsyn och vilken typ av hänsyn det gäller. Här kan företagens befintliga registreringar över hänsynsytor användas.

Utöver kantzoner kan även kandidater till hänsynsytor identifieras genom att utgå från ett företags beståndsregisterdata och träna en supervised learning-metod att känna igen sådana hänsynsytor i olika geodata.

Metoder:

- Supervised learning-metod för regression (kantzonens bredd).
- Interpolering med similarity learning-metod. Output kan utöver bredden på kantzonen också ges i form av åtgärdsförslag från liknande kantzoner.
- Supervised learning-metod för multiklass-klassificering (hitta naturhänsynsytor).

Geodata:

- Beståndsregisterdata
- Markfuktighetskartor
- NMD
- Skogliga grunddata
- Laserdata

Sociala värden

Beskrivning

Att hantera en avverknings närhet till tätorter kan vara ett sätt att ta hänsyn till sociala värden i traktplaneringen. Avverkningar intill områden som frekventeras av människor blir extra viktiga att lokalisera och dessa finns ofta utmärkta i lantmäteriets kartmaterial genom utmärkta stigar, skidspår och friluftsområden. Avverkning intill sådana områden kan förväntas behöva extra åtgärder för att upprätthålla den sociala hänsynen. Heuristiska metoder kan användas om förhållandevis enkel logik kan sättas upp för att mäta sociala värden (exempelvis avstånd till tätort). Eftersom det kan vara svårt att hitta referensdata etiketterade med "sociala värden"/"ej sociala värden" så är supervised learning-metoder inte lämpliga för detta problem.

Metoder:

- GIS-analyser

Geodata:

- Avstånd till tätorter, leder, stigar, skidspår och friluftsområden
- Översiktsplaner
- LIS-plan (Landsbygdsutveckling i strandnära lägen)

Kulturhistoriska värden

Beskrivning

Genom att använda objektsidentifiering och maskininlärningsalgoritmer kan en modell tränas att identifiera fornlämningar och andra kulturhänsoobjekt ur laserdata och terrängmodeller. En upptränad modell har förmågan att generera ett underlag som pekar ut former och strukturer som liknar fornlämningar. För att kunna segmentera fynden (markera den exakta gränsen för objektet) bör man använda träningsdata som inte endast pekar ut platsen för lämningen, utan också beskriver formen på lämningen. Ett vektorskikt i form av en polygon som är ritad efter lämningarnas struktur och form är lämpligt indata. Flera olika typer av fornlämningar som har ett distinkt och särpräglat utseende, exempelvis kolmilor och stenhägnader, bedöms kunna identifieras väl med denna typ av analys.

Då kulturlämningar kan vara relativt små, och dessutom gömda av vegetation och jord, skulle en tätare laserskanning (mer högupplöst än den pågående skanningen Laserdata Skog från Lantmäteriet som har 1–2 punkter per kvadratmeter) eller radar kunna ge nya möjligheter för identifikation av dessa. Separata insatser skulle kunna göras för att identifiera nya objekt, kanske då främst i områden där det är känt att många fornlämningar finns, om det går att motivera kostnad med nytta. En Sverigetäckning av mer högupplösta data kanske kommer att vara en realitet i framtiden, men det dröjer antagligen en längre tid innan tekniken är tillräckligt kostnadseffektiv för att användas över hela Sveriges yta.

Metoder:

Objektsdetektering med maskininläring i fjärranalysdata.

Geodata:

- Terrängmodell
- Register över kända forn- och kulturlämningar
- Laserdata

Förslag till avlägg och kojplats

Beskrivning:

Att fastställa ett avläggs lämplighet är kopplat till utfallande volymer på trakten och antalet sortiment. Dessa två faktorer avgör antalet vältor samt storleken på vältorna. Har riktiga uppskattningar genererats i tidigare steg går det att med geodata fastställa lämpliga avlägg. Genom att studera terrängförutsättningar i direkt anslutning till väg och ta hänsyn till det regelverk som finns gällande virke längs bilvägar kan zoner lämpliga för avlägg skapas. Dessa zoner kan rymma en viss mängd virke och sedan summeras samman för att utgöra tillräcklig yta som krävs i respektive fall. Kojuppställningsplats behöver identifieras i direkt närhet till avlägg för en effektiv service av avverkningsmaskinerna. En analys av vägbredder skulle kunna generera lämpliga kojuppställningsplatser genom att tillräckligt stora fickor för kojan och bilparkering längs vägarna identifieras. Föreslagen modell hanterar inte kojplats i dagsläget varför detta inte kan uppfyllas. Det kan tänkas att företag i sina beståndsregisterdata registrerar lämpliga kojplatser för att i framtiden besitta den informationen.

Metoder:

- Avläggsmodell från Skogforsk

Geodata:

- SNVDB
- Utbytesprognos
- Terrängmodell
- Karterade vattendrag
- Byggnader
- Elledningar

Förslag på basväg och basstråk

Beskrivning

Optimeringsanalysen BestWay har utvecklats för att beräkna lämpligast placering av basvägar med hänsyn till mark och vatten samt för att förlägga basvägar dit tyngdpunkten av volymen finns på trakten. En sådan metod kombinerar flera geodata som markfuktighet, terrängmodell och volym med en optimering för att beskriva hur maskinernas huvudvägar bör dras. Optimeringen kan också kombineras med analysen av var lämpliga avlägg finns längs nära belägna skogsbilvägar. Då kan lämpliga avlägg väljas efter optimal körväg om det skulle finnas mer än ett alternativ till goda avläggsplatser.

Det forskas idag på AI-metoder för att skapa ruttplanering och då med reinforcement learning-metoder. Detta kan på sikt vara en alternativ möjlighet för att skapa basvägar och basstråk på trakter.

Metoder:

- BestWay eller andra basvägsoptimeringar

Geodata:

- Beståndsregisterdata / Skogliga grunddata
- Terrängmodell
- Markfuktighetskarta
- Avläggsplacering

Utskrift eller export av fältmaterial till fältdator

Beskrivning

Att anpassa information för en fältdator bör i ett automatiserat arbetsflöde inte vara ett moment utan ske helt automatiskt. IT-utvecklingen möjliggör att samtidigt få informationen tillgänglig på såväl kontor som i fältenhet. Detta bör eftersträvas som normalläge så att ingen information riskerar att försvinna i överflyttning mellan enheter.

Naturvärdesbedömning

Beskrivning:

Det krävs detaljrik information för att utföra naturvärdesbedömning, då naturvärden kopplas samman med specifika substrat och miljöer. Dagens geodata möter inte upp detta krav tillräckligt bra för att med säkerhet kunna ersätta fältbesök, vilket får effekt på möjligheter till automatisering. Med utgångspunkt i tidigare trakter där höga naturvärden identifierats kan det vara möjligt att generera ett värde som speglar sannolikheten att en trakt kan innehålla höga naturvärden. Trakter med tillräckligt låg sannolikhet att innehålla naturvärden skulle således kunna föreslås gå vidare i planeringen utan fältbesök, medan områden med en högre sannolikhet behöver ett fältbesök. Att hitta naturvärden rent generellt är en utmaning. Heltäckande referensdata för detta problem kan dessutom vara svåra att hitta i nuläget och de som finns bör därför utnyttjas kreativt för att få så bra resultat som möjligt. Genom att först studera miljön på platsen kan sökfönstret avgränsas. Här kan biotopen i sig vara till hjälp för att i nästa steg bedöma möjligheten till olika naturvärden. Det blir till exempel onödigt att söka efter lövrelaterade naturvärden i en barrskog. Därför kan man behöva träna separata modeller för exempelvis lövskog/barrskog eftersom modellen på egen hand potentiellt inte kan förstå att lövrelaterade naturvärden inte kan uppstå i en barrskog.

Metoder:

- Supervised learning-metoder kan användas för att träna en modell att koppla egenskaper hos trakten med höga naturvärden. Enskilda modeller kan byggas för varje typ av naturvärdesbedömning. Problemet kan då ställas upp som ett binärt klassificeringsproblem, på pixel- eller traktnivå.

Geodata:

Kartmaterial som innehåller tidigare hänsynsområden blir centrala för att identifiera naturvärden via geodata. Data som visar närbelägna naturvärden blir viktiga att utgå ifrån eftersom naturvärden kan spridas i sin omgivning. Detta gäller inte minst interna företagsdata om var företagen gjort frivillig avsättning av skogsmark för hänsyn.

- Företagets frivilliga avsättningar
- Nyckelbiotoper
- Naturreservat
- Nationalparker
- Naturvårdsavtal
- Kontinuitetsskogar
- Trädslag
- Markfuktighet

Bandning av hänsyn, traktgränser, basväg och basstråk

Beskrivning:

Då fältplanering krävs för att upprätthålla traktplaneringens kvalitet kan också momentet bandning utföras under fältarbetet. Detta är dock det moment med störst tidsåtgång idag, varför en digital bandning bör föredras om system för detta finns. Digital bandning kan även upplevas som säkrare för maskinförare när tiden mellan planering och avverkning blir lång, eftersom banden faller av med tiden.

Trakter som gränsar mot en intilliggande fastighet eller extra känsliga hänsynsobjekt kan också behöva bandas i fält för att säkerställa att gränsen inte överträds vid avverkningen. När GPS-positionering uppnår tillräcklig noggrannhet skulle bandning av sådana gränser också kunna utföras digitalt. Dock ställer detta krav på att gränserna är korrekt utlagda digitalt. Juridiskt för fastighetsgränser gäller utplacerade fysiska gränsmarkeringar och det är känt att de digitala gränserna kan avvika från dessa markeringar varför det bedöms att fastighetsgränser antagligen kommer att behöva någon form av manuell hantering till dessa kända fel har rättats till. I väntan på detta kan dock digital bandning vara ett alternativ för att begränsa bandningen nu när GPS-positioneringen ser ut att ge god noggrannhet även inne i skogen.

Metoder

- Digitala varningssystem i skogsmaskinernas användargränssnitt

Geodata

- Slutlig digital traktplanering

Planering av skogsvård

Beskrivning

Under avverkningen samlas data innefattande bland annat trädslag och ståndort in i skördaren. Tester har gjorts där denna skördardata använts för att generera en planering av planteringsarbetet. Genom att kombinera geodata som markfuktighet, ståndortsinformation och tidigare trädslag med skördardata om trädslag, ståndortsinformation och skador på skogen (till exempel röta) skapas en högupplöst bild av traktens behov av skogsvård. Utifrån denna kan beslut om markberedning, trädslagsval och planeringstidpunkt göras.

Ett alternativ är att träna en modell att hitta en hypotetisk ståndortskartering för olika trädslag, varmed ett optimalt val skulle kunna göras på platsen.

Metoder:

- GIS-analyser
- Supervised learning-metod kan ställas upp som ett multiklass-klassificeringsproblem (trädslagsval) som tränas på tidigare val av trädslag vid plantering. Motsvarande metod men uppställd som exempelvis ett regressionsproblem skulle kunna ange planeringstidpunkt.
- Supervised learning-metod för regression eller multiklass-klassificering (tillväxt eller ståndort) för respektive trädslag för att generera en hypotetisk ståndortskartering.

Geodata:

- Skördardata
 - o Trädslag
 - o Ståndortsindex
 - o Rötfrekvens
- Markfuktighetskarta
- Höjd över havet
- Lutningskarta

Klassificering av vägar för vidaretransport av virke

Beskrivning

Skogsbilvägen till avlägget är kritisk för att virket ska kunna vidaretransporteras till industri. Inför en avverkning behöver man därför veta skicket på vägen för att kunna bedöma om upprustning behövs. I SNVDB finns information om vägarna och deras bärighetsklass, men eftersom vägsicket försämras med tiden stämmer klassningen inte alltid överens med verkligheten. I södra Sverige genomförs i skrivande stund en inventering av samtliga skogsbilvägar för att uppdatera vägstatusen. Denna kommer att bli tillgänglig under kommande år.

Att använda geodata för att bedöma vägens status är inte möjligt idag, eftersom upplösningen inte är tillräcklig. Däremot skulle information från SNVDB, tid sedan senaste upprustning och nederbörds mängder från tiden innan avverkningen kunna ge en indikation på om upprustning behövs. Utfall från upprustningsbehov av andra vägar kan användas för att träna en supervised learning-metod för binär klassificering (upprustningsbehov eller ej), där också osäkerheten hos modellen kan mätas vid varje utfall.

Likt utbytesberäkningar, fast där vägar står i fokus istället för utfallet på trakten, kan också similarity learning-metoder användas.

Framtida högupplösta geodata som kan penetrera marken och därigenom förstå sammansättningen och fuktigheten skulle vara användbara för denna bedömning.

Metoder:

- Supervised learning-metod för binär klassificering (upprustningsbehov eller ej).
- Similarity learning-metod för sammanvägning av utfall på liknande vägar.

Geodata:

- SNVDB
- Nederbörd

Fördelning av avverkningar till maskinlag

Beskrivning

Efter färdigställd planering ska ett maskinlag tilldelas uppdraget. Tilldelningen behöver ske efter vilket behov av maskiner trakten har och med hänsyn till traktens placering. Maskinlaget behöver verka inom rimligt avstånd från sin stationering för att kunna pendla till och från arbetet. Automatiska GIS-analyser kan matcha samman maskinlags olika verksamhetsområden med attributdata om lagens maskiner för att därigenom tillse att trakten får rätt typ av maskiner och att maskinförarna får rimliga pendlingsavstånd.

Metoder:

- GIS-analys
- Turordningsplanering

Geodata:

- Lokalisering av maskinförare
- Verksamhetsområde
- Avverkningstyp
- Industrileveranser
- Utbytesprognoser
- Medelstam

Produktionsdata:

- Maskintyper

Efterkontroll

Beskrivning

Efter att planeringen slutförts och maskinlag tillsatts förläggs trakten till en traktbank redo för avverkning. Denna kan under obestämd tid vänta på att lyftas till produktion. Efter lång tid kan det dock behövas en ytterligare kontroll av trakten för att verifiera att planen fortfarande är korrekt.

Denna kontroll kan lösas genom att införa ett övervakningssystem som bygger på maskininlärning. Ett sådant system skulle främst använda satellitbilder baserade på förändringsanalys och köras kontinuerligt så att traktstatus i traktbanken kan övervakas. Skogsstyrelsens förändringskarta är redan tillgänglig men visar bara förändringsstorlek (skillnad i pixelvärden mellan olika datum hos satellitbilder). För att bli mer användbar för planeraren måste typen av förändring identifieras. Det kan göras automatiskt med maskininlärning, eftersom till exempel stormskador, brandskador och stressade träd har olika identifierbara signaturer i satellitbilder. Genom att flagga trakter där betydande förändringar har skett och klassificera typen av förändring, kan beslut om behovet av en reviderad traktplanering göras innan den går till produktion.

Metod

- Förändringsanalys

Geodata

- Satellitdata, antingen optiska data eller radardata
- Förändringskarta från Skogsstyrelsen
- Beståndsregisterdata
- Skördardata

Skapande av traktdirektiv och traktkarta

När trakten kontrollerats tar automatiska skript vid och genererar ett standardiserat traktdirektiv och en traktkarta utifrån den planerade informationen. Detta moment består i synnerhet av IT-utveckling och kräver inga speciella automatiska metoder eller lösningar.

Framställande av underlag till maskindator

Samtidigt som traktdirektivet och traktkartan skapas genereras också standardiserade geodata över traktkartan som levereras direkt till maskinlaget via en digital lösning. Det kan göras via en molntjänst för nedladdning eller direktleverans till ett system som maskindatorerna arbetar mot. På så sätt tillgängliggörs informationen och finns redo att användas när avverkningsarbetet tar vid.

ANALYS

Momentens förflyttning mot automatisering innebär olika utmaningar och har olika behov. Vissa moment kan redan i dagsläget automatiseras medan andra först kräver ändringar i regler och certifieringar.

Varje moment som behandlats har listats i Tabell 6 med klassad svårighetsgrad från 1–4 för automatisering. Svårighetsgraden är bedömd genom en sammanvägning av de geodata som finns tillgängliga idag och om det finns metoder lämpade för arbetet.

Svårighetsgrad 1: Implementering kan påbörjas idag. Geodata och annan nödvändig information för att automatisera momentet finns tillgängliga. Vedertagna metoder som kan appliceras på momentet finns också tillgängliga. Moment klassade med svårighetsgrad 1 kan sammanfattas som sådana moment där forskning och utveckling har bedrivits och metoder tagits fram som hjälpmedel till traktplanering. Svårighetsgrad 1 har också givits moment där mer ren IT-utveckling bedöms vara behovet snarare än automatiska modeller och algoritmer. Exempel på sådan utveckling är automatisk överföring av data mellan olika system istället för manuell överföring eller generering av traktdirektiv.

Svårighetsgrad 2: Geodata och annan nödvändig information för att automatisera momentet finns troligen på plats. Det finns metoder som potentiellt kan lösa problemen, men viss grad av innovationsarbete och analys krävs innan det helt kan klarläggas i vilken utsträckning och med vilket resultat en automatisering kan genomföras. Moment klassade med svårighetsgrad 2 kan sammanfattas som sådana moment där befintliga geodata kan fungera som lämplig informationskälla till automatiska metoder, men där vissa anpassningar och implementationer krävs för att automatiseringen ska kunna genomföras.

Svårighetsgrad 3: Implementering kan påbörjas efter visst utvecklingsarbete. Geodata och annan nödvändig information för att automatisera momentet finns tillgängliga. Dock saknas vedertagna metoder eller modeller att direkt applicera på momentet, alternativt behöver dessa utvecklas mer innan implementering kan ske. Moment klassade med svårighetsgrad 3 kan sammanfattas som sådana moment där befintliga geodata kan fungera som lämplig informationskälla till automatiska metoder, men där själva metoderna inte utvecklats eller kräver mer utveckling.

Svårighetsgrad 4: Implementering är inte möjlig idag. Geodata och annan nödvändig information för att automatisera momentet finns inte tillgängliga. Det saknas också vedertagna metoder eller modeller att direkt applicera på momentet, alternativt behöver dessa utvecklas mer innan implementering kan ske. Moment klassade med svårighetsgrad 4 avser moment som idag inte bedöms kunna automatiseras, på grund av att tillgängliga geodata inte upprätthåller tillräcklig kvalitet eller upplösning. Likaså kan tillämpliga metoder för att angripa problemen saknas.

Tabell 6. Bedömd svårighetsgrad för att automatisera de olika momenten.

Moment	Svårighetsgrad	Kommentar
Urval från beståndsdata	2	Detta görs idag med utbytesprognoser och det är därför troligt att detta problem också kan lösas med AI-metoder.
Bedömning av skogliga data	2	Förändringsanalys är en väl utforskad och standardiserad metod, men för att automatiskt hitta <i>relevanta</i> avvikelser krävs visst innovationsarbete.
Bedömning av behov av underväxtröjning och uttag av skogsbränsle	3	Det är oklart huruvida laserdata kan fånga upp undervegetationen nog bra, därför presenteras ett förslag redan nu med ett visst förbehåll.
Kontroll av närbelägna bestånd för samtliga åtgärder	1	Turordningsplanering finns idag, men har potential för vidareutveckling.
Tilldelning av traktbank för planering	2	Det är troligt att det föreslagna systemet kan implementeras, men förarbete med att skapa planerades profiler och en detaljerad metod krävs.
Förtolkning av hänsyn	2-3	Krävs visst innovationsarbete för att ställa i ordning metoder och data.
Förslag till avlägg och k o jplats	1	Färdig modell finns.
Förslag på basväg och basstråk	1	Färdig modell finns.
Utskrift eller export av fältmaterial till fältdator	1	Kräver endast systemimplementation.
Naturvärdesbedömning	4	Naturvärden är komplexa och geodata som i tillräckligt hög grad reflekterar nödvändig information finns inte idag. Vissa naturvärden skulle dock potentiellt kunna hittas på detta sätt, men som helhet är detta moment svårt att automatisera.
Bandning av hänsyn, traktgränser, basväg och basstråk	2-3	Positioneringsproblematik för fastighetsgränser kräver fortsatt utveckling. Flera maskindatorer har digitala varningssystem varför implementering kan påbörjas.
Planering av skogsvård	2	Nödvändig information finns troligen i tillgängliga indata, utvärdering pågår för att bedöma användbarheten.
Klassificering av vägar för vidaretransport av virke	4	Tillgängliga geodata håller inte tillräckligt hög detaljgrad för att avgöra detta. Indikationer på vägskick kan dock ges från liknande vägar.
Fördelning av avverkningsplaner till maskinlag	1	GIS-analys med enkel logik.
Efterkontroll	2	Förändringsanalys är en väl utforskad och standardiserad metod, men för att automatiskt hitta <i>relevanta</i> avvikelser krävs visst innovationsarbete.
Skapande av traktdirektiv och traktkarta	1	Kräver endast systemimplementation.
Framtställande av underlag till maskindator	1	Kräver endast systemimplementation.

Slutsatser

Utifrån föreslagen förflyttning mot automatisering kan traktplaneringsmomenten delas in i tre nya block som ersätter tidigare förplanering, fältarbete och efterarbete. Tabell 7 visar de tre nya blocken med momenten inplacerade efter tillhörighet.

Tabell 7. Förslag på blockindelning av traktplaneringsmoment.

Kvalificering av trakter till planering	Planering	Förberedelse av produktion
Urval från beståndsdata	Förtolkning av hänsyn	Fördelning av avverkningar till maskinlag
Bedömning av skogliga data	Förslag till avlägg och kojplats	Efterkontroll
Bedömning av behov av underväxtröjning och uttag av skogsbränsle	Förslag på basväg och basstråk	Skapande av traktdirektiv och traktkarta
Kontroll av närbelägna bestånd för samtida åtgärder	Utskrift eller export av fältmaterial till fältdator	Framställande av underlag till maskindator
Tilldelning av traktbank för planering	Naturvärdesbedömning	
	Bandning av hänsyn och traktgränser	
	Bandning av basväg och basstråk	
	Planering av skogsvård	
	Klassificering av vägar för vidaretransport av virke	

Genom denna uppdelning i block skulle det faktiska planeringsarbetet fokuseras till blocket "Planering" där också behovet av fältarbete till viss del kvarstår i dagsläget. Moment i blocken "Kvalificering av trakter till planering" och "Förberedelse av produktion" däremot, bedöms till stor del kunna börja automatiseras, som ses i Tabell 6. Detta skulle frigöra tid till kvalitativt planeringsarbete, som också successivt kan börja förflyttning mot en mer automatiserad process. Det kan tänkas att de delar av traktbanken som inte innehåller hänsynstaganden som behöver fältplaneras skulle kunna planeras helt automatiskt och fältarbete då kan uteslutas helt. Olika avverkningsformer kan också tänkas ha olika hantering. I gallringar behöver exempelvis inte en naturvärdesbedömning utföras, vilket är det moment som bedöms vara svårast att automatisera. Gallringar kanske därmed också blir först ut med att planeras helt automatiskt.

Diskussion

Denna studie belyser hur olika delar av traktplaneringsprocessen kan förflyttas mot en mer automatisk planering, där planerarens tid används mer effektivt. En helt automatisk traktplanering är med den tekniska utvecklingens hjälp inte en omöjlighet, men är inte genomförbar i dagsläget då tillgängliga geodata inte är tillräckligt högupplösta. Dock har flera olika moment som idag görs manuellt potential att automatiseras, vilket skulle frigöra tid för de moment som faktiskt behöver en manuell insats. Att strukturera om traktplaneringsprocessen i de tre nya föreslagna blocken kan öppna för en högre grad av automatisering av hela processen stegvis.

Anpassningar till olika regelverk är viktiga för att möta upp de krav som ställs på traktplaneringen. Idag krävs till exempel för vissa certifieringar ett fältbesök innan avverkning för att göra hänsynsbedömningar, vilket direkt omöjliggör en helt automatisk process. Men om fältbesöket kan ägnas till att endast utföra de arbeten som kraven anger har fortfarande tidsåtgången minskat, vilket leder till ökad effektivitet.

Ett förslag för att öka förståelse och möjlighet att bedöma säkerheten i olika automatiska förslag är att låta modellerna, utöver att generera ett resultat, också skatta ett värde som speglar sannolikheten att förslaget är korrekt eller håller tillräckligt hög kvalitet. En sådan siffra skulle modellerna kunna generera genom att sammanväga kvaliteten på geodata och tidigare planeringar. En totalsiffra på hela planeringens kvalitet kan sedan fås fram genom att väga samman samtliga förslag på en trakt. Detta kan utgöra en bedömningsgrund för om ett kompletterande fältbesök behöver göras eller inte.

En SWOT-analys för automatisk traktplanering ses i Figur 4. Den är gjord utifrån ett generellt automatiseringsperspektiv för traktplanering utan att fokusera på svårighetsgrader eller existerande data.

Styrkor	Svagheter
Kostnadseffektivisering av traktplaneringen Fältarbete läggs där störst behov föreligger Säkerställande att allt innehåll finns med Objektiv kontroll	Ej tillräcklig detaljgrad i egna databaser Utvecklingsbehov av metoder Avsaknad av erfarenhetsbedömning i fält
Möjligheter	Hot
Djupare förståelse för råvaruförsörjningen Optimering av resurser för bästa resultat	För låg detaljeringsgrad i tillgängliga geodata Dyr utveckling Ökat beroende av stabil IT-drift Ökat behov av IT-säkerhet Lagring av mer personkopplade data Låg träffsäkerhet i modeller

Figur 4. SWOT-analys för en automatiserad traktplanering i dag.

Frågan är då vilka trakter som är lämpligast att traktplanera mer automatiskt? Svårighetsgraden ökar med en trakts komplexitet, vilket får till följd att mindre komplexa trakter skulle vara mer realistiska för en automatisk traktplanering. Komplexiteten har framförallt koppling till behov av hänsynstagande och genom att leta efter trakter med mindre hänsynsbehov (och då i synnerhet utan fornminnen) skulle kandidater för automatisk planering kunna hittas. Planering av trakter utan gräns mot annan fastighetsägare, utan kända hänsynsytor i tillgängliga geodata eller annan komplexitetsökande faktor som dike eller sjökant är ”lättare” att automatisera, då direkta svårigheter kan uteslutas redan i förväg.

När hänsyn utesluts kan också faktorer som enhetlighet på trakten vara något att sträva efter för automatisk planering. På en trakt med liten trädslagsvariation och liten variation i markfuktighet, lutning och andra skogliga parametrar, är risken för utstickande miljöer och avvikande variationer relativt liten. Därför är också dessa parametrar intressanta för utsökning av trakten.

Referenser

- Bellet, A., Habrard, A. & Sebban, M. 2014. A Survey on Metric Learning for Feature Vectors and Structured Data. arXiv:1306.6709.
- Cheng, G. & Han, J. 2016. A survey on object detection in optical remote sensing images. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 117: 11–28.
- Coppin, P.R. & Bauer, M.E. 1996. Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. Remote sensing reviews, 13(3-4), pp.207-234.
- ESRI 2019. Object Detection Workflow with arcgis.learn. <https://developers.arcgis.com/python/guide/object-detection/> (Hämtad 2020-11-02).
- Flisberg, P., Frisk, M., Rönnqvist, M. & Willén, E. 2017. Turordningsplanering. Arbetsrapport 930-2017. Skogforsk. Uppsala.
- Friberg, G. & Davidsson, A. 2018. Ny GIS-modell placerar avläggen rätt. Skogforsk. Uppsala.
- Hannrup, B., Ene, L., Johansson, F., Jönsson, P., Rossander, M. & Willén, E. 2020. Utvärdering av nya möjligheter till förbättrad positionering med satellitbaserade system. Rapport 1047. Skogforsk.
- Jiao, L., Zhang, Fan., Liu, F., Yang, S., Li, L., Feng, Z. & QuL, R. 2019. "A Survey of Deep Learning-Based Object Detection". IEEE Access. 7: 128837-128868. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2939201.
- Kazimi, B., Thiemann, F., Malek, K., Sester, M. & Khoshelham, K. 2018. Deep Learning for Archaeological Object Detection in Airborne Laser Scanning Data. Proceedings of the 2nd Workshop On Computing Techniques For Spatio-Temporal Data in Archaeology And Cultural Heritage co-located with 10th International Conference on Geographical Information Science. GIScience 18. Melbourne, Australien.
- Khan, S.H., He, X., Porikli, F. & Bennamoun, M. 2017. Forest change detection in incomplete satellite images with deep neural networks. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 55(9), pp.5407-5423.
- Kollberg, E. 2020. Traktplanerare. Personlig kontakt 2020-12-09. Holmen Skog. Lycksele.
- Kulis, B. 2012. Metric Learning: A Survey. Foundations and Trends in Machine Learning. 5 (4): 287–364. doi:10.1561/22000000019.
- Radovic, M., Adarkwa, O. & Wang, Q. 2017. Object Recognition in Aerial Images Using Convolutional Neural Networks. Journal of Imaging. 3(21). DOI:10.3390/jimaging3020021.
- Ricci, F., Rokach, L. & Shapira, B. 2011. Introduction to Recommender Systems Handbook. Recommender Systems Handbook. Boston: Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-85820-3_1.
- Rönnqvist, M., Flisberg, P., Willén, E., Frisk, M & Friberg, G. Spatial optimization of ground based primary extraction routes using the BestWay decision support system. Canadian Journal of Forest Research. o(ja): -. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0238>.

- Söderberg, J., Willén, E., Möller, J., Arlinger, J. & Bhuiyan, N. 2017. Utvärdering av utbytesprognoser med skogliga laserskattningar och skördardata – resultat från tre fallstudier. Arbetsrapport 937-2017. Skogforsk. Uppsala.
- Willén, E. & Andersson, G. 2015. Drivningsplanering, en jämförelse mellan sju skogsbolag 2015. Arbetsrapport 885-2015. Skogforsk. Uppsala.
- Willén, E. & Davidsson, A. Flisberg, P. Frisk, M. Rönnqvist, M. 2019. Beslutsstöd för förslag till huvudbasvägar i slutavverkning. Arbetsrapport 1020-2019. Skogforsk. Uppsala.