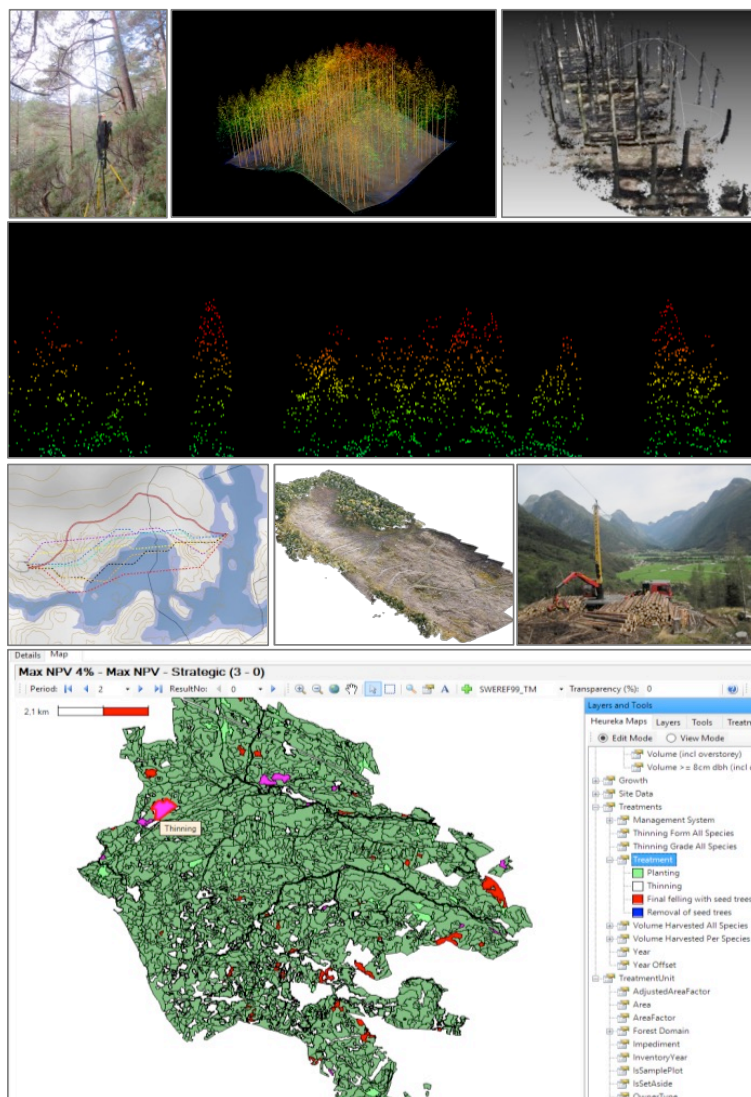


Sluttrapport for Sustainable utilization of forest resources in Norway (SuForN 2013-2017)



E. Bergsen, J. Bjerketvedt, O.M. Bollandsås, T. Gobakken, E. Hofstad, Hansen M. Hauglin, H.F. Hoen, O.Høybø, J. Kolstad,

E. Næsset, M. Pierzchala, J. Sandven, A. Sverdrup-Thygeson, E. Sørngård, M. Sætersdal, B. Talbot, H.O. Ørka

Sluttrapport for NFR 225329 – Sustainable utilization of forest resources in Norway (SuForN)

Sustainable utilization of forest resources in Norway var et kompetanseprosjekt for næringen (KPN) og der det generelle formålet er å bidra til næringsrettet forskerutdanning og langsiktig kompetanseoppbygging i norske forskningsmiljøer, innenfor tema med stor betydning for utvikling av næringslivet i Norge.

Prosjektets primær mål var å bidra til bedre utnyttelsen av skogressurser og produksjonsressurser samt å bidra til færre konflikter mellom miljøhensyn og skogsdrift i normalt og bratt terreng.

I de senere år har skogbruket sett inntoget av sensorteknikk til flere formål. Bruk av flybåren laserskanning (ALS) er like veletablert innen skogtaksering og terrengmodellering som bruk av geografiske informasjonssystemer (GIS) og globale posisjoneringssystemer (GPS) for praktisk skogsdrift. Andre sensorer og plattformer har også kommet på markedet. Utvikling i bildeoppløsning og kostnader de siste årene har gjort disse mer attraktive for praktisk bruk. Utviklingen av informasjonssystemer for planlegging, gjennomføring og oppfølging av avvirkning har gått raskt siden 1990-tallet. Utviklingen av apteringssystemer for hogstmaskiner, med tilhørende produksjonsrapportering, har muliggjort både analyser av sortimentsutfall og produktivitet. Integrasjon av disse systemene med data fra ALS og andre sensorer muliggjør større innsikt i både virkesegenskaper og produktivitetspåvirkende faktorer. Samtidig har det blitt utviklet en helt ny generasjon med systemer for langsiktig planlegging for analyse av ulike strategier for skogbehandling og miljøhensyn. På mange av disse områdene gjenstår det teknologisk utviklingsarbeid, knyttet til testing og tilpasning til skogsektorens forhold, men ny teknologi vil kunne bidra til en mer effektiv utnyttelse av skogarealene – inkludert miljøelementet og en bedre balanse mellom avvirkning, leveranser og industriforbruk.

Dette var bakgrunnen for SuForN-prosjektet. For å ivareta disse nye mulighetene ble FoU-arbeidet organisert i fem arbeidspakker. De fem arbeidspakkene presenteres hvert sitt fagkapittel.

29.01.2018 Prosjektledere Dag Fjeld, Erlend Nybakk

Kapittel	Arbeidspakke	side
1	Takst og terrengklassifisering i bratt terreng ved hjelp av flybåren laserskanner	4
2	Hogstmaskiner som verktøy i datafangst og mer effektiv allokering av virke	11
3	Verktøy for å møte miljøutfordringen ved økt avvirkning	16
4	Nye metoder for planlegging og oppfølging av avvirkning og veibygging	22
5	Evaluering av planleggingssystemet HEUREKA og kartlegging av utviklingsbehov for norske brukere	32

Sammendrag

ALS - ALS har åpnet for flere nye muligheter i skogbruket. I jakten på mer tidseffektive metoder for å identifisere gammel naturskog, er det utviklet en ny metode for å skille mellom gammel naturskog og gammel kulturskog basert på vanlige ALS-data. Sammenhengen mellom forekomsten av miljøelementer i skog (MIS) og landskapsvariabler som helning, bonitet, høyde over havet og avstand fra veg) er også blitt analysert som gjør det mulig å fokusere resterende kartleggingsinnsats på de mest sannsynlige områdene. I bratt terreng var det usikkert om lasertakster ga tilfredsstillende nøyaktighet. Undersøkelser viste marginalt større middelfeil ved økende helning, men det ble funnet en metode for å korrigere resultatene. For arealer med tradisjonell skogbehandling brukes ALS allerede til å lage nye digitale terrengmodeller (DTM) og markfuktighetskart (DTW). Ulike metoder for bruk av DTW for plassering av driftsveier fra bestand til skogsbilvei ble testet i prosjektet.

Skogsmaskiners informasjonssystem – I praksis tar prognoser for sortimentsfordeling utgangspunkt i gjennomsnittlige fordelinger fra tømmermåling for større områder, med justering etter rådende bestandsforhold. Kombinasjonen av ALS-data og tre-spesifikke produksjonsdata gir mulighet for bedre prognoser av volum og sortimentsfordeling for andre bestand med lignende egenskaper. I dette arbeidet var utfordringen tilstrekkelig nøyaktig lokalisering av det enkelte treet (ved hjelp av hogstaggregatet) slik at treet egenskaper kunne relateres til de ALS-dataene som faktisk traff treet. I 2016 lyktes vi å posisjonere de avvirkede trærne med en nøyaktighet på bedre enn en meter og å koble posisjonsdataene med stammedataene fra hogstmaskinen. For sagtømmer ble enkeltplankers kvalitet registrert på sagbruket og koblet til laser- og hogstmaskindataene for å kvantifisere hvilke egenskaper ved treet og voksestedet best predikerte E-modulen (elastisitet, styrkeegenskaper). ALS-data ga i den forbindelse viktig informasjon om kroneforhold og kvistsetting.

Historisk sett har modeller for produktivitet og kostnader i avvirkning vært basert på tidsbegrensede tidsstudier i felt. Prosjektet brukte data samlet via produksjonsrapportering for å kalibrere eksisterende produksjonsnormer. Etter kalibrering ble det utviklet et prognoseverktøy for både tidsforbruk og kostnader per drift slik at funksjonene kunne tilpasses forskjellige skogforhold ved justering av et fåtall hovedparametere. Siden det ikke finnes tilsvarende systemer for automatisk innsamling av produksjonsdata fra taubaner, ble det også testet en rutine for automatisk identifisering av arbeidsfaser i taubanearbeid på samme måte som det gjøres for skogsmaskiner. En kombinasjon av bildesensorer, inertial measurement units (IMU) og GPS ble testet, men ga lav presisjon og et nytt alternativ er foreslått. I de fleste framtidsvisjoner for avvirkningsarbeid har automatisering, og til og med autonom styring, en sentral plass. Som et ledd i denne framtidsreisen er maskinenes evne til å kartlegge omgivelsene et avgjørende aspekt. Derfor ble det også testet algoritmer for «simultaneous localization and mapping» (SLAM) på en hjulgående plattform med 3-D LiDAR-skanning, stereo-syn og GPS. Under enkle skogforhold gav teknologien tilfredsstillende kartlegging av både trær og terreng, men det er behov for mer robuste metoder for mer komplekse skog- og terrengforhold. Ved praktisk drift er forekomst av hjulspor en særlig synlig aspekt ved bærekraftig utnyttelse av skogressursene. Basert på bilder innsamlet med droner ble det i prosjektet utviklet nye metoder for bildebehandling som gir presis måling av både spordybde og masseforflytting over større arealer. Disse kan kobles videre til kostnadsmodeller for skogsbilveibyggning for at kvalitetssikre grunnlaget for områdeplanlegging.

Langsiktig planlegging – Test og tilpasning av det svenske planleggingsverktøyet Heureka representerte et steg over en ny terskel for prosjektets forskningsteam. Av Heurekas tre deler (REG-wise, PLAN-wise og STAND-wise) ble det fokusert på eiendomsnivået (PLAN-wise). Både biologiske og tekniske forutsetninger ble gjennomgått, med belysning av til dels store forskjeller i f.eks. tilvekstfunksjoner og maskinproduktivitet. Derfor ble Heureka utvidet med skreddersydde plug-ins

med norske forutsetninger, som for eksempel parametere for bruk av taubane i bratt terreng. Arbeidet ble også supplert med analyser av forholdet mellom kartavstand og faktisk driftsveilengde med helning gjennomført med GPS-sporloggerdata fra lassbærere på Østlandet og i Trøndelag. Ulike faktorerens betydning for langsiktige avvirkningsvolumer ble analysert og sammenlignet mot tilsvarende hovedtall fra SGIS for to skogeiendommer; en gran-dominerte på Østlandet (Drammen) og en furu-dominert på Vestlandet (Kaupanger). Sammenligningen viser til høyere avvirkningsvolumer fra Heureka en SGIS i både tilfeller. Den minste avvik (5 %) var for den gran-dominert eiendom på Østlandet og den største (opp til 30 %) var for den naturlige furuskog på Vestlandet. Vestlands-eiendommen hadde også høyere driftskostnader i praksis enn beregnet med de norske parametere i Heureka. Unøyaktig inndata kan være en del av forklaring for både avvik.

K1. Takst og terrengklassifisering i bratt terreng ved hjelp av flybåren laserskanner

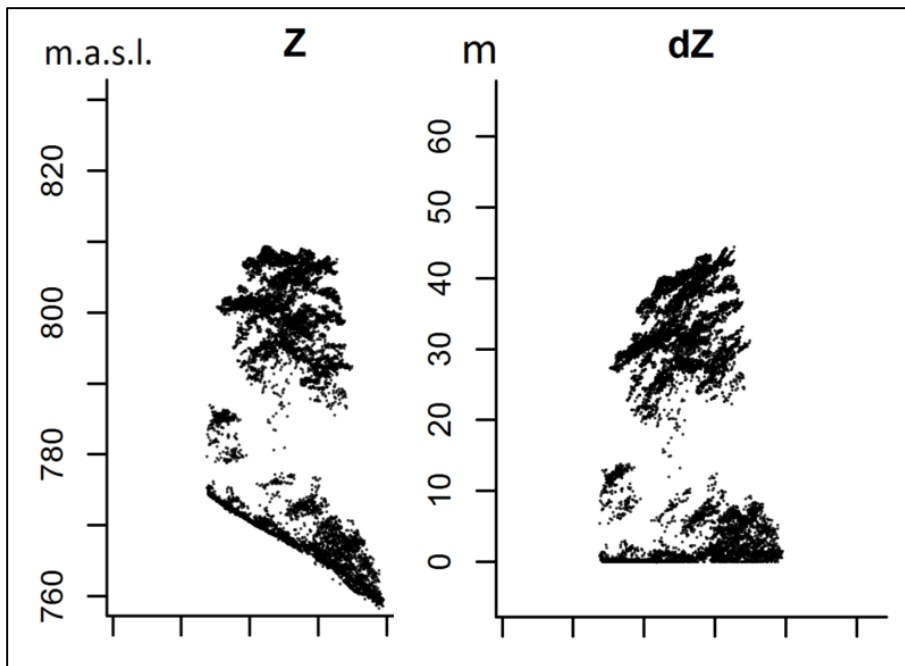
Ole Martin Bollandsås, Jan Bjerketvedt, Hans Ole Ørka, Terje Gobakken, Endre Hofstad Hansen, Erik Næsset.

Problemstillingen i denne arbeidspakken var knyttet til å undersøke om økende helling på terrenget hadde betydning for nøyaktigheten på de vanligste variablene som det blir levert estimater for i en ordinær arealbasert lasertakst. Videre var det også et mål å undersøke hvordan man kan bruke laserdata til terrengklassifisering for lettere å kunne planlegge driftsveier og tømmertransport der det er utfordringer knyttet til helling og andre terrengmessige hindringer. Studiene i denne arbeidspakken ble gjennomført i nært samarbeid med skogeierandelslagene Vestskog SA og Mjøsen Skog SA.

Effekter av bratt terreng på lasertaksten

Årsakene til at det var interessant å undersøke om hellingen på terrenget har betydning for nøyaktigheten på en lasertakst var flere. For det første har trær som står i hellinger en tendens til å ha mer greinbiomasse på den siden av treet som vender utover, bort fra terrenget. I lasertakst-sammenheng betyr dette at relativt flere laserpulser blir fanget og reflektert (hver refleksjon kalles et *ekko*) fra nettopp denne siden av trærne. Dette har betydning fordi det er nettopp hvordan laserekkene fordeler seg i trekronene, relativt til terrenget loddrett under, som er nøkkelen til å beregne tømmervolum, middelhøyde og de andre sentrale bestandsbeskrivende variablene i en takst. Visuelt vil alle laserekkene fra et gitt areal i skogen framstå som en sky av punkter. Fra punktskyen lager man variabler (tallverdier) som er beskrivende for hvordan punktskyen «ser ut». Disse variablene benyttes som forklarende variabler i statistiske modeller, for eksempel for beregning av tømmervolum for hele området som er dekket av laserdata. Dersom punktskyen får andre egenskaper på grunn av at trærne har annen greinsetting når de står i hellende terreng sammenlignet med på flat mark, er dette en potensiell kilde til feil i lasertaksten. Mer spesifikt er problemet knyttet til at høydene over bakken for hvert ekko beregnes som avstanden loddrett ned mot bakken, og ikke i forhold til høyden til rota på treet. Siden det for en gitt høyde på stammen er lengre ned til bakken på «utsiden» enn på «innsiden», og det er flere ekko på «utsiden», vil høydene målt med laser i gjennomsnitt være høyere for trær som vokser i hellende terreng sammenlignet med høydene målt for tilsvarende trær på flat mark.

Vi hadde også en hypotese om at hellingsretning kunne gi noe av de samme effektene, eller forsterke effektene av selve hellingen, ved at trær på den nordlige halvkule tenderer mot å ha mer greinbiomasse mot sør. I tillegg til at en punktsky er påvirket av at trærne har andre egenskaper i hellende terreng sammenlignet med trær på flat mark, vil det også være en effekt av hellingen i seg selv når vi beregner hvert ekko sin høyde over bakken loddrett under.



Figur 1. Punktsky fra bratt terreng – til venstre vises den originale punktskyen med høyder over havet og til høyre den normaliserte med høyder over bakken.

Dette kaller vi normaliseringseffekten – normaliseringen er prosessen hvor hvert punkts høyde blir relatert til bakkeplanet i stedet for til havflaten. Denne effekten er illustrert i Figur 1 hvor vi ser punktskyen fra et stort tre i hellende terreng. Til venstre ser vi punktskyen med høyder over havet, og til høyre ser vi den samme punktskyen, men nå med høyder over bakken. Som figuren viser, framstår treet som skjevt.



Foto 1. Innmåling av testbestand i bratt terreng på Vestlandet. Foto: Ole Martin Bollandsås.

Selve studien av de potensielle effektene av terrenghellingen på nøyaktigheten til en lasertakst ble gjennomført ved å etablere 64 små «testbestand» langs en hellingsgradient fra 2 til 43 grader. Studieområdet inkluderte tre kommuner i Hordaland – Fusa, Tysnes og Kvinnherad. Nøyaktige feltmålinger av testbestandene ble gjennomført for å etablere fasitverdier for de seks mest vanlige

bestandsbeskrivende variablene som blir levert i en ordinær lasertakst (tømmervolum, grunnflate, treantall, overhøyde, middelhøyde og middeldiameter).

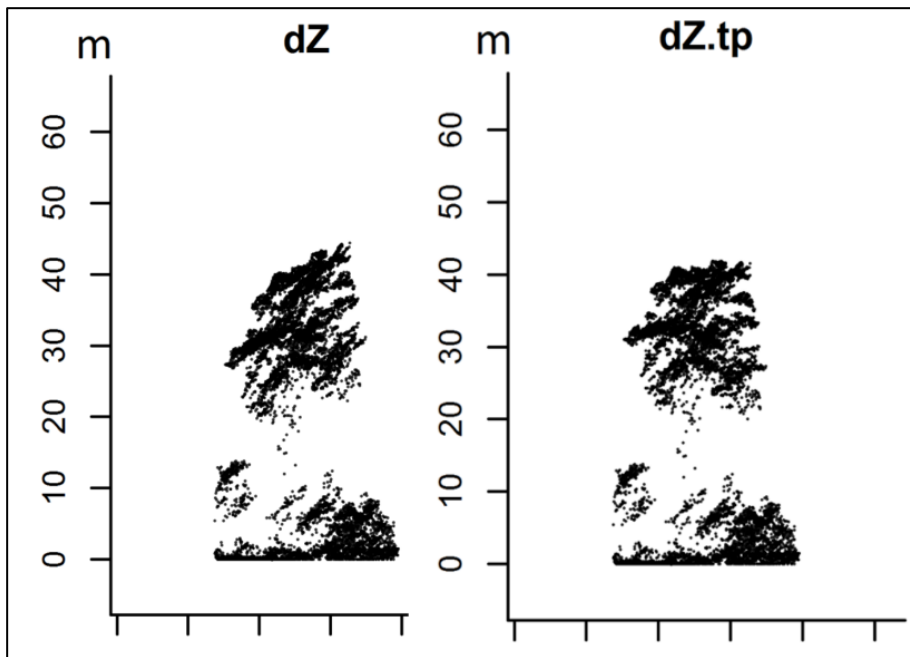
Hvert av testbestandene var tre sirkelrunde flater på 250 m², lagt tett inntil hverandre. Det var 20 meter mellom hvert flatesentrum slik at «bestandet» fikk en trekantform med til sammen 192 flater. Deretter ble det, ved hjelp av andre prøveflater målt i samme område (en ordinær lasertakst gjennomført av Mjøsen), utviklet statistiske modeller for sammenhengen mellom laservariablene, som beskriver egenskapene til laserpunktskyen, og de feltobserverte verdiene, slik som tømmervolum og grunnflate. Disse modellene ble så anvendt på flatene i våre små testbestand slik at hvert bestand fikk både estimerte verdier for de seks bestandsbeskrivende variablene, samt feltobserverte fasitverdier for de samme variablene. Differansene mellom estimerte og feltobserverte verdiene for hvert bestand ble så beregnet som et uttrykk for feilen til estimatet. Deretter ble disse differansene analysert videre med tanke på å finne ut om det var en sammenheng mellom størrelsen samt fortegnet på differansen, og hellingen. Det ble også undersøkt om hellingsretningen påvirket nøyaktigheten.

Resultatene viste at det var en svak effekt av både helling og hellingsretning. Differansen mellom de feltmålte verdiene og de som ble beregnet med laserdata var altså til en viss grad avhengig av hellingen, men differansene var ikke statistisk signifikante.

Betyr dette at vi kan ignorere terrengeffekter i forbindelse med planleggingen av laserbaserte takster? Svaret på det er nei. Vi må ta hensyn til hellingen, men våre resultater tyder ikke på at områder med bratte hellinger må håndteres spesielt. En av de viktigste forutsetningene for at modellene skal fungere godt er at de er basert på et datamateriale som dekker omtrent den samme variasjonsbredden som finnes i området for øvrig. Altså, i et område med gran- og furuskog, må prøveflatene brukt til å utvikle modellene også fordeles over gran- og furuskog. Likeledes, i et område med både flatt og bratt terreng, må flatene fordels langs hellingsgradienten fordi de største feilberegningene skjer gjerne når modellene blir anvendt utenfor sitt gyldighetsområde.

Selv om resultatene i denne studien viste at effektene av helling ikke var dramatiske for nøyaktigheten til en lasertakst, vet vi likevel at fordelingen til laserpunktskyen er påvirket av hellingen gjennom normaliseringseffekten (Figur 1). I en annen studie innenfor denne arbeidspakken, gjorde vi derfor analyser der formålet var å eliminere denne effekten. Dette ble gjort ved å bruke den originale punktskyen før normalisering som mal, og deretter gjøre justeringer (transformasjoner) i den normaliserte punktskyen slik at egenskapene (formen) ikke endres sammenlignet med den originale punktskyen (til venstre i Figur 1).

Figur 2 viser den normaliserte punktskyen til venstre (samme som til høyre i Figur 1), og den normaliserte og transformerte punktskyen til høyre. Resultatene tyder på at nøyaktigheten på lasertaksten forbedres når punktskyene justeres på denne måten.



Figur 2. Utransformert (venstre) og transformert punktsky (høyre).

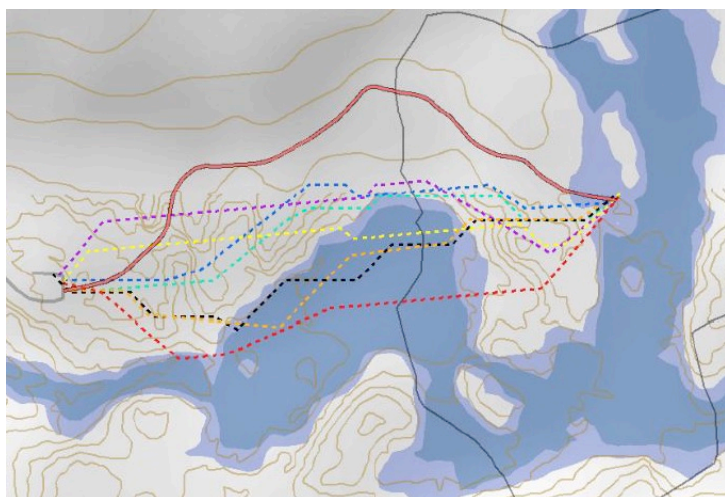
Terrengklassifisering

I oppstartsfasen ble det gjennomført et feltforsøk i Hordaland (Fusa og Osterøy kommune) med GPS-registrering av en lassbærers kjøremønster og hastighet over en 3 måneders periode. Formålet var å undersøke hvorvidt man gjennom ulike terrenganalyser basert på laserdata i et GIS kunne beskrive eventuelle sammenhenger mellom terrengform og kjørehastighet. Analysene ga ingen klare svar. Undersøkelsen viste at selv om laserdata gir en god beskrivelse av de større terrengformasjonene og brattheten, så lyktes det ikke å beskrive mindre, maskinhindrende terrengujevnheter. Dette viser tydelig behovet for å kunne beskrive terrengets bæreevne under varierende klimatiske forhold, og hvordan bæreevnen påvirker både rutevalg og kjøreskader.

Det er flere metoder som er utviklet for å beskrive markfuktighetsforholdene basert på høydedata fra laserdata og høydekurver i et GIS. Basert på litteraturstudier og svenske erfaringer falt valget på DepthToWater-index (DTW), en metodikk utviklet ved University of New Brunswick i Canada. På grunnlag av en terrengmodell (DTM) beregnes størrelsen på hver enkelt celled nedslagsfelt. Dersom denne er større enn en satt terskelverdi, blir cellen definert som «vann i dagen» og det bygges opp et bekkesystem av disse cellene. Deretter beregnes avstanden (dybde til vann) fra terrengoverflaten (de resterende cellene) ned til vannlaget mellom bekkene. Resultatene kan for eksempel presenteres i et markfuktighetskart med fire ulike blåfarger for dybder mellom 0 og 100 cm ned til vann.

I masteroppgaven «*Testing og videreutvikling av et GIS-basert verktøy for terrengtransportplanlegging*» (Lifjell & Dyrdal 2016) så vi blant annet på effekten av ta med informasjon om markfuktighetsforholdene i et GIS-verktøy som GeoData har utviklet for Statskog.

Det ble klare forskjeller i de beregnede traséforslagene når man ikke kun økte transportkostnadene for bratt terreng, men også tok med kostnader for sporreparasjon eller forebyggende tiltak i bæresvake områder.



Figur 3. En sammenligning av beregnede traséforslag for driftsveier (stiplet), med og uten markfuktighetsinformasjon. Rød heltrukken er den faktiske driftsveien.

I masteroppgaven «*Evaluering av fuktighetskart som hjelpemiddel for å redusere kjøreskader ved mekanisert hogst*» (Bjørnstad 2016) ble det gjort en analyse av ni drifter fra Mjøsen Skog. Her var det GPS-registrert hvor lassbæreren hadde kjørt og hvor det var blitt kjøreskader som måtte utbedres. I tillegg ble det innhentet data om løsmassetypen fra NGU og klimadata (teledybde, vannmetning, temperatur og nedbør) fra seNorge.no. Resultatene (fra denne begrensede undersøkelsen) viste at kun 11 prosent av kjøreskadene har oppstått i områder hvor DTW < 1,0 m, mens en langt større undersøkelse i Sverige hadde over 60 prosent sammenfall.

Flere skogeierforeninger har de siste årene høstet gode erfaringer med disse markfuktighetskartene i forbindelse med planlegging og gjennomføring av skogsdrifter. En svakhet ved DTW-metoden per i dag er at den kun bruker høydedata (laserdata). Resultatet blir det samme om løsmassetypen er en finstoffrik marin avsetning eller bart fjell. Tilgjengelige løsmassetypen er relativt grove og de fleste løsmassetypene forandrer bæreevneegenskaper både med temperatur og nedbør. Fordelen med DTW-metoden er at den gir en god oversikt for store områder hvor man kan forvente å finne fuktig skogsmark eller utfordrende kjøreforhold.

Ytterligere forskning og utviklingsarbeid knyttet til effekten av ulike løsmassetypen og nedbørsforhold, sammen med enkle feltundersøkelser, bør kunne forbedre nøyaktigheten til markfuktighetskartene.

Publikasjoner

- Bjørnstad, B. 2016. Evaluering av fuktighetskart som hjelpemiddel for å redusere kjøreskader ved mekanisert hogst. Masteroppgave. Norges Universitet for miljø- og biovitenskap, NMBU.
- Bollandsås O.M., Ørka H.O., Gobakken T., Næsset E., Rødland J.E. & Korsvold G. (2017) Bratt terreng kan påvirke lasertaksten. Norsk Skogbruk 6, pp 64-65.
- Hansen E.H., Ene L.T., Gobakken T., Ørka H.O., Bollandsås O.M. & Næsset E. (2017) Countering negative effects of terrain slope on airborne laser scanner data using Procrustean transformation and histogram matching. Forests 8(10), 401.
- Hansen E.H., Ene L.T., Mauya E.W., Patocka Z., Mikita T., Gobakken T. & Næsset E. (2017) Comparing empirical and semi-empirical approaches to forest biomass modeling in different biomes using airborne laser scanner data. Forests 8(5), 170.
- Lifjell, A.F. & Dyrdal, T. 2016. Testing og videreutvikling av et GIS-basert verktøy for terrengtransportplanlegging. Masteroppgave, . Norges Universitet for miljø- og biovitenskap.
- Ørka H.O., Bollandsås O.M., Hansen E.H., Næsset E. & Gobakken T. (2018) Effects of terrain slope and aspect on the error of ALS-based predictions of forest attributes. Forests (accepted).

K2. Hogstmaskiner som verktøy i datafangst og mer effektiv allokering av virke

Terje Gobakken, Marius Hauglin, Endre Hofstad Hansen, Erik Sørngård, Olav Høybø, Erik Næsset

En ressursoversikt i form av en takst er en viktig del av et aktivt skogbruk, og på skogeiendommer av litt størrelse er en takst et nødvendig verktøy for en rasjonell og bærekraftig forvaltning. Med bakgrunn i dette gis det i dag tilskudd til taksering og utarbeidelse av skogbruksplaner. En skogbruksplantakst i Norge i dag utføres i all hovedsak som en såkalt lasertakst. I en slik lasertakst blir hele arealet skannet med laser fra fly, og disse laserdataene blir brukt til å beregne for eksempel stående volum for hvert av bestandene i et takstområde. Selve bestandsinndelingen gjøres fremdeles gjennom manuelle tolkninger av flybilder. For å gjøre riktige beregninger av stående volum og andre bestandsegenskaper blir data fra laserskanningene koblet sammen med feltmålinger fra utvalgte referanseflater – kalt prøveflater – i takstområdet. I dagens takster blir disse flatene oppsøkt i felt, og manuelle målinger gjøres på alle trær innfor en sirkulær flate på for eksempel 250 m². Diameter i brysthøyde og treslag registreres for alle trær, og høyde måles på et utvalg av trærne. Disse målingene gir grunnlag for en nøyaktig beregning av stående volum på flatene, og brukes som en referanseverdi for beregningene med data fra laserskanningen. For at feltmålingene skal kunne kobles sammen med dataene fra laserskanningen må prøveflatene også stedfestes nøyaktig. Slike manuelle registreringer i felt er kostbare, og det er dermed en betydelig del av kostnadene ved en skogbruksplantakst som er knyttet til registrering av feltdata.

Formålet med arbeidet i denne arbeidspakken var å forsøke å redusere kostnadene knyttet til innsamling av feltdata til takstformål ved å bruke data samlet inn under ordinære avvirkninger med hogstmaskin, i stedet for fra manuelt registrerte prøveflater.

I forbindelse med aptering og registrering av avvirkningen blir det i hogstmaskiner for hvert avvirket tre gjort registreringer av diameter, treslag og lengde på stokkene som kappes. Dette er registreringer som i hovedtrekk tilsvarer det som gjøres manuelt på en prøveflate. Den største forskjellen er at det måles høyde på utvalgte trær på prøveflatene, mens det i en hogstmaskin kun registreres høyde opp til der toppen kappes. Til gjengjeld måler hogstmaskinen lengden til kappepunktet på samtlige trær som nyttiggjøres. Slik funksjonalitet for datainnsamling og lagring har vært implementert i hogstmaskiner i mange år allerede.

Manuelt oppmålte prøveflater blir nøyaktig stedfestet med GPS, noe som er avgjørende for å kunne bruke feltdataene i en lasertakst. Senterpunktet i feltflatene blir stedfestet med en nøyaktighet på bedre enn 1 meter, ofte er feilen helt nede på desimeter- eller centimeternivå. Denne stedfestingen gjøres med etterprosessering av GPS-dataene, logget med egen mottaker på flatene, sammen med korreksjonsdata fra Statens kartverk innsamlet i punkter med kjente koordinater over hele Norge.

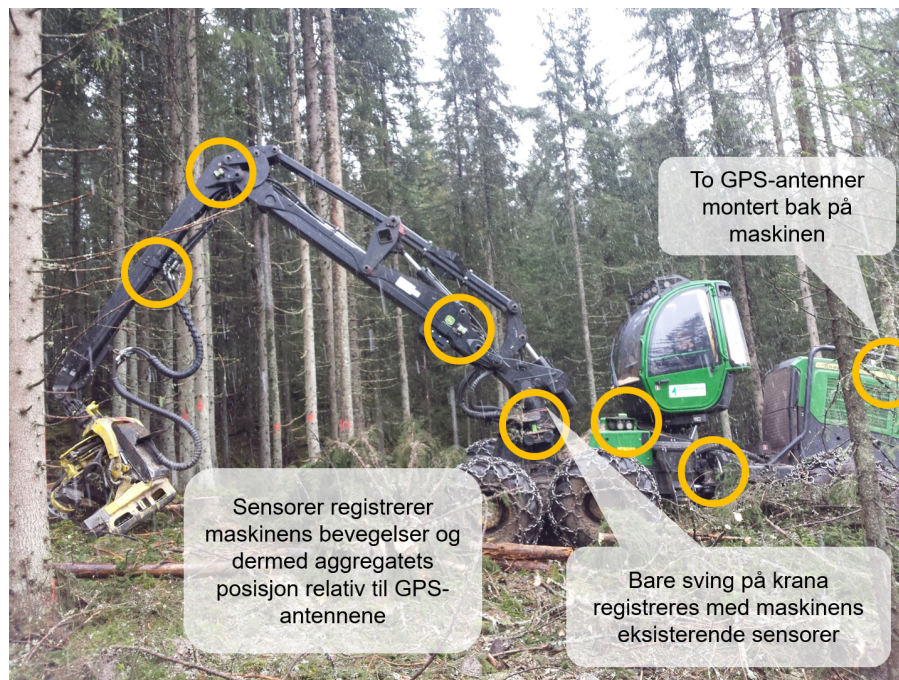
Moderne hogstmaskiner har også som oftest funksjonalitet for stedfesting ved hjelp av GPS, men nøyaktigheten på denne er ikke på nivå med det utstyret som brukes på prøveflater i forbindelse med en takst. I tillegg er GPS-antennen typisk montert på selve førerhytta. Avstanden ut til

hogstaggregatet og den reelle posisjonen til treet som felles, vil derfor ofte være betydelig. Summen av feilene dette introduserer gjør at en slik frittstående GPS på førerhytta ikke gir tilstrekkelig nøyaktighet hvis data om trærne som felles skal brukes i en takstsammenheng.

En viktig del av prosjektet har derfor vært å komme frem til et posisjoneringssystem som kan gi nøyaktige posisjoner for treet som felles, slik at denne posisjonen kan lagres sammen med andre data for det enkelte tre i hogstmaskinens datasystem.

Prosjektet kom i stand etter en idé fra Viken Skog SA, som har vært partner i prosjektet sammen med NMBU, Statens kartverk, John Deere Forestry AS og Gundersen & Løken AS. Sistnevnte er et privat selskap som leverer posisjoneringssystemer til anleggsbransjen, inkludert integrerte posisjoneringssystemer til gravemaskiner og andre anleggsmaskiner. Videre har John Deere sin skogsmaskinavdeling bidratt med god hjelp i den praktiske utviklingen og monteringen av systemet. Sist men ikke minst har entreprenør Røksåsen Skogsmaskiner AS og hogstmaskinfører Steinar Sætha vært til stor hjelp og velvillig fulgt opp under implementering og testing av systemet i skogen.

I arbeidspakken har Gundersen & Løken tilpasset sitt DigPilot posisjoneringssystem og laget en prototype som ble integrert med datasystemet i hogstmaskinen. DigPilot-systemet (Figur 4) består i prinsippet av tre delsystemer: To GPS-antenner montert på bakdelen av hogstmaskinen, ett sett med sensorer som kontinuerlig registrerer bevegelsene til alle ledd og bevegelige sammenkoblinger mellom bakdelen av maskinen og hogstaggregatet, og til slutt en datamaskin som kontinuerlig mottar og bearbejder signaler fra sensorene og GPS-mottakerne. Denne datamaskinen bruker posisjonene fra de to GPS-antennene og informasjon om vinkel og retning på ulike maskindeler til å regne ut den nøyaktige posisjonen på hogstaggregatet. Denne posisjonen sendes i sin tur videre til hogstmaskinens integrerte datamaskin, som tar denne med i data som lagres om de avvirkede trærne.



Figur 4. Oversikt over posisjoneringssystemet.

Et viktig element i systemet er at det mottar korreksjonsdata til GPS-mottakerne i sann-tid. Dette er en metode som blant annet brukes innen bygg- og anleggsbransjen, samt innen offentlig innmåling, og som ved gode forhold gir en nøyaktighet på centimeternivå. Korreksjonsdataene mottas vanligvis over mobilnettet, noe som gjør at en i utgangspunktet er avhengig av mobildekning der hogstmaskinen kjører. Det er imidlertid fullt mulig å sende korreksjonsdata over egen radiolink, slik at posisjoneringssystemet kan brukes i områder uten mobildekning.

Selv om systemet i prinsippet virker enkelt, har man i prosjektet måttet løse flere utfordringer knyttet til den praktiske implementeringen av systemet, og få det til å fungere i et operasjonelt miljø. Hogstmaskinen vi benyttet er så vidt vi vet den første hogstmaskinen i verden som kjører operasjonelt med et slikt nøyaktig posisjoneringssystem, og John Deere har vært interessert i utviklingen i prosjektet – kanskje med tanke på å få lignende systemer integrert i fremtidens hogstmaskiner.

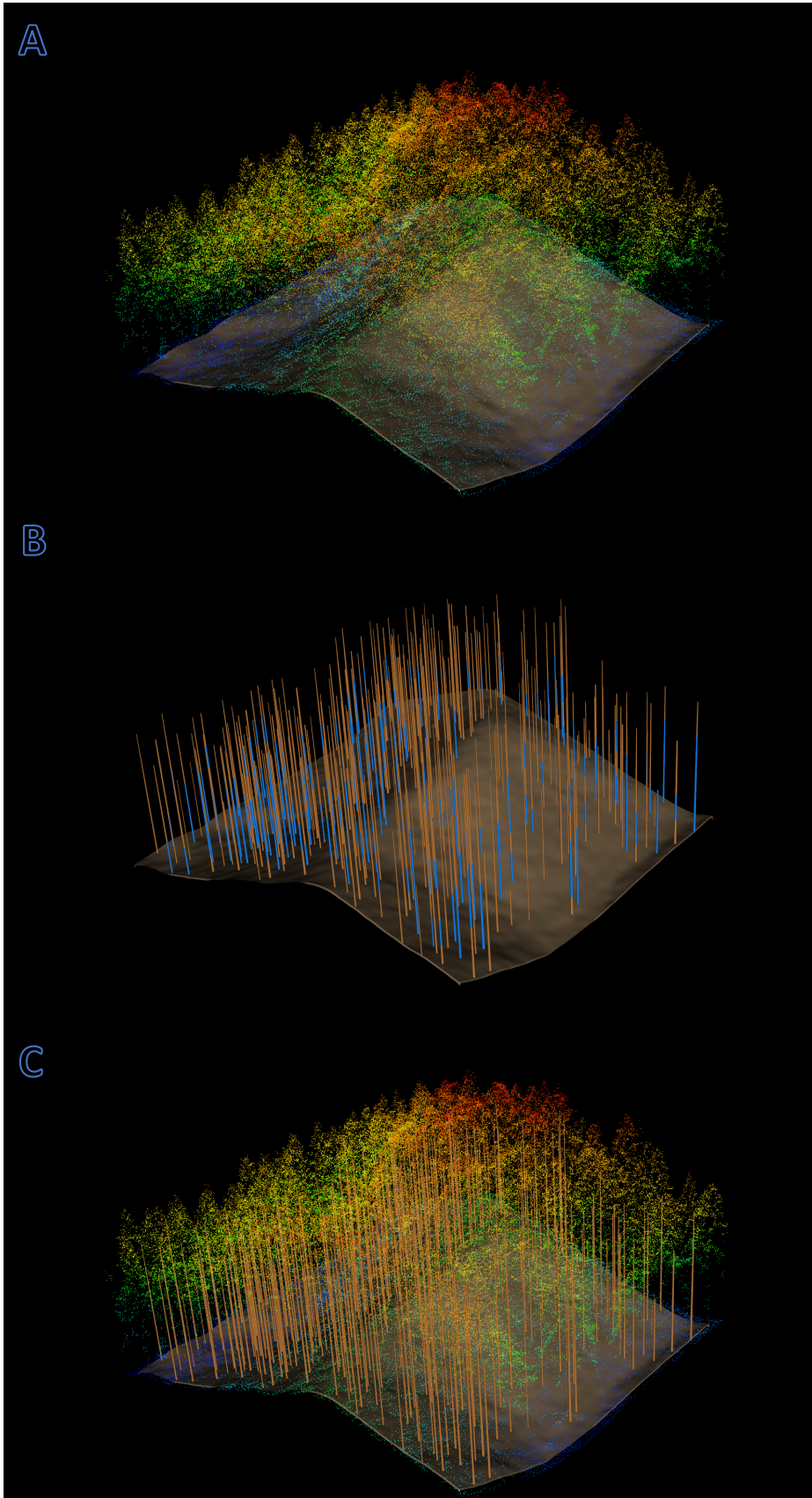
Nøyaktigheten på posisjoneringen av trærne som avvirkes har blitt undersøkt gjentatte ganger for å avdekke eventuelle problemer med systemet. På 50 kontrollmålte trær så ga systemet en posisjoneringsnøyaktighet på 0,75 m og med standardavvik på 0,4 m. Maksimalt avvik var på 1,96 m. Resultatene ble sammenlignet med en enkel GPS som ble montert direkte på hogstaggregatet. Disse enkle GPS-målingene viste en gjennomsnittsfel på hele 7 m og flere feil over 20 m.

Totalt ble det avvirket ca. 55000 trær som ble posisjonert med systemet. Ut fra disse ble det simulert prøveflater (aggregert trær innenfor arealenheter som tilsvarer tradisjonell prøveflater) for å sammenligne med manuelt oppmålte prøveflater til bruk i utarbeidelse av en skogbruksplantakst. Regresjonsmodeller ble så utviklet og disse ble basert på forholdet mellom laserdata og felldata fra henholdsvis ordinære prøveflater og de «simulerte» prøveflatene fra hogstmaskindata. Resultatene viste at modellene ble like gode ved å benytte de to alternative settene av prøveflatedata for modellutvikling.

I Norge er det middelerverdier som volum per dekar, middelhøyde, middeldiameter og overhøyde som beregnes ved skogbruksplantakster. Det er gjort forsøk på å skaffe informasjon om dimensjonsfordelingen også, men dette har ikke blitt tatt i operativ bruk da det trolig vil kreve større kalibreringsflater (prøveflater) for å fange variasjonen i dimensjon. Ved bruk av prøveflatedata fra hogstmaskindata kan man simulere prøveflater i ønsket størrelse. Forsøk gjennomført som en del av arbeidspakken viser at man trolig bør doble prøveflatestørrelsen når man ønsker dimensjonsfordeling som en del av informasjonen fra en takst.

Skogfagstudenten Tallak Dieset har vært tilknyttet prosjektet, og i sin masteroppgave undersøkte han om det er mulig å lage modeller som sier noe om fordelingen av massevirke og sagtømmer.

Informasjon om kvalitet registreres når trærne avvirkes, og er et eksempel på data fra hogstmaskinen som ikke er tilgjengelig fra manuelle registreringer. Figur 5 viser laserdata (Figur 5A), stammedata fra hogstmaskin med sagtømmer merket blått (Figur 5B) og laser og hogstmaskindata sammenkoblet (Figur 5C). Kvalitetsinformasjonen ble knyttet sammen med data fra laserskanningen og sagtømmerandel på bestandsnivå ble estimert. Summen av de tilfeldige og systematiske feil ble på hele 29 prosent, men på grunn av tekniske problemer med den implementerte løsningen i hogstmaskinen på det tidspunktet studenten gjorde sitt arbeid, var bare et lite datamateriale tilgjengelig da arbeidet med masteroppgaven pågikk.



Figur 5. Laserdata fra fly (A), stammedata fra hogstmaskin med sagtømmer merket med blå farge (B) og laserdata og hogstmaskindata sammenstilt (C).

Arbeidspakken omfattet også en studie hvor data om individuelle trær, ekstrahert fra hogstmaskindata og laserdata fra flybåren laser, ble brukt sammen med bestandsdata fra ordinær takst til å predikere dynamisk E-modul til individuelle planker.

Prediksjonsmodellene er basert på 611 planker fra fire bestand i Hadelandsregionen. Viktige bestandsvariable var høyde over havet, bonitet og alder. Når en kombinerte data fra alle informasjonskildene, var alder den eneste signifikante bestandsvariabelen. Trehøyde og ulike variabler som beskrev krona var viktige forklaringsvariabler ekstrahert fra laserdataene, mens stammediameter i ulike høyder, i tillegg til avsmalning, var viktige forklaringsvariabler ekstrahert fra hogstmaskindataene. Modellen som brukte data fra alle informasjonskildene, predikerte den dynamiske E-modulen best. Hvis en skal bruke slike modeller i forbindelse med avvirkning, må posisjonen til hvert individuelt tre være kjent. Modellen forklarte 44 prosent av variasjonen i dynamisk E-modul. Hvis en brukte individuell trelaster i stedet for middel bestandsalder, forklarte modellen 49,5 prosent av variasjonen. Det viser at slike modeller mest sannsynlig er bedre egnet til å predikere styrken til trelast fra ensaldrede bestand enn styrken til trelast fra bestand der alderen til trærne varierer.

En kan videre tenke seg mange muligheter for bruk av nøyaktig stedfestede data fra avvirkninger, utover det å erstatte feltmålinger i en takst. Dette gjelder både innen forskning og i operasjonell bruk. Mange av resultatene i arbeidspakken og prototyper av posisjoneringssystemet vil vi fortsette å arbeide med og utvikle videre i perioden 2018-2021 i NFR-prosjektet *Precision* der man skal få mer detaljert kunnskap om rotråte for å redusere økonomisk tap på grunn av råte.

Publikasjoner

- Dieset, T. 2017. Estimering av sagtømmerandel ved hjelp av flybåren laserskanning. Masteroppgave. Norges Universitet for miljø- og biovitenskap.
- Fischer, C., Høibø, O. A., Vestøl, G. I., Hauglin, M., Hansen, E. & Gobakken, T. (2018). Predicting dynamic modulus of elasticity of Norway spruce structural timber quality by forest inventory, airborne laser scanning and harvester-derived data. *Scandinavian Journal of Forest Research*, in press.
- Hauglin, M., Hansen, E.H., Næsset, E., Busterud, B.E., Gjevestad, J.G.O., & Gobakken, T. (2017). Accurate single-tree positions from a harvester: a test of two global satellite-based positioning systems. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 32, 774-781.
- Hauglin, M., Hansen, E., Sørngård, E., Næsset, E. & Gobakken, T. (2018) Utilizing accurately positioned harvester data: Modelling forest volume with airborne laser scanning. In submission.
- Oveland, I., Hauglin, M., Gobakken, T., Næsset, E., & Maalen-Johansen, I. (2017). Automatic Estimation of Tree Position and Stem Diameter Using a Moving Terrestrial Laser Scanner. *Remote Sensing*, 9, 350.
- Oveland, I., Hauglin, M., Giannetti, F., Chirici, G., Gobakken, T., Næsset, E., & Maalen-Johansen, I. (2018). Comparison of different methods for tree stem detection. In submission.
- Maltamo, M. Hauglin, M., Næsset, E. & Gobakken, T. (2018). Assessing effects of plot size when estimating diameter distributions by means of airborne laser scanning data. Manuscript.

K3. Verktøy for å møte miljøutfordringen ved økt avvirkning

Anne Sverdrup-Thygeson, Magne Sætersdal, Hans Ole Ørka

Vi Arbeidspakke 3 har utviklet verktøy for å møte miljøutfordringene ved en eventuell økt avvirkning. Vi har undersøkt hvorvidt viktige livsmiljø kan predikeres ved hjelp av data fra AR5, skogbruksplaner, terrengmodeller og/eller flybåren laser. Vi har også undersøkt konfliktgrad mellom vegtraséer og livsmiljø på Vestlandet.

Romlig fordeling av MiS-miljøer

I forbindelse med skogbruksplanleggingen utføres det registrering av viktige livsmiljøer for rødlistede arter i skog innen hogstklasse 4 og 5 (MiS-registreringer). Resultatet av registreringene i skogbruksplanleggingen gir en oversikt over den romlige fordelingen av viktige livsmiljøer på de produktive skogarealene på kommune- og eiendomsnivå. Denne kunnskapen om den romlige fordelingen av viktige livsmiljøer vil potensielt kunne gjøre det mulig å prioritere avvirkning i deler av landskapet der det er lav tetthet av viktige livsmiljøer, og likedan vil det kunne gjøre det mulig å prioritere ^{hensyn} til biologisk mangfold i form av for eksempel naturreservater i deler av landskapet der det er høy tetthet av livsmiljøer.

Å få kunnskap om romlig fordeling av livsmiljøer i relasjon til viktige landskapsvariabler vil også kunne hjelpe oss å gjøre forenklinger i registreringsmetodikken. En mulig tilnærming vil være å bare gjøre feltregistreringer der det er høy sannsynlighet for å finne MiS-livsmiljøer. Hvis det for eksempel skulle vise seg at livsmiljøene finnes konsentrert til arealer med høy bonitet, eller i bratt terreng, så kan registreringene i større grad konsentreres til disse landskapsavsnittene. På den måten kan registrering på andre arealer som har lav tetthet av livsmiljøer reduseres eller sløyfes helt, forutsatt at arronderingen av arealene legger til rette for dette.

I dette prosjektet undersøkte vi den romlige fordelingen av MiS-livsmiljøer slik de er registrert i til sammen 10 kommuner på Østlandet og Sørlandet. Resultatene fra denne undersøkelsen ble deretter brukt til å teste om vi med stor grad av sikkerhet kunne predikere fordelingen av MiS-livsmiljøer i 10 andre kommuner fra Østlandet og Sørlandet.

Det første vi dokumenterte var at MiS-miljøene ikke er tilfeldig fordelt innen skog i hogstklassene 4 og 5. Det er en klar klumping av MiS-miljøer på landskapsskala, og denne klumpingen er størst på avstander opp til noen få kilometer. For å forstå hvorfor det er slik undersøkte vi om forekomsten av MiS-miljøer kunne relateres til de fire landskapsvariablene helning, bonitet, høyde over havet og avstand fra vei. Resultatene viser tydelig at de fleste MiS-miljøer er overrepresentert i bratt terreng, på høy bonitet og på lavere høyder over havet. Når det gjelder avstand fra vei er bildet annerledes. Her er det to livsmiljøer som skiller seg ut ved å være klart overrepresentert på lengre avstander fra vei, nemlig *Gamle trær* og *Liggende død ved*. I tillegg viser *Trær med hengelav* et lignende mønster, men her er tallene små og dermed mer usikre.

Generelt kan man si at det er to hovedfaktorer som bidrar til å forklare den romlige fordelingen av habitater på landskapsnivå. Det første er miljøfaktorer, og det andre er tidligere menneskelig

påvirkning. Et landskaps historie reflekterer den menneskelige påvirkningen i tid og rom, og hvordan de to faktorene henger sammen.

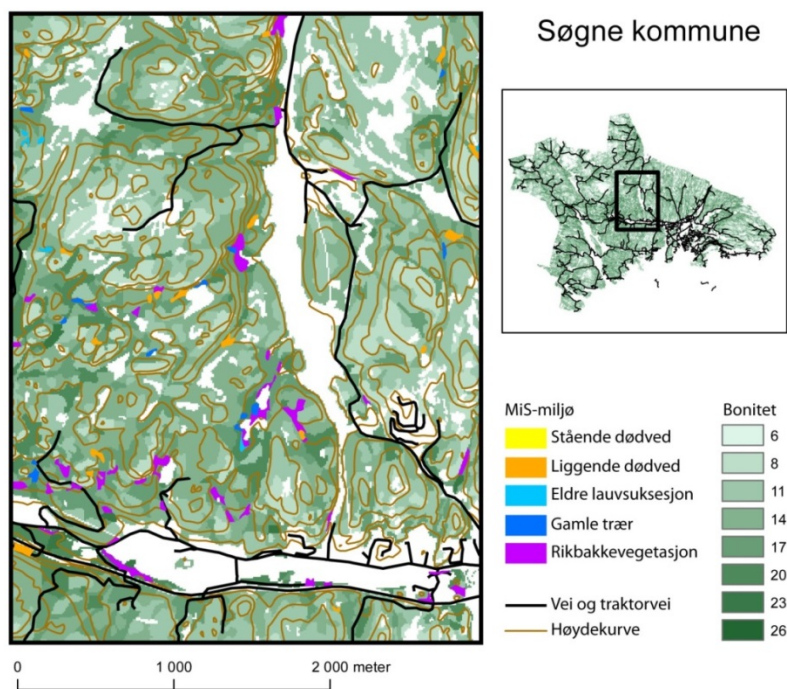
De tre MiS-miljøene som er overrepresentert lengre fra vei enn forventet er interessant nok livsmiljøer som er best representert i gammel skog, nemlig *Liggende død ved*, *Trær med hengelav* og *Gamle trær*. Vår tolkning av dette er at det reflekterer variasjon i hogstintensitet og tid siden siste plukkhogst, som igjen reflekterer transportavstander for tømmeret.

Graden av menneskelig påvirkning vil på mange måter henge sammen med alle landskapsvariablene våre. Gårdsbruk er typisk lagt til dalbunner eller dalsider der produktiviteten er høy. I tidligere tider var slåtte- og beitepåvirkningen større enn i dag. Resultatet av dette er at store arealer med tidligere produktiv slåtte- og beitemark (særlig i tungdrevne bratte lier) har grodd til de siste 100 årene og utviklet seg til løvskogsbestand. Mange av disse vil i dag bli registrert som *Eldre løvsuksesjon*, *Rikbarkstrær* eller *Rik bakkevegetasjon*. De vil ofte ligge i bratt terreng, på høy bonitet og i nærhet til gårdsbrukene, altså lavere i terrenget enn tilfeldig.

En viktig konklusjon vi kan trekke fra prediksjonsanalysen er at det er svært stor variasjon i prediksjonsevnen fra kommune til kommune og mellom ulike MiS-livsmiljø. Det betyr at vi ved å benytte våre landskapsvariabler (helning, bonitet, høyde over havet og avstand fra veg) ikke kan vite på forhånd om prediksjonsmodellene vil fungere i en gitt kommune, og dette gjør det vanskelig å gi generelle anbefalinger. Imidlertid kan det synes som om MiS-arealer i kommuner på Sørlandet og i Telemark i gjennomsnitt predikeres vesentlig bedre enn kommuner på Østlandet. Østlandskommunene er karakterisert av forholdvis jevne landskapsformer, mindre innslag av næringsrik vegetasjon og større innslag av langlivet furu. På den andre siden har vi kommuner på Sørlandet der gjennomsnittet for prediksjonssuksessen ligger høyt. Dette er kommuner som Åseral og Vegårshei. Begge to er typiske sørlandskommuner med småkupert terreng på landskapsnivå med store forskjeller i morenedekke og i næringsrikhet, ofte relatert til beliggenhet i terrenget. Typisk er relativt næringsfattige åsrygger og næringsrike helninger og dalbunner.

I undersøkelsen av den romlige fordelingen av MiS-miljøer i relasjon til vegplaner på Vestlandet viste det seg å være vanskelig å få nok data fra skogbruksplanleggingen. Analyser basert på et begrenset datasett antyder at overlappet mellom MiS-miljøer og vegplaner ikke er større enn gjennomsnittlig overlapp for all skog i hogstklasse 4 og 5.

Dette prosjektet må sees på som et første skritt i arbeidet med å utarbeide et forskningsbasert grunnlag for å innføre effektiviseringer i MiS-metodikken uten at dette i nevneverdig grad går ut over kvaliteten på registreringene. Resultatene er delvis positive med tanke på å utvikle modeller for hvor i landskapene det bør gjøres registreringer. Forutsetningene synes å være særlig gode i landskap med sterke gradienter i bonitet og helning. Det vil være naturlig i det videre arbeidet å avgrense regioner med lignende type landskapsutforminger, samt å vurdere hvordan fjernmåling kan hjelpe til med å nå målet om mer kostnadseffektive registreringer.



Figur 6. Kartutsnitt fra Søgne kommune som viser fordeling av MiS-miljøer i landskapet.

Flybåren laser og gammel naturskogs nær skog

Fjernmåling kalles målinger der det ikke er direkte kontakt mellom måleinstrumentet og det som skal måles. Ofte snakker vi om målinger gjort fra et fly eller en satellitt. Én variant er sensorer som bare fanger opp stråling som sendes ut fra verden der nede, som ulike typer fotografering. En annen variant sender aktivt ut signaler, som radar eller laserstråler, og måler tiden til signalet kommer tilbake. Litt som om du kaster en sprettball i bakken - og så måler tiden det tar før den spretter tilbake til hånden din. Jo lenger det er ned, jo lengre tid tar det. Slik kan vi gjenskape et bilde av skog over store arealer, på en kostnadseffektiv måte.

I dette delprosjektet har vi brukt flybåren laser til å se på skogen. Det er ikke noe nytt i seg selv - Norge har lenge ligget langt fremme i bruk av laserdata til kartlegging av skogressurser. Men hittil har fokus vært på tømmerressursene. Det nye nå er at vi har brukt laserdata til å kartlegge den eldste og minst påvirkede skogen – den vi gjerne kaller gammel naturskog.



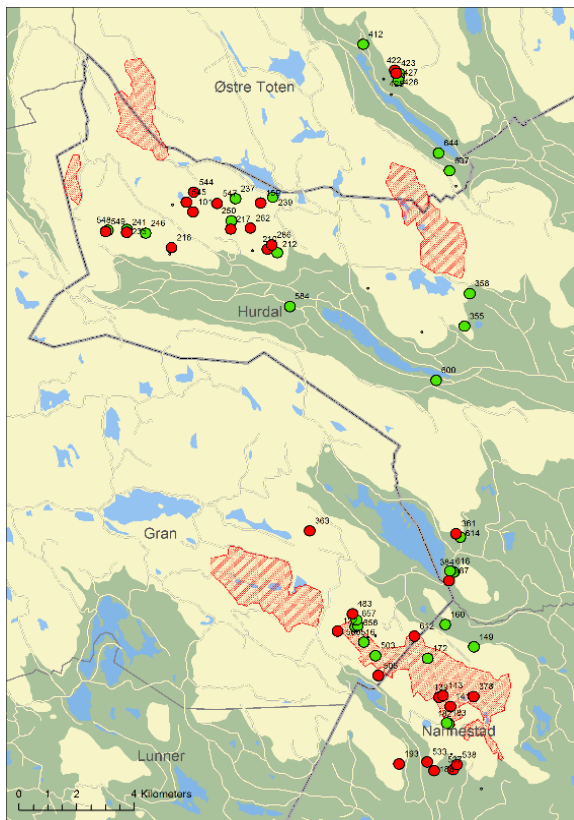
Foto 2. Gammel kulturskog og gammel naturskogs nær skog. Foto: Anne Sverdrup-Thygeson

Omtrent all skog i Norge har blitt brukt og påvirket av mennesker opp gjennom historien, men i ulik grad. For å ta den veldig enkle versjonen, kan vi si at vi har to varianter av gammel granskog i Norge:

Størstedelen av det produktive skogarealet er vinklet mot å produsere mest mulig tømmer. I slik gammel granskog ble alle trærne i skogbestandet hogd en gang midt i forrige århundre, og millioner av nye smågraner plantet ut for å sikre rask gjenvekst av nye tømmertrær. Denne skogen har siden blitt skjøttet og stelt, her er trærne jevngamle og jevnstore, og det er lite døde trær. Denne skogen står nå straks klar for å høstes og bidra til det grønne skiftet.

I tillegg har vi fremdeles en rest igjen av den granskogen der enkelttrær har blitt plukket ut og hogd, gjerne et stykke tid tilbake. Her finnes trær i ulike størrelser og aldre, inkludert døde trær som huser en stor andel av skogens artsmangfold. Slik skog utgjør ifølge en rapport fra NIBIO mindre enn 25 prosent av skogarealet.

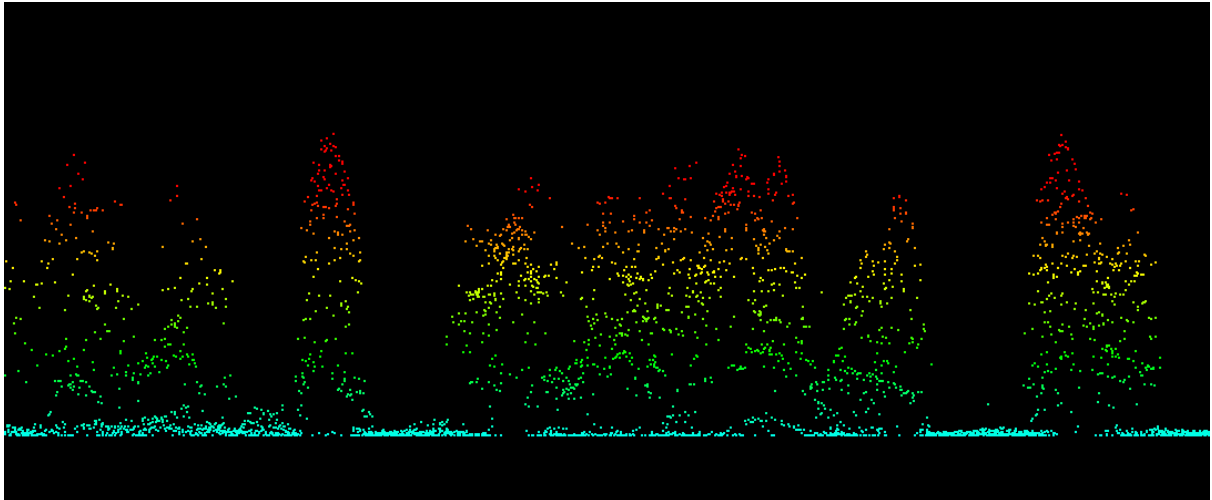
Og det er her, i den fjerdedelen av norsk skog som aldri har vært flatehogd, at vi har størst sjans for å finne skog med store naturfaglige kvaliteter. For selv om også denne skogen har blitt påvirket av mennesker, er omfanget mindre og ligger lenger tilbake i tid. Derfor er skogstrukturen i slik naturskognær skog annerledes, og dette har konsekvenser for artsmangfoldet. Vi ser for eksempel at nesten alle funn av rødlistede sopparter er fra slik skog.



Figur 7. Studieområdet på Mathiesen-Eidsvold Værk, med grønne sirkler markerer gammel kulturskog og røde sirkler markerer gammel naturskognær skog. Rød skravur viser naturreservater, og grå linje viser eiendomsgrensen.

Det viste seg da også at nettopp disse forskjellene i skogens arkitektur gjorde det mulig å skille den gamle naturskogen fra eldre kulturskog, ved hjelp av flybåren laser. Vi brukte data fra et skogområde på Østlandet som både har detaljerte laserdata, og gamle kart som beskriver skogens alder og hvor det er hogd den siste menneskealderen. Dermed kunne vi undersøke om laserdataene klarte å skille

ut gammel skog som aldri har vært flatehogd. Og det fungerte: i 9 av 10 tilfeller traff vi med modellen vi lagde. Både vanlig brukte laseravledete variable og nye variable som så på skogens horisontale struktur (størrelse og fordeling av åpninger i skogen), kunne brukes til å skille mellom de to typene av skog.



Figur 8. Illustrasjon av gammel naturskogs nær skog i studieområdet, basert på data fra flybåren laser.

Hva kan vi bruke dette til? Skognæringen ønsker økt aktivitet i skogen, men ønsker også å ta riktige miljøhensyn. Med data fra flybåren laser, som allerede finnes for mye av norsk skog, kan man enkelt og rimelig skille ut gammelskog med stort potensial for høye naturverdier, og sikre at denne kartlegges grundig og at tilstrekkelige miljøhensyn tas.

Som et tilleggselement i delprosjektet har vi også kartlagt skogstruktur, viktige miljøelementer som død ved, samt gjort enkle artsregistreringer i det samme studieområdet. Hensikten var å undersøke grad av samsvar mellom de strukturelle forskjellene som laserdataene påpeker, og feltmålte strukturdata. Dessuten ønsket vi å undersøke om arter med antatt tilknytning til naturskogs nær skog forekom i ulik hyppighet i gammel naturnær skog og i gammel kulturskog.

Forskningen i dette delprosjektet har vakt betydelig interesse hos miljømyndighetene, og har blitt fulgt opp med videre arbeid, på oppdrag for Miljødirektoratet REF rapporten. Også Skogmeldingen høst 2016 slår fast at kartlegging av den eldste skogen skal prioriteres.

Publikasjoner

- Gough, LA, Bendiksen, E & Sverdrup-Thygeson, A. In prep. Different communities of old growth species in old production forests than old near-natural forest plots.
- Lind Jensen, Helene, 2016. Herbivorous insect diversity in boreal forest: a comparison between old near-natural forest and old managed forest in south-eastern Norway. Norwegian University of Life Sciences, Ås. Permanent link: <http://hdl.handle.net/11250/2403379>
- Norseng, Charlotte, 2016. Does species richness and abundance of saproxylic beetles differ between old near-natural and old managed forest in south-eastern Norway? Norwegian University of Life Sciences, Ås. Permanent link: <http://hdl.handle.net/11250/2403117>
- Sverdrup-Thygeson, A., Ørka, H. O., Gobakken, T. & Næsset, E. 2016. Can airborne laser scanning assist in mapping and monitoring natural forests? - Forest Ecology and Management 369: 116-125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.035>
- Sætersdal, M., Gjerde, I., Heegaard, E., Schei, F. H. & Nilsen, J. E. Ø. 2016. History and productivity determine the spatial distribution of key habitats for biodiversity in Norwegian forest landscapes. Forests 7: 1-14.
- Sætersdal, M., Gjerde, I., Heegaard, E., Schei, F. H. & Nilsen, J.E. In prep. Predicting spatial distribution of woodland key habitats at the landscape scale.
- Sætersdal, M., Gjerde, I., Heegaard, E., Schei, F.H. & Nilsen, J. E. 2017. Forenkling av MiS-registreringer I felt ved hjelp av prediksjonsmodeller. NIBIO rapport, Vol. 3, Nr. 122.

K4. Nye metoder for planlegging og oppfølging av avvirkning og veibygging

Bruce Talbot, Marek Pierzchala, Jan Bjerketvedt

Arbeidspakke 4 handlet om skogbrukets driftsteknikk, med fokus på en modernisering av teknikker og metoder anvendt i forbindelse med hogstplanlegging, prestasjonsstudier, evaluering av driftsflater, samt skogsbilveiens geometri og tilstand. AP4 skulle deretter bygge videre på optimeringsmodeller utviklet under prosjektets forgjenger, Greenwood, med ambisjoner om bedre å kunne kartlegge områder etter best egnede hogstmetode. Prosjektet ble bevilget med bakgrunn i problematikken omkring bratt og vanskelig terreng, og det er også der hovedfokuset ligger.

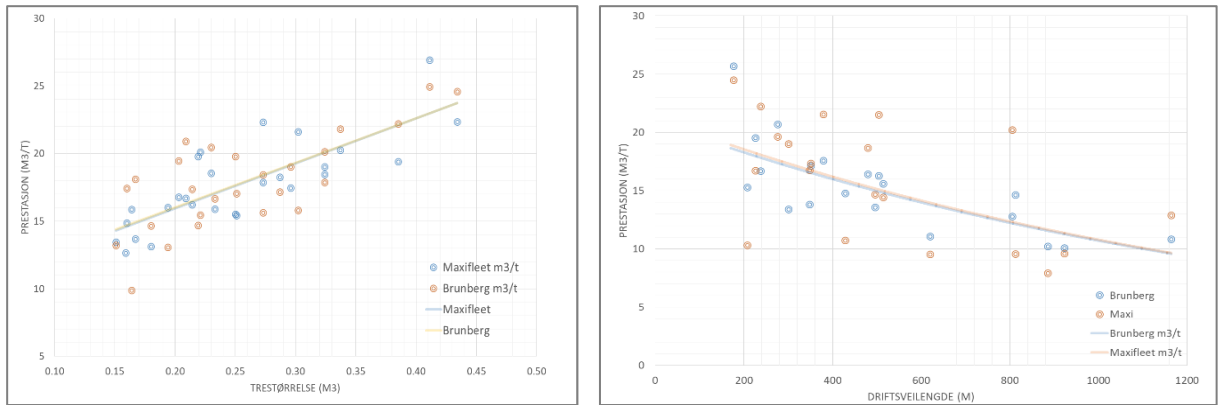
Prestasjons- og kostnadsstudier

Arbeidet startet med formålet om å oppdatere prestasjonsfunksjonene, blant annet for tilpasning av Heureka-modellen (AP5) for norske forhold. Dette gjelder spesielt for fjellnære skogsområder og i mer vanskelig terreng sammenlignet med de forholdene som lå til grunn for Heurekas utvikling i Sverige. På grunn av dette ble innsatsen rettet mot bruk av hogstmaskin og lassbærer i utfordrende terreng, til gravedrifter samt taubaner.

For hogstmaskin og lassbærer tok vi utgangspunkt i Brunbergs prestasjonsfunksjoner, utviklet av Skogforsk i Sverige. Funksjonene bygget på hogstdata samlet inn over flere tiår, noe som gir en god innsikt i variabler som påvirker skogsmaskinens prestasjonsevne. Funksjonene vi benyttet modellerte variabler slik som helning, overflatestruktur og behov for forhåndsrydding, samt andre forhold som gjør at modellen lettere kan tilpasses norske forhold.

Vi testet Brunbergs funksjoner opp imot faktiske maskindata fra hogst i dal- og fjellskog. Som sammenlikningsgrunnlag benyttet vi produksjonsdata fra et større entreprenørfirma på Østlandet, stilt til rådighet, via Komatsus informasjonssystem MaxiFleet. På denne måten ble det mulig å utføre bestandvise sammenlikninger, med relativt høy oppløsning. Ved hjelp av iterativ tilpasning ble hovedparameterne i Brunberg-funksjonene justert inntil de stemte overens med det norske datasettet.

Resultatene viste at produktiviteten prestasjonen i det norske datasettet ligger noe lavere enn for de opprinnelige funksjonene, men var representative for dal- og fjellskog (Figur 9).



Figur 9. Eksempel på tilpasning av svenske prestasjons funksjoner til produksjonsdata for en større skogsentreprenør på Østlandet (hogstmaskin på venstre, lassbærer til høyre).

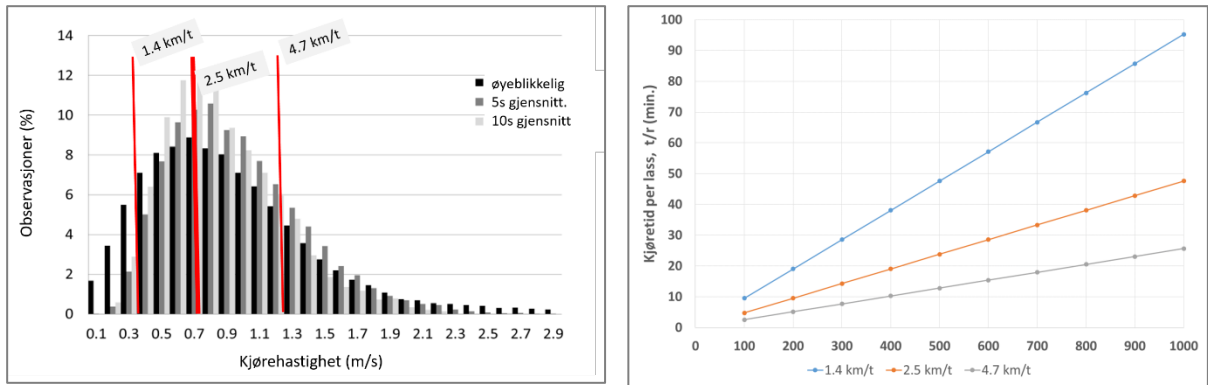
Figur 9 viser effekten av hovedparameterne middelstamme for hogstmaskin (venstre) og driftsveilengde for lassbæreren (høyre). Det er forholdsvis mye spredning i observasjonene, og særlig for lassbæreren er variasjonen i prestasjon (y-aksen), for det norske datasettet, større enn for de tilsvarende verdiene modellert fra Brunbergs funksjon.

For lassbærer var det forventet at driftsveilengder og terrengforhold for fjell- og dalskog ville kreve en større del av lastbærerens arbeidstid enn for modellene utviklet under svenske forhold. Vi samlet derfor GPS- og gyroskopdata fra ti lassbærere over flere måneder. Disse dataene muliggjorde kontroll av kjørehastigheter og driftsveienes geometri.



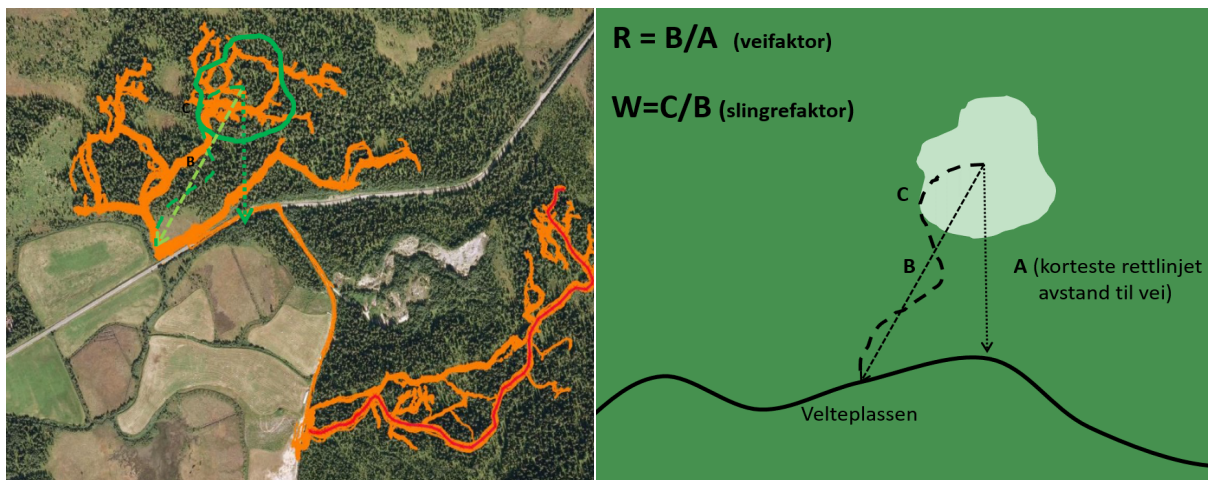
Figur 10. Bruk av lassbærerens GPS-sporlogger data for å beregne kjørehastigheter (venstre) og driftsveiens geometri (høyre).

Kjørehastigheter på driftsvegene varierte mellom 1,4 og 4,7 km/t, alt etter terrengforhold (Figur 11). Gjennomsnittshastigheten lå på 0,7 m/s, 2,5 km/t (Figur 5). For 600 m driftsveilengde går det en knapp time per lass med kjøring når det kjøres sakte (1,4 km/t) og rundt et kvarter når det kjøres raskere (4,7 km/t). Gjennomsnittshastigheten på 0,7 m/s gir et tidsforbruk på cirka 30 min for samme tur.



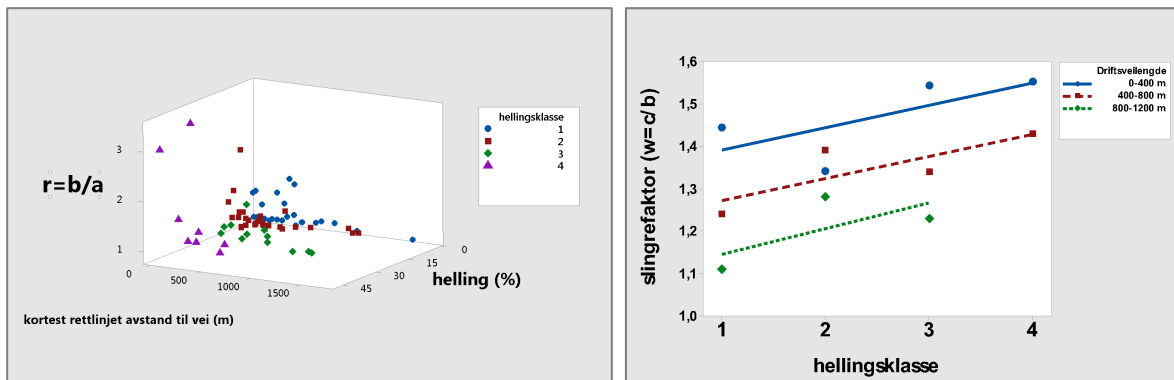
Figur 11. Fordeling av observerte kjørehastigheter (venstre) og tidsforbruk til kjøring pr. lass med tilsvarende hastigheter (høyre).

De samme dataene som ble benyttet fra lassbærerne ble brukt til å kvantifisere terrengforholdenes effekt på driftsveilengden. To faktorer ble analysert: veifaktor og slingrefaktor. (Figur 12). Veifaktoren (R) er definert som forholdet mellom korteste rettlinjede avstand fra bestandets midtpunkt til velteplassen (B) versus vei (A). Slingrefaktoren (w) er definert som forholdet mellom kjørt driftsveilengde (C) versus rettlinjert avstand (B) til velteplassen. GPS-sporlogging ble benyttet til å beregne både veifaktoren og slingrefaktoren for i alt 120 bestand. Beregningene tok også hensyn til høydeforskjellene.



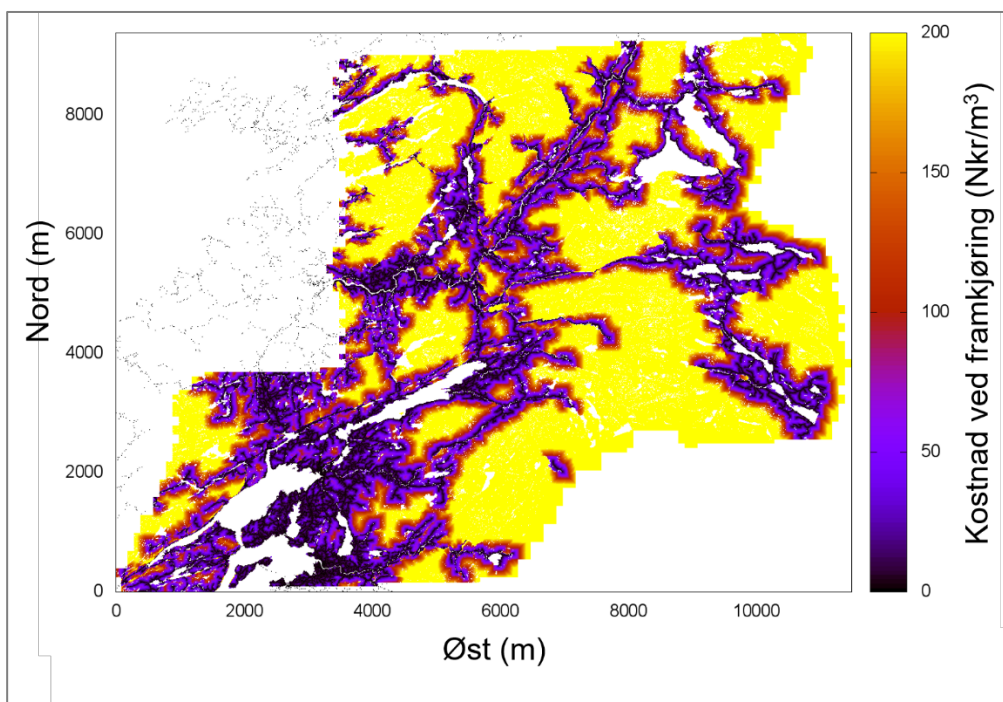
Figur 12. Bruk av lassbærerens sporlogg data (venstre) til beregning av driftsveiens geometri (høyre).

Både veifaktoren og slingrefaktoren hadde sine laveste verdier ved lange driftsveilengder (> 1000 m, Figur 13). For driftsveilengder mellom 400 og 800 m økte den gjennomsnittlige slingrefaktoren med økende helling fra 1,25 til 1,4. Slingrefaktoren for kortere driftsveilengder (< 400 m) varierte fra 1,4 til 1,55. For driftsveilengder over 800 m varierte slingrefaktoren mellom 1,15 og 1,25. Både veifaktor og slingrefaktor kan enkelt beregnes i en brukervennlig Excel-modell. I GIS-programvare er det relativt enkelt å beregne korteste rettlinjede avstand fra et punkt og frem til nærmeste vei (linje A i Figur 4), for ett større utvalg av bestand. For å predikere faktisk driftsveilengde, tas det hensyn til produktet av både veifaktoren og slingrefaktoren (w x r).



Figur 13. Effekten av avstand fra vei og terreghelling på driftsveiens geometri (veifaktor= r på venstre, slingrefaktor= w til høyre). Kortest rettlinjert avstand til vei.

Dataene om lassbærerens kjørehastigheter, samt maskinens helling under kjøring (både i og på tvers av kjøreretningen), ble innsamlet via innmontert iPad. Ved å sammenligne disse resultatene med høyoppløst digitale terrengmodeller (DTM fra ALS), estimerte vi en ny parameter for å kvantifisere kjørehastighetene ytterligere. I starten av prosjektet ble terrengmodellene generert i 1 x 1 m fliser, som var for grovt for å kunne klassifisere mikrotopografien, for deretter å aggregeres til 16 x 16 m-celler for å passe med pålitelige skogdata fra SR16. Deretter ble det utviklet algoritmer for å foreslå driftsveier innen begrensninger forgitt helning (både i- og på tvers av kjøreretning) og estimering av kjørehastighet. Det samlede tidsforbruket per lass kunne dermed beregnes og benyttes for å estimere framkjøringskostnader for samtlige celler i et gitt datasett. Dette kan gjøres både på landskapsnivå, distriktsnivå eller på regionnivå (Figur 14).



Figur 14. Bruk av digitale terrengmodeller for klassifisering av distrikts- og regions-vise framkjøringskostnader.

I første omgang ble analysene av prestasjoner gjennomført med den hensikt å tilpasse funksjonaliteten i Heureka (AP5) til norske forhold. Videre er funksjonene benyttet som beregningsgrunnlag for fjell- og dalskog i Skogkurs' «Produktivitets- og kostnadskalkulator for

skogsdrift». De oppdaterte faktorene for driftsveiens geometri kan også anvendes for å bedre estimerte driftsveilengder, i de tilfellene der en rett linje fra GIS ikke er tilfredsstillende.

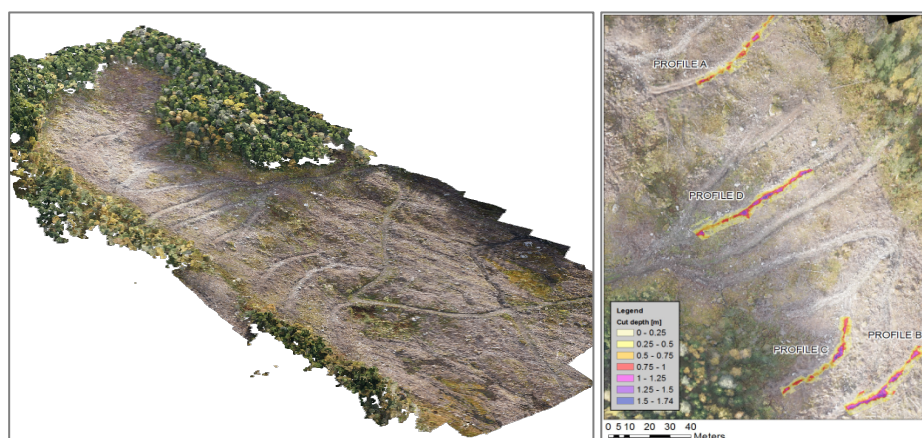
De DTM-baserte kostnadsberegningene som er vist i Figur 14 videreutvikles løpende og har et stort potensial som verktøy til beregning av null-områder, det vil si for etablering av grenseverdier der i områder der det er ikke er økonomisk lønnsomt å drive skogbruk. På samme måte har slike beslutningsverktøy potensialet for å gi mer nøyaktige estimater av veiens nytteverdi i forbindelse veibygging, for eksempel til en områdeplan.

Gravedrifter

Gravedrifter ses på som en løsning mellom hogstmaskin/lassbærer og taubane for bratt terreng. Via et tett nett av traktorveier får skogsmaskiner tilgang til områder som ellers måtte avvirkes manuelt.

En av de største fordelene med gravedrifter er redusert arbeidsbelastning og økt sikkerhet. Ved prosjektets oppstart stod gravedrifter for hoveddelen av volumuttaket i bratt terreng —sannsynligvis 3-4 ganger volumet for taubanedrift. Gravedrifter varierer i størrelse, og våre feltstudier viste at det var store variasjoner mellom gravedriftene. I noen tilfeller krevdes det omfattende graving, mens i andre ikke.

Når det gjaldt gravedrifter rettet vi derfor hoveinnsatsen inn på utvikling av nye metoder innen digital fotogrammetri, for bedre å kunne estimere mengden masseforflytting. Metoden var basert på analyse av dronebilder, noe som gav nøyaktige estimater av masseforflytting per løpende meter traktorvei.



Figur 15. Beregning av masseforflytting i forbindelse med gravedrifter. 3D terrengmodell dannet på basis av dronebilder (venstre) og automatiserte måling av skjæredybde for beregningene (høyre).

Selve metoden som ble utviklet i prosjektet har et stort anvendelsespotensiale og har fått internasjonale anerkjennelse. Masseforflytting utgjør en betydelig andel av kostnadene ved konstruksjonen av skogsbilveier, og metoden vil kunne være nyttig ved beregning av anleggskostnader for gitte strekninger etter bygging. Den samme modellen kan også danne grunnlag for hydrologiske analyser av endrede avrenningsmønstre, for på den måten finne områder der entreprenørene bør ta hensyn når det gjelder dreneringsforhold.

Taubaner og automatisering av datafangst

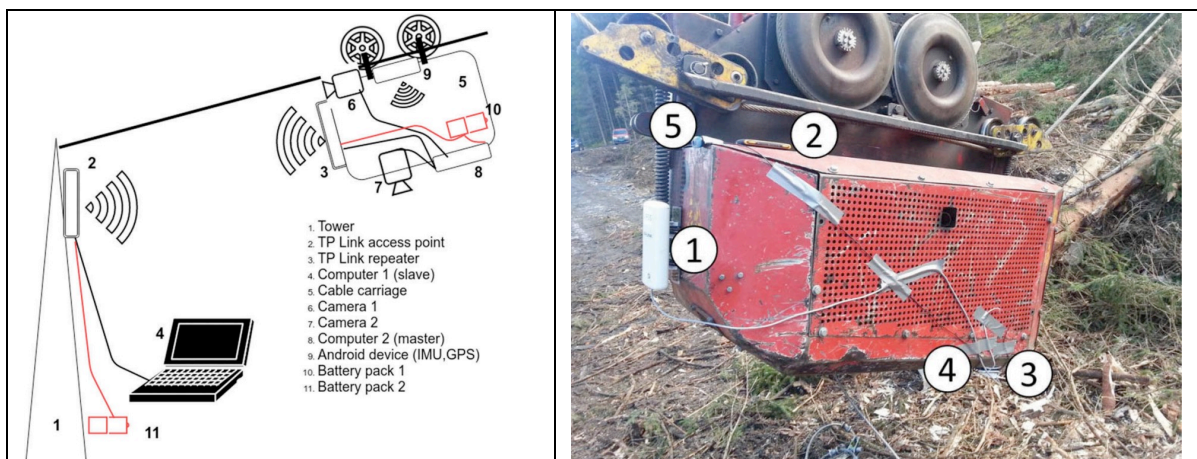
Tidlig i prosjektet undersøkte vi flere aktive taubanesystemer: lastbilmonterte Konrad Mouny med fast bærekabel, en Konrad vinsj bygget på lekter, Zöggelers gravemaskin monterte bane med løpende bærekabel, samt Owrens T250, 350 og 400.

Etter stormen Dagmar var mye av taubanekapasiteten fortsatt i opprydningsarbeid, og ikke så ofte i normal drift. Vi fikk likevel gjennomført en rekke mindre tidsstudier, som blant annet resulterte i to masteroppgaver og én bacheloroppgave. Sluttresultatene ble benyttet til oppdatering av en generell prestasjonsmodell for bruk i Heureka. Taubanedrift direkte til lekter var også et tema for studiet, og ligger i skjærepunktet mellom driftsteknikk og infrastruktur.



Figur 16. Taubanedrift direkte på lekter (venstre) løser mange problemer knyttet til infrastruktur og INON, men entreprenøren må bære store kapitalkostnader. Opprydning etter stormen Dagmar (høyre) økt omsetning men senket prestasjonsnivået i taubanemiljøet i hele 3 år (her ved Mundalsskreda, Fjærland).

I motsetning til helmekanisert drift med hogstmaskin og lassbærer, har taubanedrift en høy andel tid knyttet til rigging og flytting, samt mye driftsforstyrrelser. I motsetning til for helmekaniserte drifter finnes det per i dag finnes ingen standardiserte rapporteringsstandarder eller rapporteringssystemer for taubaner. Av den grunn er konvensjonelle feltstudier av taubaneprestasjoner ressurskrevende, og vi gjorde derfor en innsats for å automatisere datafangsten.



Figur 17. Bruk av sensorer til automatisk fangst av prestasjonsdata under taubanedrift.

Målet var å estimere, ikke bare produksjonstall ved opparbeiding, men også den korrekte fordelingen av tidsforbruk mellom ulike deltidere. Metodikken som ble testet utnyttet funksjonalitet som er typisk for dagens mobiltelefoner, med akselerometer, kompass og gyroskop. Komponentene i systemet bestod av kameraer, mobiltelefon samt en trådløs sender. Senderen var konfigurert og testet både i Østerrike, nord-Italia og Norge.

Resultatene viste at tiden kunne allokere til korrekt arbeidselementene i 78 prosent av tilfellene, mens det i den resterende tiden forekom mindre avvik, som måtte omklassifiseres. Reelt sett utgjør systemet en god løsning for å kunne levere brukbare produksjonsdata i et langt høyere omfang og

oppløsning enn tidligere. I tillegg genereres det kart over hvert oppsett, inkludert posisjon, avstand, helning og kjørehastighet for hvert enkelt lass.

Målet vårt videre er å koble data sammen med tømmer volum og sortimentsutfall fra opparbeidingsaggregat for å gjøre systemet komplett. Det har vært en del interesse fra den Østerrikske taubaneprodusenten Konrad, og idéene tas videre i Horisont2020-prosjektet Tech4Effect.

Posisjonering og navigasjon

Posisjonering og navigering under kronedekket har vært en stor utfordring for skogsmaskiner, siden mottakerforholdene for GPS-signaler hindrer presis navigering.

Vi har derfor ønsket å utvikle nye kartleggings- og navigeringsteknikker basert på fotogrammetri og laserskanning. To aktuelle bruksområder for mer presis posisjonering er navigering av selvgående lassbærer, samt kartlegging av relevante data om skog- og terrengforhold under kronsjiktet.

Autonome lassbærere kan gi 30 prosent lavere framkjøringskostnader, og fristille maskinføreren til å utføre mer krevende arbeid, slik som lasting og lossing. I tillegg spares kapitalkostnaden knyttet til maskinens førerhytte. Structure-from-Motion-metodikken (SfM) muliggjør nøyaktig posisjonering av kameraets i forhold til omgivelsene, og god informasjon om maskinens posisjonsendringer og kjørevstand siden forrige bilde ble tatt. Testing av metoden i lysåpen skog og ga gode resultater, men metoden stiller svært store krav til regnekraft om det hele skal skje i sanntid.



Figur 18. Navigasjon uten GPS ved bruk av Structure-from-Motion (SfM) . De grønne streker visere forandring i posisjoner (venstre) som danner grunnlag for 3-D rekonstruksjon (midten). Den stiplede linje angir posisjon på kameraet (høyre).

En annen måte å navigere på er basert på SLAM (Simultaneous Location and Mapping). Vi utviklet en ny plattform for simultantesting av flere sensorer, både fotogrammetri og laserpunktskyer. En Velodyne VLP-16 3-D laserskanner, med 20 m arbeidsradius ble benyttet til å generere laserpunktskyene. Ved å kjøre i en sløyfe, med retur til kjent utgangspunkt, kunne vi kartlegge både trærnes posisjon og diameter, med etterfølgende korrigerende av mellomliggende posisjoner.

Resultatene viste at metoden kunne posisjonere trærne nøyaktig, diameterestimatene ikke var fullt så nøyaktige.

Arbeidet med SLAM foregikk i samarbeid med Université Laval i Quebec, Canada, og utviklingen av metoden er i dag helt i forskningsfronten på området.

Skogsbilveier

Registrering av eksisterende skogsbilveistandard blir i stor grad gjort gjennom feltbefaringer. For å se på alternative løsninger for å effektivisere dette arbeidet ble det gjennomført en studie på en 4 km lang skogsbilvei i Lardal i Vestfold. Som fasit ble det benyttet en TopCon DGPS-mottager til å

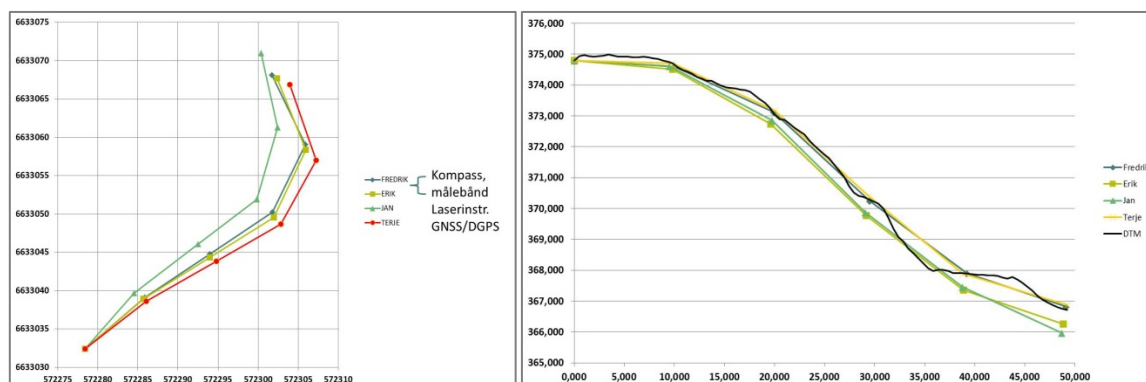
registrere veiens senterlinje. Omtrent 10 prosent av veilengden hadde for dårlige satelittforhold til at ønsket nøyaktighet ble oppnådd.

Registrering av veiens senterlinje med ulike vanlige håndholdte GPSer, iPhone og eksterne Bluetooth GPSer under kjøring med personbil i hhv 10, 20 og 30 km/time ga en XY-nøyaktighet på $\pm 2-3$ meter. Dette er for unøyaktig for å beregne veiens svingradius. Det var også stor variasjon i beregnet stigning på disse instrumentene. Ved bruk av laserdata (10 pkt/m²) og en DTM ble det kun 1,7 prosent forskjell fra DGPS-målingene.

Masteroppgaven «*Registrering av skogsbilveistandard med ulike fjernmålingsmetoder*» (Sundt 2017) sammenlignet ulike metoder for å registrere veiens tverrprofil fra skjæringstopp til fyllingsfot. Fasit var også her en TopCon DGPS-mottager.

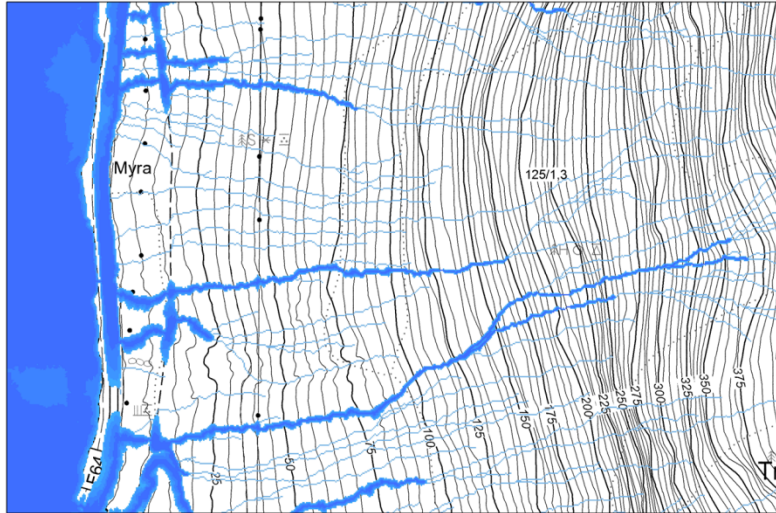
Sammenlignet med referansemålingen, så hadde den flybårne laserskanningen med 5 punkter per m² best nøyaktighet med et gjennomsnittlig høydeavvik på 0,3 m. Høydekurve-datasettet fra FKB med ekvidistanse på 5 m hadde størst unøyaktighet med et gjennomsnittlig høydeavvik på 0,86 meter. Høydedata fra de to flybårne laserskanningene kunne i noen grad benyttes til å registrere veibredde, grøftedybde og helningsgrad på skjæringer eller fyllinger. På tverrprofiler der det var lite vegetasjon på veiskulderen, kunne høydedata fra den mobile laserskanningen registrere veibredde. Høydekurver fra FKB kunne ikke benyttes til å beskrive skogsbilveiens geometriske egenskaper.

Stigningsmåler, kompass og målebånd er den vanligste utrustningen for en skogsbilveiplanlegger. I en liten studie ble to planleggere med standardutrustning sammenlignet med DGPS-målinger, samt en uerfaren forsker med innlånt laserinstrument.



Figur 19. Horisontalprofil (venstre) viser kompassmålingenes avvik i forhold til DGPS (rødt). Vertikalprofilet (høyre) viser stigningsmålerens avvik i forhold til DGPS (gult) og laserskanningsdata (svart).

Både kompass og stigningsmåler er enkle instrumenter og nøyaktighetsnivået kan ikke forventes å ligge i toppklassen. På en 50 meters strekning med kurve viste denne testen et avvik på ca. 2 meter ved bruk av kompass og hhv 5 og 50 cm for stigningsmålerne. Det innlånte laserinstrumentet hadde problemer med avstandsmålingen når det kom kvister i siktelinjen. Det som kommer tydelig frem for vertikalprofilets vedkommende er at man ved bruk av laserskanningsdata får en langt bedre gjengivelse av terrengets variasjon mellom målepunktene.



Figur 20. Kart med beregnet markfuktighet (DTW: mørk blå) og potensielle vannveier (flow accumulation: lys blå).

For skogsveiplanleggerens arbeidsoppgaver vil tilgang til laserdata gi gode muligheter for analyser av terrengets bratthet, hvor det kan være behov for stikkrenner (flow accumulation-analyser) og hvor det kan være dårlig bæreevne i undergrunnen (markfuktighetskart). Ikke minst når det kommer til detaljplanleggingen (prosjektering) vil det å kunne jobbe med en detaljert DTM være svært effektivt med tanke på masseberegninger og dimensjonering av stikkrenner.

Økonomien knyttet til skogsbilveibyggingen ble belyst i masteroppgaven «Kostnadsavvik ved nyanlagte skogsbilveier» (Raaen 2017). Der ble regnskapene for 50 nyanlegg i veiklasse 3 og 4 (ferdigstilt i perioden 201-2016) på det sentrale Østlandet gjennomgått og analysert. Meterkostnaden varierer fra 327 til 1373 kr, med et gjennomsnitt på 664 kroner. I snitt ligger totalkostnaden ved ferdigstilling 15-20 % over estimert kostnad. I tilfeller hvor totalkostnaden øker med mer enn 30-40 %, er uforutsette sprengingsutgifter hovedårsaken til overskridelsen.

Disse siste resultatene peker på en av hovedutfordringene for skogbruket. Kostnadsnivået er blitt høyt for skogsbilveiene. Dette gjelder både nyanlegg og ombygginger. Av skogsbilveinettet så er ca. 75 % eldre enn 25 år, dvs. modent for ombygging. Økte utfordringer knyttet til klimaforandringer med kortere telesesong og mer nedbør gjør ikke situasjonen bedre. Det er behov for ytterligere innsats knyttet til forsknings- og utviklingsarbeid hvis skogsveinettet skal kunne tåle de belastningene

Publikasjoner

- Aaland, K. 2015. Taubanedrifter og areallønsemnd i taubanelier på vestlandet. Masteroppgave. Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Hoffart, E. 2014. Bardunfri taubane I Norge – en tidsstudie av prestasjon. Masteroppgave. Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Holmli, H. 2014. Produksjonsanalyse av Mounthy-kabelkran. Bacheloroppgave. Høgskolen i Hedmark. Campus Evenstad.
- Bjerketvedt, J. 2014. Forest Road Standard Registration. 5th Forest Engineering Conference; 2014-09-23 - 2014-09-26.

- Holden, G.B. 2015. Registrering av skogsbilvegstandard ved hjelp av LiDARdata og GPS. Masteroppgave. Norges Universitet for miljø- og biovitenskap.
- Pierzchała, M., Talbot, B., & Astrup, R. 2014. Estimating soil displacement from timber extraction trails in steep terrain: application of an unmanned aircraft for 3D modelling. *Forests*, 5(6), 1212-1223.
- Pierzchała, M., Talbot, B., & Astrup, R. 2016. Measuring wheel ruts with close-range photogrammetry. *Forestry*; 89, 383-391.
- Pierzchała, M. 2016. Developing the use of imaging sensors in forest operations. Philosophiae Doctor (PhD) Thesis 2017:26. Faculty of Environmental Sciences and Natural Resource Management. Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Pierzchala, M. Gigueère, P., Astrup, R. 2018. Mapping forests using an unmanned ground vehicle with 3D LiDAR and graph-SLAM. *Computers and Electronics in Agriculture* (145), 217-225.
- Pierzchała, M., Kvaal, K., Stampfer, K., & Talbot, B. 2017. Automatic recognition of work phases in cable yarding supported by sensor fusion. *International Journal of Forest Engineering*, 1-9.
- Råen, L.B. 2017. Kostnadsavvik ved nyanlagte skogsbilveier. Masteroppgave. Norges Universitet for miljø- og biovitenskap.
- Sundt, M. 2017. Registrering av skogsbilveistandard med ulike fjernmålingsmetoder. Masteroppgave. Norges Universitet for miljø- og biovitenskap.
- Søvde, N., Astrup, R., Talbot, B. An inverse shortest path approach to find forwarder productivity functions. In review *Computers and Electronics in Agriculture*.
- Talbot, B., Stampfer, K., Visser, R. 2015 Machine function integration and its effect on the performance of a timber yarding and processing operation. *Biosystems Engineering* 2015; Volume 135, 10-20.
- Talbot, B; Ottaviani Aalmo, G., Stampfer, K. 2014. Productivity analysis of an un-guyed integrated yarder-processor with running skyline. *Croatian Journal of Forest Engineering* 2014; Volume 35(2), 201-210
- Talbot, B., Tarp, P., Nitteberg, M. 2014. Selecting an appropriate excavator-based yarder concept for Norwegian conditions through the analytic hierarchy process. *International Journal of Forest Engineering* 2014; Volume 25(2), 113-123.

K5. Evaluering av planleggingssystemet HEUREKA og kartlegging av utviklingsbehov for norske brukere

Hans Fredrik Hoen, Jens Kolstad, Jakob Sandven, Even Bergseng

Arbeidspakke 5 (WP5) har hatt to hovedproblemstillinger: i) Hvilke tilpasninger må gjøres for å kunne anvende beslutningsstøttesystemet Heureka i Norge? og ii) Hvordan bør Heureka tilpasses og utvikles videre for Norske forhold?

Partnere i arbeidspakke 5 har vært Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO), NORSKOG og Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). SLU ved Heureka-teamet (www.slu.se/sha) har bidratt med tilpasninger av Heureka-systemet til norske skogforhold, blant annet ved utvikling av «plugin-funksjonaliteten» for ulike moduler. Plugin-moduler ble implementert både for beskrivelse av biologiske forhold og produktivitet og driftstekniske forhold. Hampus Holmström (SLU) bidrog med uvurderlig bistand på en «workshop» høsten 2016 og med svar på utallige spørsmål via e-post og Skype knyttet til bruken av Heureka-systemet.

En sammenligning av de biologiske og økonomiske modeller i Heureka med eksisterende norske modeller

Arbeidet bestod i å implementere norske funksjoner for framskriving av tilstand og behandlingstiltak i skogbestand i beslutningsstøttesystemet Heureka, samt en jamføring av biologisk utvikling i skogbestand ved hjelp av Heureka med hhv svenske og norske funksjoner. Sammenlikningen baserte seg på to ulike tilnærminger. Framskriving ble dels gjort for ulike bonitetsklasser og ny-etablerte treslagsrene bestand for gran, furu og bjørk og dels med permanente prøveflater fra Landsskogtaksering der utgangstilstanden var omdrev 7 (1995-1998) og framskriving ble gjort inntil tre femårsperioder. Det var kun prøveflater der det ikke var registrert noen skogbehandlingstiltak i framskrivingsperioden som inngikk i analysen.

Implementeringen av norske funksjoner for beregning av tilstand og utvikling i skogbestand bygde på funksjonsgrunnlaget i bestandssimulatoren T (Gobakken et al. 2008). I tillegg ble funksjoner for å konvertere bonitet fra ett treslag til et annet (Braastad 1983b) og funksjoner for diametertilvekst til grunnflatemiddeltreet (Blingsmo 1984, Opdahl 1992) implementert. Det ble gjennomført et arbeid for kalibrering av prestasjonsfunksjoner for hogst og framkjøring inklusive «slingrefaktor» for å korrigere for faktisk kjørelengde, samt at en modul for beregning av driftskostnader ved taubanedrift («plugin-modul») ble implementert (k4).

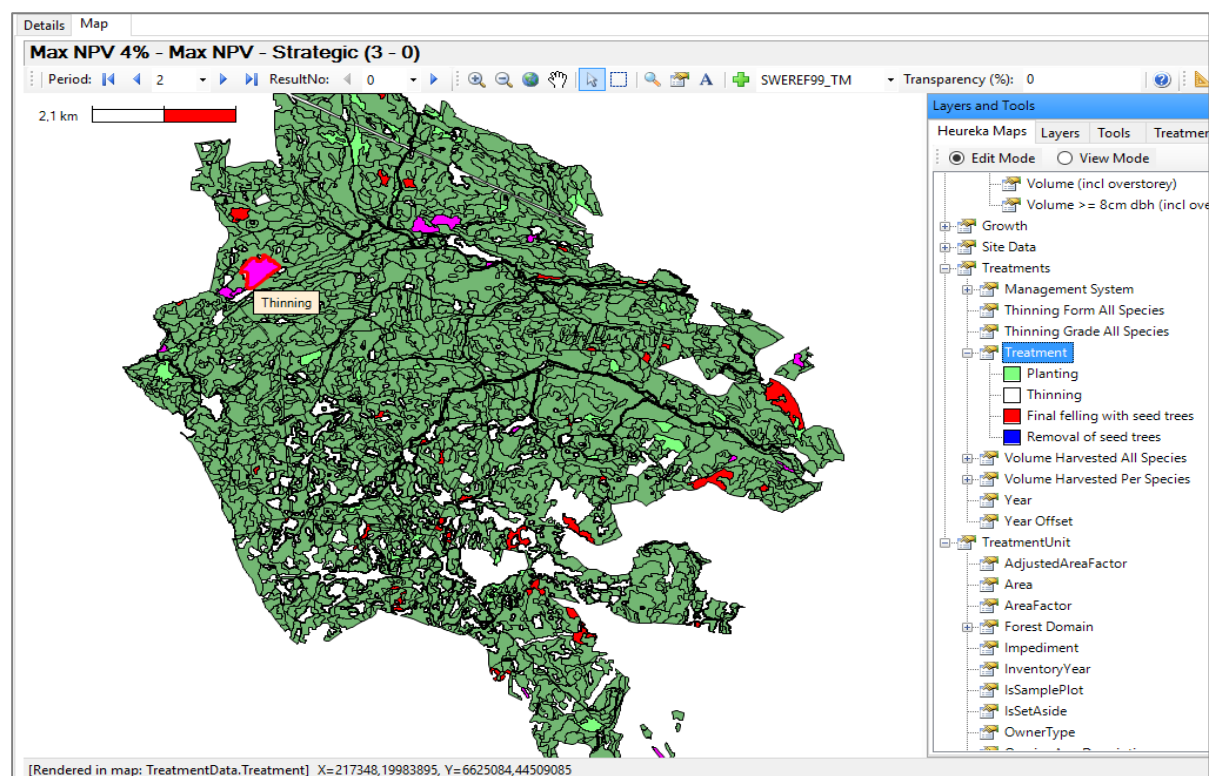
Jamføringen ble konsentrert til utviklingen i treantall ha^{-1} , grunnflatemiddeldiameter (D_g) i cm, grunnflate ($m^2 ha^{-1}$), grunnflateveid middelhøyde (H_L i meter) og volum ($m^3 ha^{-1}$). Analysene har flere begrensninger. Typebestandene var treslagsrene, noe en sjelden finner i virkelig skog. Videre er framskrivningen av typebestandene og prøveflatene gjort med forutsetning om ingen skogbehandlingsinngrep og framskrivningene ble gjort til bestandsalder 150 år som til dels er betydelig større enn grunnlagsmaterialet for flere av de biologiske funksjonene.

En modell for analyse av valgmuligheter i langsiktig skogproduksjon må bygge på framskrivninger av skogtilstand for behandlingenheter i skogen. Presisjonen i slike framskrivninger og systemets evne til å beskrive effekter av skogbehandlingstiltak på utviklingen, er helt avgjørende for hvor brukbare analysene blir som beslutningsgrunnlag. Heureka-systemet er et meget avansert system for analyse av skogproduksjon med lang tidshorisont og er avhengig av at beskrivelsen av utviklingen i skogtilstand er robust og pålitelig.

Resultatene viser at det er til dels store forskjeller i framskrevne verdier for de sentrale variablene som bestemmer volumutviklingen i skog, når vi sammenligner svensk med norsk modell. I begge tilfeller gir Heureka-framskrivningene til dels betydelig forskjellig langsiktig produksjonsnivå, uttrykt som årlig middeltilvekst, jamført med norske standardtall for produksjonsevne. Produksjonsnivået ble overvurdert for lave boniteter (8-11) og undervurdert for høge. Som relativt avvik var forskjellen om lag på samme nivå og følgelig var forskjellene i absolutte verdier størst på de beste bonitetene.

Generell evaluering av brukergrensesnittet og funksjonaliteten

Evalueringen baserte seg i hovedsak på en praktisk uttesting av Heureka i en planleggings- og analysesammenheng nær opptil hva som gjøres i en operativ skogplanleggers hverdag i Norge. Systemet ble vurdert ut fra brukerterskel, fleksibilitet med hensyn på formulering av realistiske og relevante målsettinger og begrensninger for beslutningstakere, og fleksibilitet i kommunikasjon med eksisterende datakilder og –formater. Brukervennligheten til systemet er testet ut ved å utarbeide langsiktige forvaltningsplaner for to utvalgte eiendommer.



Figur 21. Resultat-visning i Heureka; viser hvor det er forslått tynning, planting, slutthogst og hogst av frøtre.

Hovedkonklusjonen er at Heureka er et godt gjennomarbeida og bra verktøy for svenske skogsforhold. Systemet har også kommet et godt stykke når det gjelder tilpasning til norske forhold. I det følgende gjengis de viktigste forslagene til forbedringer. Import av data fungerte bra, men kan

gjøres mer fleksibelt med hensyn på tilbakemeldinger ved feil og manglende data. Brukerne foreslo å gi mulighet for enkel korrigerings av importerte data uten å måtte tilbake til og korrigere de opprinnelige data og så og gjennomføre ny fullstendig import. En ulempe ved dette kan være at dersom en på et seinere tidspunkt allikevel må gjøre en ny import så vil feilen oppstå igjen om ikke også originaldata var korrigert. Videre var det ønskelig at import ikke stopper opp om det er enkeltbestand som mangler påkrevde data, men heller at det kan lages en rapport over bestand med mangelfulle data.

Brukervennligheten ble vurdert som god med god kjennskap til systemet, men det krever tid og arbeid å sette seg inn i. Tilgang på et forenklet brukergrensesnitt konsentrert om de viktigste parameterne og den sentrale funksjonaliteten for normale avvirkningsberegninger ville øket brukervennligheten.

I Heureka beregnes et stort utvalg av resultatvariable slik at en kan lage egendefinerte rapporter, f.eks. i Excel, som spesifiserer de beregnede resultater ned på et meget detaljert nivå. Det er tilgang på en rekke forhåndsdefinerte rapporter som gir en rask oversikt over beregnede resultater. Det vil være en stor fordel å få klassifisert skogtilstanden i framskrivningene etter det norske hogstklassesystemet. Hogstklasse er sentral informasjon i norsk skogforvaltning og vil gjøre en del rapporter mer matnyttige. Heureka-systemet er svært omfattende og gir veldig mange valgmuligheter. Inntrykket er at dokumentasjon ikke alltid tydelig beskriver den forventede effekten av forskjellige valg. Det ble opplevd som vanskelig å vite konsekvensen av en del av de endringene en kan gjøre, hvilke styringsvariable og parametere som bør stå til Default, og hvilke en kan endre etter eget behov for å påvirke beregning av de forskjellige behandlingsprogrammene.

Kartfunksjonen i Heureka er bra for å visualisere importerte data og resultater. Men analyseverktøyene i kartmodulen ble opplevd som ustabile da modulen krasjet flere ganger under de norske analysene. Dette er under kontinuerlig utvikling i Heureka-teamet og antas å være et forbigående problem. Når det gjelder GIS-analyser, så vil det være en stor fordel at dette er integrert i Heureka. GIS-analyser, f.eks. bufferanalyser knytta til myr og vann eller beregning av transportavstand og helning, gjøres i et eksternt GIS-verktøy (f.eks. ArcGIS eller QGIS) før import av data til Heureka. Skal GIS-funksjonaliteten i Heureka bli brukt må funksjonaliteten integreres og forbedres.

I dette prosjektet ble det benyttet norske skogdata fra Linnea, hvor konverteringen fungerte bra. Det bør gjøres tester der bestandsdataene kommer fra andre norske skogforvaltningssystemer slik som ALLMA og DinSkog. Da må det først utvikles rutiner for konvertering av disse dataene til Heureka-format. NORSKOG vurderer det som meget sannsynlig at de kommer til å benytte Heureka i framtidige avvirkningsanalyser.

[Erfaringer etter bruk av Heureka på to skogeiendommer](#)

I dette delprosjektet ble det gjort jamføringer av resultatene for avvirkningsberegninger og -analyser utført med henholdsvis SGIS og Heureka for de to skogeiendommene Selvik Bruk AS og Amble Gård. For begge beregningssystemene ble det benyttet mest mulig like forutsetninger med hensyn til skogbehandling (laveste lovlige hogstaldere, arealer som inkluderes mm), slik at resultatene skulle bli så sammenlignbare som mulig. Forutsetningene ble tilpasset skogeiernes behandlingspraksis så langt som mulig, slik at resultatene også skulle bygge på og samsvare med reell skogbehandling.

Studie 1, Selvig Bruk AS - Selvig Bruk ligger godt arrondert på høydedraget sydvest for Konnerud i Drammen, over mot innsjøen Eikeren. Eiendommen går fra ca. 100 m over havet ved Andorsrud i Skoger, og syd ved Sandåker i Sande, til 567 m på Presteseteråsen. Det meste av eiendommen ligger på et platå mellom 300 og 500 meter over havet, med bratte ytterkanter særlig mot sør. Det er ller med frisk fuktighet, og eiendommen ligger i et meget godt område for granproduksjon, og gran er det klart dominerende treslaget. Det er forholdsvis lav forekomst av råte, og en del klimaskader som følge av mye tung våt snø, som gir brekkasjeskader særlig i høydelag fra 300 m og oppover. Topografien, med en del bratte områder, mange vann og vassdrag med omkringliggende myrer, gir krevende driftsforhold med hensyn på adkomst, plassering av basveier, kjøreskader, og behov for kantsoner. Veisystemet på eiendommen er forholdsvis godt utbygget. Eiendommen har skogbruksplan levert i 2015. Denne planen baser seg på en oppdatering av eksisterende/gammel plan basert på nye flybilder og enkelttre laserdata tatt opp høsten 2014 (v/ FinnMap).

Analysene gjennomført med Heureka gav vesentlig høyere totalproduksjon enn analysene med SGIS. Dette er urovekkende og det ble ikke avdekket noen åpenbar enkeltstående forklaring på dette. Framskrivningen i Heureka med svenske tilvekstfunksjoner gav til dels betydelig høyere stående volum, særlig i eldre skog og for middels og bedre boniteter. SGIS beregnet om lag 5 % høyere totalt avvirkningsvolum summert over av alle perioder, men et vesentlig lavere tynningskvantum. Tynningskvantumet i beregningene med Heureka var høyere, og med SGIS lavere, enn hva skogforvalter vurderte som et fornuftig nivå. Driftskostnadene beregnet med Heureka virket realistiske, og på nivå med hva eiendommen i dag (2016-2017) betaler for drifter. Skurtømmerandelen beregnet i Heureka ble noe høy, noe som antakelig skyldtes at en ikke hadde korrigert massevirkeandelen for stokker som holder skurtømmerdimensjoner. Det ble forutsatt 10 % "ekstraordinært" massevirke, mens den reelle andelen sannsynligvis er høyere.

Studie 2, Amble Gård - Amble Gård ligger i Kaupanger innerst ved Sognefjorden, som ett avgrenset geografisk område på østsiden av Amlabukta på begge sider av Amla-elven. Hele eiendommen er omlag 22 500 daa. Eiendommen strekker seg fra fjorden og opp til ca 1200 meter over havet. Den mest produktive skogen ligger i dalen over gården og går fra ca 85 til ca 250 moh. Ovenfor denne ligger skogen i bratte ller opp til om lag 400-450 m. o.h. Produktiv skog utgjør omlag halvparten av arealet på eiendommen. Eiendommen er dominert av naturlig furuskog. Skogen er sterkt preget av hogst, og etter snauhogst er det delvis tilplantet med gran. Fra 1950 og frem til 1980 ble det drevet ut skog nesten hvert år. Det har vært liten aktivitet i skogen etter 1980. Eiendommen har et godt utbygd skogsbilveinett.

Skogeier har erfaring med at skogen på eiendommen er meget utsatt for vindfelling, og det gjennomføres derfor ikke lukkede hogster og frøtrestillinger. Følgelig foregår alle avvirkninger som ordinære sluttavvirkninger med etterfølgende planting eller naturlig foryngelse fra kant. Det settes ikke igjen frøtrær. Tynning anses også som lite aktuelt pga. utfordrende topografi, fare for vindskader og lave massevirkepriser.

Skogplandataene for Amble baserte seg på fototakst, med flybilder fra 2008 og 2010, og data fra en eldre skogbruksplan med informasjon om oppdatering gitt av skogeier. Samlet volum fra sluttavvirkning (hele beregningsperioden på 90 år) ble nesten 30 % større med Heureka jamført med SGIS. En klarte ikke å finne en enkeltfaktor som forklarte dette betydelige avviket. Et forhold som kan ha medvirket, var at høydene i inndata ble estimert fra bonitetskurvene, siden trehøyder ikke var med i takstgrunnlaget.

Basert på arbeidet med analyser for de to eiendommene ble følgende kommentarer og forslag til videre forbedringer gitt:

- Resultatpresentasjonen i Heureka er oversiktlig. Med kartfunksjonen kan greit illustrere hvor det er forventa hogst, tynning og andre skogbehandlingstiltak.
- Sammenligningen av resultatene fra Heureka og SGIS, gav forholdsvis lite avvik (< 5%) i samlet hogstvolum for Selvik Bruk, med betydelig større forskjell (opp mot 30 %) for Amble Gård. Den innledende sammenligning av biologiske modeller peker i samme retning. Unøyaktige inn-data og trehøydene som ble generert ved hjelp av bonitetsfunksjoner i Linnea kan også være en forklaring. For å få mer klarhet i dette må en gå dypere inn i detaljene.
- Når det gjelder kostnader, var inntrykket at det på Amble Gård ble beregnet for lave kostander ved drift med hogstmaskin og lastetraktor, og et mer realistisk nivå ved drift med taubane. Dette kan være relatert til at det er bra veitetthet på eiendommen kombinert med upresise inndata. Det anbefales at en gjør grundigere analyser for å teste modulen for beregning av driftskostnader. For Selvik Bruk ble driftskostnadene beregnet til et forventa nivå.
- Selve simuleringen ble til tider opplevd som ganske langsom, spesielt med mange bestand. For Amble Gård ble en simulering beregnet på under 2-3 minutter, mens det for Selvik Bruk tok mer enn 15 minutter.

Konklusjoner

Hovedkonklusjonen er at Heureka er et godt gjennomarbeida og bra verktøy for svenske skogforhold. Systemet har også kommet et godt stykke når det gjelder tilpasning til norske forhold. Gjennom arbeidet i WP5 har det dels kommet fram forslag om tilpasninger som kan forbedre brukervennligheten til systemet og dels avdekket forhold knyttet til beskrivelsen av biologiske, tekniske og økonomiske forhold som bør undersøkes og kartlegges nøyer.

Resultatene viser at det fortsatt er betydelige utfordringer knyttet til å framskrive utviklingen i skog med lang tidshorison. Presis beskrivelse av overlevelse av trær og høydeutviklingen i blandingskog og skog med ulik grad av sjiktning synes særlig utfordrende. Overlevelse (naturlig avgang), diametertilvekst og beregning av trehøyder ble til dels meget forskjellig med svensk og norsk produksjonsmodell. Det er ikke åpenbart at trær og skog vokser veldig forskjellig på tvers av denne landegrensa. Det er følgelig gode grunner til å undersøke dette i en felles forskningsinnsats med materiale fra begge land.

Publikasjoner

Hoen, H.F. & Bergseng, E.R. 2017. Norske funksjoner i Heureka og evaluering av Heureka for norske skogforhold. Manus til MINA Fagrapport. 20 s. + Vedlegg 24 s.

Sandven, J., Kolstad, J.C. & Hoen, H.F. 2017 Skogplan med HEUREKA basert på norske skogdata - En vurdering av brukergrensesnitt og GIS-tilpasning basert på modulen PlanWise. NORSKOG-rapport. 47 s. + Vedlegg 34 s.

Sandven, J. & Kolstad, J.C. 2017. Forvaltningsplan og hogstanalyse for eiendommene Amble og Selvik Bruk AS utarbeidet ved hjelp av Heureka. NORSKOG-rapport. 48 s. + Vedlegg 7 s.