

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 772-2012

Beslutsstöd och metod för att minimera markpåverkan vid drivning

– Slutrapport från projekt ID 0910/143-10

Decision support and methods to minimise ground impact in logging

– Final report of project ID 0910/143-10

Johan Sonesson, Sima Mohtashami och Isabelle Bergkvist, Skogforsk,
Ulf Söderman FORAN, Andreas Barth, Petrus Jönsson och Anders Mörk,
Skogforsk, Tomas Jonmeister FORAN & Magnus Thor, Skogforsk



SKOGFORSK

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 772-2012

I Arbetsrapporter redovisar Skogforsk resultat och slutsatser från aktuella projekt. Här hittar du bakgrundsmaterial, preliminära resultat, slutsatser och färdiga analyser från vår forskning.

Titel:

Beslutsstöd och metod för att minimera markpåverkan vid drivning
– Slutrapport från projekt
ID 0910/143-10
Decision support and methods of minimise ground impact in logging.
– Final report of project
ID 0910/143-10.

Bildtext:

Jämförelse av skotarens GPS-logg (grön) och föreslagna optimala huvudvägar (röd) på en slutavverkningstrakt.

Ämnesord:

Planering, körskador, GIS, optimering, drivning.
Planning, ground damage, GIS, optimisation, logging.

Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2012

ISSN 1404-305X



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



Johan Sonesson, SkogD. Anställd på Skogforsk sedan 1995. Forskare inom planering och skogsskötsel.



Sima Mohtashami, Civil ingenjör, Projektanställd vid Skogforsk sedan 2011. Forskare inom Planering och Information program.

Medförfattare:

Isabelle Bergkvist, Skogforsk

Ulf Söderman FORAN,

Andreas Barth, Skogforsk

Petrus Jönsson, Skogforsk

Anders Mörk, Skogforsk

Magnus Thor, Skogforsk

Tomas Jonmeister FORAN

Abstract

The aim of this project was to examine how a digital terrain model could be used in combination with other geographical information to improve harvest planning. Another aim was to develop a method for producing a harvest plan with proposals for base roads, thereby reducing the risk of ground damage.

We have tested various GIS-layers, derived from the digital terrain model in combination with other map layers, including the soil map of the Geological Survey of Sweden (SGU). We developed a prototype GIS tool that weights the various layers to produce a cost index surface. We then let the program choose the optimal route from a given point on the logging site to the landing. A structured work process has been developed, and needs for further refinement identified. The GIS tool has been tested on two sites, and the results compared with the GPS log on the forwarder and discussed with the logging team in the field. Our assessment is that our method and prototype GIS tool has potential, even in its current state, to improve harvest planning. Above all, we see great development potential in the tool, and we believe that a refined version could reduce ground damage and increase productivity, and also improve the efficiency of the work of the field planner.

Innehåll

Sammanfattning.....	2
Inledning.....	3
Syfte.....	4
Material och metod	5
Resultat	5
Omvärldsanalys.....	5
Traktdirektivens kvalitet i dag.....	6
Bärighet.....	6
Vattendrag.....	6
Topografi.....	7
Hänsyn.....	7
Slutsatser.....	8
bearbetning av den digitala terrängmodellen.....	8
Översikt.....	8
Träffanalys och klassificering av laserdata.....	11
Digitala Höjdmodeller	12
Terränganalys – lutning.....	14
Dataskikt från andra källor.....	15
Beskrivning av arbetsgång.....	16
Utveckling av optimeringsmetod	17
Koppling till optimering av stickvägsnät.....	18
Diskussion.....	19
Användningsområden för metoden och verktyget.....	19
Fortsatt utveckling inom området.....	19
Referenser.....	20

Sammanfattning

Laserskanning av skog har inneburit ett genombrott i skoglig planering. Huvudsyftet med skanningen är normalt att samla data om trädskiktet. En intressant biprodukt är en högupplöst digital terrängmodell. Vår hypotes är att om den digitala terrängmodellen från laserskanningen kombineras med andra geografiska data i en GIS-applikation, skulle ett användbart beslutsstöd för den operativa drivningsplaneringen kunna erhållas. I beslutsstödet skulle t.ex. ett optimalt nät av körvägar kunna föreslås utifrån topografi och förekomst av våtmark/vattendrag, vilket minskar risken för markskador. Beslutsstödet och metoden är tänkta att effektivisera och höja kvaliteten i planering, utförande och uppföljning.

Det övergripande syftet med denna studie var att minimera skador på mark och vattendrag till följd av spårbildning vid drivning. Mer specifikt syftade detta pilotprojekt till att:

- Utredda möjligheterna att använda digital markinformation insamlad med laserskanning i kombination med annan geografisk information för en bättre traktplanering.
- Utveckla ett förslag till arbetsmetod för att skapa traktdirektiv med mer detaljerad information samt ett optimerat förslag till vägnät inom trakten.
- Identifiera fortsatta FoU-behov.

Våra resultat visar att digitala terrängmodeller används för skoglig operativ planering i några olika länder. Vi har dock inte funnit någon applikation som syftar till att optimera vägdragningen genom terrängen.

Vi har testat olika bearbetningar av den digitala terrängmodellen och kombinerat dem med andra kartskikt, bl.a. SGU:s jordartskarta. Vi har skapat en prototyp till GIS-verktyg som genom att vikta de olika skikten skapar en kostnadsindexyta. Sedan låter vi programmet välja den optimala vägen från en vald punkt på hygget till avlägget. En strukturerad arbetsgång har utarbetats och behov av fortsatt utveckling har identifierats. GIS-verktyget har testats på två trakter och resultaten har jämförts med skotarens GPS-logg samt diskuterats med avverkningslaget i fält. Vi bedömer att vår metod och prototypen till GIS-verktyget har en potential, att redan i befintligt skick förbättra traktplaneringen. Framför allt ser vi dock en stor utvecklingspotential i verktyget och vi tror att en vidareutvecklad version kan leda till minskade körskador och ökad produktivitet och dessutom effektivisera fältplanläggarens arbete.

Inledning

Skogsavverkning innebär körning i terräng vid upprepade tillfällen. Förutom skördaren och skotaren ska dessutom risskotare och markberedare oftast köra över avverkningstrakten. Markpåverkan vid terrängkörning kan ge fysikaliska, kemiska, biologiska, hydrologiska, ekonomiska och estetiska effekter av vilka de flesta är mycket svåra att kvantifiera. I skogsbruket råder dock enighet om att markpåverkan måste minska.

Drivning bedrivs sedan länge året runt. Detta i kombination med den stora variationen i topografi, marktyp, markfuktighet och klimat gör det till en stor utmaning att minimera påverkan på mark och vatten. (Ring m.fl., 2008a) har rekommenderat att lämna en zon på 5–10 m från vattendrag helt fri från körning, för att minimera risken för sedimenttransport, och därmed undvika skador på vattenlevande organismer. Vidare ska överfarter över vattendrag undvikas, men om de ändå måste göras ska befintliga hjälpmedel användas (Staland & Larsson, 2002; Ring m.fl., 2008b).

I klimat- och sårbarhetsutredningen gjordes en scenarioanalys av effekten på drivning och virkestransport till följd av varmare klimat (Sonesson m.fl., 2007). Tjälperiodens längd i skogsmark skattades enligt nedanstående tabell. Sammantaget bedömdes merkostnaden vid drivning till följd av ett varmare klimat till storleksordningen 5–10 kr per avverkad m³.

Tabell 1.
Tjälperiodens längd på skogsmark (dagar), scenario (Sonesson m.fl., 2007)

År	Götaland	Svealand	S. Norrland	N. Norrland
1975	60	100	160	170
2025	20	60	120	140
2050	0	30	100	120

På Riksskogstaxeringens tillfälliga provytor 1993–2001 klassades ca 35 % av marken som frisk-fuktig eller blötare, vilket i praktiken innebär att drivningen måste planeras extra noga med hänsyn till årstid och väderlek. Enligt ovanstående scenario är det endast i norra Norrland som tjälperioden förväntas vara ca 35 % av tiden under året år 2025. I Götaland förväntas ca 95 % av året vara tjälritt. Den starkt ökade efterfrågan på skogsbränsle innebär att det kan bli en konflikt mellan uttag av skogsbränsle och att använda riset för att förbättra bärigheten i körvägarna. De största volymerna grot finns i grandominerade bestånd på frisk eller frisk-fuktig mark, vilket accentuerar problematiken.

Planering är således en nyckelfråga. Hittills utgörs planeringsunderlaget främst av fälttjänstemäns bedömning av bärigheten grundat på fältbesök. I andra fall hämtas uppgifter om GYL (se Berg, 1992) från befintliga registerdata med delvis okänd kvalitet och ursprung. Utifrån detta utarbetas trakttdirektiv med information om avlägg mm. Entreprenören ansvarar för att genomföra avverkningen enligt vedertagen praxis för hur markpåverkan ska minimeras. Detaljplaneringen görs oftast av entreprenören i samband med avverkning eller strax innan.

Företagsgruppen FORAN har utvecklat en ny metod för att inventera skog och skogsmark med pulsintensiv laserskanning, kallad Single Tree® (Persson, Holmgren & Söderman, 2002). Datafångst med pulsintensiv laserskanning kan ge stora mervärden redan med dagens planeringsverktyg- och rutiner (Sonesson m.fl., 2008). Laserskanning av träden ger också en intressant ”biprodukt” i form av en detaljerad terrängmodell. Denna skulle kunna ge värdefull information om t.ex. topografi, ytstruktur, dikessystem och mindre men viktiga objekt som normalt inte finns på kartan. Noggrannheten är god i jämförelse med andra inventeringsmetoder, även om vissa specifika förhållanden kan ge systematiska fel (Barth m.fl., 2008). I dagsläget har FORAN Sverige AB flugit över en areal av minst 200 000 ha i Sverige, däribland Skogssällskapets fastighet Selesjö 1:5. Därutöver har en lika stor areal täckts in utomlands.

Lantmäteriet har påbörjat arbetet med att ta fram en ny nationell höjdmodell (NNH) med hjälp av laserskanning. Arbetet pågår och inom något år så kommer det att finnas en DTM för hela Sverige. Denna DTM är producerad med lägre upplösning (d.v.s. färre laserträffar per m²) än FORAN:s men den kommer säkert att ha tillräckligt god upplösning för att kunna användas vid traktplanering, framför allt med avseende på lutning, men kanske kan även andra terrängelement identifieras.

Vår hypotes är att om den digitala terrängmodellen från laserskanning kombineras med andra geografiska data i en GIS-applikation, skulle ett användbart beslutsstöd för den operativa drivningsplaneringen kunna erhållas. I beslutsstödet skulle t.ex. ett optimalt nät av körvägar kunna föreslås utifrån topografi och förekomst av våtmark/vattendrag. Detta minskar risken för markskador. Beslutsstödet och metoden är tänkta att effektivisera och höja kvaliteten i planering, utförande och uppföljning.

Syfte

Det övergripande syftet är att minimera skador på mark och vattendrag till följd av spårbildning vid drivning. Mer specifikt syftar detta pilotprojekt till att:

- Utredda möjligheterna att använda digital markinformation insamlad med laserskanning i kombination med annan geografisk information för en bättre traktplanering.
- Utveckla ett förslag till arbetsmetod för att skapa traktdirektiv med mer detaljerad information samt ett optimerat förslag till vägnät inom trakten.
- Identifiera fortsatta FoU-behov.

Material och metod

Projektet har delats upp i följande aktiviteter:

Omvärldanalys som genomförs genom litteratur och webb-sökningar samt kontakt med forskare framför allt i Finland och Kanada.

Nuläget för traktdirektiv. En sammanställning och värdering av innehåll och kvalitet i traktdirektiv från olika företag.

Bearbetning av den digitala terrängmodellen för att framställa olika dataskikt med potentiell användning, t.ex. lutning, ytstruktur, diken, vattendrag m.m.

Sammanställa och utvärdera befintliga dataskikt med potentiell användning vid drivningsplanering.

Utveckling av optimeringsmetod för framför allt huvudvägar på avverknings-trakten, men även en översikt över hur kopplingen till planering av hela vägsyste-met på trakten. Två avverkningsstrakter på Skogssällskapetets fastighet Selesjö har använts som testfall för optimering, och där har också GPS-spår från skotaren samlats in som en jämförelse.

Beskrivning av arbetsgång från DTM och övriga datakällor till färdigt trakt-direktiv. Analys av utvecklingsbehov och potentialer skall också göras.

Resultat

OMVÄRLDSANALYS

Att utnyttja information från digitala kartor samt från olika typer av flygburen laser är en vanligt förekommande teknik internationellt sett. En Google-sökning på ämnet, ger hundratals träffar med såväl praktiskt som populärvetenskapligt och vetenskapligt innehåll. Metoden används i praktiskt skogsbruk över hela världen där främsta användningsområdena är:

- Avverkningsplanering. Här används framför allt topografiska kartor som underlag men även till viss del laserskannad information.
- Grundvattenkartor DTW (depth to water) i syfte att undvika markpåverkan vid drivning. Här används framför allt topografiska kartor samt olika beräkningsmodeller.
- Planering av naturvård- och kantzoner längs vatten med hjälp av laserdata.
- Värdering av olika sortiment t.ex. skogsbränsle utifrån laserdata.
- Bedöma och utvärdera riskområden (brand, översvämningar, erosion) utifrån laserdata om både mark- och trädskikt.
- Naturvårdsplanering och utveckling av mångfald i skogslandskapet.
- Hitta områden av arkeologiskt intresse utifrån terrängmodellen från laserskanningen.
- I tropiska områden används träd-data från laserscanning i syfte att hitta värdefulla träd i regnskogar för ett uthålligt skogsbruk.

Oftast utnyttjas data från endast en källa i taget (digitalt kartsikt eller laserdata) för ovanstående aktiviteter. Dessutom finns det få exempel på att man använt information för optimering av basvägar ur både ett ekologiskt- samt ett ekonomiskt perspektiv.

TRAKTDIREKTIVENS KVALITET I DAG

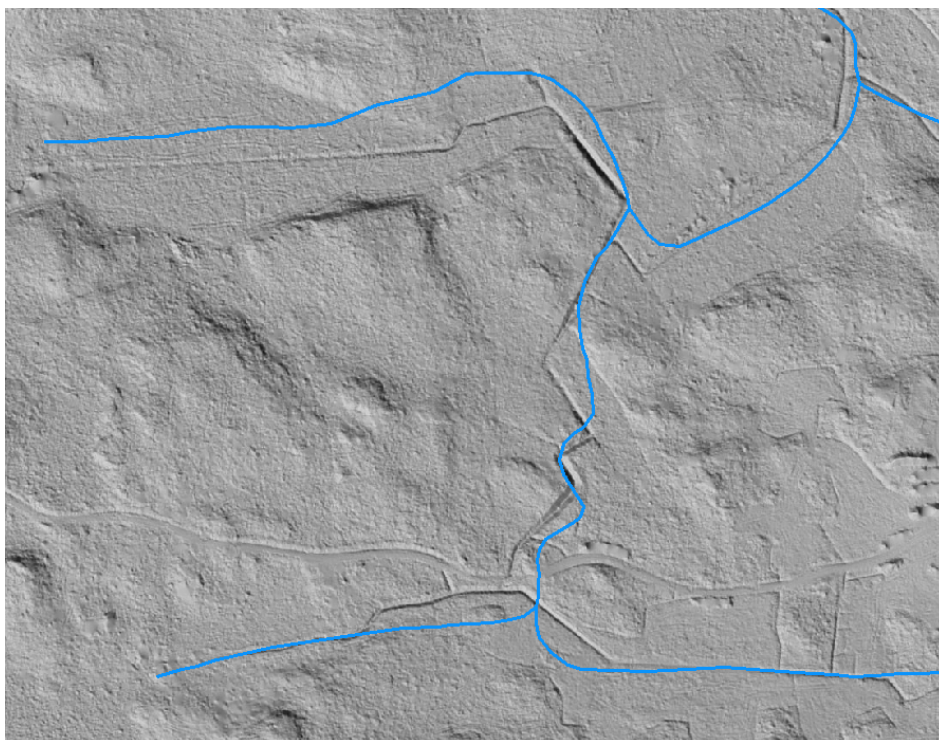
En kartläggning av dagens trakt direktiv baseras på ett tjugotal exempel som samlats in från totalt åtta olika aktörer med verksamhet i olika delar av landet. Insamlingen har skett något slumpvis när Skogforsk i olika sammanhang besökt eller haft kontakt med olika aktörer i samband med avverkningar. Både stift, skogsägarföreningar och skogsbolag finns representerade i materialet, med exempel från både gallring och slutavverkning. Samtliga trakt direktiv är från 2010. Fokus i genomgång av trakt direktiven har varit på aspekter som är av extra vikt för drivning och då främst med avseende på att minska risken för markskador. Alla trakt direktiv innehåller också information om virkesförrådet med data på exempelvis volymer, trädslagsfördelning, SI, ålder och areal. Det som här jämförs är den dokumenterade delen av trakt direktivet, med skriftliga instruktioner och kommentarer som bifogas med en karta. Vanligen sker också kommunikation verbalt och med snitslar i terräng. Ofta finns också möjligheten att läsa in den digitala kartan i skogsmaskinerna, vilket kan komplettera den utskrivna kartan med ytterligare attribut (Arlinger, 2008).

Bärighet

Information om bärighet finns bland annat angivet i GYL. GYL är etablerat och används i samtliga trakt direktiv. En begränsning med GYL är att bedömningen avser hela avdelningen och måste kompletteras av skriftliga kommentarer om det finns lokala avvikelser. Exempel på kommentarer är ”Delvis svartjord”, ”Vinterpost p.g.a. fuktigare delar i beståndet”. Kommentarer som ofta saknar en geografisk koppling. I nära hälften av trakt direktiven finns basvägen markerad på kartan, i andra fall finns en checklista som talar om att basvägen är markerad i terrängen. Ytterligare några exempel på kommentarer som har en viss geografisk referens är ”Bör vara torrt när 5450 körs” och ”Börja med östra delen som är mest bärig”.

Vattendrag

Alla trakt kartorna innehåller information om vattendrag och våtmarksområden. Material är baserat på Lantmäteriets kartdata som håller en relativt grov upplösning. Det är inte ovanligt att dragningen av vattendragen är en generaliserad linje och att mindre diken saknas helt. I jämförelse mot terrängmodell baserad på laserdata kan det i vissa fall skilja upp emot 35 meter mellan kartans dragning av bäcken och bäckens egentliga läge (Figur 1). Information måste därför ibland kompletteras. I ett exempel på en dikad trakt är vattendragen kompletterade, baserat på ortofoto och fältbesök. Här finns också en kommentar som uppmärksammar att det finns många diken som inte är markerade på kartan. På en del trakt direktiv finns en checklista som bland annat anger om det finns bäcköverfarter på objektet, informationen om överfarter kan också ges i klartext: ”Gör broar som ligger kvar över större diken”.



Figur 1.
Lantmäteriets karta för vattendrag har en generaliserad dragning. I en jämförelse med terrängmodellen från laserdata är avvikelsen som störst 35 meter.

Topografi

Topografi beskrivs antingen som höjdkurvor på en karta eller med specifika kommentarer. De höjddata som används torde till huvudsak komma från Lantmäteriets höjdmodell, vilket i dag har en geografisk upplösning på 50 meter och med ett par meters noggrannhet i höjddled. Höjdkurvorna finns med på ungefär hälften av kartorna och då främst i mer kuperade områden. Även om inte höjdkurvorna ritas ut på den utskrivna kartan är det möjligt att skicka med höjddata med det digitala traktdirektivet. I det digitala traktdirektivet är det möjligt för föraren själv att välja om topografin skall visa på kartan. Några exempel på kommentarer om topografin är ”Tvärbrant i norr” och ”Beståndet ligger på en topp”.

Hänsyn

När det gäller hänsyn finns det en varierad kvalitet i beskrivningarna. Om detta beror på ambitionsnivån eller i att mängden hänsynsobjekt skiljer sig åt mellan olika områden i landet och mellan olika typer av åtgärder är oklart. I de mer ambitiösa traktdirektiven finns en detaljerad beskrivning av alla hänsyn i form av en punktlista. Varje punkt kan sedan spåras till geografin i kartdata. I andra exempel kommuniceras naturvårdshänsynen enbart i terrängen, den enda information som då finns i traktdirektivet är en checklista som visar att naturhänsynen är snitslad. Några exempel på kommentarer kring hänsynen är ”Var uppmärksam i kanterna, jag kan ha missat några kulturspår” och ”Lämna surdråget orört”.

Slutsatser

Dagens trakt direktiv är en viktig del i den kommunikation som sker mellan den avverkningsansvarige och avverkningslaget. Många bedömningar som görs gällande drivningen är ett medelvärde för hela avverkningsstrakten kompletterat med detaljkommentarer som ibland saknar koppling till geografien.

Vi har inte gjort någon uppföljning av trakterna men kan ana att det finns en stor skillnad i kvalitet mellan de studerade trakt direktiven. Kvaliteten påverkas bland annat av det bakomliggande material som finns över trakten, det är information från det egna avdelningsregistret, kartdata och ortofoton från exempelvis Lantmäteriet samt data om hänsynsobjekt från ett antal myndigheter. Sämre kvalitet på den grundläggande informationen måste kompenseras av mer spring i skogen med GPS och snitselband. Vissa trakt direktiv ger en betydligt mer ambitiöst intryck än andra och här är det också troligt stora skillnader i den nerlagda tiden framför allt på fältarbete. I vissa fall är det också möjligt att en mindre genomarbetat trakt direktiv medvetet lägger ett större ansvar hos avverkningslaget för att göra sin egen planering.

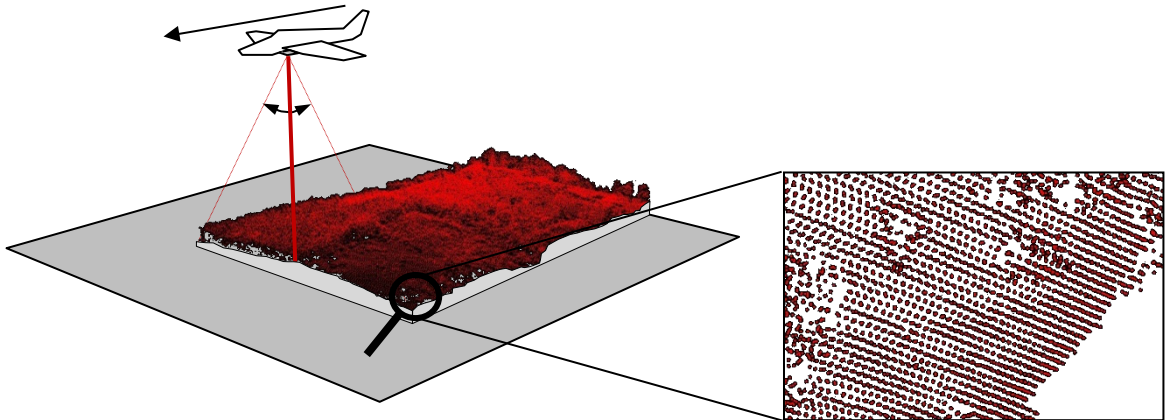
Planeringen baseras på subjektiva bedömningar och kvaliteten är beroende av den tid som lagts ner men är också beroende av planläggarens erfarenheter. Med stora avverkningsstrakter och tätt mellan hänsynen kan så även en erfaren planläggare missa att dokumentera vissa kulturspår. Trakten är synad med två ögon i fält innan maskinerna kommer på plats. Väl i fält är det två nya ögon som skall upptäcka möjliga hinder och fatta beslut. Ofta under andra förutsättningar vad gäller årstid, ljus och väder.

Viktiga textkommentarer försvinner lätt i plottriga trakt direktiv. Förhoppningsvis finns informationen även att tillgå i skogsmaskinens GIS-program. I sådana fall kan kommentarer såsom ”Stigen mot fåboden **får inte köras sönder**” och **”Kör inte mer än nödvändigt i partiet bredvid hänsynsytan”** kopplas till rätt plats i geografien. Det möjliggör också att en varning kan visas för maskinföraren när denne närmar sig respektive område. Kopplingen till geografien är inte uppenbar i alla trakt direktiv, det finns dock bra exempel där kommentarerna refererar till en punkt eller ett område på kartan.

BEARBETNING AV DEN DIGITALA TERRÄNGMODELLEN

Översikt

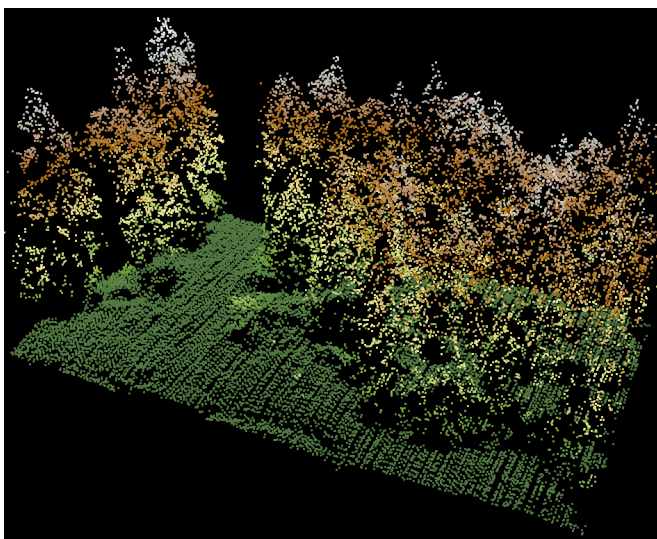
Vid flygburen laserskanning (Eng. Airborne Laser Scanning, ALS) mäts terrängen med syfte att samla in geografiska data som underlag för t.ex. höjdmodeller och vegetationsanalyser. Terrängen skannas genom att laserpulser sänds i ett svepande mönster fram och tillbaka tvärs emot flygfarkostens färdriktning. Det är sedan avståndet mellan laserinstrumentet i flygfarkosten och de belysta positionerna i terrängen som mäts med hjälp av laser. I (Figur 2) illustreras flygburen laserskanning från flygplan.



Figur 2.
Flygburen laserskanning från flygplan. Förstoringen visar mönstret av laserreturer från terrängen.

Resultatet av mätningen är en stor mängd mätpunkter, ett så kallat punktmoln. Varje mätpunkt karaktäriseras av en 3D-position med x-, y-, och z-koordinater och ett intensitetsvärde. Positionen motsvarar den plats i terrängen där lasermät-pulsen reflekterats mot någon yta i terrängen. Det kan vara ytan av ett objekt ovanpå eller i terrängen eller själva markytan, t.ex. en del av ett träd, en buske, ett hustak, etc. Intensitetsvärdet i sin tur är ett mått på den reflekterade lasermät-pulsens energi och avspeglar alltså reflektionsegenskaper hos den träffade ytan. I Figur 3 visas ett exempel på ett punktmoln. Färgen på punkterna indikerar punktens höjdläge.

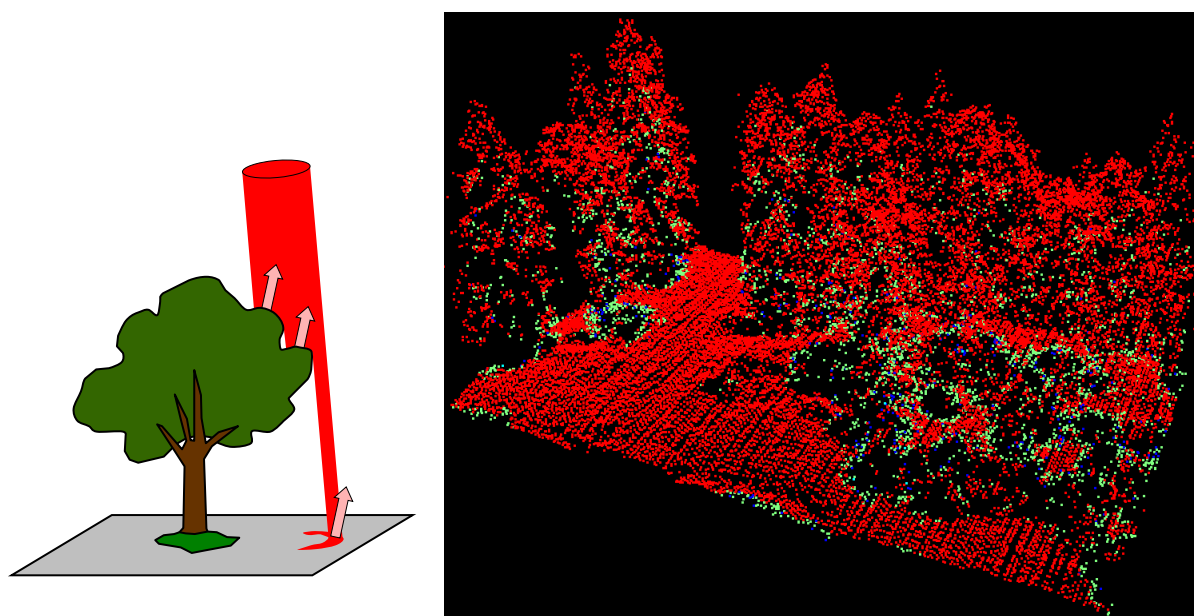
Vid flygburen laserskanning bestäms mätpunkternas position med hjälp av avståndet mellan laserinstrumentet och reflektionsytan, laserinstrumentets position och orientering i luftrummet samt laserpulsens färdriktning från instrumentet. Avståndet mäts med en laseravståndsmätare där laserpulsens gångtid fram och tillbaka till instrumentet registreras, och används för att beräkna avståndet. Instrumentets position- och orientering mäts med en GPS och ett tröghetsnavigationssystem. Laserpulsens riktning från instrumentet ges av läget hos den skanner, t.ex. en vickande spegel, som riktar och sprider ut lasermät-pulserna över terrängen. Resultatet blir ett moln med 3D-punkter i något valt referenssystem.



Figur 3.
Ett punktmoln från flygburen laser-skanning över en skog. Färgerna representerar höjden över havsytan.

Ett modernt laserskannerinstrument detekterar och registrerar normalt så kallade multipla ekon. Multipla ekon uppstår då olika delar av laserpulsens tvärsnittsarea, som ofta är flera decimeter i diameter, reflekteras på olika ställen med en tydlig höjdskillnad. Ett exempel på en sådan mätsituation illustreras i (Figur 4, vänster bild). De enskilda reflektionerna kan dock bara separeras och registreras som enskilda mätpunkter i instrumentet om avståndet i höjddled är tillräckligt stort mellan de reflekterande ytorna, för ett vanligt kommersiellt laserinstrument, någon till några meter. Om avståndet är för kort sammanblandas den reflekterade laserstrålningen från de olika ytorna och kommer att uppfattas som en enda, i höjddled mer utdragen reflex. Den resulterande mätpunkten från den reflexen hamnar då någonstans emellan ytorna.

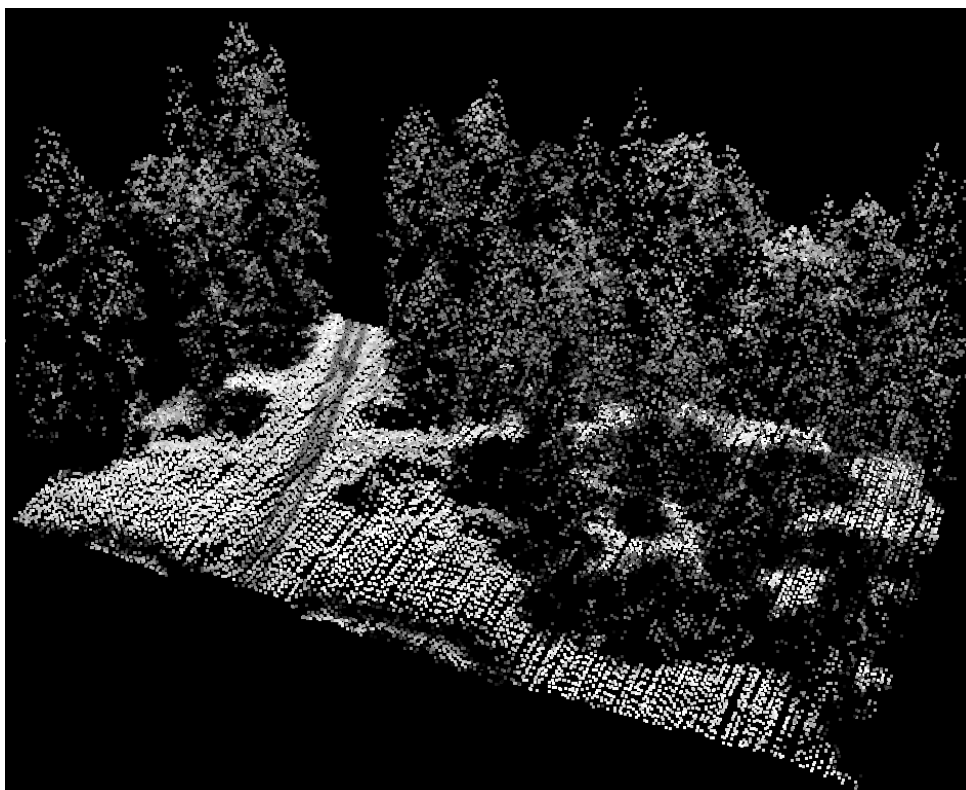
I skogsterräng är det vanligt med multipla ekon i träden. En del av laserpulsens reflekteras då i den övre delen av trädkronan medan resterande delar reflekteras av grenar längre ned eller av markytan. Detta illustreras i (Figur 4, höger bild). Lägga märke till det förhållandevis stora antalet mätpunkter på markytan även mellan och under träden. Detta är en av de verkligt unika egenskaperna med laserskanningstekniken. Med flygburen laserskanningen är det möjligt att kartera markytans topografi med stor exakthet även i områden med relativt tät skog.



Figur 4.

Diametern hos en laserpuls vid flygburen laserskanning är normalt mellan några decimeter upp till en meter. Olika delar av tvärsnittsarean kan därmed reflekteras från olika delar på olika höjd. I bilden till höger har färgen används för att visa vilken typ av eko det är, röd = första eko, grön = andra eko, blå tredje eko o.s.v.

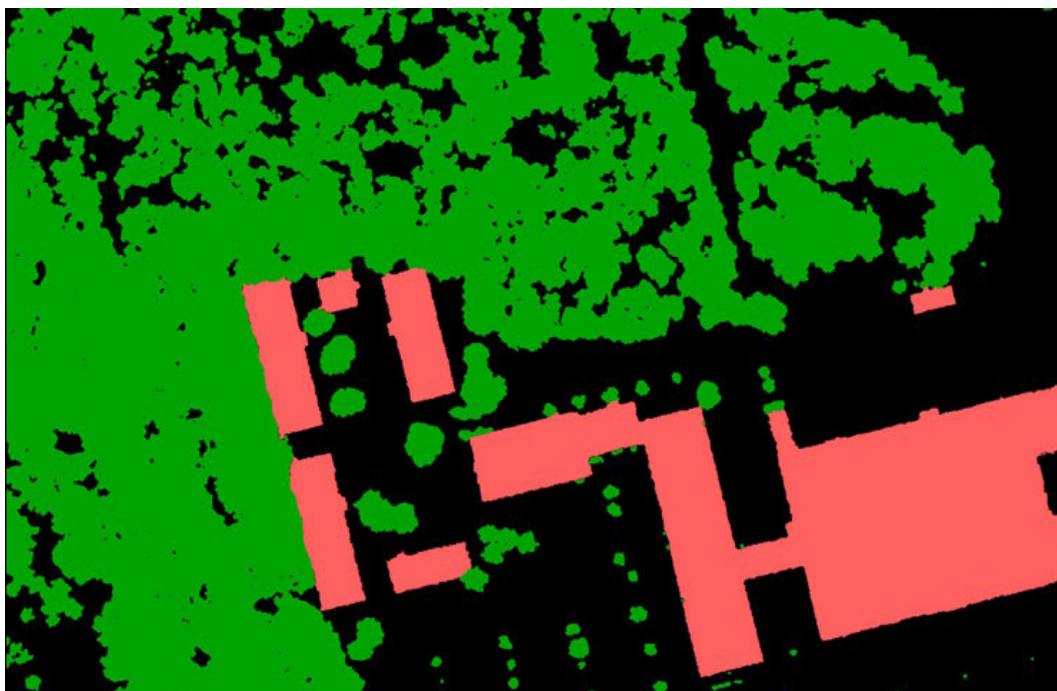
Intensitetsvärdet, som är ett mått på den reflekterade lasermätpulsens intensitet, avspeglar reflektionsegenskaper hos terrängen. I (Figur 5) visas exempel på ett punktmoln där punkterna fått en grå nyans som motsvarar uppmätt intensitetsvärde. Notera traktorvägen som syns tydligt på markytan mellan träden. Dessa syns inte i Figur 4 där färgen används för att indikera punkternas höjd. Höjdskillnaden inom traktorvägen är för liten för att det ska bli några skillnader som syns.



Figur 5.
Ett punktmoln där grånyansen anger det uppmätta intensitetsvärde. Notera traktorvägen som syns då det är olika reflektionsegenskaper hos marken i spåren och hos marken bredvid.

Träffanalys och klassificering av laserdata

Målet med att klassificera laserdata är att avgöra vilken typ av objekt eller objektsklass som laserpulsen träffat. Vanliga klasser som används är markyta, byggnad, vegetation, kraftledning o.s.v. Klassificeringen görs med automatiska metoder som huvudsakligen bygger på extraktion av olika lokala egenskaper och karaktäristika hos den geometriska fördelningen av laserpunkterna. Till exempel klassas en punkt som mark om den är den lägsta av alla punkter i en viss omgivning. Om kraven är högt ställda kan klassificering också genomföras med stöd från andra typer av data, t.ex. RGB- eller multispektral-bilder, och/eller existerande kartdata från samma område. Med kompletterande information kan ofta ett förbättrat resultat erhållas. I (Figur 6) visas resultat av klassificering som en rasterbild.



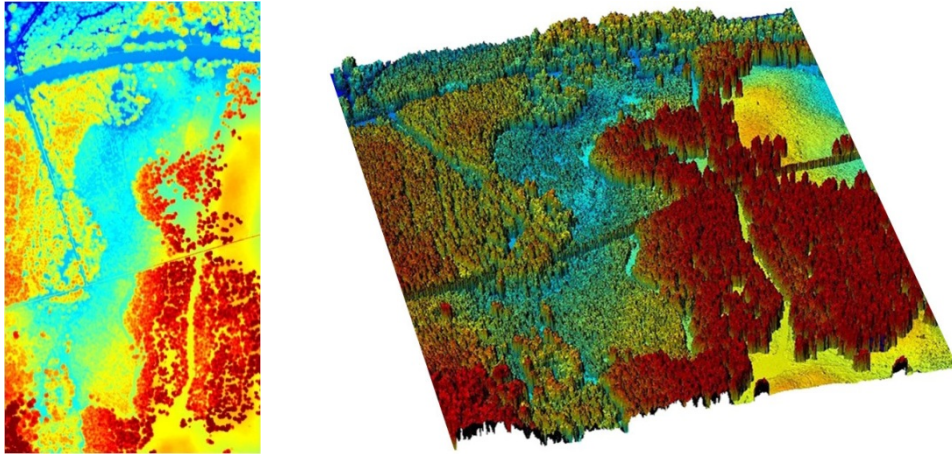
Figur 6.
Resultat av klassificering som en rasterbild av området sett rakt uppifrån, grönt = vegetation, svart=mark, röd = byggnad.

Digitala Höjdmodeller

Den vanligaste produkten från flygburen laserskanning är en digital höjdmodell (DEM = Digital Elevation Model). Flera olika sorters höjdmodeller kan produceras från laserdata. De vanligaste är:

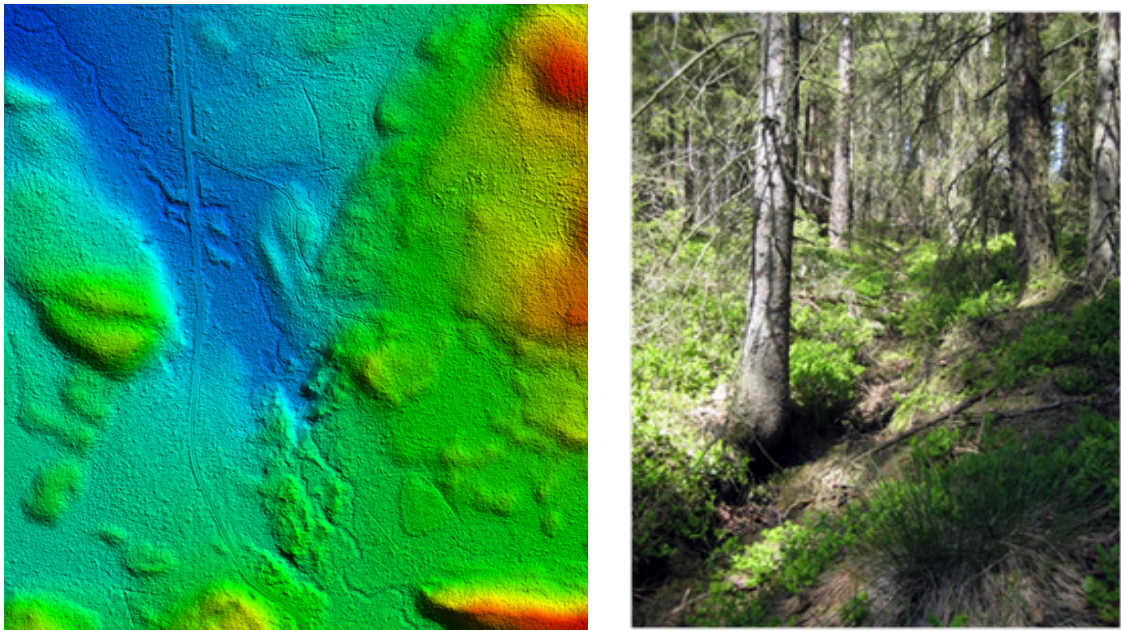
- **Digital terrängmodell**, (DTM = Digital Terrain Model) som beskriver markytans topografi. Den modellen skapas genom att använda enbart de mätpunkter som klassificerats som markträffar.
- **Digital Ytmodell**, (DSM = Digital Surface Model) som beskriver den övre ytan hos terräng och alla förekommande objekt såsom träd, byggnader, ledningsstolpar etc. I skogliga områden beskriver modellen alltså krontaket. Den här modellen skapas genom att använda den högsta punkten i varje liten lokal omgivning.
- **Objektshöjdmodell**, ibland också kallad Normaliserad Digital Ytmodell (NDSM = Normalized Digital Surface Model), som beskriver höjden för av alla objekt. Den här modellen skapas som genom att bestämma skillnaden DSM och DTM.

Höjdmodellerna produceras och lagras ofta i form av rasterdata, d.v.s. en grid med höjdpunkter med jämnt avstånd i x- och y-led. Ett exempel på en ytmodell i rasterform illustreras i (Figur 7), till vänster som en tvådimensionell bild och till höger som en tredimensionell yta.



Figur 7.
En digital ytmodell (DSM) producerad från laserdata. Färgen anger höjdvärdet i varje rastercell med hjälp av en färgskala blått-gult-rött. Till vänster visas modellen som en 2D bild och till höger som en 3D-modell.

Terrängmodeller från laserskanning är vanligen mycket detaljerade, även i skogliga områden. Detta gäller särskilt då laserskanningen genomförts med hög upplösning, d.v.s. många mätningar per kvadratmeter. Terrängmodeller från laserdata kan ofta avslöja detaljer på markytan i skogen som är mycket svåra att upptäcka med andra mätmetoder, t.ex. små bäckar och diken, spår från skogsmaskiner, o.s.v. I (Figur 8) illustreras en detaljerad terrängmodell där detaljerna tydligt framgår.

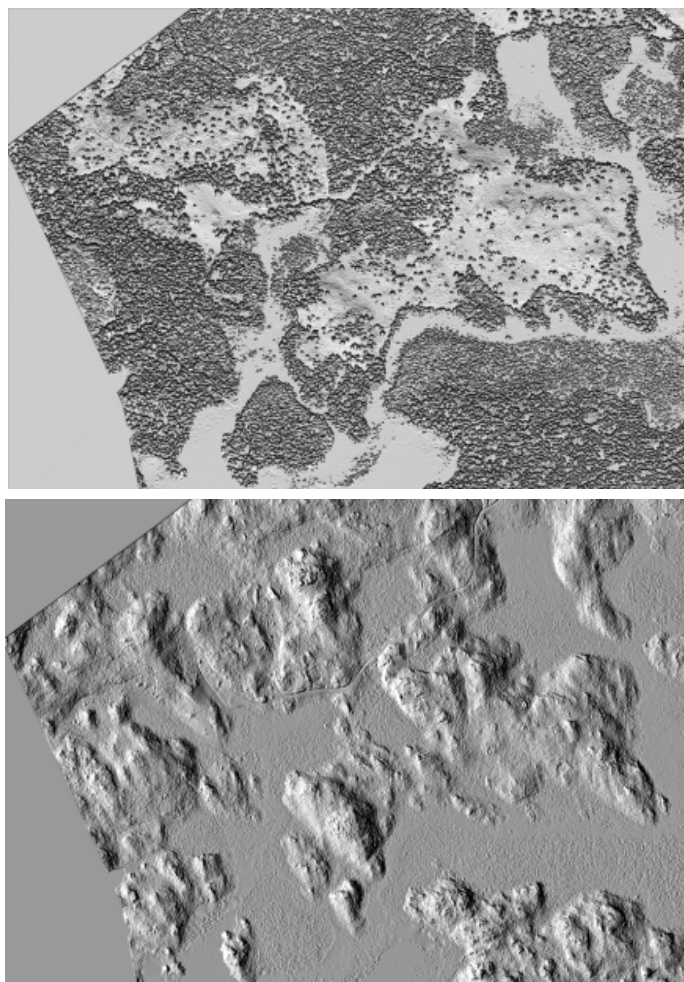


Figur 8.
Till vänster illustration av en terrängmodell där detaljerna tydligt framgår. Till höger ett av de små diken som tydligt syns i terrängmodellens övre del.

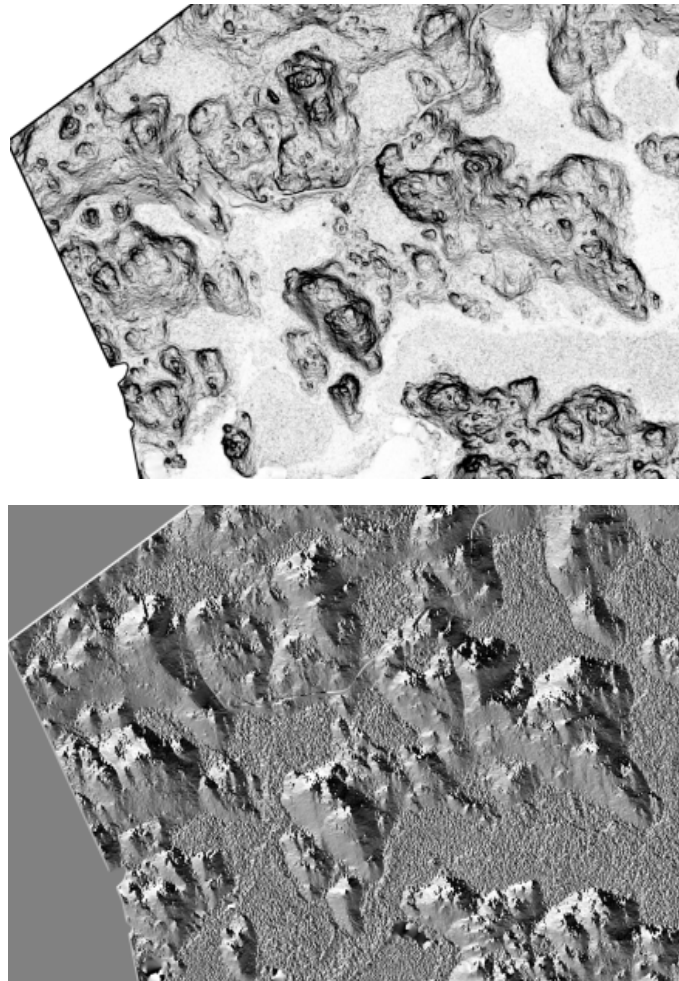
Terränganalys – lutning

Eftersom terrängmodeller från laserdata beskriver markens topografi med god noggrannhet är de också ett utmärkt underlag för olika former av terränganalyser. En mängd olika standardmetoder finns framtagna i dag. Det finns metoder för att beräkna lutning, lutningsriktning, hitta upphöjningar (kullar, stora stenar) eller sänkor. I detta arbete är det framför allt analys av terrängens lutning som används. Den informationen är nämligen till stor hjälp för bedömning av framkomlighet med skogsmaskiner.

I (Figur 9) visas två höjdmodeller för området, en ytmodell och en terrängmodell, i båda bilderna har terrängskuggning används för att förstärka intrycket av terrängens topografi. I (Figur 10) visas resultatet av lutningsanalysen. I den övre bilden visas terrängens lutning. En gråskala från ljus till mörkt anger liten respektive stor lutning. Lutningsinformationen har beräknats med hjälp av lokala höjdskillnader i varje lite lokal omgivning. I den undre bilden visas lutningens riktning.



Figur 9.
Överst en ytmodell och under en terrängmodell för samma område. Båda höjdmodellerna visas här med terrängskuggning och med gråvärden som anger höjden.



Figur 10.
Resultat av lutningsanalys. Bilden överst visar lutningen i terrängen. Gråskalevärdet anger graden av lutning från ljus till mörkt för liten till stor lutning. Bilden under visar lutningens riktning. Olika gråskalevärden anger riktningen.

DATASKIKT FRÅN ANDRA KÄLLOR

De skikt som redan i dag används vid traktplanering är:

- Skogskartan från register eller plan, med underlag från lantmäteriet.
- Kartor från SKS med information om nyckelbiotoper och andra naturvårdsobjekt.
- Kartor från Riksantikvarieämbetet med information om kulturminnen.

Dessa tre datakällor är ett minimum av nödvändig information för ett bra trakt-direktiv. I våra sökningar efter ytterligare värdefulla dataskikt har vi funnit att SGU:s jordartskarta innehåller användbar information. Framför allt inom de områden där den mer detaljerade jordartskartan i serie Ae eller K i skala 1:50 000 tillgänglig. Den detaljerade jordartskartan är baserad på omfattande fältinventering och täcker hela östra Svealand och större delen av Götaland. Gränserna mellan olika jordarter kan fel på något 10-tal meter eftersom de är dragna med penna i flygbild före GPS-teknikens tid. Jordartskartan finns tillgänglig för nedladdning i raster- eller vektorformat från www.sgu.se för en mycket måttlig kostnad.

BESKRIVNING AV ARBETSGÅNG

Utifrån omvärldsanalys, utvärdering av befintliga trakttdirektiv samt tillgängliga dataskikt utarbetades följande förslag till arbetsgång för att skapa ett trakttdirektiv.

Övergripande:

All avverkning förutsätts ske på otjälad mark. Förekomst av tjäle är redan i dag sporadisk i södra halvan av Sverige och kan förväntas avta i framtiden.

Tre klasser avgränsas:

Kör ej = Forn- och kulturminnen, nyckelbiotoper och andra områden med särskild status, vattendrag, diken, kantzoner och småkärr.

Kör med försiktighet = Känslig mark, där noggrannare kontroll i fält bör genomföras av var bas- och stickvägar ska placeras samt vilka åtgärder som måste vidtas för att förstärka markskiktet (typ stockmattor, kavelbro etc.)

Kör = Övrig mark som inte bör innebära några större svårigheter och där man kan köra under hela året. Givetvis ska drivningen genomföras med hänsyn till mark/vatten även här.

Arbetsgång:

1. Lokalisera bilvägar och potentiella avlägg

Källor: Vägskikt kompletterat med övrig info.

2. Lokalisera forn- och kulturminnen

Källor: SKS/RAÄ:s forn- och kulturminneskikt.

3. Lokalisera nyckelbiotoper och andra områden med särskild status

Källor: SKS-skikten nyckelbiotoper, naturvärden, naturvårdsavtal, sumpskogar och biotopskydd.

4. Lokalisera vattendrag och avgränsa kantzoner

Källor: Vattenskikt och DTM. Kantzonens verkliga bredd bedöms i fält men generellt markeras en (10) 15 m bred kantzon längs alla vattendrag.

5. Avgränsa kantzoner mot andra ägoslag, framför allt myr

Källor: Beståndsskikt.

6. Lokalisera diken

Källor: DTM. Ny algoritm för att hitta diken behöver utvecklas.

7. Lokalisera ej figurlagda kärr

Källor: Trädskikt (single-tree eller grid), DTM och Jordartskarta. Ny algoritm behöver utvecklas som söker luckor eller lövdominerade områden i svackor i terrängen. Även trädhöjd i och i kantzonen kan användas för att identifiera småkärr. Torv eller vatten enligt jordartskartan är även en indikation på våtmark.

8. Avgränsa områden i klass ”Kör med försiktighet”

Källor: DTM och Jordartskarta. Ny algoritm behöver utvecklas. Svackor i terrängen i kombination med torv, silt eller lera är typiska ”kör med försiktighet”-områden. En lovande datakälla för denna användning är den s.k. DTW (Depth to Water Table)-kartan som utvecklats vid University of New Brunswick <http://watershed.for.unb.ca> (Murphy et al., 2009).

9. Lokalisera föreslag till överfarter

Källor: DTM, vattendrag, diken, småkärr, beståndsskikt. Fokuserar på att hitta vattendelare, där sådan finns i svackor. Även att hitta minsta avstånd mellan bärig mark på båda sidor om obärig passage.

10. Lägg ut bas- och huvudvägar

Källor: DTM och avgränsningar enligt ovan inklusive diken och potentiella överfarter. Utläggning av huvudvägar optimeras. För detta behöver vi information om kostnader för olika typer av broar och andra åtgärder för att passera vattendrag och obäriga partier. En första prototyp av GIS-verktyg för att optimera dragning av bas- och huvudvägar har utvecklats inom projektet (se nedan). Använder man ett GIS-stöd av denna typ för utläggning av bas- och huvudvägar behöver man inte åtskilja de två klasserna ”kör med försiktighet” och ”kör” eftersom metoden tar hänsyn till variationen i bärighet.

11. Lägg ut drivningsvägar

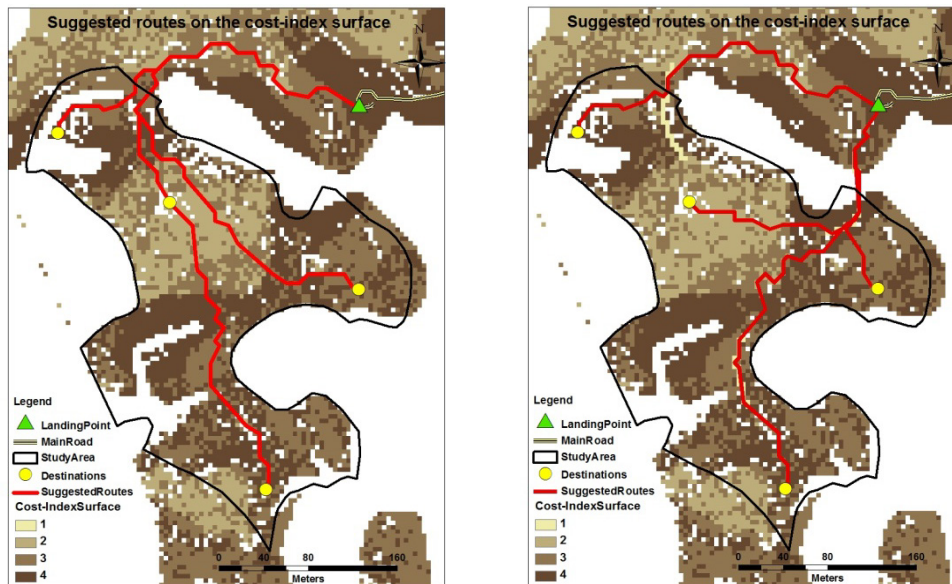
Detta ingår egentligen inte i traktdirektivet, men det finns en potential i att utveckla metoder för att optimera hela vägnätet på en trakt (se nedan).

Källor: DTM och avgränsningar enligt ovan inklusive diken och optimala basvägar samt trädskikt (single-tree eller grid).

UTVECKLING AV OPTIMERINGSMETOD

Inom studieområdet Selesjö valde vi ut två avdelningar som var planerade för slutavverkning under vintern och våren 2011. Genom att kombinera GIS-skikt från olika datakällor skapades en kostnadsyta över området. Ytan beskriver ett kostnadsvärde för att köra genom varje 4 × 4 m ruta. Kostnadsvärdet är en sammanvägning av ekonomisk/teknisk kostnad såväl som miljökostnad. Metoden finns närmare beskriven av (Mohtashami, 2011).

Altitud, lutning och jordart bedömdes vara de viktigaste faktorerna för att hitta optimala huvudvägar på avverkningstrakten. Denna information fanns tillgänglig som digitala skikt men var klassade i olika skalor. För att kunna väga ihop egenskaperna i dessa tre skikt till ett gemensamt skikt gjordes en omklassificering av dessa till en gemensam skala 1–5 som kallades kostnadsindex. De mest gynnsamma förhållandena för att undvika körskador och besvärliga lutningar tilldelades värdet 1 (högt i terrängen, ingen lutning och jordart med god bärighet) och de besvärligaste tilldelades värdet 5 (svackor, brant lutning och finjordrika marker). Att använda altitudskillnader inom trakten som indikator på bärighet bygger på att markfuktigheten i genomsnitt är högre i lägre liggande partier. Altituden kan därför betraktas som en mycket grov markfuktighetsmodell. I nästa steg vägdes värden i varje skikt samma till ett gemensamt skikt med möjlighet att ändra vikten för varje enskilt skikt. Slutligen använder man ”path-distance” verktyget i GIS-programmet för att hitta den väg, från en destination på hygget till avlägget, som ger det lägsta ackumulerade kostnadsindexvärdet. Modellen skiljer på lutning mot och med färdriktningen, där högre lutning ger högre kostnadsindex, och sidlut som ej inkluderas i kostnadsindexet men där en begränsning på maximalt 5 % accepteras. Figur 11 visas två alternativ för en av trakterna på Selesjö, med och utan bro över ett kärrparti.



Figur 11.

I figuren ovan syns värdet på kostnadsindexytan i brun färgton. Mörkt brun är högt index och ljus brun lågt index. De vita områdena är områden som redan innan analysen undantagits från körning. Dessa är bl.a. hänsynsytor, diken, torvmarker, och branta lutningar.

KOPPLING TILL OPTIMERING AV STICKVÄGSNÄT

Arbetsmomentet för en skotare kan delas upp i terrängkörning (lastad och tom), lastning, körning under lastning, lossning och övrigt arbete. Terrängtransporten står vanligen för 30–35 % av det totala arbetet och är en faktor med mycket hög påverkan på prestationen. Kan vägvalen optimeras så att de minimerar den totala sträckan för terrängkörning för skotaren (och även för skördaren) finns möjligheter att öka prestationen väsentligt. Tidigare projekt (Sporre och Grot-Sporre) har visat att det endast finns en marginell möjlighet att påverka skotarens körmönster och vägval när avverkningen väl är gjord.

För att kunna ta fram verkligt optimala vägval, för skördare såväl som skotare och GROT-skotare, behöver ett vägsystem anpassat efter helheten på trakten tas fram redan under planering innan avverkning. I detta projekt har basvägarna i en drivningstrakt optimerats utifrån ekologiska och ekonomiska faktorer. Trädskiktet från högupplöst laserskanning gör det möjligt att även göra optimeringsberäkningar för hur stickvägsnätet bör läggas utifrån skattade volymer av respektive sortiment. Målsättningen skulle t.ex. kunna vara att minimera körsträckan för skördare och skotare samt maximera lassfyllnad för respektive stickväg. Vidare finns även möjlighet att planera ett optimalt uttag av grot. Under 2012 förväntas studier genomföras av hur förekomsten av markskador är kopplat till grot, volymer och uttag av grot. Förhoppningen är att detta kommer att resultera i rekommendationer för var grot kan/ska tas ut som ett bränslesortiment samt var groten bör ligga i körvägarna. I slutänden skulle detta kunna sammanställas till ett digitalt trakttdirektiv där placeringen av bas- och stickvägsnät optimerats utifrån ekologiska- och ekonomiska förutsättningar. Dessutom skulle information om vilka rundveds- och bränslesortiment som ska avverkas och skotas kunna adderas till varje enskild vägsträcka.

Genom att utveckla GIS modellen framtagen i detta projekt med en optimeringsmodul för att hantera bas- och stickvägsutläggningen utifrån stående virkesvolymer och virkesutfall skulle ett mer optimal vägnät kunna tas fram för skördaren att köra efter. Detta skulle kunna möjliggöra stora besparingar i körsträcka för såväl skördare som skotare och därigenom en lägre bränsleförbrukning. Dessutom skulle optimeringen av grotuttaget kunna bidra till minskade markskador. Slutligen skulle informationen om respektive sortiment i beståndet överföras till en momentan rapportering av avverkade respektive skotade volymer och därigenom användas för förbättrade informationskedjor och kortare ledtider från stubbe till industri. Ett sådant verktyg förutsätter bra traktdirektiv eller att resultaten kan presenteras i skördaren GIS innan avverkningen startar. En sådan planeringsrutin skulle kunna ingå i den generella planeringen av en avverkningstrakt.

Diskussion

ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN FÖR METODEN OCH VERKTYGET

Den viktigaste slutsatsen från denna studie är att vi bedömer att ett GIS-stöd som baseras på en DTM kompletterat med andra data har stor potential att bidra till att skapa bättre traktdirektiv som i sin tur bidrar till ökad produktivitet och minskade körskador på mark och vatten. Vi ser framför allt tre användarfall för ett sådant verktyg:

- 1) **Planläggaren** som kan förbereda sitt fältbesök genom att göra viktiga gränsdragningar vid datorn på rummet. Dessutom kan han få ett förslag på optimal utläggning av bas- och huvudvägar. Dessa arbetsmoment kan han utföra på rummet t.ex. under vintertid för att sedan bli effektivare i sitt arbete i fält under barmarksperioden.
- 2) **Maskingruppen** som kan få ett digitalt traktdirektiv på trakter som ej besökts av planläggare. Utifrån det digitala traktdirektivet kan de sedan komplettera detta med egna fältkontroller i områden där tveksamhet råder. Framför allt bedömer vi att bra förslag på huvudvägar kan underlätta att öppna upp trakten på rätt ställe och detta utgör grunden för ett vägnät som leder till kostnadseffektivare drivning, samtidigt som det minskar potentiella markskador. I direktivet kan också anges vilka delar av vägnätet som behöver risas och var GROT-uttag är lämpligt.
- 3) **GROT-planering.** Genom att kombinera information om trädskiktet med bedömningen av vilka delar av vägnätet som måste risas så kan man beräkna mängden GROT som kommer att kunna skördas på trakten.

FORTSATT UTVECKLING INOM OMRÅDET

Denna studie har finansierats av Stiftelsen Skogssällskapet. Den har blivit startpunkten för ett betydligt större utvecklingsprojekt som nu fortsätter på Skogforsk med finansiering från ESS-programmet (Effektivare skogsbränslesystem), Södras forskningsstiftelse samt Skogforsks ramprogram. Vi ser många utvecklingsspår som vart och ett har potential att förbättra våra möjligheter att skapa bättre traktdirektiv med mindre markskador och ökad produktivitet som följd.

De utvecklingsinsatser som redan påbörjats eller planeras är:

- 1) Testning i fält av den första versionen av GIS-verktyget. Detta pågår och ett 20-tal trakter har planerats med verktyget och maskinlagen får använda dessa i sitt arbete. Efteråt görs en uppföljning av markskador, transportavstånd och maskinförarnas intryck.
- 2) Utveckling av ett GROT-skikt baserat på de olika dataskikt vi har tillgång till. Syftet är att avgränsa de områden inom trakten där GROT kan skördas och de områden där riset måste användas för att köra på.
- 3) Validering och test av det kanadensiska DTW-skiktet. University of New Brunswick har producerat denna typ av markfuktighetskartor åt oss på två områden, ett i Uppland och ett i Halland. Vi kommer att börja med att validera kartskikten med fältkontroller och därefter integrera det i vårt GIS-verktyg.
- 4) Utveckla algoritmer för automatisk kartläggning av dikessystem och ej figurlagda kärr med DTM-data som grund.
- 5) Utvärdera vilken betydelse laserskanningens upplösning har på resultaten och de olika producerade skiktens användbarhet i planeringen.
- 6) Vidareutveckla verktyget till att kunna göra relevanta förslag till vägnät vid olika årstider och väderförutsättningar, t.ex. tjälad mark, tjällossning, blöt höst, torr sommar etc. samt att testa detta.
- 7) Utveckling av användargränssnitt. Skogforsk kan påbörja detta arbete genom att göra en demonstrator eller en kravspecifikation. Att producera den färdiga programvaran är inte Skogforsks roll utan här hoppas vi på att kommersiella aktörer tar vid.

Referenser

- Arlinger, J. 2008. StanForD-standard öppnar för digitala trakttdirektiv.
- Barth A., Hannrup, B., Möller, J.J. & Wilhelmsson, L. 2008. Validering av FORAN SingleTree® Method. Skogforsk Arbetsrapport 666.
- Berg S. 1992. Terrängtypschema för skogsarbete. Skogforsk Handledning.
- Berg, S., Mohtashami, S., Bergkvist, I. & Löfgren, B. 2011. Soft logging: Avoiding damage to soil and water. *In: proceedings from FORMEC 2011. October 9–13 Graz.*
- Mohtashami, S., Bergkvist, I., Sonesson, J. & Thor, M. 2012. GIS decision support tools to minimize soil and water damage in logging operations – Swedish case studies show great potential. Artikel inskickad till FORMEC 2012 i Kroatien.
- Mohtashami, S. 2011. Bättre planering av avverkningsvägar med GIS. Skogforsk Resultat nr 6.
- Mohtashami, S. 2011. Bättre planering av avverkningsvägar med GIS. Skogforsk Resultat nr 6.
- Mohtashami, S. 2011. Planning forest routes for silvicultural activities using GIS based techniques. A case study of Selesjö in Östergötland, Sweden. Arbetsrapport Nr 751. Skogforsk.

- Murphy, P.N.C, Ogilvie, J., Arp, P.A., 2009. Topographic modelling of soil moisture conditions: a comparison and verification of two models, *European journal of soil science* (16), p: 94–109.
- Persson, Å., Holmgren, J. & Söderman, U. 2002. Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 68, pp. 925–932, (Paper 925).
- Ring, E., Löfgren, S., Sandin, L., Högbom, L. & Goedkoop, W. 2008a. Skogsbruk och vatten – En kunskapsöversikt. Skogforsk Redogörelse 3.
- Ring, E., Löfgren, S., Sandin, L., Högbom, L., Goedkoop, W., Bergkvist, I. & Berg, S. 2008b. Skogsbruk med hänsyn till vatten. SkogforskHandledning. Skogforsk-Resultat nr 14.
- Sonesson, J., Arlinger, J., Barth, A., Eriksson, B., Frisk, M., Jönsson, P., Möller, J., Svenson, G., Thor, M. & Wilhelmsson, L. 2008. Analys av potentiella mervärden i kedjan skog-industri vid användning av pulsentensiv laserscanning. Skogforsk Arbetsrapport 654.
- Sonesson, J., Bergkvist, I., Andersson, G. & Thor, M. 2007. Klimatförändringarnas inverkan på drivning och logistik i skogsbruket. I: Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter. Slutbetänkande av klimat och sårbarhetsutredningen. SOU 2007:60. ISSN 0375-250x. ISBN 978-91-38-22793-0.
- Staland, F. & Larsson, K. 2002. Bra planering och rätt teknik minskar risken för markskador. Skogforsk Resultat nr 4.

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2011

2011

- Nr 733 Rytter, L., Johansson, T. Karačić, A., Weih, M. m.fl. 2011. Orienterande studie om ett svenskt forskningsprogram för poppel. 210 s.
- Nr 734 Hannerz, M. & Fries, C. 2011. Användningen av webbtjänsterna Kunskap Direkt och Skogsskötselserien. – En enkätundersökning bland skogsbrukets fältpersonal. 48 s.
- Nr 735 Andersson, M. & Berglund, A. 2011. Test av pekskärmsmobiler. 22 s.
- Nr 736 Löfgren, B., Englund, M., Fogdestam, N., Jönsson, P., Lundström, L. & Wästerlund, I. 2011. Spårdjup och vibrationer för banddrivna skotare Lightlogg C och ProSilva. 32 s.
- Nr 737 Brunberg, T. 2011. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1470D hos SCA Skog hösten 2010. 8 s.
- Nr 738 Fogdestam, N. & Lundström, H. 2011. Studier av Offset Crane Concept, OCC hos Kjellbergs Logistik & Teknik i Hällefors. 15. s.
- Nr 739 Enström, J. & Röhfors, G. 2011. Effektivare järnvägstransporter med större fordon – En förstudie. 28 s.
- Nr 740 Iwarsson Wide, M. & Fogdestam, N. 2011. Jämförande studie av olika uttagsmetoder av massaved och skogsbränsle i klen gallring. – Energived- och massavedsuttag med LOG MAX 4000B, Stora Enso Skog, Dalarna. 36 s.
- Nr 741 Brunberg, T. 2011. Uppföljning av utbildningseffekten hos maskinlag hos SCA Skog AB 2010. 8 s.
- Nr 742 Hannrup, B., Andersson, M., Bhuiyan, N., Wikgren, E., Simu, J. & Skog, J. 2011. Vinnova_Slutrapport_P34138-1_101221. – Slutrapport för projekt ”Beröringsfri diametermätning i skördare – utveckling av mätsystem och tester i produktionsmiljö”. 84 s.
- Nr 743 Åström, H. 2011. Förbättring av arbetsförhållande i skördare. Improvement of working conditions in harvester. 126 s.
- Nr 744 Cheng, C. 2011. Modellering av åkkomforten i en skotare. Modeling the Ride Comfort a Forwarder. 93 s.
- Nr 745 Jonsson, J. 2011. Dynamisk däckmodellering och markinteraktion för skogsmaskiner. Dynamic tire modeling and soil interaction regarding forestry machines. 52 s.
- Nr 746 Grönqvist, D. 2011. Konzeptutveckling av hybriddrivlina för skogsmaskiner. Concept development of a hybrid powertrain for forest machines. 180 s.
- Nr 747 Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Möller J.J. 2011. Utveckling och utvärdering av en standardiserad metod för volymbestämning och stamräkning vid avverkning med flerträd shanterande skördaraggregat. 34 s.
- Nr 748 Brunberg, T. & Hagos Lundström. 2011. Studier av TimBear Lightlogg C i gallring hos Stora Enso Skog våren 2011. 9 s.
- Nr 749 Eliasson, L., Granlund, P., Johannesson, T. & Nati, 2011. Prestation och bränsleförbrukning för tre flishuggar. 15 s.
- Nr 750 Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Hannrup, B. & Nordström, M. m.fl. 2011. D3.5-Methods and models for relating wood properties and storage conditions to process efficiency and product quality. 67 s.

- Nr 751 Mohtashami, S. 2011. Planning forest routes for silvicultural activities using GIS based techniques – A case study of Selesjö in Östergötland, Sweden. Bättre planering av avverkningsvägar med GIS. 39 p.
- Nr 752 Bergkvist, I. & Fogdestam, N. 2011. Slutrapport – Teknik och metoder vid energiuttag i korridorer. 26 s.
- Nr 753 Westlund, K., Jönsson, P., Flisberg, P. & Rönnqvist, M. 2011. Skotningsplanering – SPORRE- och GROT-sporreprojektet. 23 s.
- Nr 754 Sjöström, L. 2011. Fuktighetsmätning av skogsbränsle – Genomgång av tekniska principer och översikt av marknadsförda utrustningar. 25 s.
- Nr 755 Eliasson, L. & Lundström, H. 2011. Skotning av färsk och hyggestorkad grot variabelt lastutrymme. 10 s.
- Nr 756 Möller, J. J., Arlinger, J., Barth, A., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2011. Ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register och planeringssystem. 56 s.
- Nr 757 Hannrup, B., Bhuiyan, N. & Möller, J.J. 2011. Utvärdering av ett system för beräkning och återföring av skördar baserad information till skogliga register och planeringssystem. 72 s.
- 2012**
- Nr 758 Löfroth, C. & Svenson, G. 2012. ETT – Modulsystem för skogstransporter – En trave Till (ETT) och Större Travar (ST). 151 s. ETT – Modular system for timber transport One More Stack (ETT) and Bigger Stacks (ST). p. 156.
- Nr 759 von Hofsten, H., Johannesson, T. & Aneryd, E. 2012. Effekter på stubbskördens produktivitet beroende på klippningsgraden. Impact of stump splitting on harvest productivity 22 s.
- Nr 760 Jönsson, P. & Englund, M. 2012. Air-Hawk-luftkudde. Ergonomiskt hjälpmedel för skogs- och jordbruksmaskiner. Airhawk Seat Cushion – Ergonomic aid for forestry and agricultural machinery. 24 s.
- Nr 761 Rosvall, O. & Lindgren, D. 2012. Inbreeding depression in seedling seed orchards. Under bearbetning.
- Nr 762 Hannrup, B. & Lundgren, C. 2012. Utvärdering av Skogforsks nya barkfunktioner för tall och gran – En uppföljande studie. – Evaluation of Skogforsk's new bark equations for Scots pine and Norway spruce 26 s.
- Nr 763 Englund, M. 2012. LED-ljus i aggregatet – En pilotstudie. LED lighting on harvester head. A pilot study. 6 s.
- Nr 764 Bhuiyan, N., Arlinger J. & Möller, J.J. 2012. Kartunderlag för effektivare grotskotning genom export av shapefiler. – Map support for forwarding of logging residues through export of shape files. 22 s.
- Nr 765 Brunberg, T. 2012. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 70E hos Holmen Skog vintern 2012. – Study of multiple tree handling in clear cutting with John Deere 1170E together with Holmen Skog in the winter of 2012. 7 s.
- Nr 766 Löfgren, B., Englund, M., Jönsson, P., Wästerlund, I. & Arvidsson, J. 2012. Spårdjup och marktryck för skotare med och utan band samt styrbar boggi. 15 s. – Rut depth and ground pressure for forwarder with and without tracks. 18 s.
- Nr 767 Eriksson, B. 2012. Utveckling i outsourcad skogsvård. Improving productivity and quality in out sourced silviculture 14 s.

- Nr 768 Fogdestam, N., Granlund, P. & Eliasson, L. 2012. Grovkrossning och sällning av stubbar på terminal. Coarse grinding of stumps and sieving of the produced hog fuel. 9 s.
- Nr 769 Hannerz, M. 2012. Vem besöker Kunskap Direkt och vad tycker de? – Who visits Knowledge Direct (Kunskap Direkt) and what do they think of it? 38 s.
- Nr 770 Barth, A., Sonesson, J., Thor, M., Larsson, H., Engström, P., Rydell, J., Holmgren, J., Olofsson, K. & Forsman, M. Beståndsmätning med mobila sensorer i skogsbruket. – Forest measurements with mobile sensors in forestry. 32 s.
- Nr 771 Skutin, S.-G. 2012. Lönsamhet för CTI på virkesfordon. Profitability for CTI on roundwood haulage vehicles. – Cost-benefit analysis of using CTI on roundwood haulage vehicles 25 s.
- Nr 772 Sonesson, J., Mohtashami, S., Bergkvist, I., Söderman, U., Barth, A., Jönsson, P., Mörk, A., Jonmeister, T. & Thor, M. 2012. Beslutsstöd och metod för att minimera markpåverkan vid drivning. – Slutrapport från projekt ID 0910/143-10. – Decision support and methods to minimise ground impact in logging – Final report of project ID 0910/143-10. 22 s.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiftelsen, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Från Skogforsk nr. 772-2012



www.skogforsk.se