

PM
Kartografisk information ur laserdata

2011-11-07
Dnr

Kartografisk information ur laserdata

Bakgrund

Lantmäteriet ajourhåller Grundläggande geografiska data (GGD) dels i samverkan och dels i egen regi. Samverkan sker med kommuner och andra organisationer med ansvar för geodata, och gäller till exempel byggnader, vägar och kraftledningar. I egen regi sker ajourhållning på hela informationsinnehållet med fotogrammetriska metoder, vilket innebär tredimensionell stereokartering i flygbilder och tvådimensionell kartering i ortofoto.

Inom Lantmäteriets program Ny nationell höjdmodell (NNH) laserskannas hela Sverige med en punkttäthet på 0.5-1 punkt per kvadratmeter. Från laserdata skapas i första hand en terrängmodell (DTM) i rasterformat, men laserdata skulle också kunna bidra till en bättre tolkning av objekt där fotogrammetrisk mätning har problem, till exempel i skogsmark.

Avsikten är här att ge en överblick över några olika produkter som kan tas fram ur laserdata, och att visa hur dessa skulle kunna användas som ett komplement till flygbilder och ortofoto vid ajourhållning och kvalitetshöjning av GGD. Fokus ligger på möjligheter att förbättra fullständighet på objekt som är svåra att tolka i flygbilder, men även möjligheter att förbättra noggrannhet för befintliga objekt.

Ett problem med NNH är att täckningen ännu inte är fullständig, samt att det inte är bestämt hur ajourhållningen skall gå till. Troligen kommer inte något rikstäckande omdrev med laserskanning liknande bildförsörjningsprogrammet att utföras, utan ajourhållning kommer antagligen att ske inom utvalda mindre områden. Möjligheterna att använda NNH för att förbättra aktualitet i GGD är därför begränsade. Dessutom kan ajouurföring komma att utföras även med andra metoder än laserskanning.

Laserdata

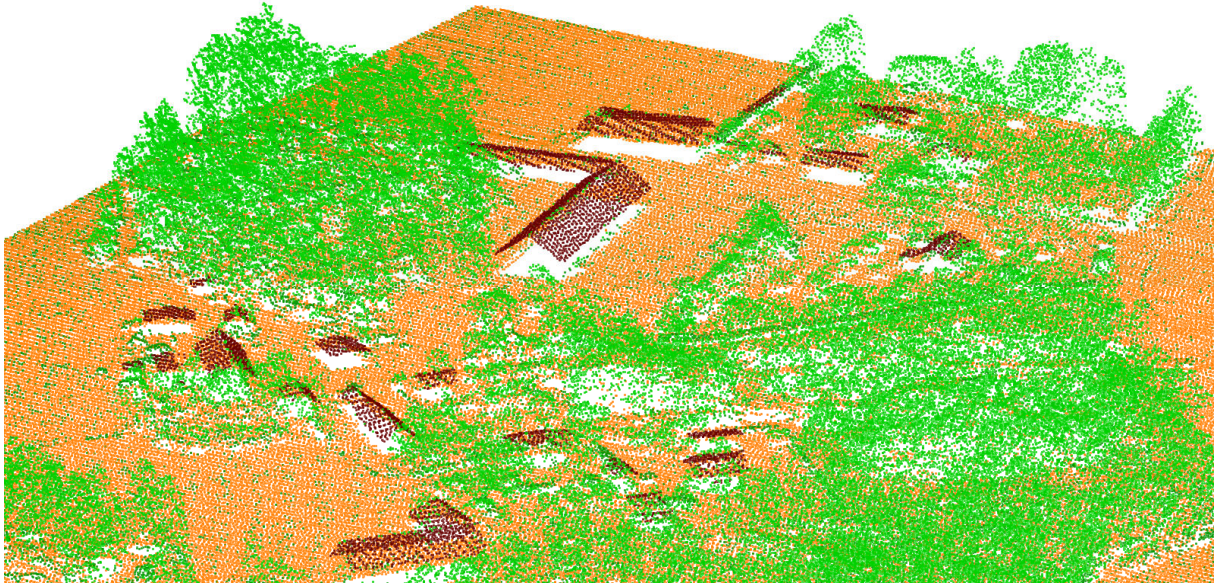
Resultatet från en laserskanning är ett så kallat punktmoln där både markytan och objekt ovan denna finns representerade. När målet är en terrängmodell som representerar markytan måste därför punktmolnet klassificeras, så att de verkliga markpunkterna separeras från övriga punkter. Ofta innehåller punktmolnet dessutom en liten mängd felaktiga punkter under markytan, samt höga punkter från träffar på exempelvis moln och fåglar.

Andreas Rönnberg

Lantmäteriet Informationsförsörjning

Tel. växel: 0771-63 63 63 Fax:

E-post: andreas.ronnberg@lm.se Internet: www.lantmateriet.se

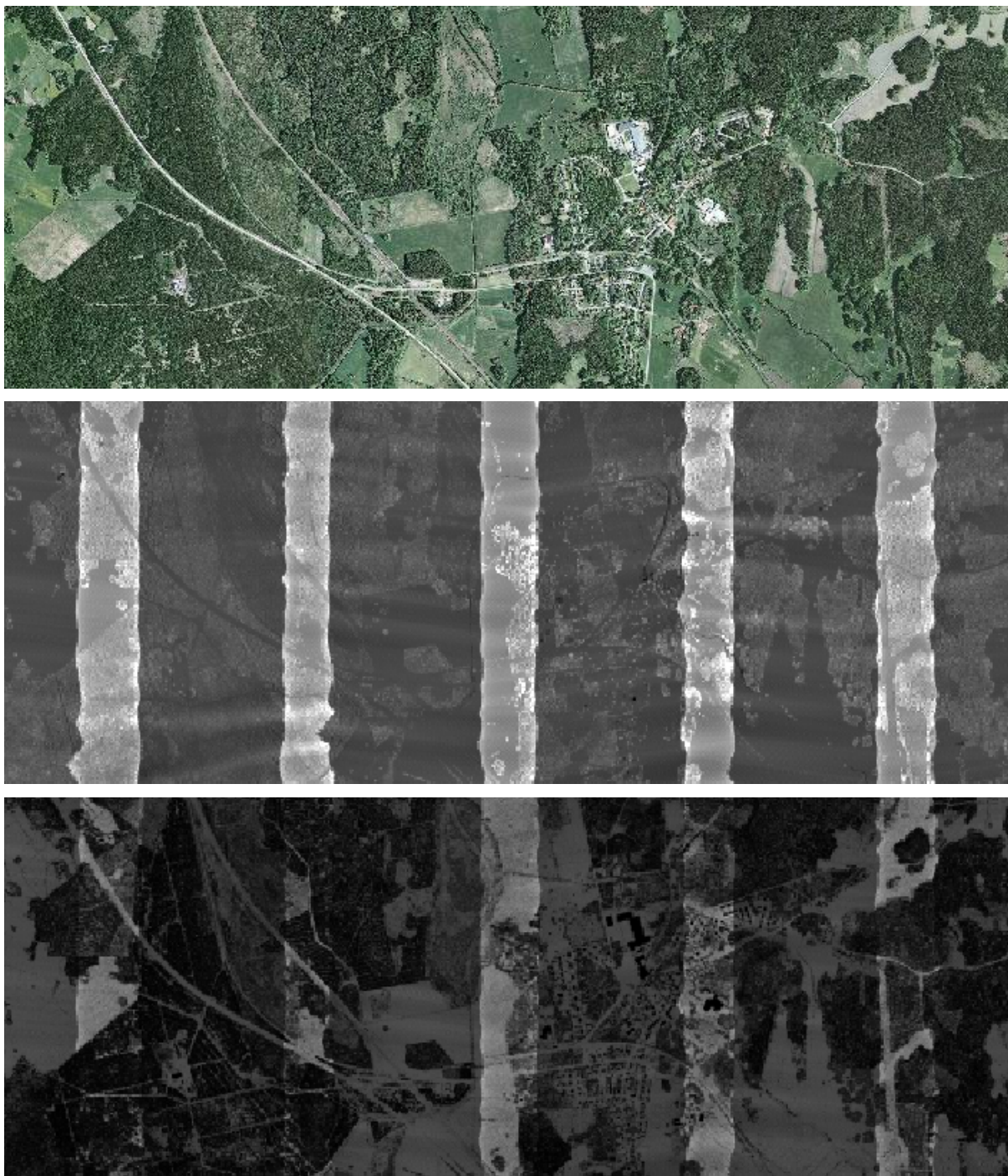


Figur 1 Punktmoln klassat som mark, vegetation och byggnader. Bilden kommer från ett område med överlapp mellan stråk där punkttätheten är dubblerad.

Markklassningen av punktmolnet sker i huvudsak med automatiska metoder som i de flesta fall ger ett mycket bra resultat. Felaktiga lågpunkter, tät låg vegetation, brant terräng och byggnader, är dock företeelser som ofta orsakar problem för den automatiska klassningen. En helt felfri klassning kräver fortfarande manuella insatser, som tyvärr är mycket tidskrävande. Många produkter från laserdata kräver en föregående markklassning, och därför måste man ha dessa problem i åtanke vid användning av produkterna.

Inom NNH klassas punkterna som mark och vatten, där klassen vatten är de markklassade punkter som faller inom vattenytor i GGD (där GGD saknar täckning används vattenytor från Vägkartan). Alla övriga punkter lämnas oklassade, och bland dessa punkter finns allt annat som reflekterat de utsända laserpulserna, främst vegetation, men även andra objekt ovan mark som byggnader.

En utsänd laserpuls har en viss divergens och täcker vid marken en diffus yta. Varje utsänd laserpuls kan därför ge flera ekon från olika objekt, och det medför att den totala punkttätheten normalt blir större i skogsmark, jämfört med tätheten i öppen terräng. Men eftersom majoriteten av dessa ekon kommer från träffar på vegetationen blir punkttätheten på markytan ändå relativt låg. I områden med tät skog kan punkttätheten på markytan bli mycket låg, vilket också försämrar terrängmodellens detaljeringsgrad.



Figur 2 Ortofoto och därunder täthet för samtliga punkter respektive för punkter klassade som mark. De ljusa lodräta banden är överlapp mellan stråk. Notera att punkttätheten i skog generellt är något högre, men att tätheten på markytan i skogsområden är betydligt lägre än i öppen terräng.

Visualisering och kartering

Punktmolnet kan visualiseras genom bland annat 3D-vyer, syntetisk stereobetraktning eller profildragning, och man kan manuellt utföra mätningar direkt i molnet. För kartering med högsta möjliga detaljeringsgrad bör man om det är praktiskt möjligt arbeta direkt med punktmolnet.

Ur punktmolnet kan man med automatiska metoder till viss del identifiera bland annat byggnader, träd och kraftledningar, även om det normalt krävs en manuell editering av resultatet. Vad som går att identifiera bestäms till stor del av punkttätheten. Med den relativt låga punkttätheten i NNH är möjligheterna något begränsade.

Det finns också en skillnad mellan punktmoln från olika skanningstillfällen, bland annat beroende på typ av laserskanner, väderleksförhållanden och årstid. En viss typ av objekt kan ha reflekterat laserpulserna vid ett tillfälle, och finns därmed representerade i punktmolnet, samtidigt som de kan saknas i ett annat till synes likvärdigt material.

Att helt automatiskt kartera nya objekt direkt ur punktmolnet eller ur rasterprodukter är mycket komplicerat, men möjligheterna förbättras om man tar stöd från kompletterande geodata i form av flygbilder eller befintliga vektordata. I många fall är dock olika former av halvautomatisk kartering lämpligare, och manuella insatser är nästan alltid nödvändiga för att säkra kvaliteten.

Rasterprodukter

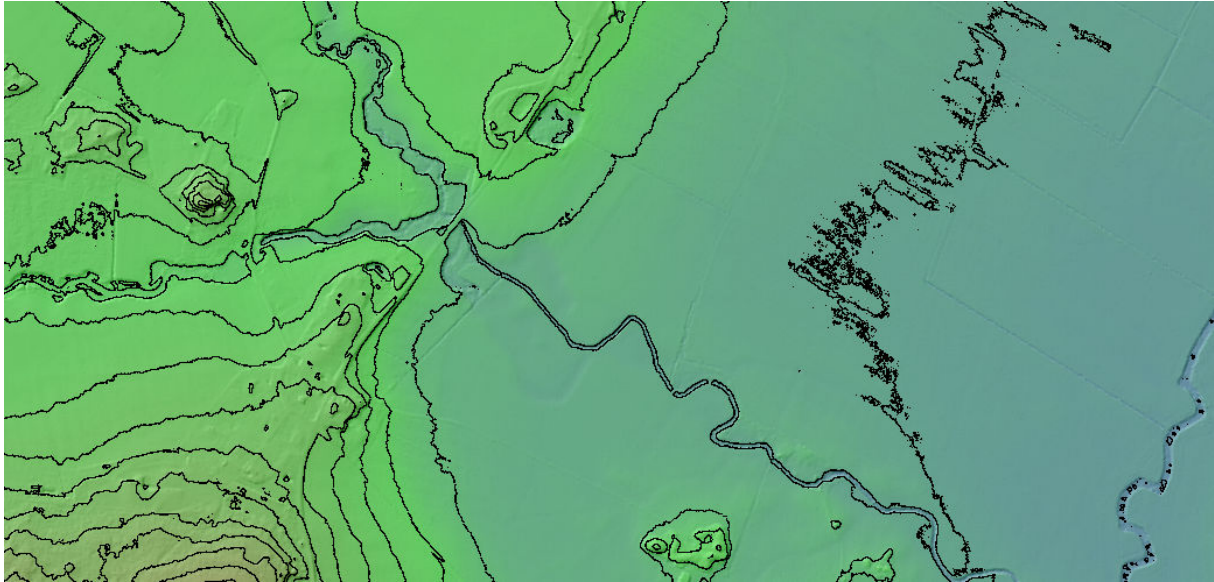
Punktmolnet är relativt svårhanterligt, men genom att rastrera molnet och låta olika egenskaper hos punkterna representeras av pixelvärden kan man enkelt visualisera och arbeta vidare med informationen i andra system. Då kan också många metoder för bildbehandling tillämpas på materialet, till exempel segmentering och objektkänning. Nackdelen med rastrering är att detaljeringsgraden minskar när upplösningen görs homogen.

Nedan beskrivs några av de för kartering mest värdefulla rasterprodukterna.

Terrängmodell

Målet med NNH är att framställa en rikstäckande terrängmodell som representerar den naturliga mark- och vattenytans höjd över havet. I princip kan man säga att redan de mark- och vattenklassade punkterna utgör en terrängmodell, men i huvudsak levereras modellen i rasterformat med 2 meters upplösning. Rastret bildar en kontinuerlig yta som har skapats genom interpolering i ett TIN (Triangulated Irregular Network) med samtliga markklassade punkter som noder.

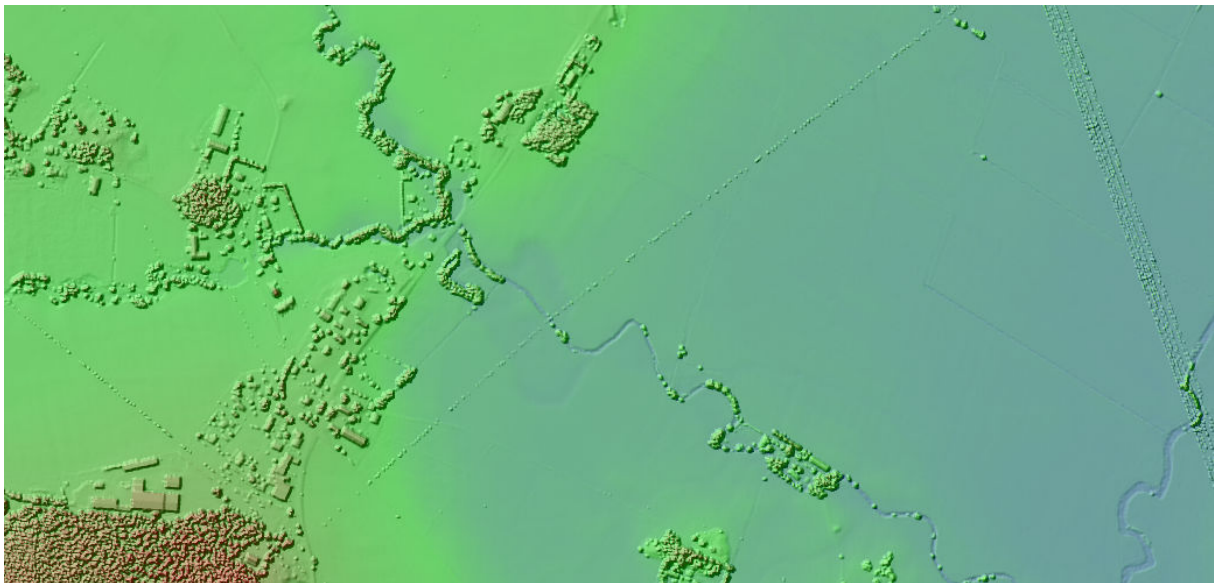
Terrängmodellen kan visualiseras på många olika sätt, men för kartografiska ändamål är nog de vanligaste metoderna färgskala, terrängskuggning och höjdkurvor.



Figur 3 Terrängmodell i färgskala, med terrängskuggning och höjdkurvor. I bildens högra del syns ett typiskt exempel på hur kurvor från laserskanning ofta blir för detaljerade i flacka områden.

Ytmodell

I en ytmodell ingår även objekt ovan markytan, som vegetation och byggnader, men det kan vara svårt att dra gränsen för vad som skall ingå i modellen. Objekt i punktmolnet som saknar förbindelse med marken (exempelvis träffar på moln) bör självklart inte ingå, medan kraftledningar och liknande har mer oklar status.



Figur 4 Ytmodell i färgskala med terrängskuggning.

De punkter som inte skall ingå måste på något sätt undanhållas när man skapar modellen. För att undvika inverkan av extremt höga punkter kan man exempelvis låta ytmodellens höjd vara lika med 95-percentilen av punkternas höjd inom respektive cell. Ett annat alternativ är att först eliminera isolerade högpunkter på något sätt och sedan låta ytmodellens höjd vara lika med den högsta återstående punktens höjd inom respektive cell.

Ytmodellen är användbar för bland annat analyser av sikt och vågutbredning, men har begränsad nytta för kartografiska ändamål. Objekthöjd (se nedan) är ofta en mer användbar produkt för kartering.

Lutning

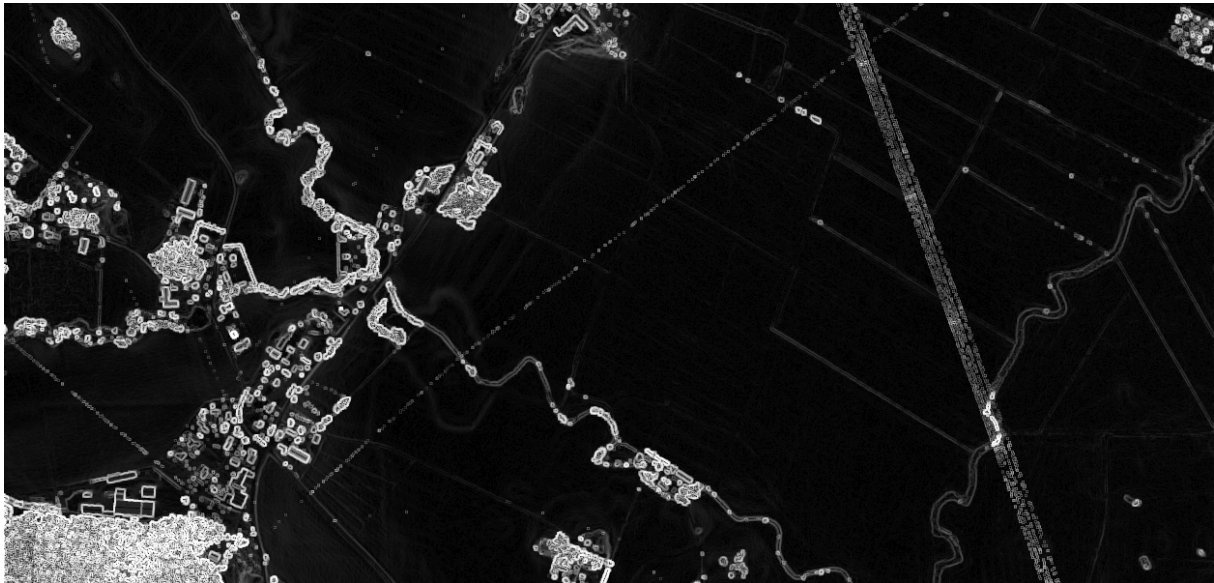
Terrängens lutning är en av de viktigaste parametrar som kan beräknas utifrån punktmolnet, och den är grunden för bland annat terrängskuggning. Det är viktigt att lutningen beräknas med en metod som bevarar detaljer, men som samtidigt inte skapar för stort brus i bilden. Alla beräkningsmetoder bygger på analys av flera närliggande punkters höjd och därför blir upplösningen i en lutningsbild ofta lägre än det genomsnittliga punktavståndet.



Figur 5 Lutningsbild baserad på markklassade punkter, beräknad från kringliggande cellers medelhöjd. Mörka områden har liten lutning medan ljusa detaljer representerar branter.

I en lutningsbild framträder vissa detaljer mycket tydligt, exempelvis diken och vägbankar, och större objekt kan lätt karteras ur bilden. Eftersom punkttätheten i NNH är relativt låg blir dock mindre detaljer svåra att urskilja, speciellt i skogsmark där punkttätheten på mark blir ytterligare reducerad.

Om lutningsbilden beräknas utifrån hela punktmolnet blir helt andra detaljer synliga. Då framträder bland annat vegetation, byggnadskonturer och större kraftledning.

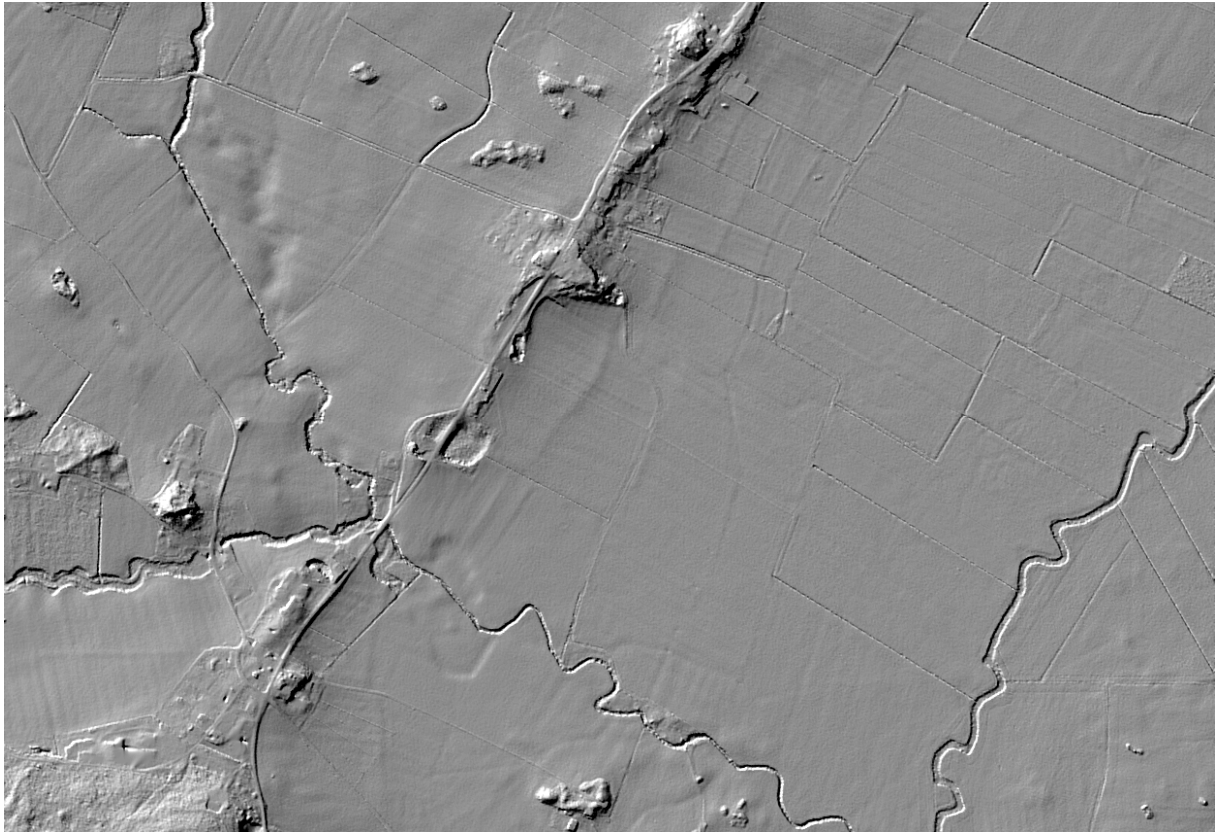


Figur 6 Lutningsbild baserad på hela punktmolnet.

Terrängskuggning

Ett av de vanligaste och mest effektfulla sätten att visualisera en terrängmodell är genom så kallad terrängskuggning. En mer korrekt benämning är egentligen reflektansbild, för det är inte skuggor som simuleras, utan ytors reflektion av en tänkt ljuskälla. Höga objekt kastar alltså normalt inga skuggor över bakomliggande objekt. Reflektansen hos en yta kan beräknas till exempel med Lamberts cosinus-lag om man känner ytans normalvektor (lutning och lutningsriktning).

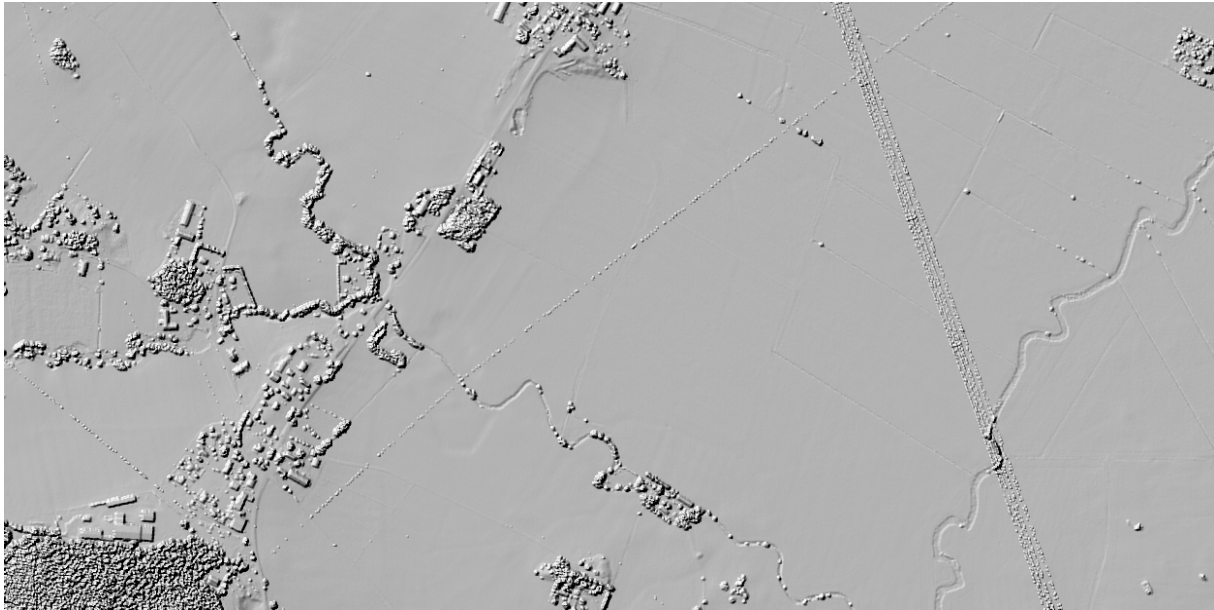
Traditionellt brukar den tänkta ljuskällan placeras på cirka 45 graders höjd i nordväst, och har alltså inget med en naturlig solriktning att göra. Denna tradition är så stark att om ljuskällan placeras i motsatt position kan terrängskuggningen upplevas som inverterad.



Figur 7 Terrängskuggning baserad på markklassade punkter, med en tänkt ljuskälla på 45 graders höjd i nordväst. Bäcker och större diken framträder relativt tydligt i det öppna jordbrukslandskapet.

Ljuskällans riktning och höjd är avgörande för vilka detaljer som framträder i en terrängskuggning, och detta kan vara ett problem när den används för kartografiska ändamål. Ett objekt kan framträda tydligt i en viss belysning men vara osynligt i en annan. Om terrängskuggning skall användas för kartering måste man alltså arbeta med olika belysningsriktningar.

Om terrängskuggningen beräknas utifrån hela punktmolnet blir nya detaljer synliga, men inte så tydligt som i lutningsbilden.



Figur 8 Terrängskuggning baserad på hela punktmolnet.

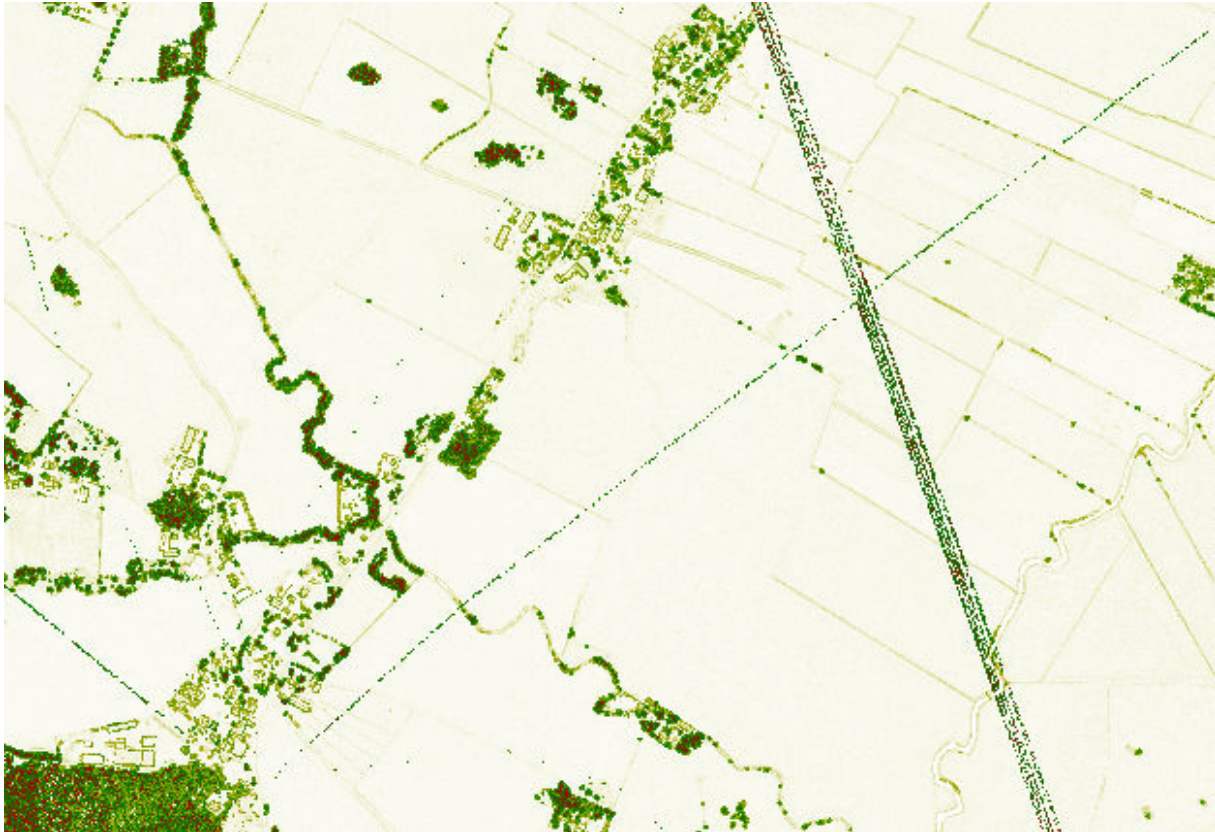
Textur

Begreppet textur används inom flera discipliner och anger oftast hur mycket en yta avviker från att vara helt slät. Ett i princip likvärdigt begrepp är *ojämnhet*, och i vissa sammanhang avser textur mindre avvikelser medan *ojämnhet* avser större.

För att beräkna textur delas punktmolnet in i celler. För varje cell löses sedan ekvationen för det plan $Z = aX + bY + C$ som bäst anpassar sig till punkterna. Det behövs tre punkter för att lösa ekvationen och minst fyra för att lösningens standardavvikelse skall kunna beräknas. Med punkttätheten i NNH kan man därför inte ta fram texturbilder med högre upplösning än cirka 4 meter.

För anpassning av planet används till exempel minsta kvadrat-metoden. Standardavvikelsen beräknas ur de avvikelser som kvarstår efter utjämningen och utgör sedan måttet på texturen inom cellen. En fördel med texturbilden är att den kan beräknas utan föregående markklassning. Därför kan även punktmoln beräknade genom bildmatchning användas (de saknar i princip punkter på markytan i skogsmark).

En texturbild liknar en lutningsbild, men eftersom lutande men släta ytor får låga värden framträder vissa detaljer i skarpare kontrast mot bakgrunden. Texturbilden är okänslig för terrängens lutning och framhäver i stället skarpa detaljer som inte kan anpassas till ett plan. Det gör att vägbanor och andra släta ytor får låga värden, oavsett om de är horisontella eller ej, medan vegetation och brytlinjer som diken får höga värden.



Figur 9 Texturbild baserad på hela punktmolnet. Notera att byggnader normalt får låga värden förutom längs takkanten. Vegetation och kraftledningar framträder tydligt.

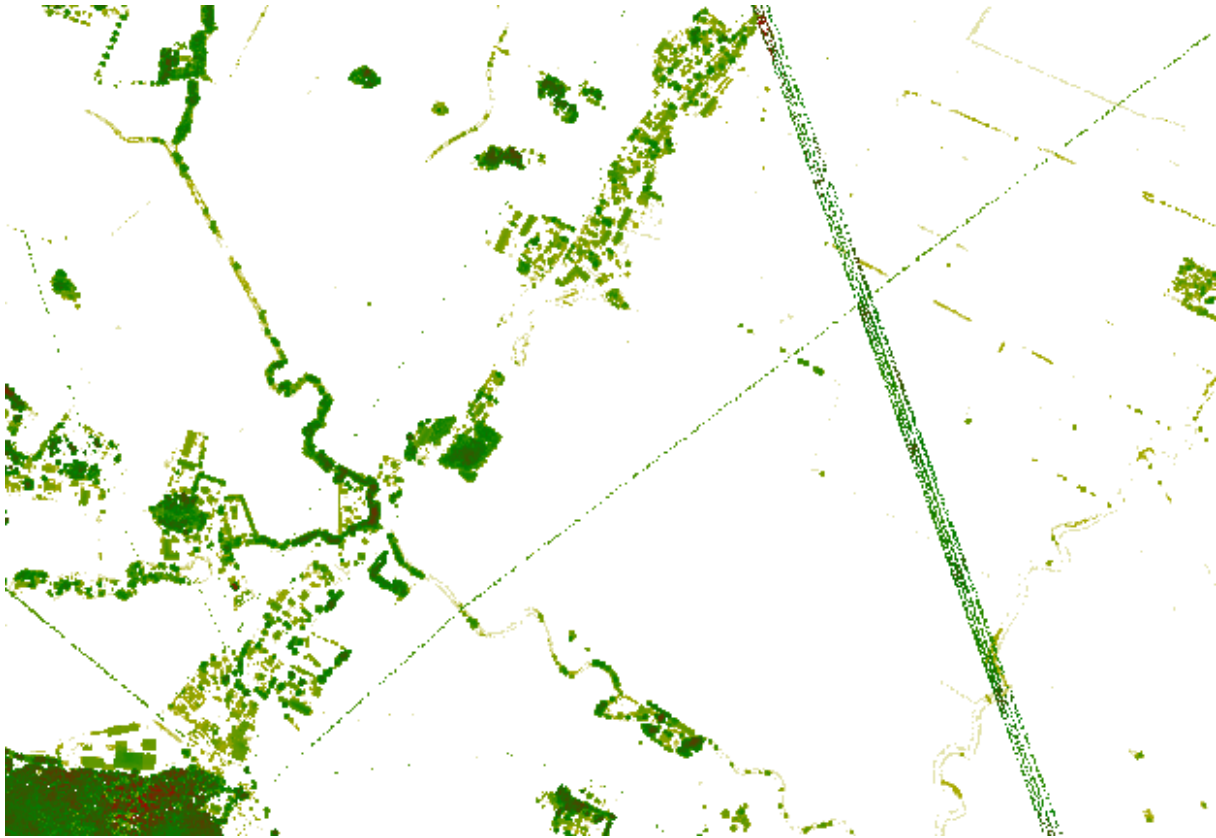
På många sätt är alltså texturbilden bättre lämpad för kartering än lutningsbilden, men det som begränsar användningen är att upplösningen måste göras grövre för att få signifikans i värdena.

Objekthöjd

Objekthöjden är en skattning av höjden ovan mark för alla objekt i punktmolnet, och är i princip likvärdig med en ytmodell subtraherad med en terrängmodell. I skogsmark är den lika med trädhöjden, men även andra objekt kan förstås ingå.

För att beräkna objekthöjden delas punktmolnet in i celler. För att undvika inverkan av extremt höga punkter kan man exempelvis arbeta med percentiler eller försöka eliminera högpunkter på annat sätt innan beräkning. Objekthöjden kan till exempel beräknas som 95-percentilen av oklassade punkters vertikala höjd över ett plan anpassat till markklassade punkter inom kringliggande celler.

Laserpulserna reflekteras sällan från trädens allra översta grenar, utan det första ekot hamnar ofta en bit ner i trädkronan. Detta, tillsammans med risken för felaktig eliminering av högpunkter, gör att den beräknade objekthöjden ofta kommer att underskatta den verkliga höjden.



Figur 10 Objekthöjd. Höjder under 0.5 meter redovisas ej, för en klarare bild. Bland annat kraftledningarna framträder tydligt.

Objekthöjdsbilden är mycket användbar för karteringsändamål. Genom att endast redovisa celler med ett värde över den högsta trädhöjden i ett område, får man exempelvis en god överblick över höga byggnadsverk som master och torn. Dessutom kan man direkt ur bilden avläsa objektens faktiska höjd.

Objektkvot

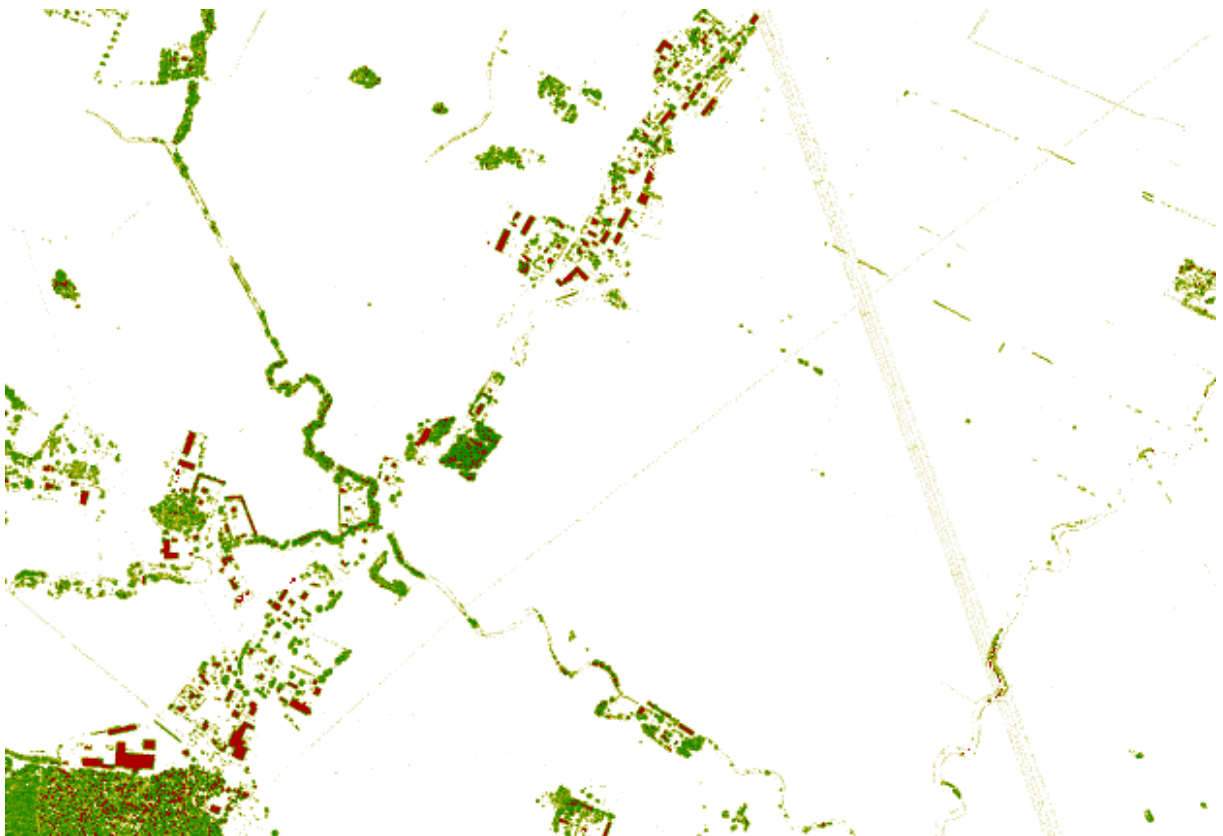
Objektkvoten är en skattning av mängden objekt (vegetation, byggnader etcetera) ovan markytan, och beräknas exempelvis som antalet oklassade punkter dividerat med det totala antalet punkter (inklusive markklassade). Mängden måste beräknas som en kvot, eftersom punkttätheten också varierar på grund av andra faktorer än terrängens egenskaper.

För att minska inverkan av överlappande stråk och den lägsta vegetationen är det lämpligt att endast räkna punkter ovan en viss höjd över markytan som objektpunkter. Objektkvoten kan anta värden mellan 0 och 1, där värdet 0 indikerar avsaknad av objekt ovan markytan.

Objektkvoten påverkas starkt av laserskannerns tekniska begränsningar. De instrument som hittills har använts inom NNH har ett minsta avstånd mellan påföljande

ekon på cirka 2 meter. Om en laserpuls delvis reflekteras av låg vegetation inom detta intervall kan alltså inte en eventuell reflektion från den underliggande markytan registreras. Det gör att objektkvoten för låg vegetation blir onormalt hög.

Objektkvoten kan också, av liknande orsaker, bli missvisande i områden där olika stråk överlappar varandra. Problemet kan lösas exempelvis genom att överflödiga punkter i stråköverlapp förs till en egen klass, som sedan undanhålls vid beräkning av objektkvoten.



Figur 11 Objektkvot baserad på punkter ovan 0.5 meter över markytan. Notera att byggnader framträder tydligt.

Objektkvoten redovisar var det finns vegetation eller andra objekt ovan markytan, och ger även en indikation om deras täthet. Byggnader och andra ej genomsläppliga objekt framträder tydligt.

Intensitet

Förutom avståndet till de objekt som träffas, mäter laserskannern även intensiteten (styrkan) på det ljus som reflekteras tillbaka av objekten. Den informationen är nödvändig för kalibrering av de mätta avstånden, men den har också andra användningsområden.

Det mätta intensitetsvärdet för en punkt måste förstås utifrån tekniken. En laser-skanner är till skillnad från en fotografisk kamera en aktiv sensor. De instrument som används inom NNH sänder ut nära infrarött ljus med en våglängd på cirka 1064 nm, och denna våglängd ger en hög reflektion även från vegetation. En intensitetsbild ser därför lite annorlunda ut jämfört med en svartvit flygbild, som visar objektens reflektans inom hela den synliga delen av spektret.



Figur 12 Intensitetsbild från en Optech-skanner. Trots moiré-mönster i vissa delar och synliga stråköverlapp ger bilden ett bra visuellt intryck.

Intensiteten kan enkelt visualiseras genom rastering av laserdata, där varje pixel ges ett värde baserat på intensiteten hos de punkter som faller inom respektive cell. För att få en bra bild är det lämpligt att endast använda första- och enkelreturer, samt att kompensera förstareturers intensitet för ljusbortfall. Dessutom kan man kompensera för teoretiska skillnader i avstånd och infallsvinkel mot marken, baserat på skanningsvinkeln. Det behövs också en kontraststräckning för att optimera bilden.

Ur det laserdata som insamlas inom NNH kan man framställa bra intensitetsbilder med en upplösning som motsvarar det genomsnittliga punktavståndet, som kan vara närmare 2 meter i planet flygriktning.

De skanningar som är gjorda med instrument från Leica ger generellt något bättre bilder med fler grånivåer¹. Instrument från Optech har ett sämre dynamiskt omfång, och vissa instrument har dessutom ett problem med registreringen som kan orsaka en moiré-effekt i öppen terräng när laserdata rasteras.

En intensitetsbild påminner om ett svartvitt ortofoto, och även om upplösningen är sämre innehåller bilden mycket information. Den stora fördelen är att bilden helt saknar de skuggor som alltid finns i en fotografisk bild. Det gör att vissa detaljer, till exempel gränsen mellan skog och öppen mark, syns tydligare. Dessutom kan vissa objekt i skogsmark framträda tydligt.

Ekoinformation

De laserskannrar som hittills har använts inom NNH kan registrera upp till fyra diskreta ekon från varje utsänd laserpuls, men det är mycket sällsynt med fler än tre. Det filformat som används i dag (LAS 1.2²) hanterar endast fem ekon per puls, men i praktiken bör det även med framtida instrument bli sällsynt med fler ekon än så från de relativt höga flyghöjder som används.

Ekoinformationen har begränsad användning för kartering. Antalet ekon per puls har nära samband med vegetationens höjd och täthet, men eftersom dagens instrument ger så få ekon har en bild över det genomsnittliga ekoantalet litet värde. Objektkvoten är ett mer användbart underlag för kartering.

Objektgrupper i GGD och kartor

Innehållet i GGD kan grupperas på olika sätt, och här har en gruppering som passar ändamålet med studien valts. Nedan beskrivs några möjligheter med laserdata inom respektive objektgrupp.

Terrängform

Med terrängform avses här markytans form, och att beskriva den är förstudsakligt syftet med NNH. Visuellt representation av terrängen ingår dock inte i NNH och några kartografiska produkter tas inte fram.

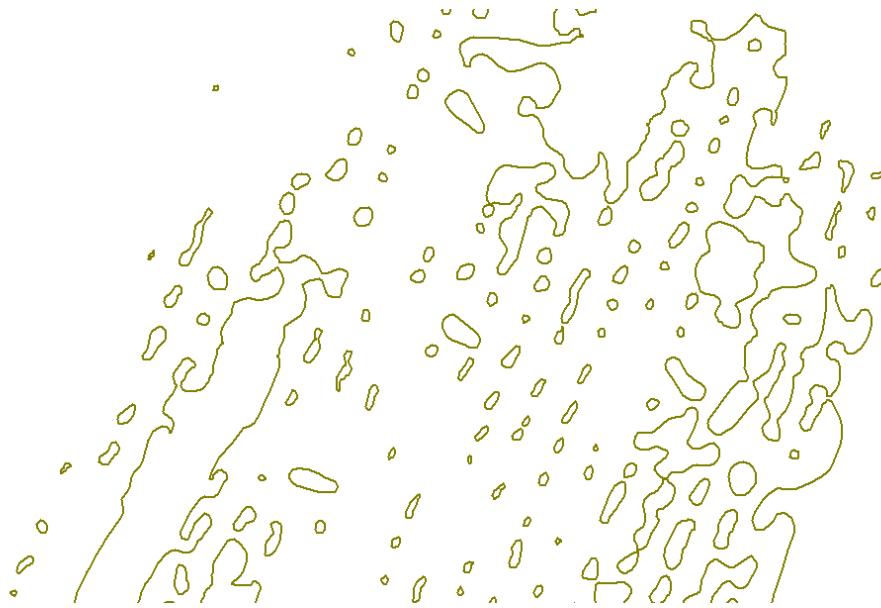
Höjdkurvor kan ses som både ett sätt att representera och att visualisera terrängmodellen. De höjdkurvor som finns i GGD bör successivt ersättas med nya kurvor som redovisar höjder enligt NNH. Höjdsättning av gamla kurvor med hjälp av data från

¹ Leica använder en teknik som kallas AGC (Automatic Gain Control) för att öka intensitetsvärdenas dynamiska omfång. Tekniken kan i vissa fall orsaka problem, eftersom registrerad intensitet inte motsvarar faktiskt observerad. Den negativa effekten av AGC kan till stor del elimineras om AGC-värdet för varje registrerad intensitet är känt.

² LAS är ett filformat för utbyte av laserdata och förvaltas av American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). Version 1.4 som är ute på remiss under hösten 2011 har bland annat stöd för upp till 15 ekon per utsänd laserpuls.

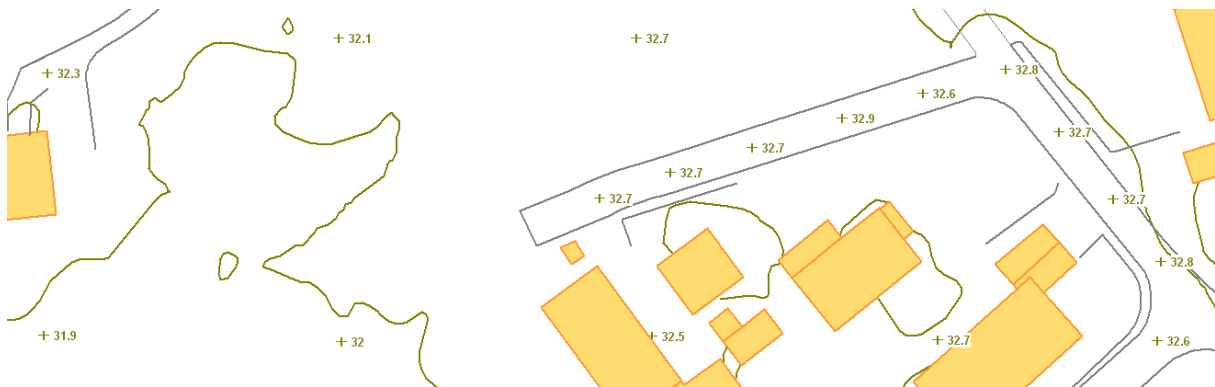
NNH bör inte tillämpas eftersom det ger en missvisande bild av terrängmodellen. Det skulle dessutom strida mot rekommendationer i EG-direktivet INSPIRE.

För maximal detaljeringsgrad beräknas kurvorna från ett uttunnat punktmoln (via ett TIN), men de kan också beräknas från en terrängmodell i rasterform. Båda alternativen kräver normalt en efterbearbetning där kurvorna justeras till en mjukare form. Ibland kan det vara nödvändigt att bearbeta den underliggande datamängden före beräkning av kurvor, men det försämrar detaljeringsgraden och bör därför undvikas.



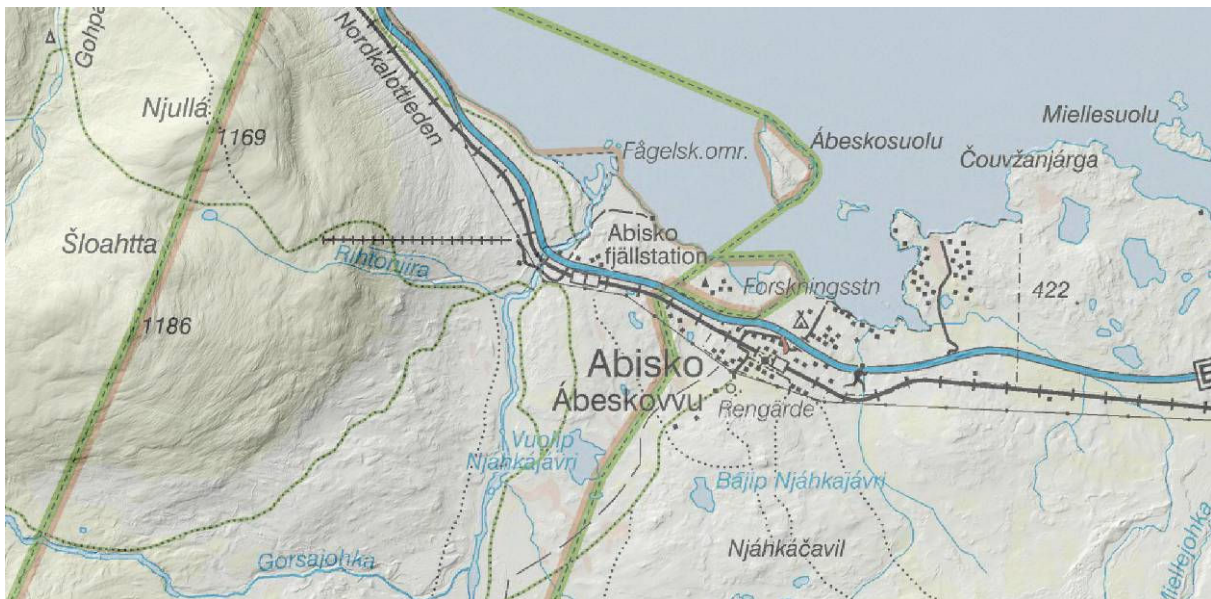
Figur 13 Höjdkurvor är ett av de bästa sätten att visualisera terrängmodellen, och utgör en viktig del av informationen i många kartor. Kurvor från laserdata blir dock ofta för detaljerade i flacka områden och kan i extremfall se ut som här.

Höjdkurvor tillsammans med representativa punkthöjder är mycket användbara i samtliga kartprodukter. Höjdpunkter saknas i GGD, men ur NNH skulle man enkelt kunna välja ut lämpliga punkter. Noggrannheten i laserdata från NNH är normalt bättre än 0.1 meter på plana väldefinierade ytor, och det kan därför vara lämpligt att välja ut höjdpunkter i exempelvis vägkorsningar.



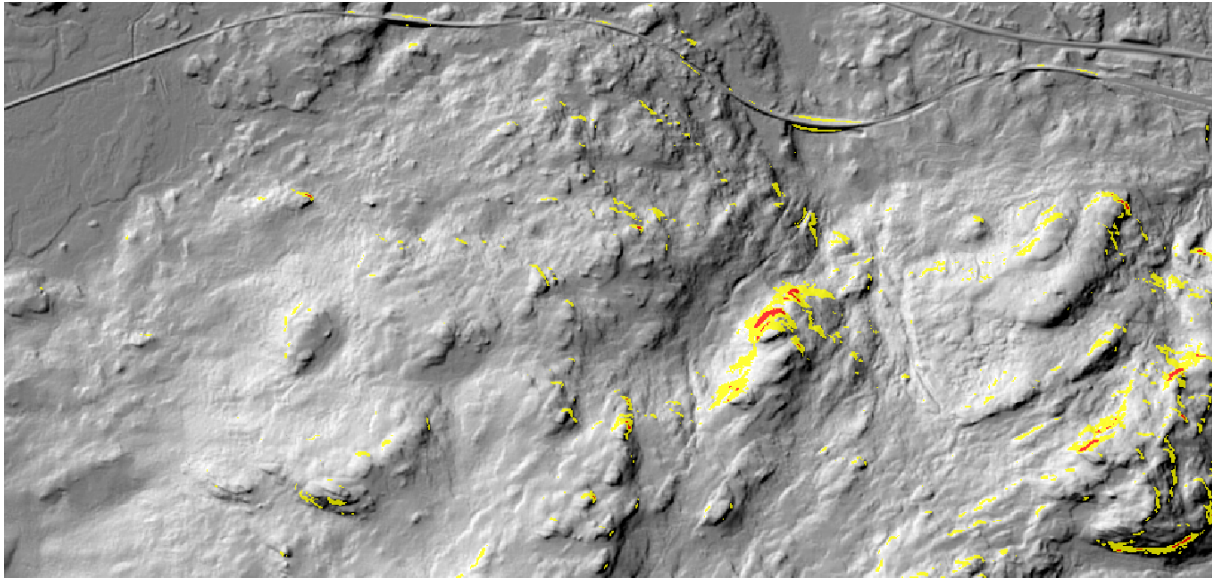
Figur 14 Delar ur en kommunal primärkarta med punkthöjder från laserdata både i terrängen och längs gatorna.

Ett effektivt sätt att visualisera terrängen är genom terrängskuggning, och den tekniken används i en del av Lantmäteriets kartprodukter. Terrängskuggningens stora fördel, jämfört med höjdkurvor, är att den inte "krockar" med övriga objekt i kartan, och därför kan den enkelt skapas med full automatik.



Figur 15 Terrängskuggning ovanpå Vägkartan.

Något som har låg fullständighet i dagens kartprodukter från Lantmäteriet är markerade branter och skärningar. Dessa är viktiga dels för att orientera sig i terrängen, men även vid vägval med terrängfordon för bland annat räddningstjänst och försvarsmakt.



Figur 16 Terrängskuggning med markerade branter. Lutningar över 30 grader i gult och över 45 i rött. Notera den bitvis branta banvallen i bildens överkant.

Branter kan relativt enkelt identifieras i terrängmodellen med helt automatiska metoder. Tyvärr är brant terräng just ett av de förhållanden som dagens metoder för automatisk markklassning av laserdata har problem med. I praktiken innebär det att branter ofta blir mindre markanta i terrängmodellen än vad de i verkligheten är.

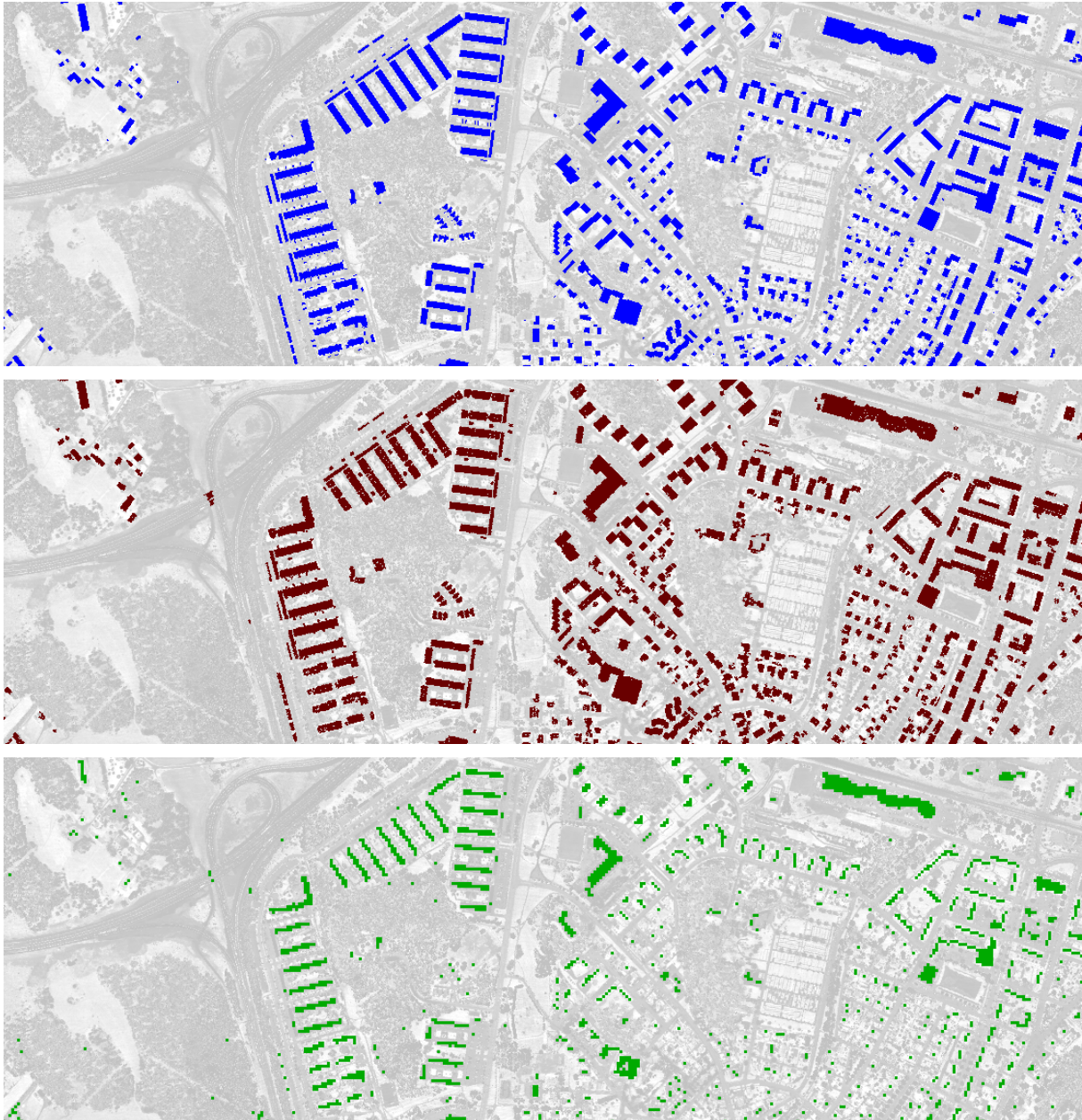
Med en texturbild beräknad utifrån markklassade punkter kan man också påvisa områden där marken är mycket ojämn, till exempel rasbranter och grov blockterräng. Även den typen av information om terrängen kan bland annat vara intressant vid vägval med terrängfordon.

Husbyggnader

Vissa takbeläggningar ger inga eller få ekon, och dessutom kan infallsvinkeln mot taket ibland medföra låg reflektion. En liten andel byggnader kan därför inte modelleras ur NNH. De flesta byggnader har dock tillräckligt med punkter på taket för åtminstone en bestämning av den genomsnittliga takhöjden.

För att hitta byggnader direkt i punktmolnet kan man antingen försöka identifiera plana ytor ovan mark eller fördefinierade takformer. Den första metoden ger bättre fullständighet men också fler fel, både i form av felaktigt identifierade och felaktigt karterade byggnader. Även rasterprodukter kan användas för kartering av byggnader, bland annat objektkvoten som i sig ger en bra indikation på var byggnader finns.

I princip finns det alltså goda möjligheter för att med automatiska eller halvautomatiska metoder identifiera både nyttillkomna, rivna eller förändrade byggnader ur punktmolnet. Men eftersom byggnadsbeståndet ständigt förändras och ajourföringen av NNH är oklar blir nyttan begränsad.



Figur 17 Översta bilden visar byggnadspolygoner från GGD. I mitten visas plana ytor ovan mark identifierade ur punktmolnet, och längst ner visas en objektkvot på 100 procent. Träffsäkerheten vid identifiering av plana ytor är mycket bra.

Om både genomsnittlig takhöjd och markhöjd i byggnadens närhet bestäms kan en ungefärlig fasadhöjd beräknas som takhöjd minus markhöjd. Byggnader med fasadhöjd som attribut kan sedan enkelt dras upp till "lådor" som ungefär motsvarar byggnadens volym och som enkelt kan visualiseras i 3D-vyer. Detta är vad man bru-

kar kalla för 2.5D, det vill säga tvådimensionella data med ett höjdattribut, men kan enkelt omvandlas till LOD1 enligt CityGML³.



Figur 18 3D-vy där byggnader i GGD har höjdsatts med data från NNH. Detta är den enklaste formen av 3D, men den kan ändå fylla en funktion vid översiktliga visualiseringar, samt vid beräkning av vågutbredning, spridning av luftföroreningar och liknande.

För att nå LOD2, det vill säga byggnader med takkonstruktion, krävs komplettering med fotogrammetriska metoder. Automatisk kartering ur punktmolnet genom exempelvis identifiering av plana ytor ovan mark kan ge ett resultat som duger för vissa 3D-tillämpningar, men ger i allmänhet både för låg fullständighet och noggrannhet.

Höga byggnadsverk

Master, torn, vindkraftverk och liknande är mycket lämpliga att kartera ur laserdata. De flesta objekt som är högre än den högsta trädhöjden inom ett område kan både identifieras och höjdbestämmas. Felaktiga högpunkter på exempelvis fåglar kan dock vara svåra att eliminera, och därför behövs ytterligare stöd vid kartering av nya objekt (exempelvis en flygbild där skuggan av objektet syns).

³ CityGML är en informationsmodell för stadsmodeller, och en standard antagen av Open Geospatial Consortium (OGC). CityGML har fem *Levels of Detail* (LOD) där LOD0 är vad som brukar kallas 2.5D, LOD1 är byggnader i form av lådor med platt tak, och LOD2 är byggnader med takkonstruktion. Vid LOD3 tillkommer detaljer som taksprång, dörrar och fönster, och vid LOD4 modelleras även byggnadens insida.

Det finns också en stor risk att objektens höjd underskattas. Det beror dels på att den högsta laserträffen kan ligga under den egentliga toppen, dels på att elimineringen av felaktiga högpunkter av misstag kan utesluta de högsta punkterna på ett objekt. För säker kartering av exempelvis flyghinder krävs därför kompletterande mätningar.

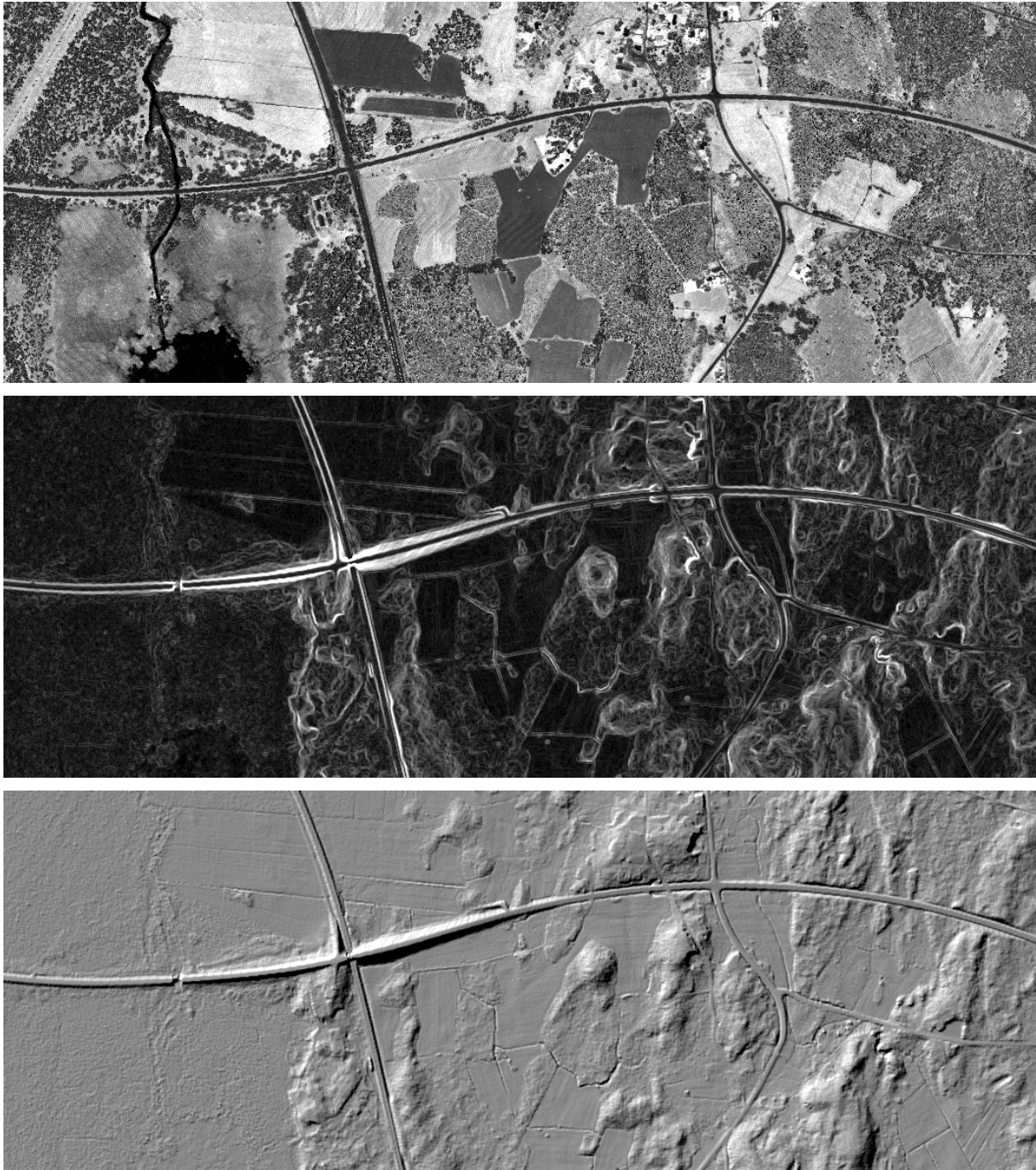


Figur 19 Överst objekthöjd och intensitet, samt därunder ortofoto. Objekthöjden har en färgskala där objekt över 35 meter färgas från orange till rött. De två masterna är cirka 40 respektive 90 meter höga.

Vägar- och järnvägar

På grund av den låga punkttätheten i NNH är det svårt att kartera smala traktorvägar och stigar, speciellt i skogsmark. Vägar för biltrafik syns dock relativt tydligt i intensitetsbilden, och även i exempelvis lutningsbilden om vägen kantas av diken eller slänter. I vissa situationer skulle alltså produkter från laserdata kunna vara ett värdefullt komplement till flygbilden. Att ur NNH automatiskt digitalisera nya vägar bedöms dock som mycket svårt.

Att överlagra vägar i GGD med en texturbild baserad på markklassade punkter skulle kunna vara en effektiv metod för att identifiera felkarterade vägar. På en bilväg bör marken vara mycket slät, och vägar som går över terräng med hög textur bör alltså ses över. En test har dock visat att NNH har för låg punkttäthet för beräkning av textur med tillräcklig upplösning för att skilja vägytan från exempelvis åkermark, varför endast grova planfel kan upptäckas.



Figur 20 Intensitet, lutning och terrängskuggning. Större bilvägar syns tydligt i alla produkter.

Under förutsättning att vägarna är korrekt karterade i plan kan man enkelt höjdsätta dem genom drapering på terrängmodellen. Höjdsättning av vägnätet är viktigt bland annat ur miljösynpunkt, då vägval för tunga transporter kan optimeras för lägsta möjliga bränsleförbrukning. Även genom analys av vägnätets höjdprofil skulle man kunna hitta eventuella felkarterade vägvavnitt.

Ur laserdata med hög upplösning kan man med viss automatik kartera järnvägar genom att identifiera själva rälsen. NNH har dock för låg punkttäthet för den typen av kartering. Banvallar och vissa delar för strömförsörjningen framträder dock i vissa fall. Kontaktledningarna är för tunna för att synas, medan de grövre hjälpkraft- och återledningarna ibland är tydliga.

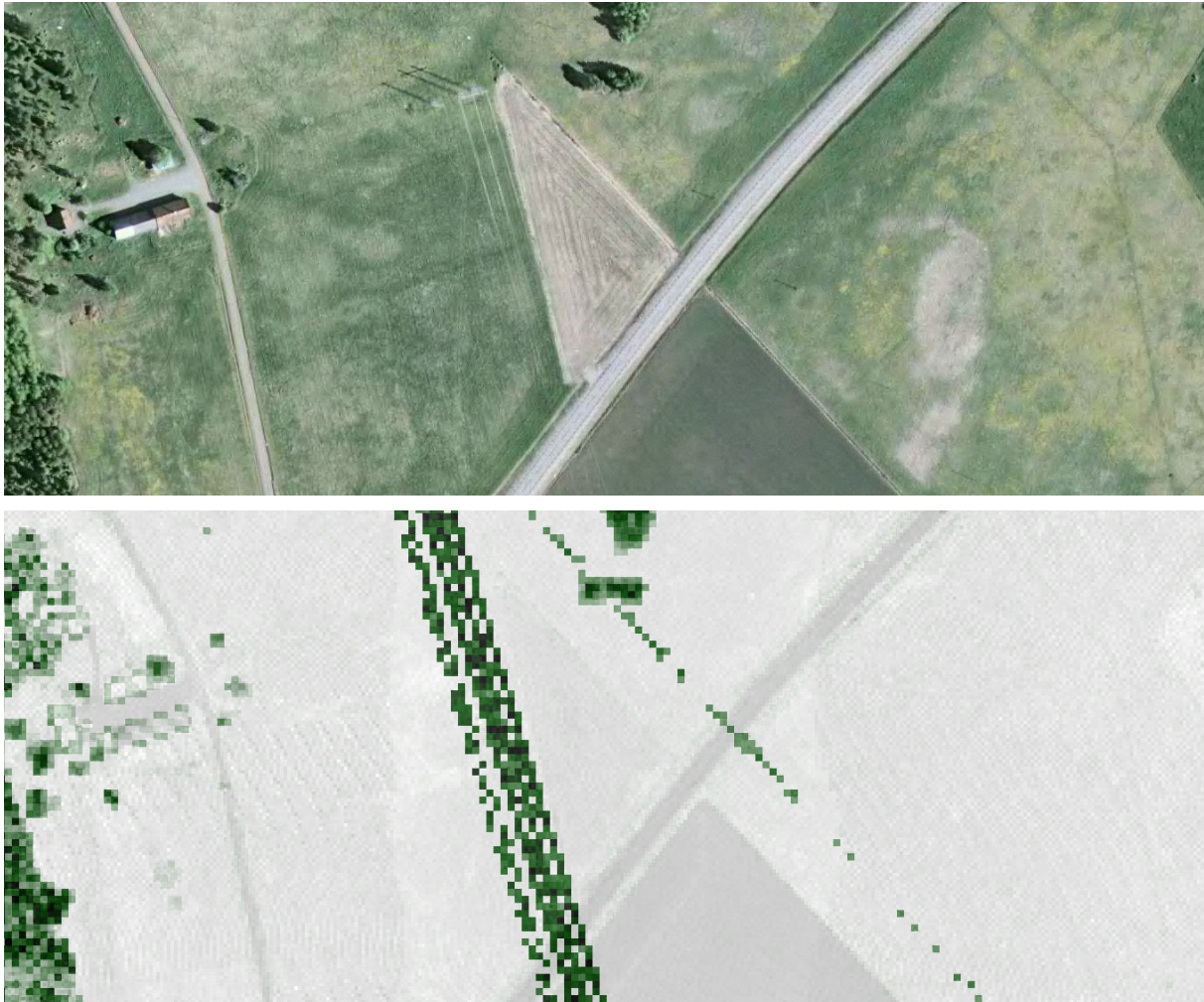


Figur 21 Textur och intensitet. Ledningsbryggor över en bangård med flera järnvägsspår framträder tydligt, liksom hjälpkraft- och återledningar där de förekommer.

Kraftledningar

I både textur och objekthöjd framträder större kraftledningar ibland tydligt eftersom de normalt går över öppen mark. Mindre fördelningsledningar syns dåligt i laserdata men närvaron avslöjas ändå i skogsmark eftersom de röjda ledningsgatorna framträder desto bättre. Om någorlunda breda ledningsgator saknas kan dock inte ledningarna separeras från vegetationen.

Tyvärr verkar det finnas en stor variation i avbildningen av ledningar mellan olika skanningstillfällen. Ibland framträder ledningarna tydligt och ibland syns de inte alls. Orsaken är inte helt klarlagd, men det verkar som att skanningar utförda med instrument från Optech (dessa opererar på en lägre flyghöjd inom NNH) ger fler ekon från kraftledningar. Naturligtvis inverkar även ledningarnas dimension och ytmaterialets reflektans, samt troligen även ljus- och väderleksförhållanden.



Figur 22 Ortofotobild och därunder textur och intensitet. Stamledningen kan skönjas i flygbilden, men fördelningsledningen kan endast antydast genom stolparna. Båda ledningarna syns betydligt bättre i texturbilden.

Vegetation

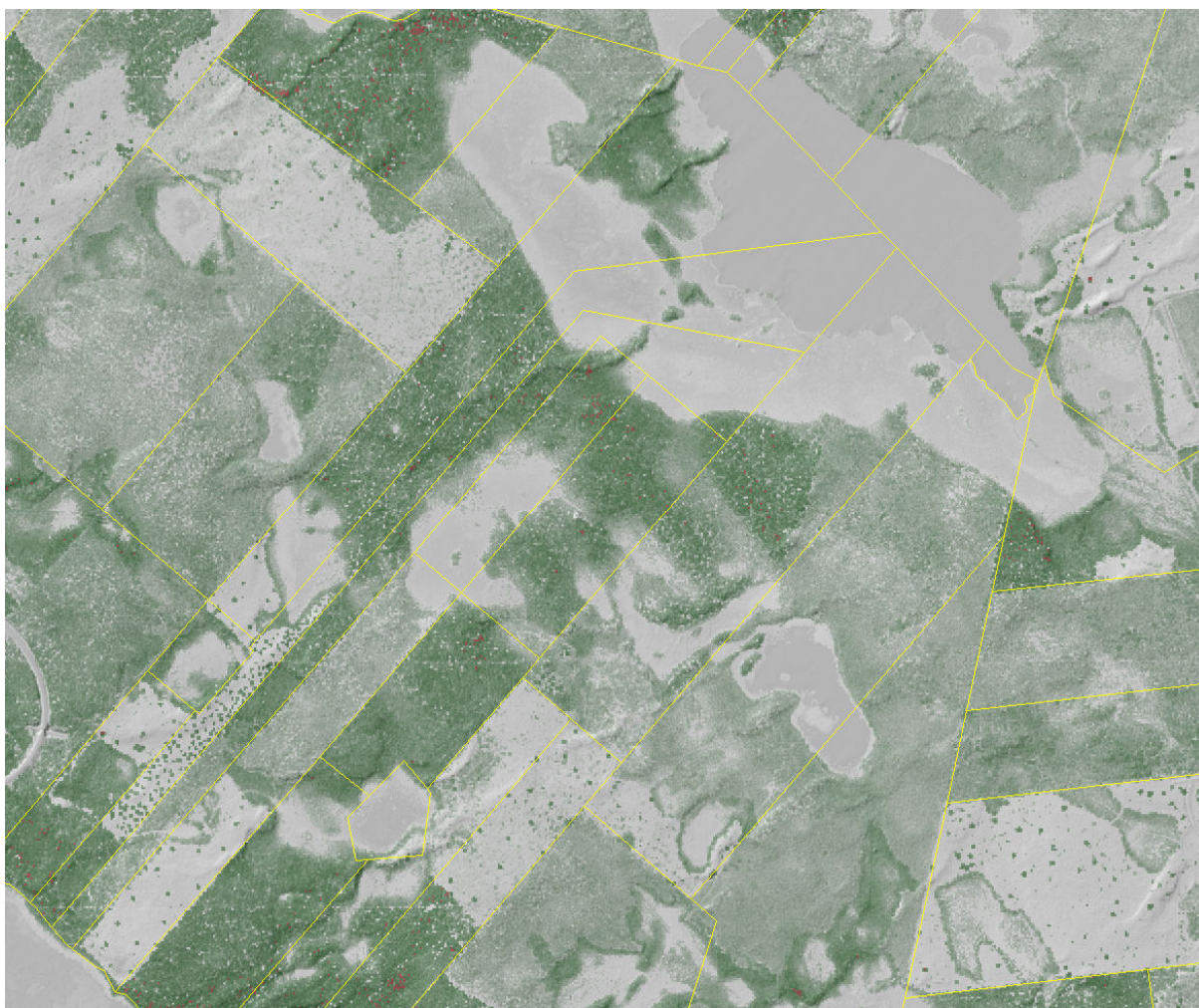
Laserdata är mycket väl lämpat för kartering av vegetation, och data från NNH kan enkelt användas exempelvis för bestämning av gränsen mellan skog och öppen mark. Den ofta snabba förändringen av vegetationen, bland annat på grund av skogsbruk, är dock ett problem eftersom det är oklart hur ajourföringen av NNH kommer att ske.

Eftersom intensitetsbilden saknar skuggor kan den vara ett bra komplement till flygbilden för kartering av gränser mellan olika markslag. Den låga upplösningen är dock begränsande.



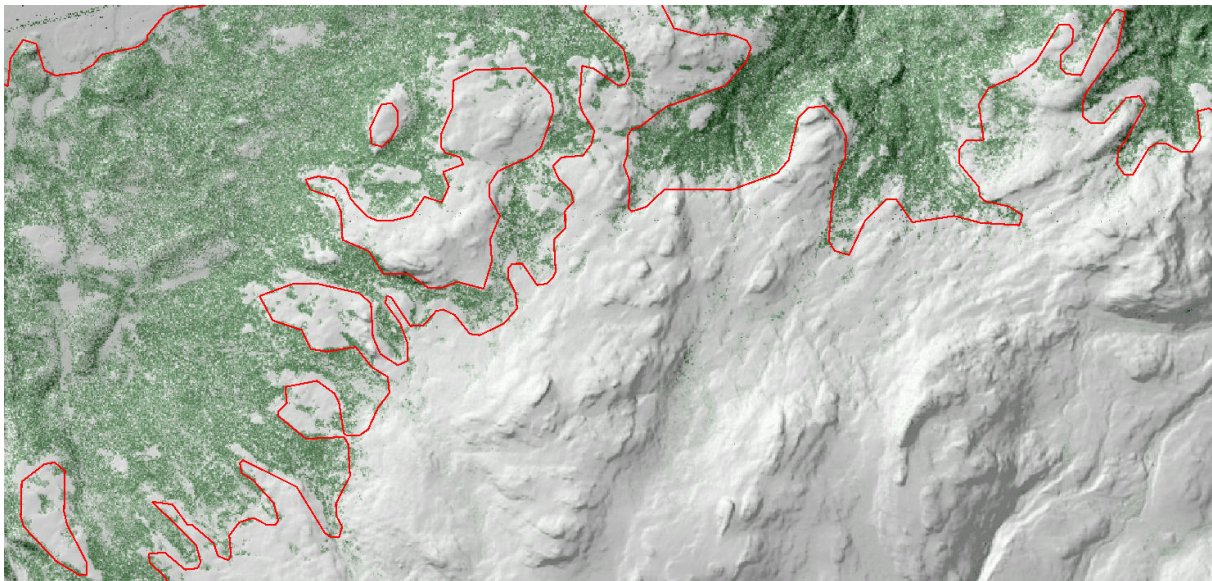
Figur 23 Ortofoto och intensitetsbild över samma område. Notera att exempelvis gränsen mellan skog och öppen mark, som ibland döljs av skuggor i ortofotot, framträder tydligt.

Ur ytmodellen kan man till stor del identifiera enskilda träd i områden där kronorna är tillräckligt separerade, exempelvis i parker och alléer. I skogsmark fungerar enbart ytbaserade metoder, och objekthöjd samt objektkvot kan där ge en god uppfattning om skogens höjd och täthet.



Figur 24 Karta med intensitet, terrängskuggning och objekthöjd, samt fastighetsgränser. Den gröna färgen är proportionell mot vegetationens höjd och övergår till vinröd vid höjder över 20 meter. Man ser tydligt skogens olika stadier inom skilda fastigheter, och man kan enkelt kartera gränsen mellan skog och öppen mark.

För kartering av gränsen mellan skog och öppen mark kan punktmolnets textur möjligen vara ett bättre underlag, eftersom den eliminerar den felkälla som markklassningen innebär. I fjällområdet skulle man automatiskt kunna kartera skogsgränsen, och i låglandet skulle man bland annat kunna förbättra karteringen av myrområden.



Figur 25 Terrängskuggning, textur och Vägkartans gräns mellan fjällbjörkskog och kalfjäll. Ur texturbilden skulle man automatiskt kunna förbättra den gamla manuella karteringen.

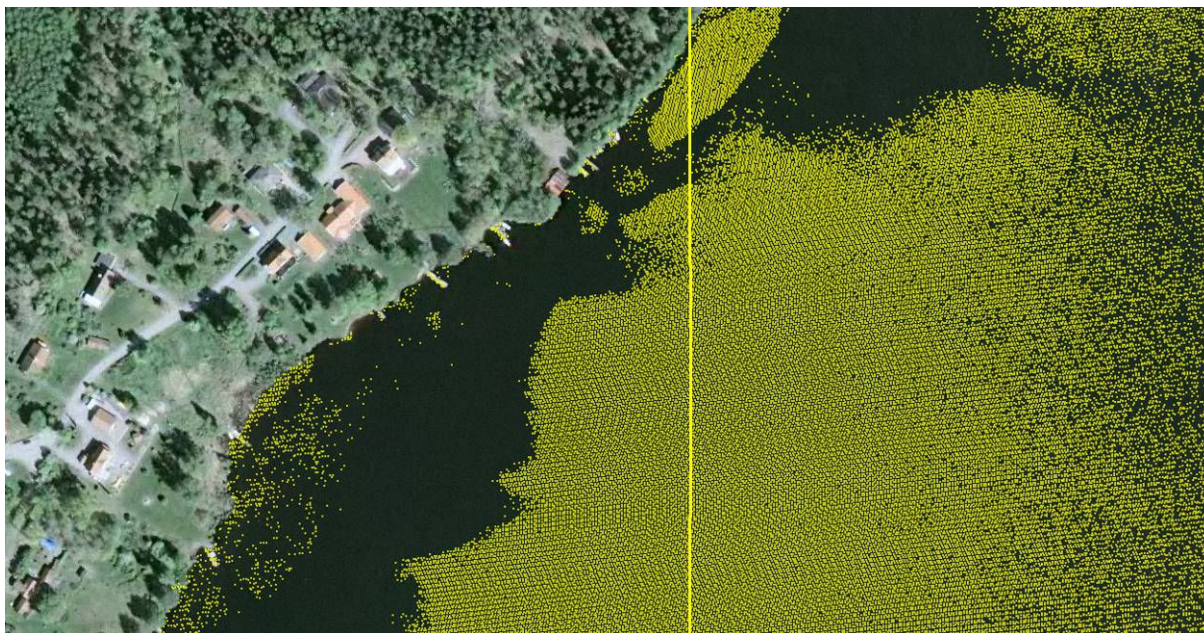
Hydrografi

Vattenytor reflekterar laserpulserna dåligt, utom då de träffar ytan i rätt vinkel, vilket främst inträffar rakt under flygplanet. Det gör att punkttätheten över vatten blir oregelbunden och i genomsnitt mycket låg, vilket försvårar kartering av vattenytor. Ett annat problem är att andelen felaktiga hög- och lågpunkter verkar vara större över vatten. Att vattenståndet för de flesta vattenytor varierar under året komplicerar karteringen ytterligare.

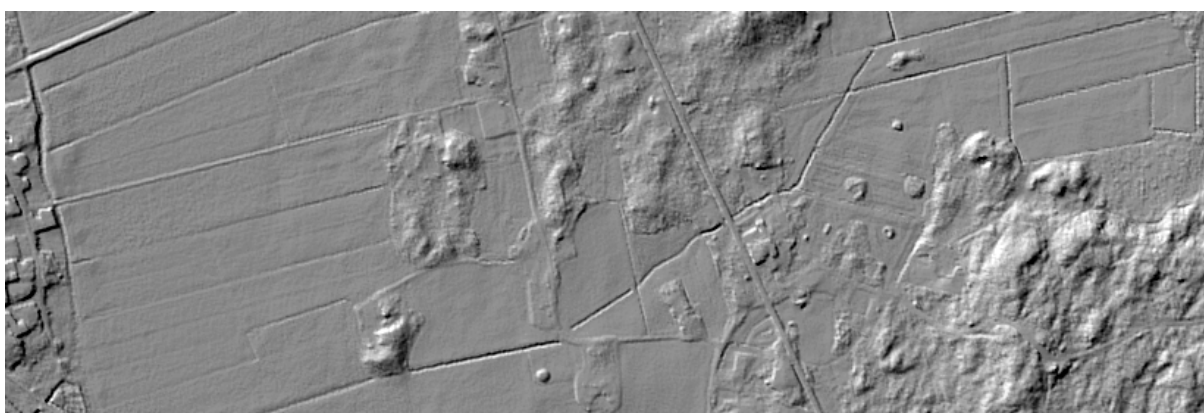
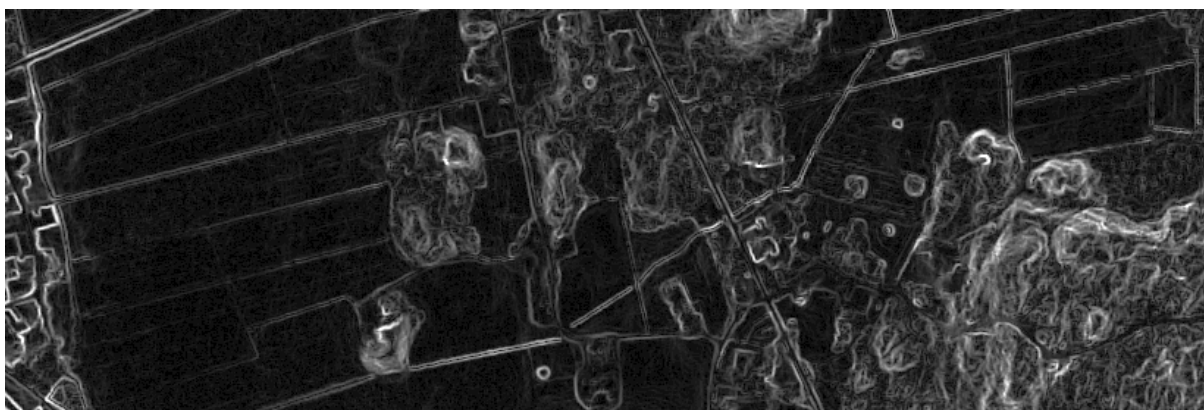
Kanske vore det ändå möjligt att med hjälp av NNH förbättra avgränsningen av befintliga vattenytor i GGD, genom att söka efter karaktäristiska egenskaper för vatten som planhet och regelbundenhet. Troligen krävs då komplettering med flygbilder för att analysen skall få tillräcklig träffsäkerhet.

Automatisk kartering av mindre vattendrag och diken bedöms vara mycket komplicerat. Både lutningsbilden och i viss mån terrängskuggningen kan dock utgöra ett bra underlag för manuell kartering. En undersökning⁴ har visat på relativt goda möjligheter att med halvautomatiska metoder kartera diken ur laserdata från NNH.

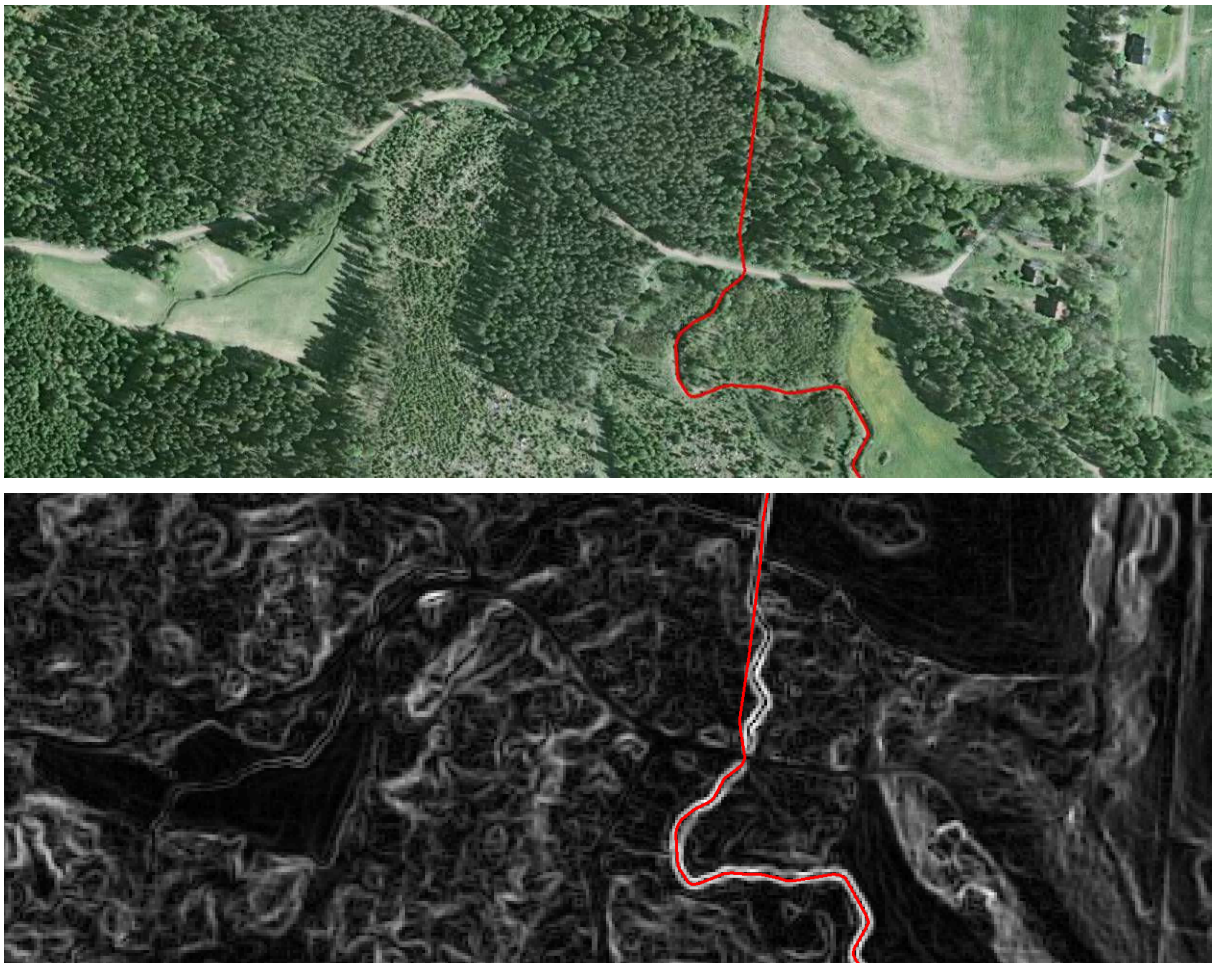
⁴ Se GeoXD AB 2010: *Detektering av öppna diken och stenmurar i laserdata*. Gävle.



Figur 26 Det är vanligt med mycket oregelbunden punkttäthet på vattenytor. I det här fallet har laser-skannern flugits längs den gula linjen och genererat detta mönster av punkter på en vattenyta (punkter på land visas ej).



Figur 27 Diken framträder relativt tydligt i lutningsbilden, och även i terrängskuggningen om dikets orientering är gynnsam i förhållande till belysningsriktningen.



Figur 28 Ortofoto och därunder terrängens lutning, med vattendrag från GGD. Både noggrannhet och fullständighet för mindre vattendrag och diken är relativt låg i GGD. NNH kan ge ett bra stöd vid kartering av vattendrag, speciellt i skog, där marken inte syns i flygbilden.

Flödesriktningen för mindre vattendrag som i GGD redovisas med mittlinje borde med god säkerhet kunna bestämmas ur NNH, under förutsättning att planläget är korrekt karterat. För att minska inverkan av eventuella fel i terrängmodellen, till exempel orsakade av felaktigt klassad låg vegetation, bör man troligen höjdsätta varje brytpunkt längs vattendraget och sedan göra en samlad bedömning av flödesriktningen.

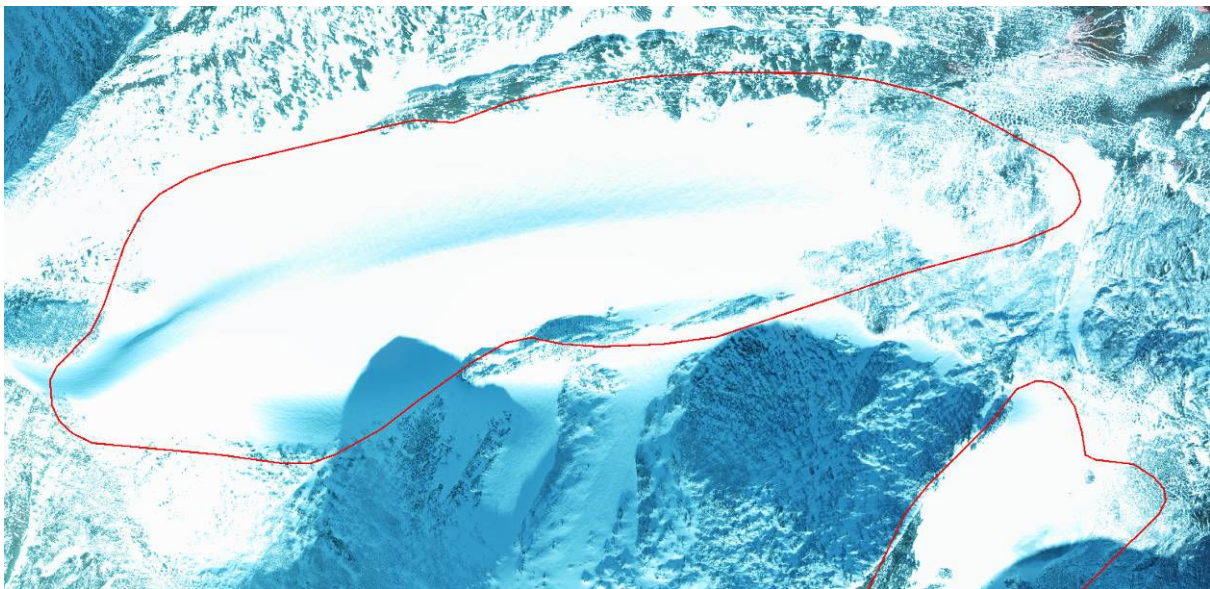
Att utifrån NNH indela vattenytor i sjöar respektive strömmande vatten bedöms inte som rimligt, utom i de fall då det finns en tydlig tröskel mellan sjö och vattendrag. På grund av den mycket låga punkttätheten i vatten och den osäkra markklassningen i strandzonen blir brusets i terrängmodellen för stort. Skillnaden mellan en sjö och ett stilla flytande vattendrag är hårfin och gränsen mellan dem måste troligen bedömas manuellt. Terrängmodellen bör dock vara ett bra stöd vid den manuella tolkningen.

Övrigt

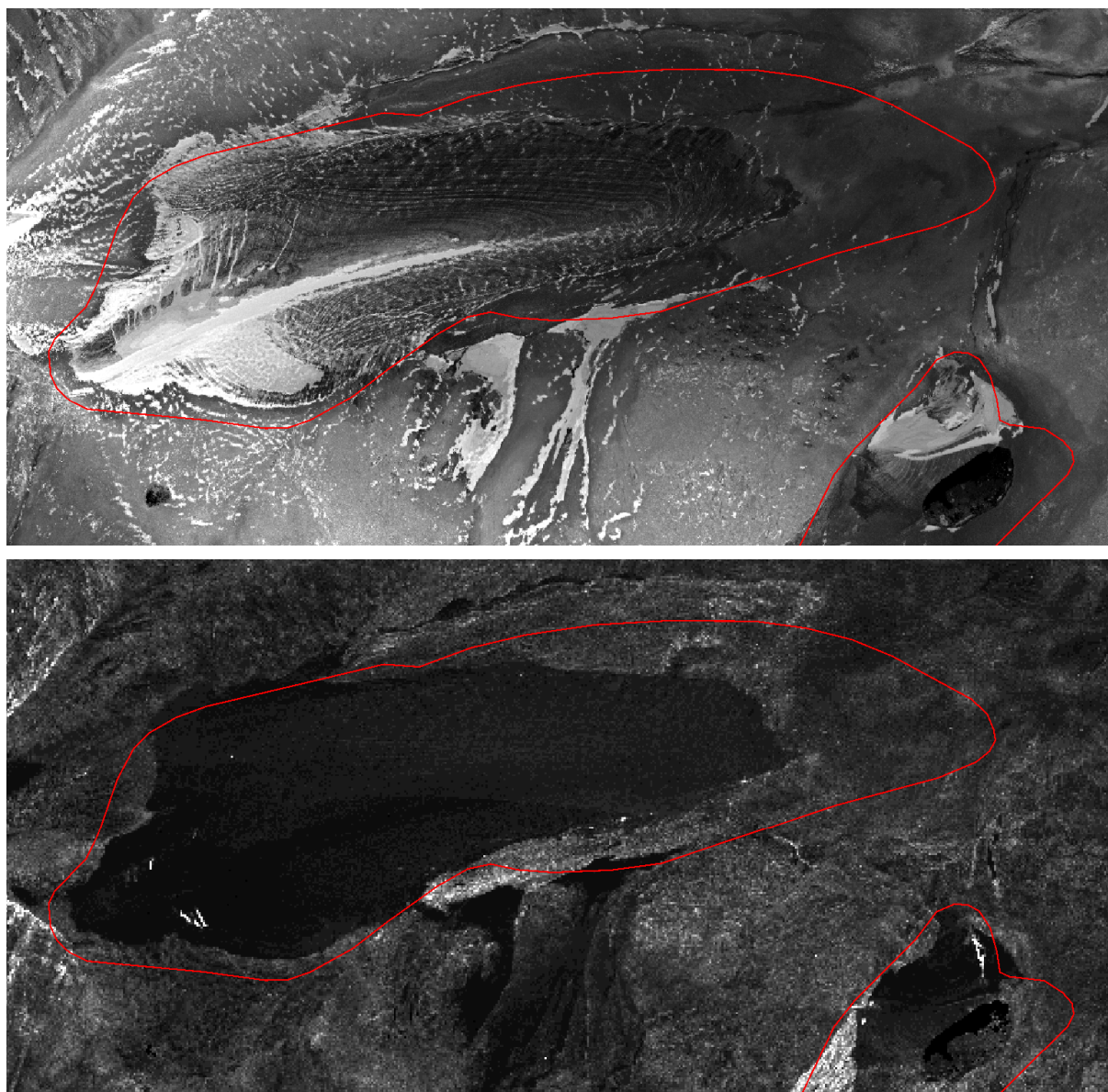
Det finns förstås fler objekt som kan karteras ur NNH än de som nämns ovan. Exempel på objekt som skulle kunna undersökas är olika typer av fornlämningar, gruvhål och stenmurar.

Glaciärer är ett speciellt exempel på möjligheterna med kartering ur NNH. De kan vara svåra att avgränsa i flygbilder, men syns tydligt i flera rasterprodukter ur laserdata. Dessutom kommer ny information fram som inte alls framträder i en flygbild.

Inom de våglängder som används vid laserskanning inom NNH är reflektansen hos is och gammal snö relativt svag. Det gör att glaciärer framträder på ett annorlunda sätt i intensitetsbilden jämfört med en flygbild. Dessutom saknar intensitetsbilden störande skuggor.



Figur 29 Ortofoto med infraröd information. De röda polygonerna är Vägkartans avgränsning för glaciär.



Figur 30 Intensitet och textur för samma område som i ortofotot ovan. I en SPOT-scén tagen fyra dagar före skanningstillfället låg ett tunt snötäcke över hela området, ungefär som i ortofotot som dock är taget två år tidigare. Notera att glaciären även syns tydligt i texturbilden, eftersom isen är betydligt slätare än den ojämna terrängen runt om.

Slutsatser

Det finns många tillfällen då rasterprodukter från NNH är ett bra komplement till flygbilder vid manuell kartering. Fördelen med rasterprodukter är den enkla hanteringen som i de flesta fall inte kräver någon anpassning av befintliga system. För automatisk eller halvautomatisk kartering, ur rasterprodukter eller direkt ur punktmolnet, krävs dock metodutveckling.

Det som i många fall begränsar användningen av laserdata från NNH är den relativt låga upplösningen. En annan kritisk faktor är ovissheten kring hur modellen kommer att ajourföras. Det är sannolikt att vissa tätorter kommer att ajourföras med laserskanning, men i övriga delar av landet kan även andra metoder komma att användas, exempelvis fotogrammetri.

Många objektgrupper förändras dock i mycket långsam takt, exempelvis terrängform och hydrografi, och där finns det goda möjligheter att höja både fullständighet och noggrannhet i GGD med hjälp av laserdata från NNH. Oavsett hur ajourföringen ser ut kommer laserdata att ha högre kvalitet och upplösning i framtiden, och därför bör man redan nu lägga resurser på att utveckla tekniker för kartering.