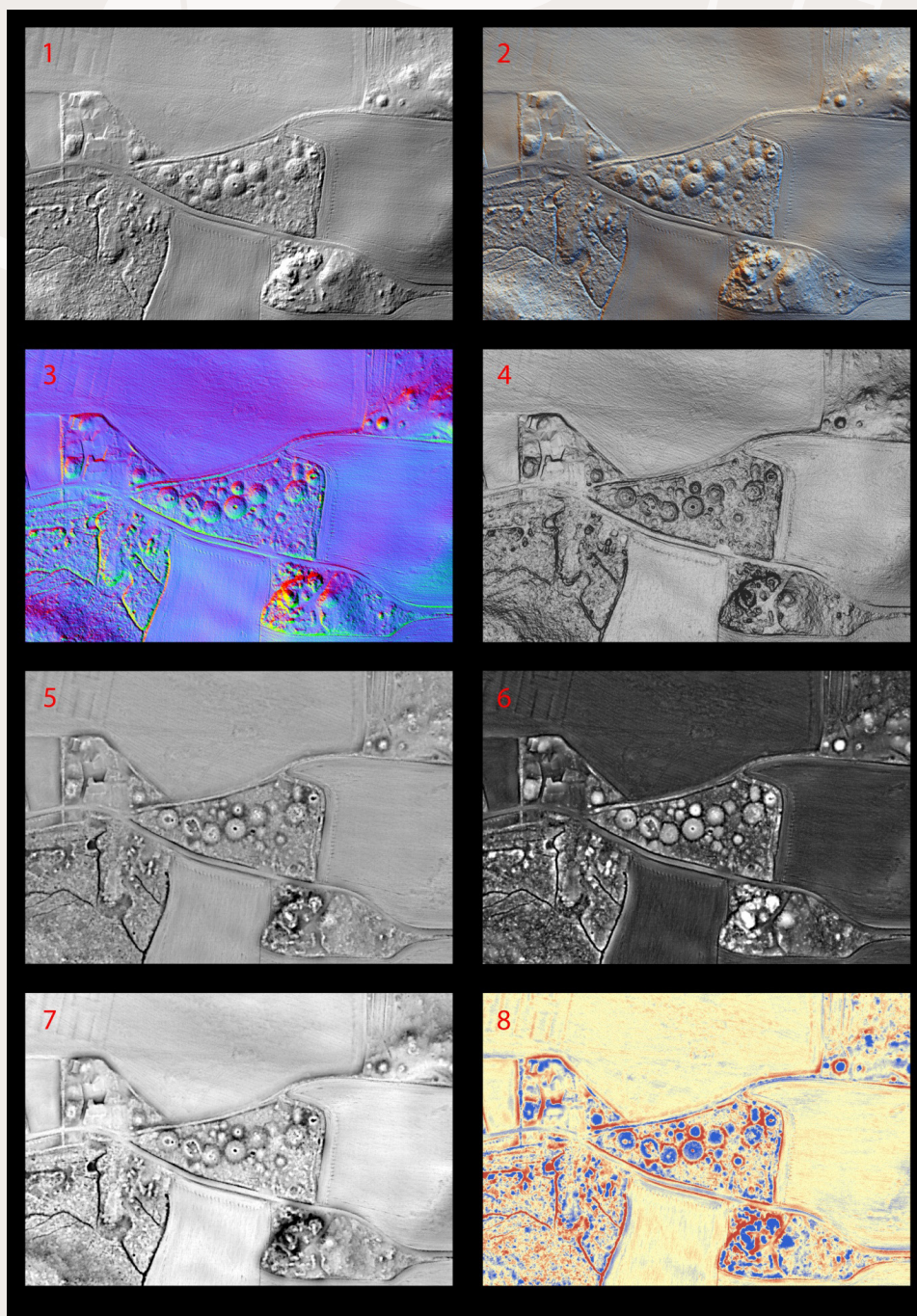


HÅNDBOK

Bruk av luftbåren laserskanning (lidar) i arkeologien



Ulike visualiseringsteknikker brukt på et gravfelt i Ås, Akershus. 1. Hillshade, 2. Multihillshade, 3. Principal component analysis (brukes sjelden i arkeologisk øyemed), 4. Slope, 5. Openness (positive), 6. Openness (negative), 7. Sky-View Factor, 8. Local Relief Model. Illustrasjon: NIKU



Tittel:
Bruk av luftbåren laserskanning (lidar)
i arkeologien

© Riksantikvaren august 2016
www.ra.no

ISBN 978-82-75-7412-5 (PDF)

Design: Riksantikvaren

Håndboken er et resultat av et samarbeidsprosjekt mellom Norsk regnesentral, NIKU, Kulturhistorisk museum, Vestfold fylkeskommune, Oppland fylkeskommune og Sør-Trøndelag fylkeskommune.

Håndboken er forfattet av NIKU.

NIKU

Norsk institutt for
kulturminneforskning

Bruk av luftbåren laserskanning (lidar) i arkeologien

Innhold

Forord	2
1. Innledning.....	3
1.1 Målet med håndboken	3
1.2 Hva er lidar?.....	3
1.3 Bruk av fjernmålingsteknikker i arkeologien	5
1.4 Lidar-historikk	6
1.5 Hva kan lidar brukes til?	7
1.6 Utfordringer ved bruk av lidar	12
2. Bruk av lidardata	16
2.1 Datainnsamling	16
2.2 Bruke eksisterende data	18
2.3 Skaffe egne lidardata	19
2.4 Punktetthet.....	20
2.5 Datasettene	23
2.6 Filformater	27
2.7 Programvareløsninger: fra punkt til modell	28
2.8 Visualiseringsteknikker	30
2.9 Semi-automatisert deteksjon	41
2.10 Verifisering i felt	42
3. Huskeliste	42
4. Eksempelsamling med forskjellige kulturminnetyper.....	44
5. Vil du lese mer?	55
6. Forkortelser og ordliste	60

Forord

De siste 10-20 årene har vi opplevd spennende utvikling på teknologisiden som gir nye muligheter for kulturminneforvaltningen. Spennet fra mobilteknologi til satellitt- og robotteknologi; fra individrettede til multinasjonale tjenester og teknologier er vidt, og gir et stort mulighetsrom for å utforske og tilpasse ulike metoder og verktøy til andre felt enn de opprinnelig er utviklet for.

Gjennom å kombinere kulturminnekunnskap med teknologisk kunnskap og praksis, har norske kunnskaps- og forvaltningsmiljøer vært i front internasjonalt med å utvikle innovative praksiser og levere viktige forskningsbidrag. Laserskanning fra fly er en av de teknologiske innovasjonene som har vist seg svært relevant og nyttig å innlemme i det arkeologiske metodetilfanget. Metoden er effektiv og brukervennlig, og har gitt oss ny kunnskap om vår tidlige historie.

Vi håper at denne håndboken kan gi god informasjon om laserskanningens muligheter og bruksområder i forvaltningen, og senke terskelen for å ta i bruk nye metoder og teknologier.

Håndboken er utarbeidet i tilknytning med et samarbeidsprosjekt mellom Norsk regnesentral, Kulturhistorisk museum, Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU), Vestfold fylkeskommune, Oppland fylkeskommune og Sør-Trøndelag fylkeskommune som har hatt som mål å utvikle semi-automatisert gjenkjenning av kulturminner på grunnlag av satellitt- og skanningsdata. Riksantikvaren ønsker å rette en spesiell takk til Ole Risbøl og Lars Gustavsen ved NIKU som har forfattet selve håndboken.

Vi vil også takke følgende personer som har bidratt til håndboken med kvalitetssikring og/eller illustrasjoner: Christoffer Dahle (Møre og Romsdal fylkeskommune), Jan Ingolf Kleppe (Finnmark fylkeskommune), Ingvild Paulsen (Aust-Agder fylkeskommune), Lars Pilø (Oppland fylkeskommune), Kjetil Skare (Hedmark fylkeskommune), Christer Tonning (Vestfold fylkeskommune) og Kenneth Webb Vollan (Finnmark fylkeskommune).

1. Innledning

1.1 Målet med håndboken

Denne håndboka beskriver hvordan lidar i dag brukes i arkeologien og har et spesielt fokus på hvordan metoden anvendes til fjernmålingsbasert registrering av kulturminner.

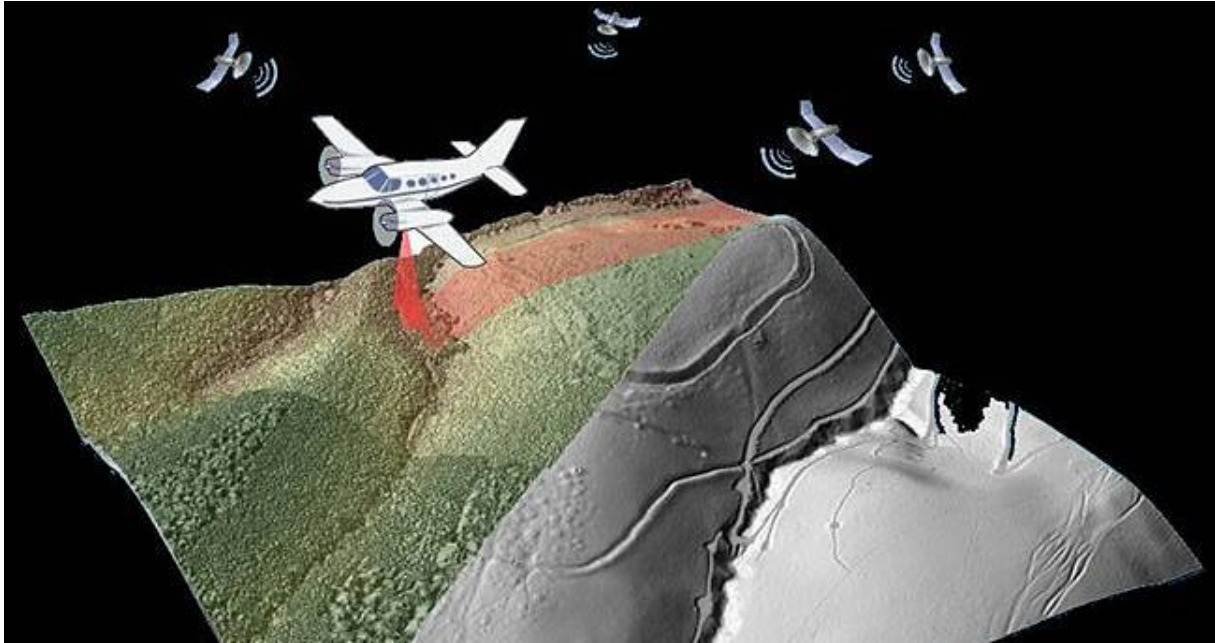
Målgruppen er arkeologer som ønsker å ta i bruk lidar innenfor forvaltning eller forskning. Arkeologer som har noe kjennskap til praktisk bruk av lidardata vil også kunne ha nytte av håndboka. Noen vil ha glede av å lese håndboka fra perm til perm, mens andre vil kunne bruke den som oppslagsverk for å få oversikt over en konkret tematikk. Sist i håndboka finnes en litteraturoversikt for dem som ønsker å gå mer i dybden på bruk av lidar i arkeologien.

Håndboka er bygget opp slik at den først begynner med en kort historikk, etterfulgt av en gjennomgang av anvendelsesområder innenfor arkeologien. Deretter følger en teknisk del som også beskriver hvordan man går frem trinnvis, oppsummert med en punktvis huskeliste. Dette etterfølges av en samling av eksempler på kulturminner som er identifisert eller registrert ved bruk av lidardata. Sist i håndboka - etter litteraturlista – finnes det en ordliste og en oversikt over de vanligste forkortelsene som anvendes innenfor lidar-verdenen.

1.2 Hva er lidar?

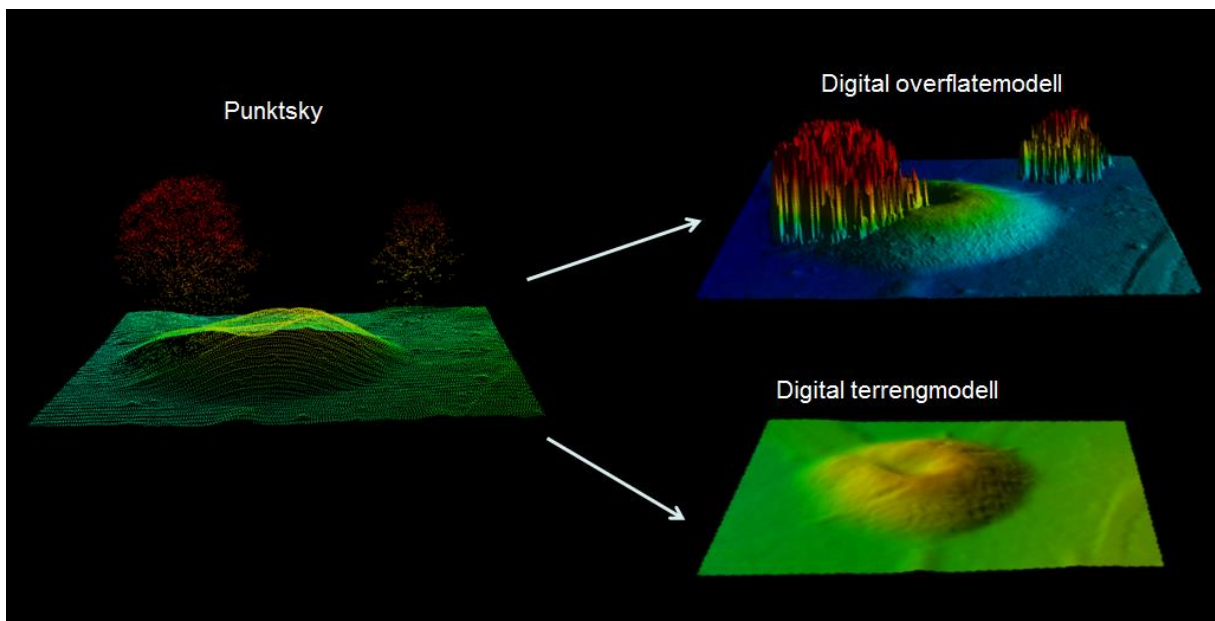
Lidar er en fjernmålingsteknikk der korte pulser av nærinfrarødt lys sendes ned mot bakken fra en sensor montert under et fly, et helikopter eller en drone. Pulsene reflekteres i terrenget, og ved å måle tiden det tar fra pulsen sendes ut til den registreres i laserskanneren samt flyets posisjon i lufta, kan man beregne treffpunktet på bakken med tredimensjonale koordinater.

Den vanligste betegnelsen på denne teknikken er *lidar*, som er et akronym for «Light Detection and Ranging». Ordet lidar dekker i prinsippet både laserskanning fra lufta og fra bakken, men forbindes oftest med skanning fra lufta. På engelsk brukes også «Airborne Laser Scanning» (ALS) og på norsk brukes tilsvarende «flybåren laserskanning» (FLS) eller sjeldnere «luftbåren laserskanning» (LLS). I denne håndboken har vi valgt å bruke ordet lidar (kan også skrives LIDAR, LiDAR eller LiDaR), da vi anser det for å være den mest innarbeidete og best kjente benevnelsen på denne teknikken.



Figur 1. Laserskanning fra lufta. Illustrasjon: Martin Fera, LBI, Wien.

Lidarsystemene kan teoretisk sett måle flere hundre tusen punkter per sekund, og på denne måten samle inn store mengder punkter i datasett som kalles punktskyer (Figur 1). Punktskyene blir gjerne omgjort til heldekkende tredimensjonale, digitale overflatemodeller (Figur 2). Datasettene kan filtreres slik at man eksempelvis velger bort signalene som stammer fra vegetasjon, bygninger og infrastruktur, og kun bruker bakkesignalene. Da vil man stå igjen med en vegetasjonsfri, detaljert modell av selve terrengoverflaten. Vegetasjonsfrie terrengmodeller egner seg godt til å analysere, tolke og visualisere forhold på bakken i 3D, og kulturminner vil i mange tilfeller fremstå som anomalier (avvik) fra det omkringliggende terrenget.



Figur 2. Fra punktsky til heldekkende og vegetasjonsfri terrengmodell. Illustrasjon: NIKU.

De innsamlete datasettene er lett tilgjengelige, forholdsvis enkle å prosessere og kan kobles sammen med annen kartfestet informasjon. Bruken av lidardata gjør det mulig å få rask oversikt over store arealer, fordi arkeologiske kulturminner er lett gjenkjennelig i datasettene. Dette kan bidra til å effektivisere arbeidet med å registrere kulturminner i et område.

1.3 Bruk av fjernmålingsteknikker i arkeologien

Lidar er en av flere teknikker som i økende grad brukes innen arkeologisk forskning og forvaltning, og som inngår i en løst definert gruppe metoder som går under betegnelsen «arkeologisk fjernmåling». Fjernmåling kan i videst mulig forstand defineres som *innhenting av informasjon om et objekt, uten å være i fysisk kontakt med objektet*. Noen foretrekker å forbeholde begrepet fjernmåling til de teknikker hvor det er betydelig avstand til objektet, mens andre mener at avstanden i seg selv ikke er avgjørende og velger å bruke fjernmåling også om bakkebaserte metoder som geofysikk. Arkeologisk fjernmåling omfatter dermed lidar og andre metoder som har vært kjent og brukt av arkeologer i relativt lang tid slik som flyfotografering, geofysikk og satellittopptak. Bruken av fjernstyrte luftfartøy eller UAVer (Unmanned Aerial Vehicles), slik som droner, ballonger, drager osv. er i de senere årene blitt tatt i bruk i økende grad innenfor arkeologien som plattform for ulike typer dokumentasjonsteknikker. Nyere muligheter, slik som hyperspektral skanning og flybåren magnetometer er andre teknikker som er under utvikling og som fremover kanskje vil få utbredt anvendelse, også innenfor arkeologifaget.

Skanning i vann, også kalt batymetrisk skanning, foretas med laserlys som ligger i det grønne spektret og kalles derfor grønn laser. Vanligvis foregår innsamling av dybde data i sjø ved bruk av multistråleekkolodd fra båt, men for sjøområder hvor dybden er under fem meter, er denne teknologien vanskelig å anvende, og grønn laser kan være et alternativ. De grønne laserpulsene sendes mot vannoverflaten fra fly eller helikopter, trenger gjennom vannskorpen og blir reflektert fra sjøbunnen fra vekster i vannet eller fra strukturer som ligger på sjøbunnen, slik som skipsvrak og lignende. Det er en utfordring at laserpulsene utsettes for lysbrytning, spredning og/eller absorbering i berøring med vann, noe som begrenser gjennomtrengeligheten. Dette gjør batymetrisk skanning best egnet på lavt vann nær kysten samt i grunne elver og innsjøer. Ved klart vann kan gjennomtrengningsdybden være opp til 10 meter, men er som oftest mindre enn det som følge av forekomsten av alger og andre urenheter samt uroligheter i vannet.

Det er gjort enkelte forsøk med bruk av batymetrisk skanning til marin arkeologiske formål. Disse forsøkene har gitt til dels gode resultater, men som nevnt knytter det seg en del forutsetninger til datainnsamlingen hva sikt og værforhold angår. Erfaringen med bruk av grønn laser i vann til arkeologiske formål er så langt begrenset, men potensialet for å videreutvikle teknologien og metodikken er klar nok. Det kan også nevnes at det i forbindelse med utredningene om etableringen av en nasjonal høydemodell ble tatt sikte på å kartlegge kystnære sjøområder med flybåren laserskanning og at det i 2014 ble

gjennomført et testprosjekt kalt «TopoBaty 2014». I dette prosjektet ble den nyeste teknologien innen batymetrisk laserskanning tatt i bruk og til tross for en del problemer, viste resultatene at laserskanning egner seg godt til å kartlegge grunne områder langs kysten. Det er et viktig resultat, da grunna langs kysten ikke kan dekkes ved bruk av multi-stråleekkolodd fra båt på grunn av manglende dybde og heller ikke dekkes av konvensjonell lidar som ikke er anvendelig hvor det er vann. Det bør imidlertid nevnes at slike detaljerte havbunnsdata defineres som gradert materiale av Forsvaret, noe som gjør at tilgangen til disse vil være begrenset.

1.4 Lidar-historikk

Lidar har, siden de første arkeologer tok metoden i bruk rundt årtusenskiftet, blitt en viktig del av den arkeologiske verktøykassen. Som nevnt har denne teknologien gitt arkeologer anledning til å jobbe med detaljerte, høyoppløselige tredimensjonale terrengmodeller som grunnlag for digital identifisering og tolkning av kulturminner på landskapsnivå. Detaljert 3D-dokumentasjon av kulturminners form og størrelse på enkeltminnenivå er et annet bidrag laserskanning har tilført arkeologien. Før bakkebasert og flybåren laserskanning ble et alternativ for arkeologisk kartlegging ble kulturminners form vanligvis dokumentert i 2D med konturtegninger og andre tegnesymboler. Teodolitter, totalstasjoner og satellitt-posisjoneringsutstyr (GPS) er også tatt i bruk til nøyaktig innmåling av arkeologiske kulturminner og utgravningsfelt, og til fremstilling av tredimensjonale modeller av mindre områder. Med totalstasjon eller GPS kan en samle inn punkter fra terrenget på samme måte som med lidar. Dette er imidlertid svært arbeidskrevende tilnærminger da hvert punkt må måles inn for seg. Dette er derfor ikke noe fullgodt alternativ dersom større områder skal kartlegges. Fotogrammetri er også en alternativ måte å lage 3D-fremstillinger av anlegg eller terreng på som har vunnet innpass i mange arkeologiske miljøer. Da denne metoden bygger på fototeknikk, og dermed ikke har det fortrinn som lidar har med å kunne filtrere bort vegetasjon og andre elementer som sperrer for innsyn til bakken, kommer fotogrammetri best til nytte i åpne og vegetasjonsfrie arealer.

Laserteknologien er, sett i et litt større tidsperspektiv, en relativ ny teknologi og ble først tatt i bruk mot slutten av 1950-årene. I begynnelsen var atmosfæriske målinger og påvisning av ubåter under vannoverflaten to av de viktigste bruksområdene. Første skritt på veien mot den bruken av lidar vi kjenner i dag, var da man på slutten av 1960-tallet gjorde de første eksperimenter med å montere laserinstrumenter under fly. Dette medførte at man noen år senere, det vil si fra midten av 1970-tallet, for første gang kunne fremstille lidar-genererte topografiske høydemodeller. Et helt avgjørende teknologisk kvantesprang skjedde mot slutten av 1980-tallet med utviklingen av høypresisjonstidtakere samt GPS- og INS-teknologi (treghetsnavigasjon). Disse teknologiske nyvinningene gjorde det mulig å fastslå flyets og instrumentenes nøyaktige posisjon selv når flyet beveger seg med høy hastighet og er utsatt for vregninger og krengetninger. Dermed ble presisjonen på innmålingene langt mer nøyaktig enn de hadde vært hittil og bidro derved til å gjøre lidar mer anvendelig for et større spekter

av bruksområder. Fra midten av 1990-tallet opplevde leverandører av lidar-utstyr og – tjenester således et kommersielt gjennombrudd.

Rundt år 2000 ser vi de første eksempler på at arkeologer tar i bruk lidar. Først ut var britiske arkeologer og siden har bruken vært jevnt økende – først og fremst i Europa, men i de senere årene også i Nord- og Mellom-Amerika samt Asia. I norsk arkeologi går bruken av lidar tilbake til 2005 hvor det første prosjektet ble gjennomført med skanning av et 10 km² stort skogsområde i Elverum kommune hvor det ble påvist kullgroper, jernvinneanlegg og tjæregrøfter. Dette forsøket, ble fulgt opp av en rekke skanningsprosjekter i Norge med stor geografisk spredning og ulike problemstillinger knyttet til kulturminneforvaltning, -forskning og utredning. I de senere årene har et stadig økende antall arkeologer i regional kulturminneforvaltning tatt i bruk – eller ytret ønske om å ta bruk lidar i sitt arbeid med arealplanforvaltning.

1.5 Hva kan lidar brukes til?

Lidar er en aktiv metode i den forstand at det ved laserskanning fysisk sendes pulser mot bakken. Dette i motsetning til f.eks. flyfoto og satellitt-opptak som er passive metoder. Den aktive operasjonen gjør det mulig å trenge gjennom vegetasjon og dermed filtrere dataene i henholdsvis bakkepunkter og ikke-bakkepunkter. Et datasett bestående utelukkende av bakkepunkter gjør det mulig å fremstille digitale terrengmodeller med høy detaljeringsgrad, også i områder hvor det finnes skog eller annen vegetasjon som dekker for den visuelle tilgangen til et landskap sett fra fugleperspektiv. Dette kan fremheves som lidars aller største fortrinn. Nedenfor omtales noen av de vanligste bruksområdene for metoden: kulturminneregistreringer, kvalitetssikring og kontrollregistrering, miljøovervåking, endringsdeteksjon, utmark og innmark samt landskapsanalyser.

Kulturminneregistreringer

Det mest opplagte anvendelsesområde for lidar er registrering, det vil si påvisning av hittil ukjente/uregistrerte kulturminner. Lidar-genererte høydemodeller gir gode forutsetninger for å planlegge feltarbeid, fordi de gir et godt innblikk i hva som kan forventes av kulturminner i et område.

Det finnes etter hvert mange eksempler på at antall registrerte kulturminner øker markant når lidar tas i bruk. Dette gjelder også i områder hvor kulturminneregistreringer har vært utført gjennom konvensjonelt feltarbeid. Det kan især vises til resultater fra skogsområder hvor det rapporteres om inntil 50 % økning og i andre tilfeller inntil 80 % økning. Det finnes også eksempler på virkelig store registreringsprosjekter hvor resultatene med tydelighet understreker nyttegevinsten ved bruk av lidar. I den tyske delstaten Baden-Württemberg har en så langt registrert over 215 000 kulturminner (dog ikke sjekket i felt) ved hjelp av lidar i to områder på til sammen drøyt 35 000 km² og kun en brøkdel av disse var kjent fra før.

Det finnes også studier som har sett på hvor stor prosentdel av antall kjente kulturminner i et gitt område som lot seg påvise ved bruk av lidar. En slik tilnærming ble brukt på det første

skanningsprosjektet i Elverum hvor det viste seg at 83 % av kullgropene og 50 % av jernvinneanleggene ble funnet på den digitale terrengmodellen. Den samme undersøkelsen viste i tillegg at når et kulturminne først er identifisert på modellen, lar det seg gjøre å typebestemme det i over 90 % av tilfellene uten manuell besiktigelse på bakken¹.

En kulturminneregistrering omfatter i tillegg til kartfesting og typebestemmelse også vanligvis en beskrivelse som inneholder de viktigste mål. Det er mulig å foreta oppmålinger av kulturminner digitalt på en 3D terrengmodell uten å måtte dra i felt med målebånd eller annet måleutstyr. En studie som sammenligner digital oppmåling på pc-skjerm og tradisjonell oppmåling i felt, har vist at de to metodene gir ganske lik resultat.

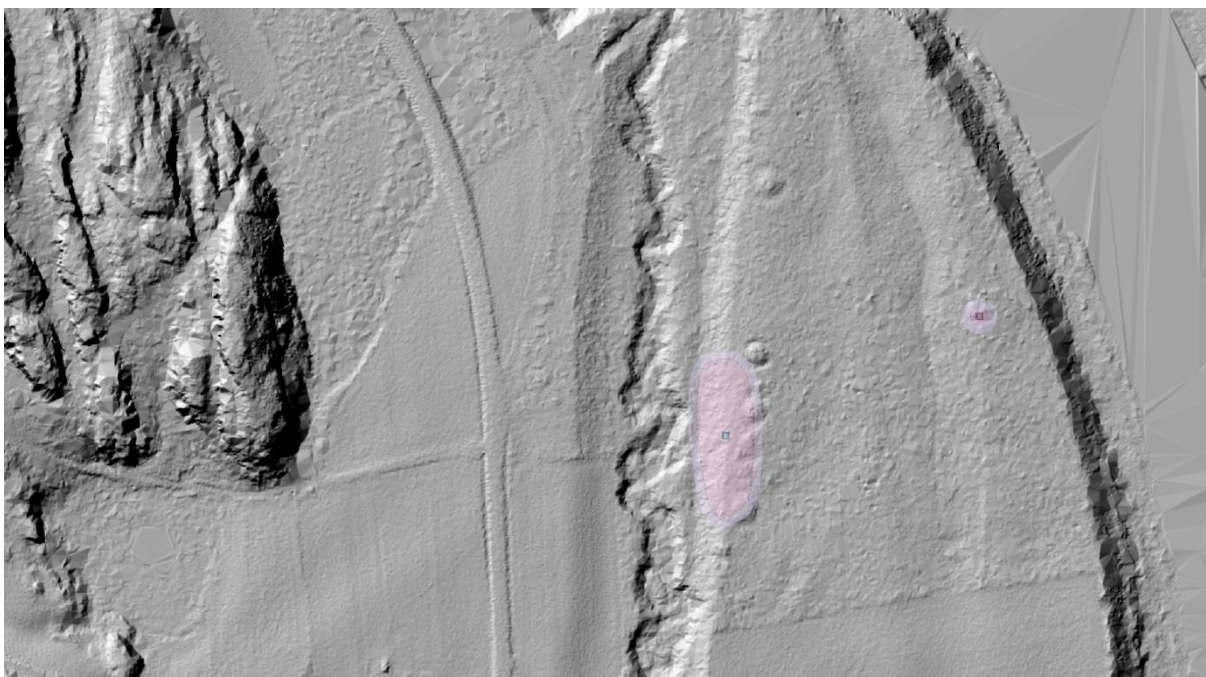
Bruken av lidar er på ingen måte en fullverdig erstatning for systematiske feltregistreringer slik de gjennomføres, f.eks. som et ledd i å oppfylle undersøkelsesplikten etter Lov om kulturminner § 9 i arealplansaker. Lidardata vil derimot ofte kunne bidra med vesentlig informasjon om potensialet i et område som skal registreres og bidra til å effektivisere feltinnsatsen.

Kvalitetssikring og kontrollregistrering

Lidar-genererte høydemodeller kan med fordel også anvendes ved kvalitetssikring av allerede eksisterende registreringer. Den nasjonale kulturminnebasen Askeladden, som er den viktigste kilde til informasjon om kjente automatisk fredete kulturminner, er bygget opp over et langt tidsrom med involvering av et stort antall personer med ulik bakgrunn og erfaring. Det forekommer derfor en del feil og mangler. Manglende ajourføring etter hvert som kulturminner forsvinner er ett forhold, men også feil klassifisering av kulturminnetype, feil kartfesting osv. forekommer. Graden av feil og mangler varierer etter når registreringene ble gjort, av hvem og lignende, men i mange tilfeller vil en grundig kvalitetssikring basert på en lidargenerert modell være en stor fordel. Dette gjelder ikke minst en mer eksakt kartfesting hvor bruken av lidar vil gi en nøyaktighet på centimeternivå². Lidar egner seg derfor godt til slik kvalitetssikring gjennom å fastslå om tidligere registrerte kulturminner fremdeles finnes i terrenget og om de er riktig avmerket på kart (Figur 3).

¹ Undersøkelsene det her refereres til, er gjort uten bruk av de muligheter for å ta i bruk de nye visualiseringsteknikkene som er kommet til de senere årene.

² En kontroll av Askeladden som Vestfold fylkeskommune gjennomfører og som bl.a. omfatter nøyaktigheten på kartfestingen av kulturminner viser at det er et avvik mellom tidligere og ny kartfesting i over 80 % av tilfellene jf.: www.vfk.no/tema-og-tjeneste/Kulturarv/



Figur 3. Noen eksempler på kulturminner i Askeladden med feil kartfesting. Avgrensningen av dette gravfeltet på Lauve, Larvik kommune i Vestfold er feil, men kan enkelt rettes opp med terrengmodellen i bunn. Nord for gravfeltet ligger det en enkeltliggende gravhaug som ikke er registrert i Askeladden. Illustrasjon: Christer Tønning, Vestfold fylkeskommune.

Miljøovervåking

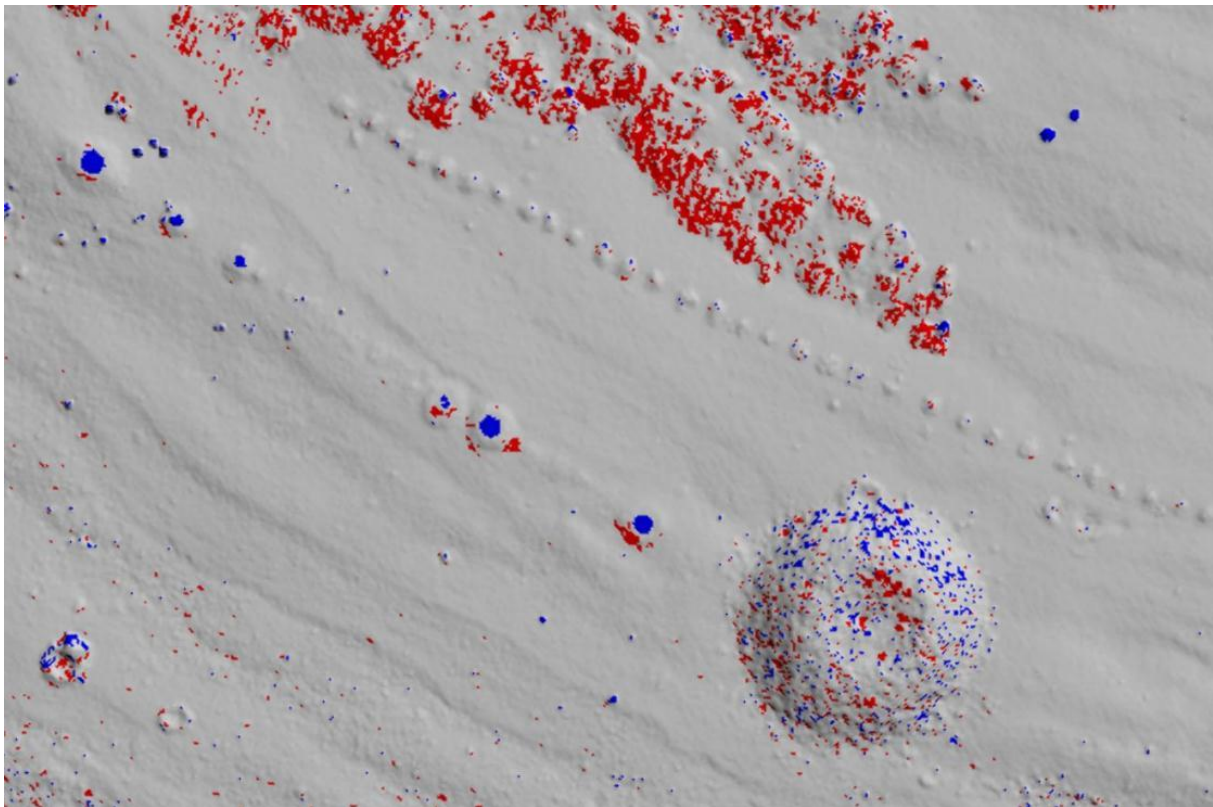
Lidar-genererte høydemodeller kan også anvendes som grunnlag for miljøovervåking. Overvåking av kulturminner er viktig for å kunne følge med på endringer og tallfeste kulturminnenes tilstand. På kulturminnefeltet gjennomføres det blant annet systematisk overvåking av automatisk fredete kulturminner innenfor prosjektet «Fortidens minner i dagens landskap» og «Verneverdige kulturminner i utvalgte kommuner». I tillegg kan det såkalte 3Q-prosjektet nevnes som overvåker jordbrukets kulturlandskap – herunder kulturminner. Lidar brukes ikke i noen av disse pågående prosjekter, men potensialet er der.

Miljøovervåking kan defineres som en systematisk innsamling av data ved hjelp av etterprøvbare metoder, basert på hypoteser om årsaks-/virkningssammenhenger. Innhenting av tilstandsdata fra samme område med tidsmessige intervaller er et bærende element i miljøovervåking. Dataene sammenstilles i tidsserier, med det formål å dokumentere endringer over tid. Kombinert med analyser av hvilke årsaker som ligger til grunn for endringene, gir den samlede kunnskapen grunnlag for å forstå virkninger eller effekter av arealendringer. Dataene gir mulighet for å varsle, rette opp, samt generelt å forebygge en uønsket utvikling. Miljøovervåking er med andre ord et egnet verktøy til å dokumentere uønskete endringstendenser og trender som grunnlag for å sette inn avbøtende eller korrigerende tiltak. Potensialet for å bruke lidar til miljøovervåkingsformål innenfor forvaltningen av kulturminner er påpekt av flere, men det finnes så langt kun få eksempler på uttesting og ingen systematisk bruk innenfor kulturminneforvaltningen. Også her er det muligheten for å jobbe digitalt og i 3D med store områder, noe som gjør lidar

relevant for miljøovervåkingsprosjekter. Miljøovervåking handler om å identifisere endringer og den kanskje fremste fordel i så måte, er at lidardata gir et særs velegnet grunnlag for å lage automatiserte endringsdeteksjoner.

Endringsanalyser

Deteksjon av endringer basert på lidardata fordrer at man har to datasett fra samme område og med et visst tidsintervall mellom opptakene. Har man det, kan man relativt enkelt gjennomføre en automatisert endringsdeteksjon ved å legge de to datasett opp på hverandre og få en programvare til å identifisere og visualisere hvor endringer har forekommet. Det er gjort en test på Mølen i Vestfold fylke hvor denne fremgangsmåten ble brukt. Her ble lidaropptak fra henholdsvis 2008 og 2010 brukt som grunnlag for undersøkelsen. Denne studien ble senere utvidet til også å omfatte høydemodeller fremstillet av historiske flyfoto med fotogrammetriteknikk som ga grunnlag for å lage automatiserte endringsanalyser tilbake i tid – i dette tilfelle tilbake til slutten av 1950-tallet.



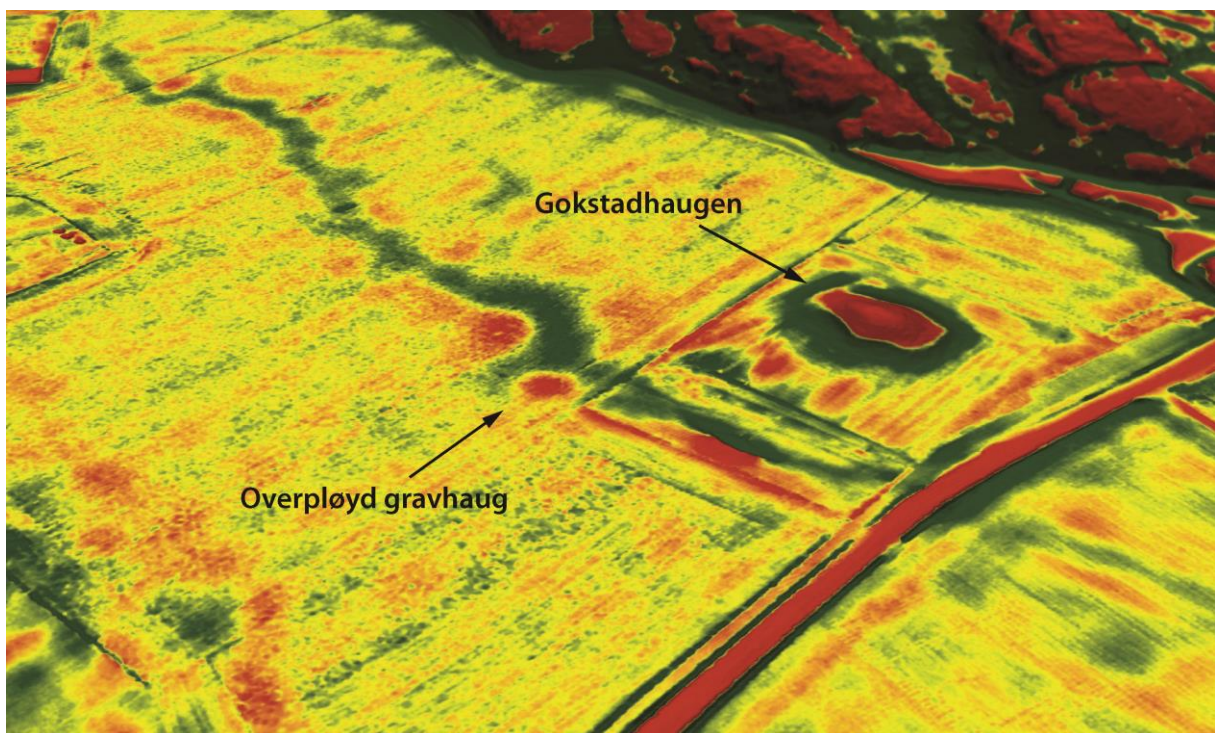
Figur 4. Et eksempel på automatisert endringsdeteksjon på Mølen, Vestfold fylke. Rød farge indikerer områder som var lavere i 2010 enn i 2008, noe som skyldes fjerning av vegetasjon. Blå farge viser områder som er blitt høyere i perioden mellom 2008 og 2010. De seks blå sirkelene til venstre for den store gravrøysa skyldes at disse mindre gravrøysene ble arkeologisk undersøkt og restaurert ved at gropene i dem ble gjenfylt slik at de nå fremstår som konvekse og ikke konkave som før restaureringen. De to blå prikkene øverst til høyre viser to nyanlagte røyser. Illustrasjon: NIKU.

Utmark og innmark

Kartlegging av kulturminner i store områder gjør det mulig å jobbe med kulturhistoriske og forvaltningsmessige spørsmål på et helt annet nivå enn det som har vært mulig hittil. Lidar

kan bidra til at også de områder som kun i mindre grad har vært gjenstand for systematiske registreringer - primært skog og annen utmark - nå kan kartlegges for synlige kulturminner på en relativ rask og effektiv måte. Dette bidrar videre til økt innsikt i fortidige menneskes påvirkning av alle typer landskap, noe som har stor betydning for vår kulturhistoriske kunnskap om hvordan samfunnene før oss organiserte seg i forhold til sine omgivelser.

Siden lidar er en aktiv metode som kan trenge gjennom vegetasjon og langt på vei kan kartlegge topografien under vegetasjon, egner metoden seg spesielt godt til kartlegging av kulturminner i skog. Det er da også skog og utmarksområder som er mest mangelfull registrert på tross av at det her finnes et meget stort antall synlige, og ofte godt bevarte, kulturminner. Den mest omfattende systematiske kartleggingen av kulturminner i Norge, er ØK-registreringene som ble gjennomført i perioden 1963-1994. ØK-registreringen tok i hovedsak for seg de gårdsnære områder, mens skog og annen utmarksareal i langt mindre grad ble registrert. Det hører også med til historien at kunnskapen om utmarkskulturminner blant arkeologer endret seg i løpet av denne tidsperioden. Det var først med de store utmarksprosjekter, at fokus for alvor ble rettet mot omfanget og betydningen av kulturminner i utmark. Manglende kulturminneregistreringer i utmark har i mange år vært en forvaltningsmessig utfordring som Norge deler med en rekke andre europeiske land. Det er imidlertid igangsatt mange prosjekter hvor lidar med hell er tatt i bruk for å forbedre oversikten over kulturminner i skog og annen utmark. Selv om anvendelsen av lidar først og fremst er knyttet til skogsarealer brukes metoden også til kartlegging av kulturminner i innmarksområder hvor blant annet overpløyd kulturminner er påvist som svake forhøyninger i dyrket mark. Et norsk eksempel er fra Gokstad i Sandefjord hvor høydemodellen viser form og størrelse på en overpløyd gravhaug (Figur 5).



Figur 5. En overpløyd gravhaug ved Gokstadhaugen, Sandefjord kommune, Vestfold fylke. Local Relief Model. Illustrasjon: NIKU.

Landskapsanalyser

Lidar-genererte 3D-landskapsmodeller har også vist seg å være nyttige i visuelle arkeologiske landskapsanalyser hvor hensikten er å prøve å rekonstruere det fortidige landskapsuttrykk som grunnlag for synsfeltanalyser – såkalte viewsheds eller andre tilnærminger til landskapsanalyser. Slike synsfeltanalyser er viktige tilnærminger til en bedre forståelse av hvordan mennesker forholdt seg til sine omgivelser i fortiden.

1.6 utfordringer ved bruk av lidar

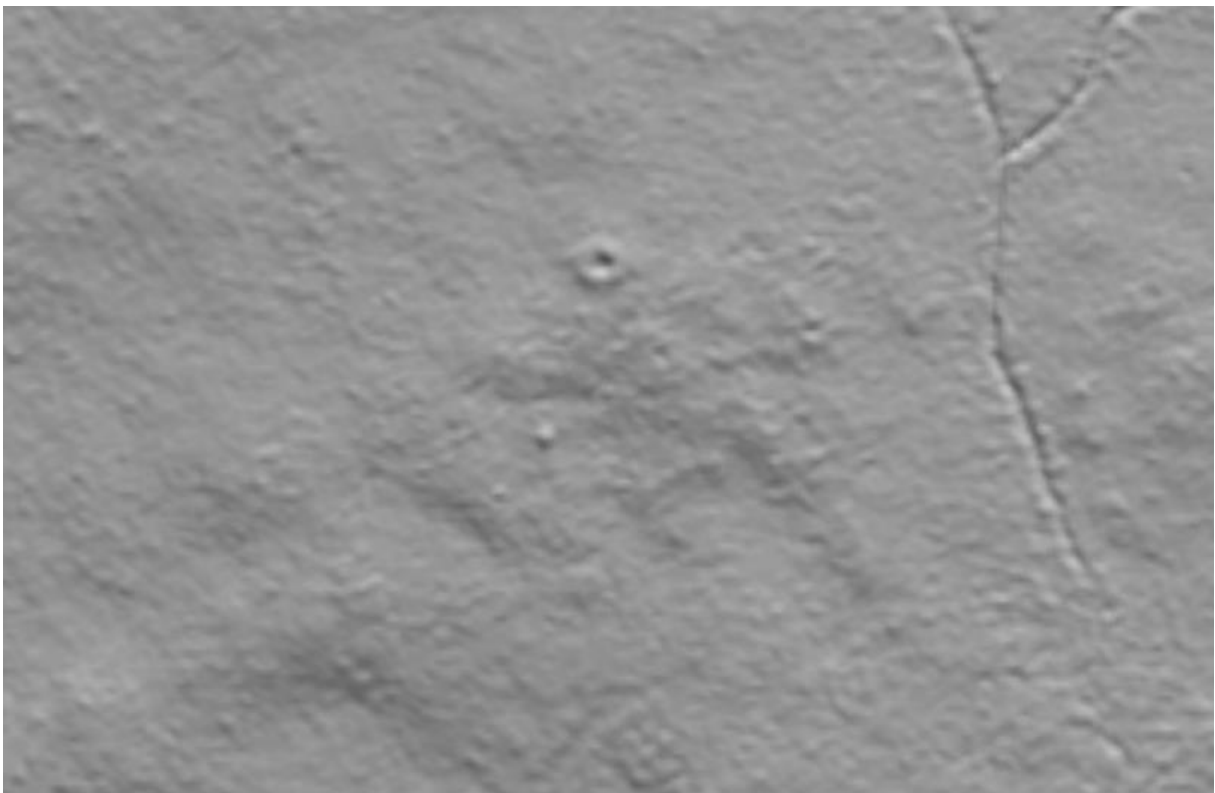
Med lidar kan man i prinsippet kun identifisere og kartlegge kulturminner som er synlige over bakken, mens ikke-synlige kulturminner må fanges opp med andre metoder³. Identifisering av kulturminner med lidar forutsetter at disse er synlige på grunn av høydeforskjeller i terrenget. Kulturminnet må stå frem som forhøyninger og/eller forsenkninger i terrenget og helt utplanerte eller nedpløyde kulturminner vil normalt ikke være synlige på en lidar-generert digital høydmodell. Høydeforskjellene trenger ikke være store, og det finnes mange eksempler på at små og lave kulturminner – til og med overpløyde gravhauger – har latt seg identifisere.

Studier har vist at muligheten for å påvise et kulturminne ikke bare er avhengig av dets størrelse, men også dets form og beliggenhet. Kulturminner med en klar geometrisk form er lettere å skille fra naturformasjoner, enn dem med uklar/utflytende form som ofte går i ett med terrenget selv i tilfeller hvor de sistnevnte er nokså store (Figur 6, Figur 7 og Figur 8).

³ Denne konklusjon gjelder ikke bruken av intensitetsdata, som er data som samles inn i tillegg til opplysninger om laserpunktene når det skannes. Bruk av intensitetsdata vil ikke bli omtalt nærmere i denne håndboka, da det er et lite utforsket felt så langt (se dog Challis & Howard 2013 med referanser).



Figur 6. Eksempel på naturformasjon som lett kan bli tolket som et kulturminne. Den nordligste anomalien er en steinblokk, den sørligste en slagghaug fra et jernvinneanlegg fra middelalderen. Illustrasjon: NIKU.



Figur 7. Rett sør for kullgropa ligger det en anomali som lett kan feiltolkes som et kulturminne. Det som kan se ut som en liten slagghaug f.eks. viste seg å være en murtue slik det ses på neste bilde. Illustrasjon: NIKU.

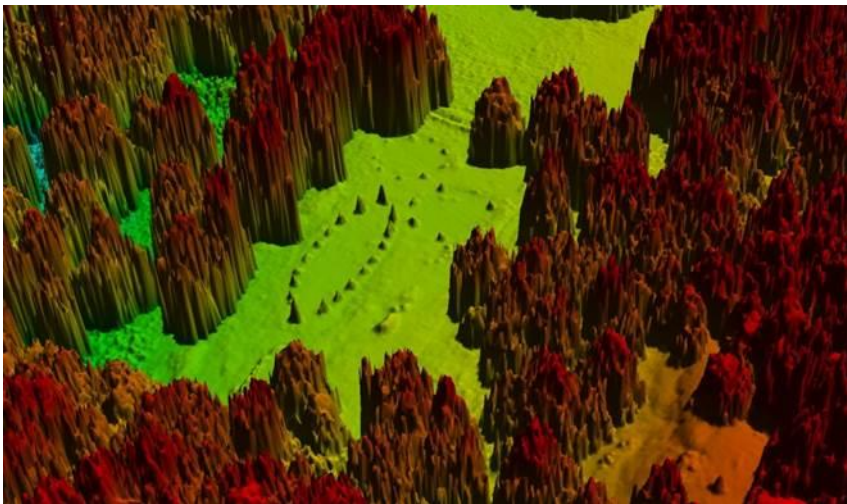
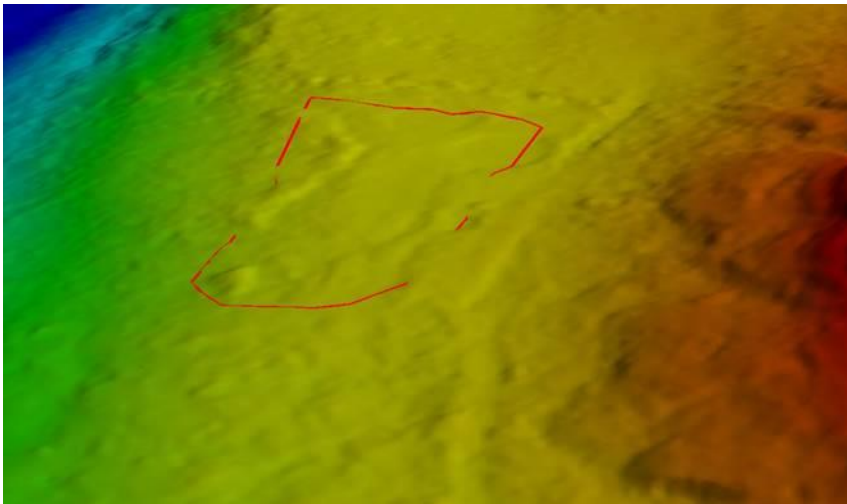
Det kan også nevnes at bratt terreng utgjør en utfordring når det skal skannes. Det skyldes at laserpulsene i sterkt hellende terreng vil bli returnert fra bakken i en vinkel som gjør at de havner på avveie og ikke kan lagres i datautstyret i flyet. Det finnes måter å ta høyde for dette, men det vil fordyre et prosjekt hvis det kreves samme dekningsgrad i bratte hellinger som i landskapet for øvrig. At kulturminner sjelden finnes i det bratteste terreng gjør denne problemstillingen mindre aktuell for vårt bruk.



Figur 8. Forlatt maurtue som på en høydemodell lett kan forveksles med et kulturminne på grunn av dens form og størrelse. Foto: NIKU.

Kulturminnenes omgivende topografi spiller også inn. Det er lettere å identifisere kulturminner i et flatt eller lett bølgende terreng, sammenlignet med et kraftig kupert landskap hvor høydeforskjellene kulturminnene fremstår med kan bli maskert bort mellom de naturgitte høydeforskjellene.

En annen begrensning er lidars manglende evne til å skanne vertikale flater fra luften. Denne begrensning kommer av at laserpulsene sendes vertikalt ned fra instrumentet i flyet eller helikopteret med en spiss vinkel som gjør at få eller igjen av pulsene blir reflektert fra vertikale flater. Dette gjør det vanskelig å dokumentere kulturminner som er kjennetegnet av vertikale flater, slik som bautastein, steingjerder, vegger på bygninger og lignende ved hjelp av lidar (Figur 9).



Figur 9. Øverst: foto av steinsetningen på Istrehågan, i midten: en DTM hvor steinene er filtrert bort fra datasettet sammen med vegetasjonen, nederst: en DSM hvor formen på steinsetningen kommer tydelig frem. Foto og illustrasjon: NIKU.

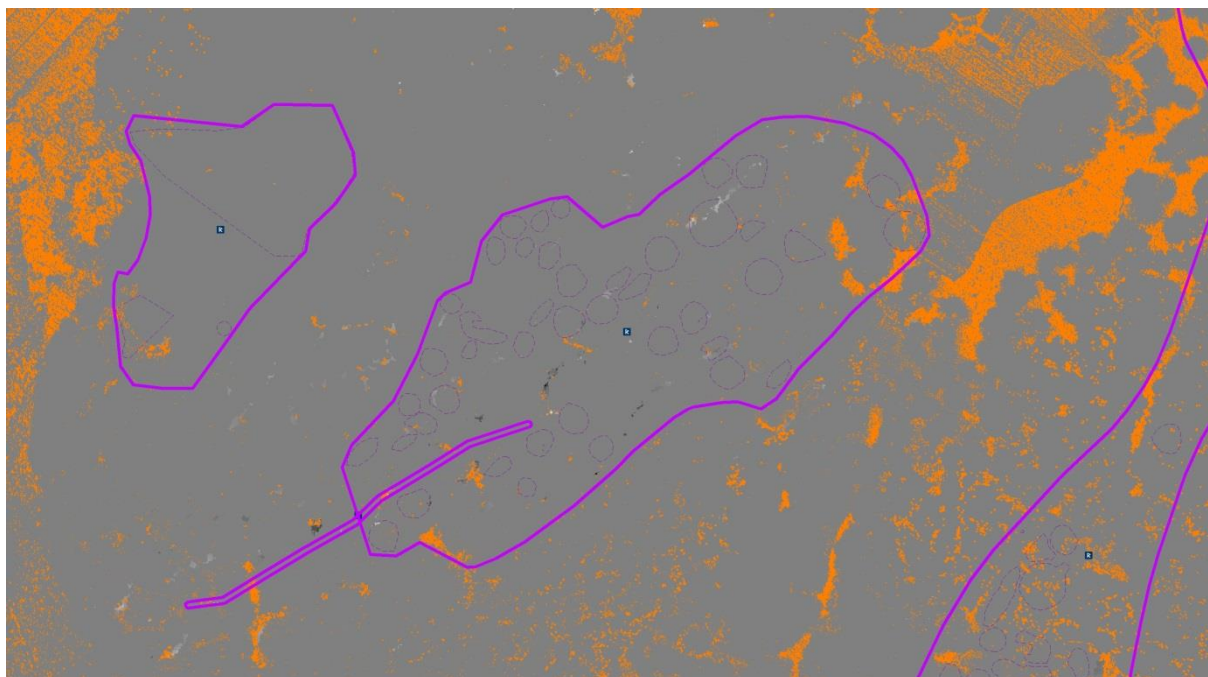
2. Bruk av lidardata

2.1 Datainnsamling

Innsamling av lidardata fra luften utføres vanligvis fra fly eller helikopter. Ved skanningen blir pulsene distribuert ut til begge sider av flyretningen ved at de treffer et speil som vipper frem og tilbake i en vinkel på ca. 20°. Dette gjør at dataene blir sendt ut og samlet inn i en mellom 100 og 1000 meter bred korridor under flyet eller helikopteret. Lyspulsene reflekteres tilbake til sensoren når de treffer motstand på vei mot bakken; fra vegetasjon, toppen av bygninger eller selve terrengoverflaten. I sensoren lagres retursignalene sammen med opplysninger om x-, y- og z-koordinater på de returnerte punktene. Dette er mulig ved bruk av avansert satellittposisjonering hvor flyets/helikopterets posisjon og orientering i rommet registreres nøyaktig sammen med målinger av tiden det tar for hver enkelt puls fra det forlater sensoren til det har returnert og blitt lagret i sensoren. Det er denne reisetiden som, omsatt i mikrosekunder, gjør det mulig å differensiere høydeverdien til punktene – et bakkepunkt har reist lenger enn et punkt returnert fra toppen av en busk eller et hustak.

Overskyet vær, regn eller tåke er ugunstige værforhold når det skal foretas en laserskanning, fordi laserpulsene kan bli avledet av vanndamp i luften og dermed ikke nå ned til bakken. Årstiden det skannes på er vanligvis av stor betydning for det endelige resultatet. Dette skyldes især den nære relasjonen mellom årstid og vegetasjonsbilde. Jo mindre, lavere og åpnere vegetasjonen er, dess bedre. For best å kunne identifisere kulturminner er det viktig å jobbe med en høydemodell som er så fri for vegetasjon som mulig. Laserpulsenes fordeling over arealet som skannes gjør det mulig å utnytte åpninger i vegetasjonen slik at denne gjennomtrenges og pulsene når helt ned til og returneres fra bakken. Likevel er det slik at vegetasjonens karakter er av svært stor betydning for kvaliteten på den digitale terrengmodellen. Noen av laserpulsene vil normalt trenge gjennom vegetasjonen og nå ned til bakken, men det er slik at jo tettere vegetasjon, dess flere laserpulser returneres fra blader, grener og stammer i stedet for fra bakken. Her vil det være store variasjoner alt etter om det er snakk om f.eks. granskog på høy bonitet eller lysåpen furumo. Generelt er det slik at løvtrær byr på færre problemer enn eviggrønne bartrær og det finnes mange eksempler på at gammel ugjennomtrengelig granskog har gjort det vanskelig å få til en tilstrekkelig detaljert høydemodell (Figur 10). Åpne flater, slik som hogstfelt, vil vanligvis være vanskelige å skanne på grunn av tett buskvegetasjon. Erfaringen tilsier at de mest gunstige forhold for å skanne i skog, er der hvor skogen er såpass tett at den skygger for kraftig oppblomstring av undervegetasjon, men samtidig såpass åpen at laserpulsene kan trenge noenlunde uhindret igjennom. Det forhold at vegetasjonens karakter endrer seg med årstiden, gjør det mulig til en viss grad å ta høyde for vegetasjonsproblematikk. Det er selvsagt en fordel å skanne på tider av året hvor løvtrærne står uten blader og hvor det er lite undervegetasjon. Selv i barskog er det en fordel å skanne tidlig på våren eller sent på høsten på tidspunkter hvor undervegetasjonen er mer sparsom enn ellers. Snø utgjør et problem da den normalt vil utviske høydeforskjeller i terrenget. Utfordringen er å treffe det mest optimale tidspunkt hvor snøen er borte og før vegetasjonen begynner å spire og gro.

Det er viktig å påpeke at å øke punkt tettheten ikke nytter hvis vegetasjonen er tett og ugjennomtrengelig. Å øke antall punkter over områder med tett vegetasjon vil ikke føre til en bedre terrengmodell, men vil bare medføre flere returer fra toppen av vegetasjonen.



Figur 10. Et eksempel som viser hvordan bakken maskeres av ugjennomtrengelig vegetasjon. Eksempelet er hentet fra Bøkeskogen i Larvik, Vestfold, og viser bakketreffene med oransje farge, mens de grå områdene er uten bakketreff hvor laserpulsen i stedet er returnert fra vegetasjonen uten å nå ned til bakken. Laserskanningen ble gjennomført på en ugunstig tid av året (juni), noe som gjør det umulig å bruke dataene til å identifisere gravhaugene (de stiplede polygonene). Illustrasjon: Christer Tonning, Vestfold fylkeskommune.

Et annet forhold som spiller inn når et område skal skannes, oppstår hvis det er store høydeforskjeller innenfor området som skal skannes, f.eks. i et dalføre omgitt av fjell. Dette vil gjøre det ekstra vanskelig å treffe riktig tidspunkt da vegetasjonen vokser frem til forskjellig tid, alt etter breddegrad og høyde over havet. Riktig skanningstidspunkt vil derfor være forskjellig alt etter terrengtype og hvor i landet det er snakk om.

Norge er et langstrakt land med stor variasjon hva angår topografi, vegetasjon og kulturminnetyper. Hvor stor utbytte arkeologer vil ha av å ta i bruk lidar i sitt arbeid med å registrere kulturminner vil derfor også variere. Lidar vil nok med fordel kunne tas i bruk i de fleste områder, men det er ikke tvil om at store, lett bølgende landskap med liten høydevariasjon er langt mer takknemlig å jobbe med, enn mindre landskapsrom med store høydevariasjoner. Noen kulturminnetyper lar seg også lettere påvise enn andre (se nedenfor under kapittel 5.3) og med den varierte geografiske distribusjonen av kulturminnetyper virker dette naturligvis også inn på nytteverdien.

2.2 Bruke eksisterende data

Det finnes store mengder skanningsdata som allerede er tilgjengelige og mengden øker stadig. Hvert år bestilles det store mengder med laserskanningsdata av forskjellige sektorer, slik som kommuner, store utbyggingsaktører som Statens Vegvesen og Jernbaneverket i tillegg til skogbruksnæringen og andre. Per 2014 var godt over 30.000 km² av Norges landareal lidarskannet og tilgjengelig gjennom Geovekst. Dette tallet er raskt voksende. Via den nasjonale geografiske infrastrukturen Norge Digitalt er geodatatjenester og geodata fra ulike etater tilgjengelige for dem som er med i Norge Digitalt-samarbeidet – et samarbeid mellom et bredt spekter av virksomheter som fremskaffer eller er bruker av stedfestet informasjon. Norge Digitalt koordineres av Kartverket. Eksisterende data som er samlet inn under Geovekst-samarbeidet er tilgjengelig for Geovekst-partnere og skaffes fra Kartverket i de respektive fylker.

Det kan være smart å sjekke Statens kartverks nettsider

(<http://www.kartverket.no/Kart/Laserskanning/>) for oversikt over hvor det allerede finnes lidardata. Tjenesten viser også hvor det planlegges å gjennomføre skanning i nærmeste fremtid. Dersom det allerede eksisterer lidardata fra det området du ønsker, kan du kontakte det aktuelle Fylkeskartkontoret for bestilling⁴. Du kan også be om rapporten som utarbeides for hvert skanningsprosjekt, da den vanligvis inneholder nyttige metadata-opplysninger.

Det er som oftest to forhold som avgjør om disse dataene er anvendelige for arkeologiske formål: dels oppløsningene på dataene og dels når på året dataene er samlet inn. Mange kulturminnetyper er bare vagt synlig i terrenget og en best mulig oppløsning er en ubetinget fordel ved bruk av lidar til kartlegging av kulturminner. Når det skannes med kulturminneregistrering som formål, har det også vist seg at skanning enten tidlig på året mellom snøsmelting og løvsprett, eller eventuelt seint på året mellom løvfall og snøfall, er det mest gunstige. Dette er av mindre betydning for andre sektorer som jobber på et annet detaljeringsnivå, og for skogbruksnæringen kan det til og med være en fordel med løv på trærne da det gjør det lettere for dem å identifisere treslag.

Det er vedtatt å lage en detaljert nasjonal høydemodell. Det finnes per i dag en nasjonal høydemodell med en oppløsning på 10x10 meter (tilsvarer 1 punkt pr 100 m²), men ønsket om en mer detaljert modell satte i gang en prosess med å utrede mulighetene for en høydemodell med minimum 2 punkter pr m². Det vil baseres på en kombinasjon av eksisterende skanningsdata av tilstrekkelig kvalitet (allerede samlet inn for minst 30.000 km²), fotogrammetri-genererte høydedata basert på flyfoto-opptak (60.000 km², primært fjellområder) og gjennomføring av ny laserskanning av de resterende 260.000 km².

⁴ Kontaktinformasjon finnes på <http://www.kartverket.no/Om-Kartverket/>

2.3 Skaffe egne lidardata

I de tilfeller hvor det ikke finnes tilgjengelige data andre har samlet inn, eller hvor disse ikke er av tilstrekkelig kvalitet, kan man selv bestille en laserskanning fra en leverandør som tilbyr slike tjenester.

Fordelen med å bestille dataene selv, er at en da har kontroll på skanningsprosessen hva angår skanningstidspunkt, hvilke parametere det skannes etter, etterprosessering av dataene og så videre. Et alternativ er at arkeologer med kompetanse på lidar konsulteres og får innflytelse på skanningsparameterne hvis et område skal skannes for andre formål. Det vil bidra til større bruksområde for disse dataene uten at merkostnadene ved for eksempel høyere oppløsning nødvendigvis blir så mye høyere.

Hvis du vil bestille selv, bør du utarbeide en kravspesifikasjon som inneholder et kartutsnitt, krav til oppløsning, tidspunkt for skanning, punktetthet og for når du ønsker dataene levert. Klargjør også hvilket format du ønsker dataene levert i. Som et minimum bør de leveres som punktsky i LAS-, LAZ- eller ASCII-format hvor punktene er klassifisert i henholdsvis bakketreff og treff som ikke stammer fra bakken. I tillegg kan du be om ferdige digitale terrengmodeller (DTM - Digital Terrain Model) hvis du vil slippe å lage dem selv. Rutinemessig vil det følge med en rapport fra leverandøren som beskriver de tekniske spesifikasjoner til datainnhenting og ofte også noen korte analyser av det endelige resultat. Rapporten bør også inneholde en oversikt over flyplanen og hvordan dataene er indeksert; det vil si hvordan filene er navngitt og hvordan de er geografisk distribuert.

Det finnes flere firma som tilbyr lidarskanning. Noen av disse er stasjonert i Norge, andre i utlandet. For ansatte i offentlig forvaltning, gjelder regelverket om offentlige anskaffelser også for denne typen tjenester, les mer her www.anskaffelser.no.

Pris på skanningsoppdrag er avhengig av en lang rekke faktorer. Størrelsen på arealet som skal skannes er én. Hvor i landet skanningen skal utføres er en annen faktor, da flytiden fra flyplassen til skanningsområdet er en kostnad som påvirker prisen. Hvis man er fleksibel og innstilt på å kople seg opp mot andre oppdrag leverandøren har i samme region, er det én måte å få prisen ned på. Prisreduksjonen her kan være betydelig. Å få skannet i de perioder hvor selskapene har lite å gjøre er også prisreduserende. Disse to siste forholdene kan imidlertid ofte være vanskelig å forene med et ønske om å gjennomføre skanningen på bestemte tider av året.

Samlet sett bidrar disse forholdene til at det er vanskelig å snakke om en bestemt pris per kvadratkilometer. Bestiller man skanning av store arealer finnes det eksempel på priser helt ned i kroner 2500 – 3000 per kvadratkilometer⁵, mens det i andre tilfeller er snakk om det tidobbelte. Det man kan si er at prisene generelt har vært fallende siden lidar ble tatt

⁵ Dette gjelder noen av skanningen gjennomført i regi av Oppland fylkeskommune (L. Pilø, muntlig meddelelse).

i bruk her i landet for et drøyt tiår siden, bl.a. som et resultat av at det nå er flere tilbydere på markedet.

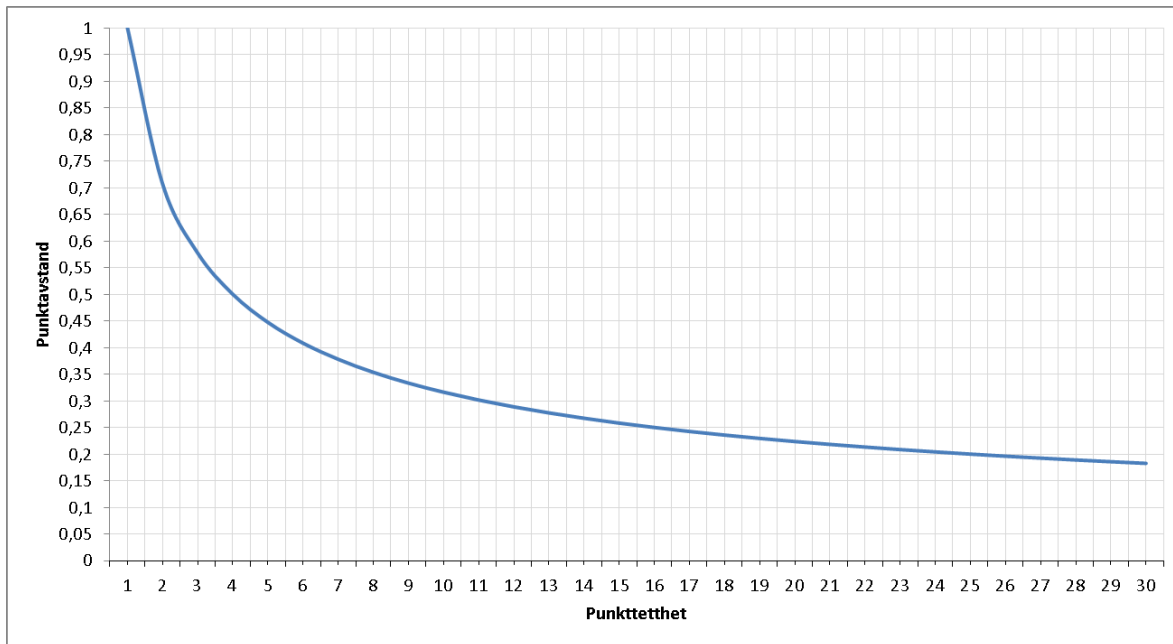
2.4 Punktetthet

Høy oppløsning er viktig for å kunne identifisere kulturminner i terrengmodellene. Det finnes flere måter å visualisere en terrengmodell på når denne skal tolkes for kulturminner.

Lysatte hillshade-modeller (skyggemodeller) er vanligst å bruke, men de suppleres stadig med nye måter å prosessere og visualisere høydemodeller på: multiple-view directions (multi-hillshade), local relief model og sky-view factor.

Best mulig posisjonering av punktene i en punktsky sikres ved bruken av avansert GPS- og INS-teknologi som inngår som en integrert del av skanningsutstyret. Nøyaktigheten på innmålingene oppgis av leverandørene til normalt å ligge på minimum 25-40 cm i det horisontale planet og 15-20 cm i det vertikale planet, men erfaringer tilsier at dette er minimumstall og at nøyaktigheten ofte er bedre enn anslått.

Hva et sett med lidardata kan anvendes til avhenger i stor grad av datasettenes oppløsning. I Norge innhentes lidardata etter tre hovedstandarder som er utarbeidet av Statens kartverk, Geovekst: DTM10, DTM20 og DTM50. DTM står i dette tilfellet for Digital Terreng Modell og det etterfølgende tallet refererer til datasettenes absolutte nøyaktighet i centimeter. Over store deler av landet er det hentet inn data i henhold til DTM20-standard, hvor den romlige oppløsningen er relativt lav; det vil si 0,5 - 1,0 pkt/m² og en middelfeil per punkt mindre enn ±20 cm. Videre er det, i områder uten omfattende infrastruktur, slik som fjell- og utmarksområder, gjerne skannet i henhold til DTM50-standard, med ca. 0,3 pkt/m². Disse oppløsningene er tilstrekkelige for å kunne generere grove modeller der de største terrengformasjonene kommer frem, mens de kun i sjeldne tilfeller vil kunne benyttes som grunnlag for å identifisere kulturminner. Hensikten med hovedparten av lidarskanningen som foregår i dag, er å fremskaffe bedre grunnlag – spesielt bedre høydedata – for produksjon av kart. Kravet til oppløsning til dette formål er betydelig lavere enn for lidardata brukt til arkeologiske formål hvor vi gjerne ønsker oss rundt 5 pkt/m². Denne konklusjonen bygger på erfaringer som er gjort gjennom bruk av lidardata med forskjellig oppløsning, men også ved gjennomføring av en studie av effekten av punktetthet. Denne studien viste en tydelig positiv effekt av å øke punktettheten fra 1 til 5 pkt/m², mens effekten av å øke til 10 pkt/m² var marginal. Mye av grunnen til dette ligger i at avstanden mellom punktene minsker gradvis med økt punktetthet. Eksempelvis vil punktavstanden synke med i overkant av 50 cm mellom 1- og 5-punkts data, mens forskjellen mellom 5- og 25-punkts data kun er 25 cm.



Figur 11. Graf som viser forholdet mellom punktetthet (antall punkter per m²) og punktavstand (i cm). Illustrasjon: NIKU.

	1 pkt/m ²	2 pkt/m ²	5 pkt/m ²	10 pkt/m ²	16 pkt/m ²	20 pkt/m ²	25 pkt/m ²	30 pkt/m ²
1 pkt/m ²	0	29	55	68	75	78	80	82
2 pkt/m ²	29	0	26	39	46	48	51	52
5 pkt/m ²	55	26	0	13	20	22	25	26
10 pkt/m ²	68	39	13	0	7	9	12	13
16 pkt/m ²	75	46	20	7	0	3	5	7
20 pkt/m ²	78	48	22	9	3	0	2	4
25 pkt/m ²	80	51	25	12	5	2	0	2
30 pkt/m ²	82	52	26	13	7	4	2	0

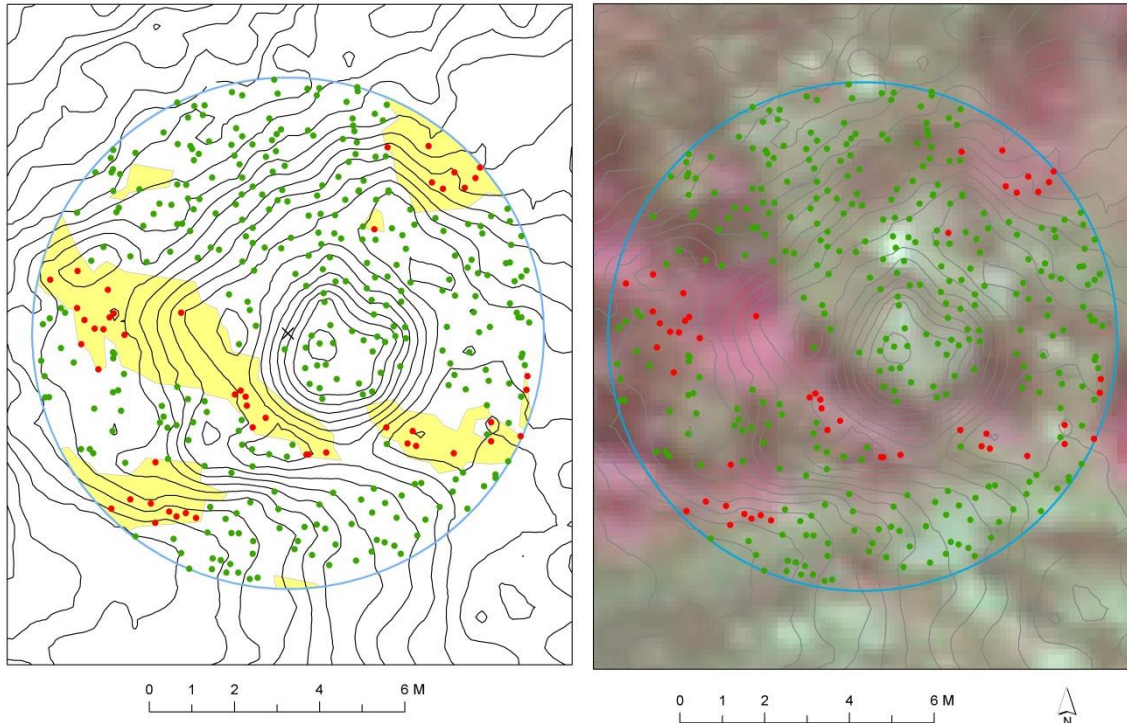
Tabell 1. Matrisetabell som viser punktavstand i centimeter mellom datasett med ulik punktetthet. Illustrasjon: NIKU.

I hovedparten av de store skanningsprosjekter som gjennomføres i Norge i regi av Geovekst skannes det med en standardoppløsning på 0,7 pkt/m² – også kalt DTM20. I noen tilfeller brukes DTM10 som tilsvarer 1 – 5 pkt/m². Mange av de data som samles inn til andre formål enn arkeologiske registreringer er derfor av for dårlig kvalitet til at de er anvendbare for registreringer av kulturminner. Det er derfor svært viktig å gjøre en grundig vurdering av om de data man har til rådighet gir et godt nok grunnlag for å løse oppgaven man står overfor.

Ved innsamling av lidardata flys det frem og tilbake i striper i en flyhøyde på mellom 400 og 1200 meter over terrenget til området er dekket. Flyhøyden er en av de variablene som kan varieres og tilpasses punktettheten: ved lav flyhøyde samles laserpulsene på et mindre område og det oppnås et tettere nett av punkter, mens det motsatte skjer hvis flyhøyden økes. Flyhastigheten og vinkelen på speilet som sprer pulsene, er andre faktorer med innflytelse på punktettheten. En annen fremgangsmåte er å fly over det samme området to

ganger og slå sammen de to datasettene for dermed å doble antall punkter. Det er imidlertid forhold som tyder på at dette må gjøres med varsomhet da sammenslåingen av to datasett kan resultere i dårlig oppløsning på terrengmodeller som følge av en mer upresis interpolering enn hvis skanningspunktene var samlet inn i en og samme operasjon. Pulsrepetisjonsraten (antallet pulser som sendes ut fra sensoren per tidsenhet) er den viktigste faktor for punktettheten og dermed oppløsningen på dataene. Pulsrepetisjonsraten ligger vanligvis mellom 70.000 Hz og 150.000 Hz.

Det er viktig å understreke at punktetthet per kvadratmeter oppgis i gjennomsnittstall og at det ved bestilling av data er et uttrykk for den oppløsningen man teoretisk sett ønsker å oppnå. I realiteten varierer punktettheten som regel ganske mye innenfor et skannet areal. Dette er spesielt iøynefallende når det jobbes med digitale terrengmodeller generert utelukkende av bakketreffene i et datasett hvor returner fra vegetasjon, bygninger osv. er filtrert bort, slik det er vanlig i arkeologiske lidar-prosjekter. I slike tilfeller vil punktettheten variere alt etter tettheten på vegetasjonsdekket. I områder med mye vegetasjon vil det være færre bakkepunkter enn i områder med lite eller ingen vegetasjon. Der hvor det ligger bygninger vil det naturligvis ikke være bakkepunkter. Variasjonen innenfor et og samme område vil derfor i regelen være meget stor. Den gjennomsnittlige punktetthet sier likevel noe om kvaliteten eller oppløsningen på terrengmodellen og generelt er det en sammenheng mellom høy punktetthet og høy oppløsning på terrengmodellene som fremstilles.



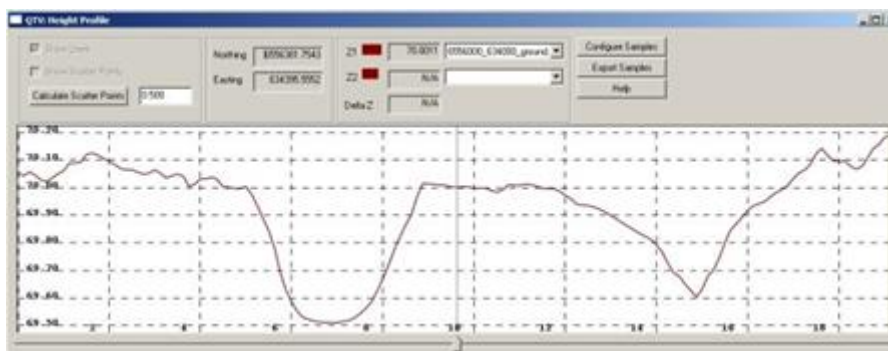
Figur 12. Figur som viser varierende tetthet av bakketreff (røde og grønne prikker) over en kullgrop. Røde prikker er bakketreff i områder hvor vegetasjonen er relativ tett og grønne prikker bakketreff i områder hvor vegetasjonen er mer glissen. Illustrasjon: NIKU.

Hva som er riktig punktetthet i arkeologiske prosjekter, er det vanskelig å svare entydig på. Derimot kan vi gi noen anbefalinger. At det ikke finnes noe entydig svar på dette, skyldes at formålet med skanningen, og forutsetningene for den, er sammensatt av en lang rekke faktorer som er gjensidig relatert til hverandre, slik som terrenntype, vegetasjon, kulturminnetyper osv. Som nevnt ovenfor anbefales det å skanne med en oppløsning på ca. 5 pkt/m² – en anbefaling basert en kombinasjon av erfaring og en konkret studie som har sett på forholdet mellom oppløsning og deteksjonssuksess. Det kan også nevnes at English Heritage anbefaler 4 pkt/m² basert på egne erfaringer, selv om de også viser til at det kan oppnås gode resultater med 1-punktsdata – spesielt i åpne områder.

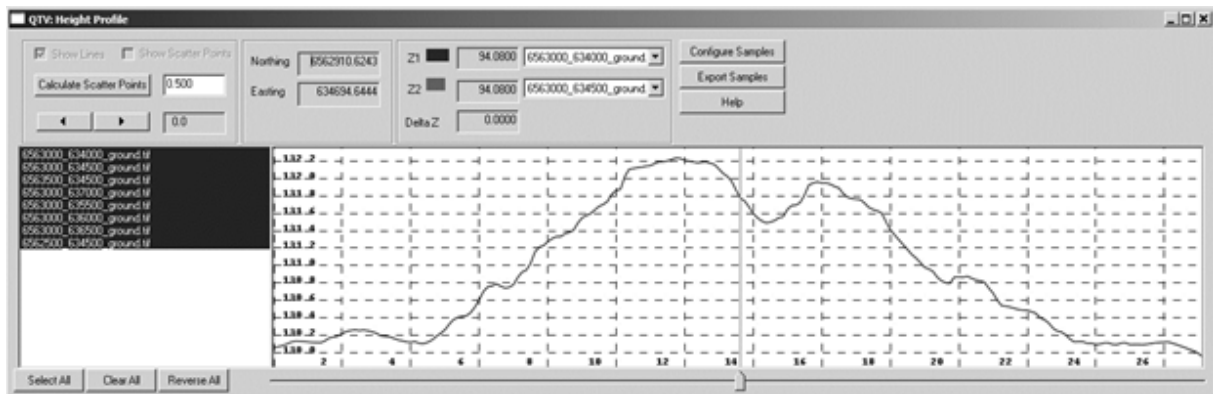
2.5 Datasettene

De innhentede og ferdigprosesserte datasettene består av mengder av punkter i såkalte punktskyer hvor punktdata fra de ulike opptakene er referert i forhold til hverandre, og satt sammen til enkeltstående, georefererte datasett. Foruten horisontale koordinater og høydeinformasjon inneholder hvert enkelt punkt i datasettene informasjon om opptakstidspunkt, flyets posisjonering, intensitetsverdi, returverdi og eventuell klassifisering. En klassifisering av dataene vil typisk si en inndeling av punktene i en punktsky i henholdsvis bakketreff og treff over bakken (vegetasjon og bygninger).

En punktsky egner seg dårlig som grunnlag for å gjøre tolkninger av et datasett, noe som best gjøres på en heldekkende høydemodell generert ved interpolering mellom punktene. En slik konvertering fra punktsky til DTM kan enkelt gjøres med en dertil egnet programvare, hvis man da ikke har fått ferdige DTMer fra leverandøren. Når DTMer er generert er man klar til å foreta en tolkning – det vil si lete etter anomalier som kan være et kulturminne. Bruken av et analyse- og innsynsverktøy fremstilt for å kunne jobbe med lidardata vil bidra til bedre og grundigere tolkninger av dataene enn bruk av ferdigfremstilte bilder av høydemodellen i eksempelvis jpg- eller pdf-format. Ved bruk av en interaktiv programvare beregnet for lidardata vil man enkelt kunne flytte lyskilden 360° rundt, endre vinkelen på lyset, lage tverrsnitt av terrenget/kulturminnet (Figur 13 og Figur 14), manipulere høydeverdien og så videre – funksjoner som bidrar til å øke kvaliteten på de tolkninger som gjøres.

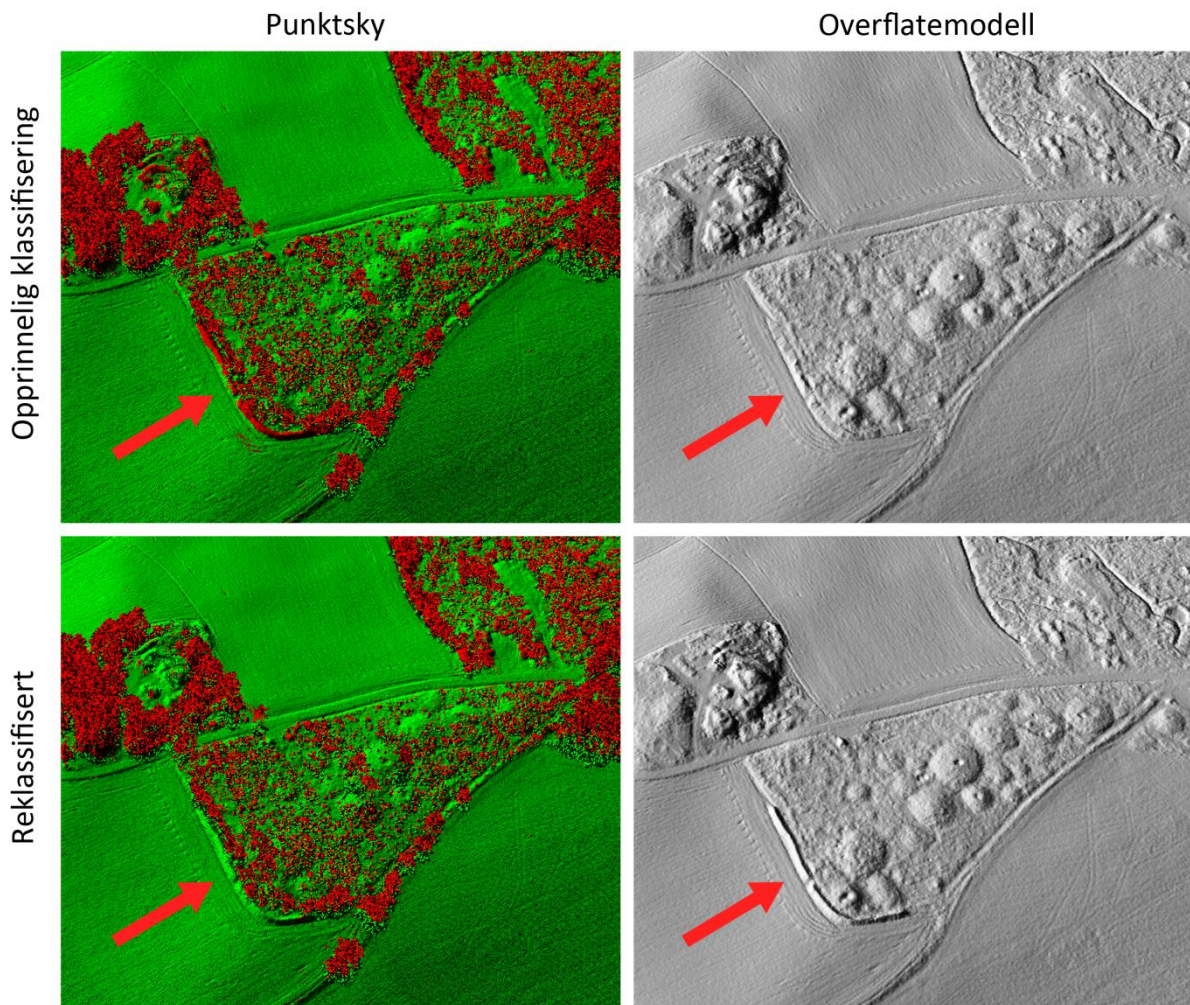


Figur 13. Tverrsnitt gjennom to parallelle hulveier – en u-formet og en v-formet. Illustrasjon: NIKU.



Figur 14. Tverrsnitt gjennom gravhaug med ringgrøft og plyndringsgrop. Illustrasjon: NIKU.

Punktskyene kan alene benyttes til enkle observasjoner og analyser av terrenget, men skal man gjennomføre en mer detaljert analyse og tolkning, må punktskyene konverteres til overflatemodeller. Som et første steg i denne prosessen bør man først gjennomføre en visuell sjekk av punktskyene for å kontrollere kvaliteten på datasettet. Her bør en forsikre seg om at den automatiske klassifikasjonen av datasettet er gjennomført korrekt. Fordi de innhentede dataene klassifiseres ved hjelp av avanserte algoritmer som skal beregne hvorvidt punktene representerer bakketreff eller eksempelvis treff i vegetasjon eller bygninger (Figur 15) kan dette i enkelte tilfeller føre til at punkter over arkeologiske strukturer og anlegg blir feilklassifisert som vegetasjon og fjernet når overflatemodellen genereres. I slike tilfeller kan det være nødvendig å reklassifisere punktene. Dette gjøres enten manuelt ved å velge punkter i datasettet for deretter å endre deres klassifikasjonsegenskaper, eller ved hjelp av avansert programvare som analyserer og reklassifiserer datasettene automatisk etter brukerbestemte parametere. Videre vil det være aktuelt å sjekke om det finnes såkalte «spikes» i datasettet, det vil si punkter som er returnert fra en høyde som gjør at de åpenbart ikke bør inngå i datasettet (f.eks. punkter som skyldes at laserstråler er returnert fra fugler i luften). For å vurdere kvaliteten på de innhentede datasettene bør en også vurdere hvor stor andel av de enkelte stripene som overlapper hverandre, da store overlapp kan påvirke kvaliteten i den ferdige overflatemodellen negativt. Under innhenting av laserdata flys det gjerne i parallelle striper, og på grunn av små tregheter i flyets posisjoneringssystemer kan det oppstå unøyaktigheter i de innhentede datasettene, spesielt i utkanten av hver opptaksstripe.



Figur 15. Visuell inspeksjon og manuell reklassifisering av punktsky i Quick Terrain Modeler. Datasettet omfatter et gravfelt i Ås kommune, Akershus. Bildene til venstre viser punktskyen før og etter reklassifisering. Punkter som er klassifisert som vegetasjon er her farget røde, mens punkter som representerer terrengoverflaten er grønne. Bildene til høyre viser overflatemodeller generert fra punktskyene. Legg merke til at steinmuren som omkranser gravfeltet i bildet øverst til venstre enkelte steder er feilklassifisert som vegetasjon. I overflatemodellen basert på dette datasettet vil de feilklassifiserte punktene fjernes sammen med vegetasjonen. Bildet nederst til venstre viser datasettet etter manuell reklassifisering og i den ferdige overflatemodellen nederst til høyre kan man se at muren har kommet tydelig frem. Illustrasjon: NIKU.

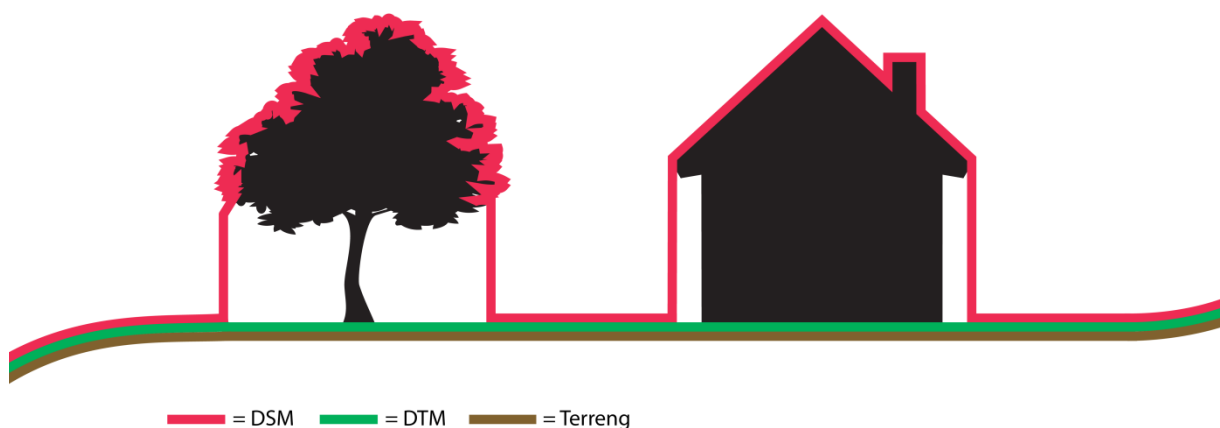
I programvarene som brukes til prosessering og visualisering av lidardataene er det mulig å trekke ut informasjon om punktskyenes oppløsning, det vil si hvor tett det er mellom de enkelte punktene i datasettet. Denne informasjonen kan videre benyttes til å angi hvor høy oppløsningen kan være i den ferdige rastermodellen. Det har eksempelvis ingen hensikt å velge en høyere oppløsning i rastermodellen enn punktskyens angitte tetthet, da dette kun vil føre til at filen blir stor og uhåndterlig samtidig som at detaljnivået forblir uendret.

I enkelte programvarer beregnes oppløsningen automatisk ved at programmet beregner punkttetthet ut fra antall punkter og datasettets utstrekning. Dette kan imidlertid føre til feilberegninger, siden datasettene ikke alltid er sammenhengende og siden det vil finnes

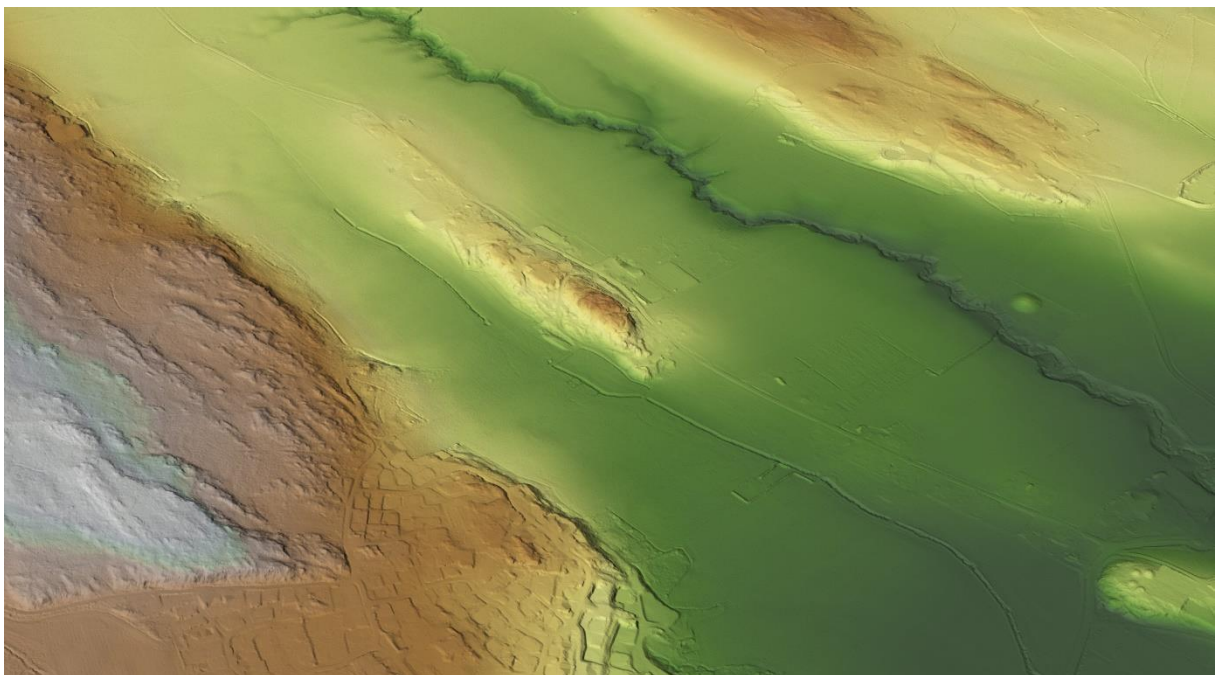
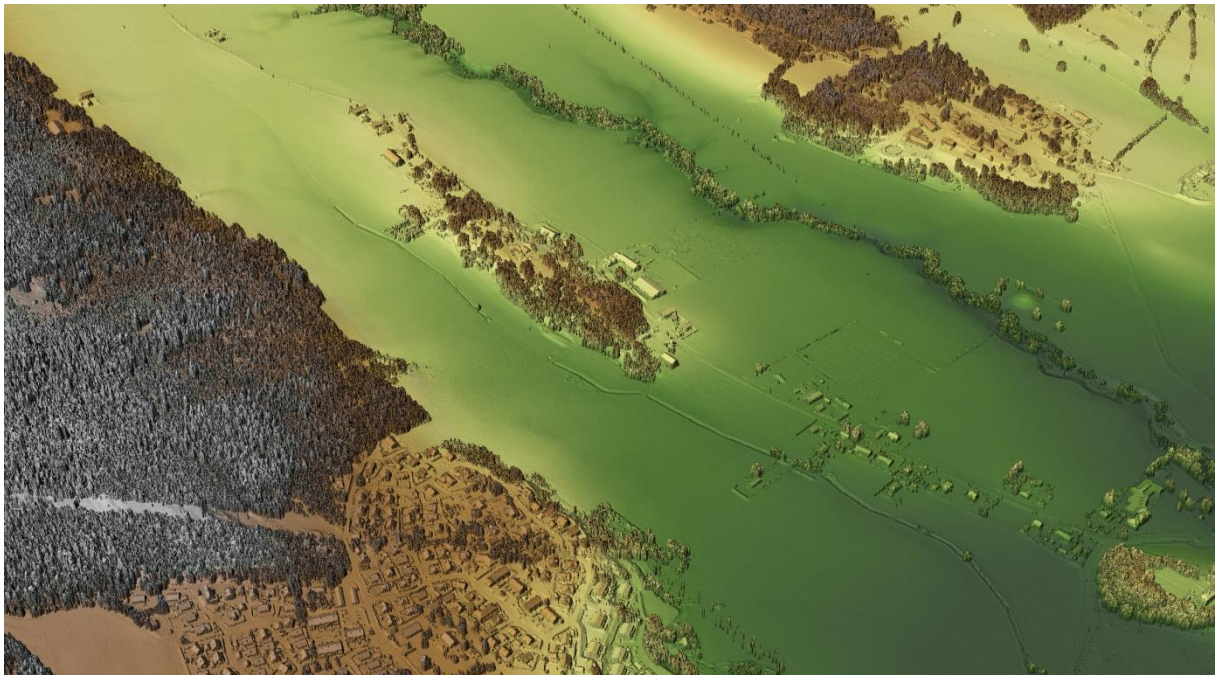
områder innenfor områdene der det ikke er punkter, f.eks. i områder med store innsjøer. I slike tilfeller vil beregningen baseres på et mindre antall punkter, og den ferdige rastermodellen vil ikke ha optimal oppløsning. For å omgå denne problematikken, bør man derfor først hente ut informasjon om punkttettheten i en del av datasettet som er sammenhengende og uten for store huller.

For å kunne visualisere og analysere dataene videre, må de sammensatte, og nå riktig klassifiserte datasettene, konverteres til såkalte digitale høydemodeller (DEM – Digital Elevation Model), i rasterformat. Det er også mulig å konvertere punktene til TIN (Triangulated Irregular Network)-modeller, og selv om disse har enkelte fordeler når det gjelder presisjon og volumberegning, er rastermodellene bedre egnet fordi de kan genereres raskere og anvendes til flere former for analyse og visualisering. Høydemodellene kan deles inn i digitale overflatemodeller (DSM - Digital Surface Model, også kalt DOM – Digital OverflateModell), der punkter fra terreng, vegetasjon og bygninger er medregnet, og digitale terrengmodeller (DTM – Digital Terrain Model), der kun punkter fra terrenget er med (Figur 16 og Figur 17).

Det finnes flere ulike interpoleringsfunksjoner for å konvertere punktdata til heldekkende flater i form av rastermodeller. Eksempler på dette er *inverse distance weighted* (IDW), *spline*, *kriging* og *natural neighbour*. Funksjonene beregner overflaten ut fra punktskyene på ulike vis og er opprinnelig utviklet for datasett med langt større punktavstand en det man vanligvis finner i lidardata. Siden punktavstanden i lidardata er såpass liten, spiller valget av interpoleringsfunksjoner ingen vesentlig rolle for kvaliteten på det resulterende datasettet. En rask og effektiv interpoleringsfunksjon som erfaringsmessig gir en god representasjon av terrenget er *natural neighbour*.



Figur 16. Illustrasjonen viser forskjellen mellom en digital overflatemodell (DSM) og en digital terrengmodell (DTM). Illustrasjon: NIKU.



Figur 17. Øverst: Digital overflatemodell (DSM) der alle punkter er tatt med i beregningen av modellen. Nederst: Digital terrengmodell (DTM) der kun bakketreffene er tatt med. Modellen viser et utsnitt over Slagendalen, med Oseberghaugen i høyre del av bildet. Illustrasjon: NIKU.

2.6 Filformater

For å kunne behandle dataene som innhentes ved et lidaropptak må de konverteres fra formatet som genereres i selve laserinstrumentet til et standardisert utvekslingsformat. Datasettene som leveres i dag er som oftest i LAS-format, hvor dataene er mer eller mindre ferdigprosessert fra leverandøren. Dette vil si at data fra opptaket er satt sammen, renset for støy, georeferert og klassifisert.

LAS

LAS-formatet er et åpent filformat for utveksling av data i form av tredimensjonale punktskyer. Det er primært utviklet for utveksling av lidardata, men støtter i teorien alle typer tredimensjonale data som er organisert i et x, y og z format. LAS-formatet har etter hvert blitt en *de facto* industristandard som kan håndteres av de aller fleste programvarepakker for GIS og 3D-modellering.

LAS-formatet er binært, og er et alternativ til rene tekstfiler i ASCII-format og til filer som genereres i produsenteide formater. Lukkede, produsenteide filformater kan som regel ikke umiddelbart brukes mellom to ulike systemer, og det er vanlig at de først må bearbeides og eksporteres til et felles lesbart format. ASCII-formatet er enkelt bygget opp og er utvekslingsbart, men filene blir uforholdsmessig store og uhåndterlige. Videre inneholder ikke formatet viktig lidar-spesifikk informasjon som innhentes under et opptak. Denne informasjonen beholdes i LAS-formatet, og i tillegg er LAS-filene 35-80 % mindre enn filer i ASCII-format, og dermed langt enklere å jobbe med. Selv om de er binære kan lidardatasett bli svært store, og de deles gjerne opp i såkalte tiles, det vil si ruter med en forhåndsbestemt størrelse, for lettere å kunne håndteres. Vanligvis kommer dataene fra leverandøren inndelt i slike ruter, og avhengig av målet med undersøkelsen man kan velge om man jobber med utvalgte ruter, eller med hele datasettet.

LAZ

Til tross for at LAS-filene er mer kompakte enn filer i ASCII-format, vil et lidaropptak over flere titalls kvadratkilometer generere store datamengder, noe som kan være utfordrende ved kopiering, lagring, overføring og arkivering. For å unngå disse problemene kan filene komprimeres. Det mest utbredte formatet for komprimering er LAZ-formatet og vanligvis mottar man data i dette formatet fra leverandøren. Dette er et åpent filformat som komprimerer tapsfritt, og som reduserer filstørrelsen til ca. 7-20 % av den opprinnelige. I tillegg har formatet den fordelen at programvare for behandling av lidardata i økende grad kan ta i bruk filene uten at de må dekomprimeres først⁶. De originale LAS-filene kan komprimeres og dekomprimeres ved hjelp av gratisprogramvaren LASzip⁷

2.7 Programvareløsninger: fra punkt til modell

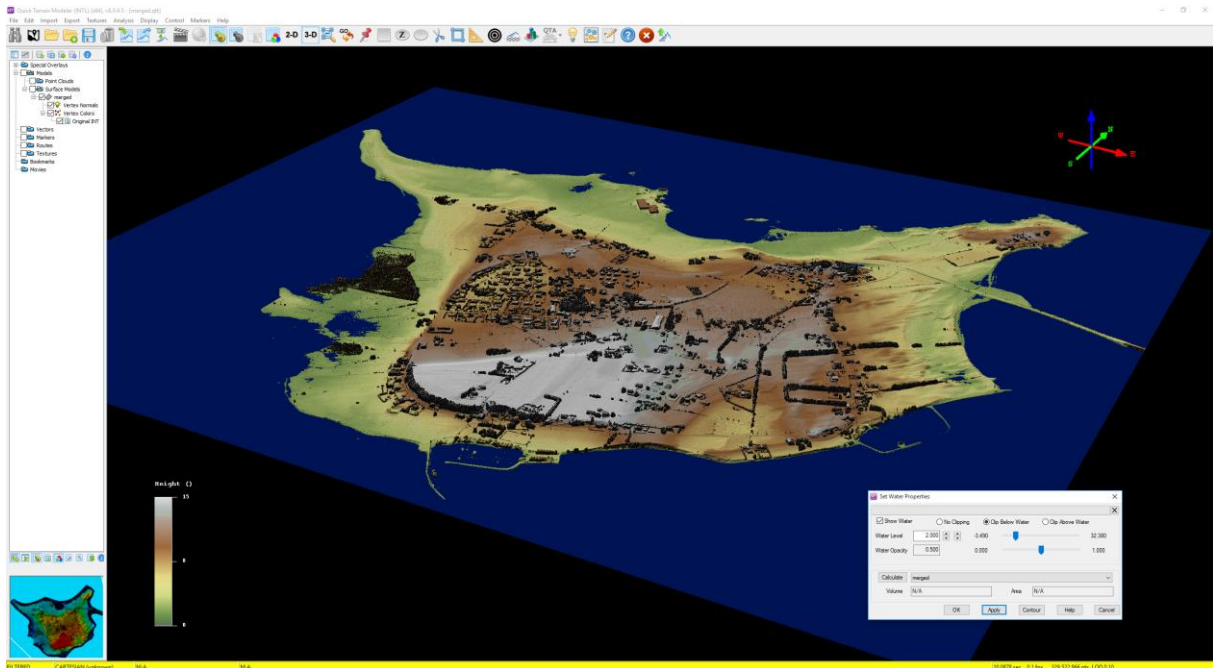
For å kunne hente den informasjonen man ønsker fra et lidardatasett er det hensiktsmessig å konvertere datasettene fra punktskyer til overflatemodeller. Det finnes et utall programvareløsninger for bearbeiding, analyse og visualisering av lidardata, både gratis og produsenteide. Denne håndboken har ikke som formål å beskrive alle de ulike programvareløsningene, men tar i stedet utgangspunkt i det vi anser som lett tilgjengelig og brukervennlig programvare.

⁶ For en oversikt over hvilke programvarer som støtter LAZ-formatet, gå til <http://www.laszip.org/>

⁷ LASzip kan lastes ned gratis fra <http://www.laszip.org/>

Quick Terrain Modeler (QTModeler/QTM)

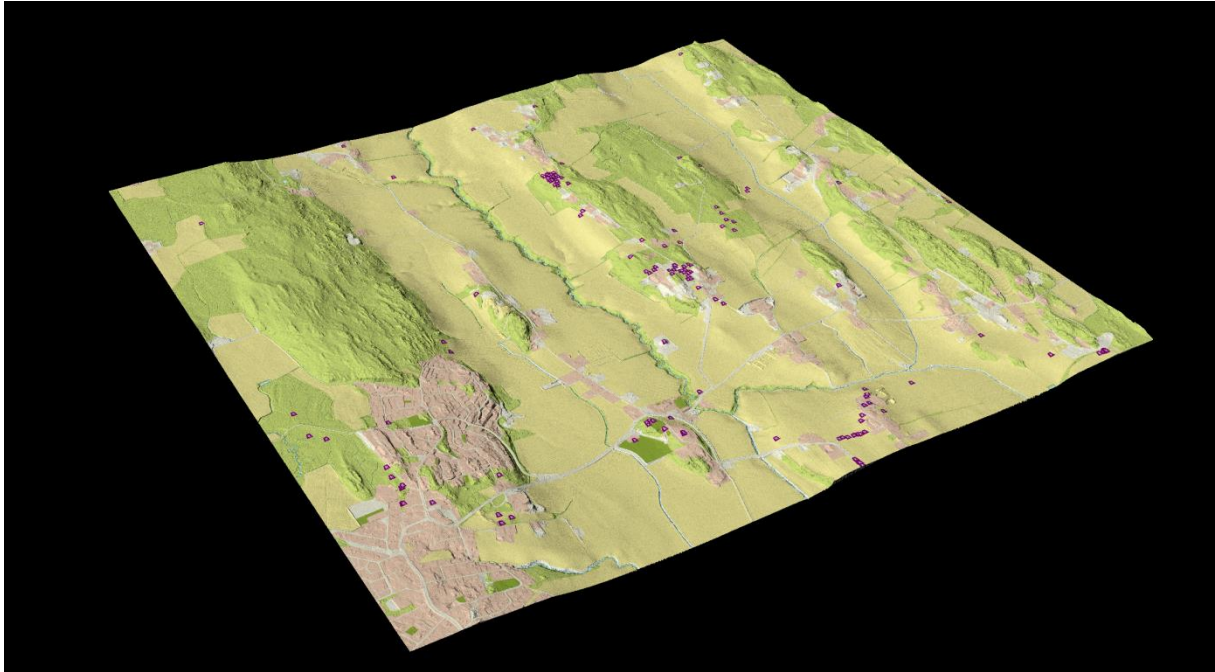
Quick Terrain Modeler (QTM) er en brukervennlig og oversiktlig programvare med et intuitivt grensesnitt. Den har en lav brukerskel hvor det er forholdsvis enkelt å importere, generere og analysere høydemodeller fra lidardata, og det er sannsynligvis den programvaren som har introdusert flest arkeologer i Norge til bruken av lidardata (Figur 18).



Figur 18. Bruk av Quick Terrain Modeler til modellering av havnivå ved øya Giske i Møre og Romsdal. Illustrasjon: NIKU.

QTM har, utover import- og modelleringsfunksjonene, mer avanserte verktøy for videre prosessering og analyse av lidardata. I denne programvaren kan man visuelt inspisere datasettene som punktskyer for å rense og reklassifisere data, slå sammen ulike datasett, og uthente statistisk informasjon om datasettene. Videre kan man visualisere terrengmodeller der en kan flytte lyskilden interaktivt eller overdrive høydeverdiene slik at forhøyninger og forsenkninger kommer tydeligere frem. Man kan også gjennomføre enkle analyser eksempelvis av effekten av endret havnivå, sammenstille modeller for endringsdeteksjon eller innhente data fra andre kilder for deretter å kombinere disse med terrengmodellene (Figur 19).

Modellene som genereres i programvaren kan analyseres og tolkes for å frembringe kunnskap om arkeologiske lokaliteter eller anlegg, og disse tolkningene kan enkelt eksporteres for videre bruk i vanlige GIS-verktøy.



Figur 19. Sammenstilling av ulike datasett i QTM. Her er det hentet inn kartdata i form av arealbruk samt registrerte kulturminner fra Askeladden. Illustrasjon: NIKU.

Applied Imagery leverer også en forenklet gratisversjon av QTM, Quick Terrain Reader, som kan brukes til å analysere allerede prosesserte modeller. Dette er en utmerket løsning for de som er interessert i å begynne med bruk av lidardata, men også til formidling av ferdigprosesserte datasett til de som ikke har tilgang til andre egnede programvarer.

ESRI ArcGIS⁸

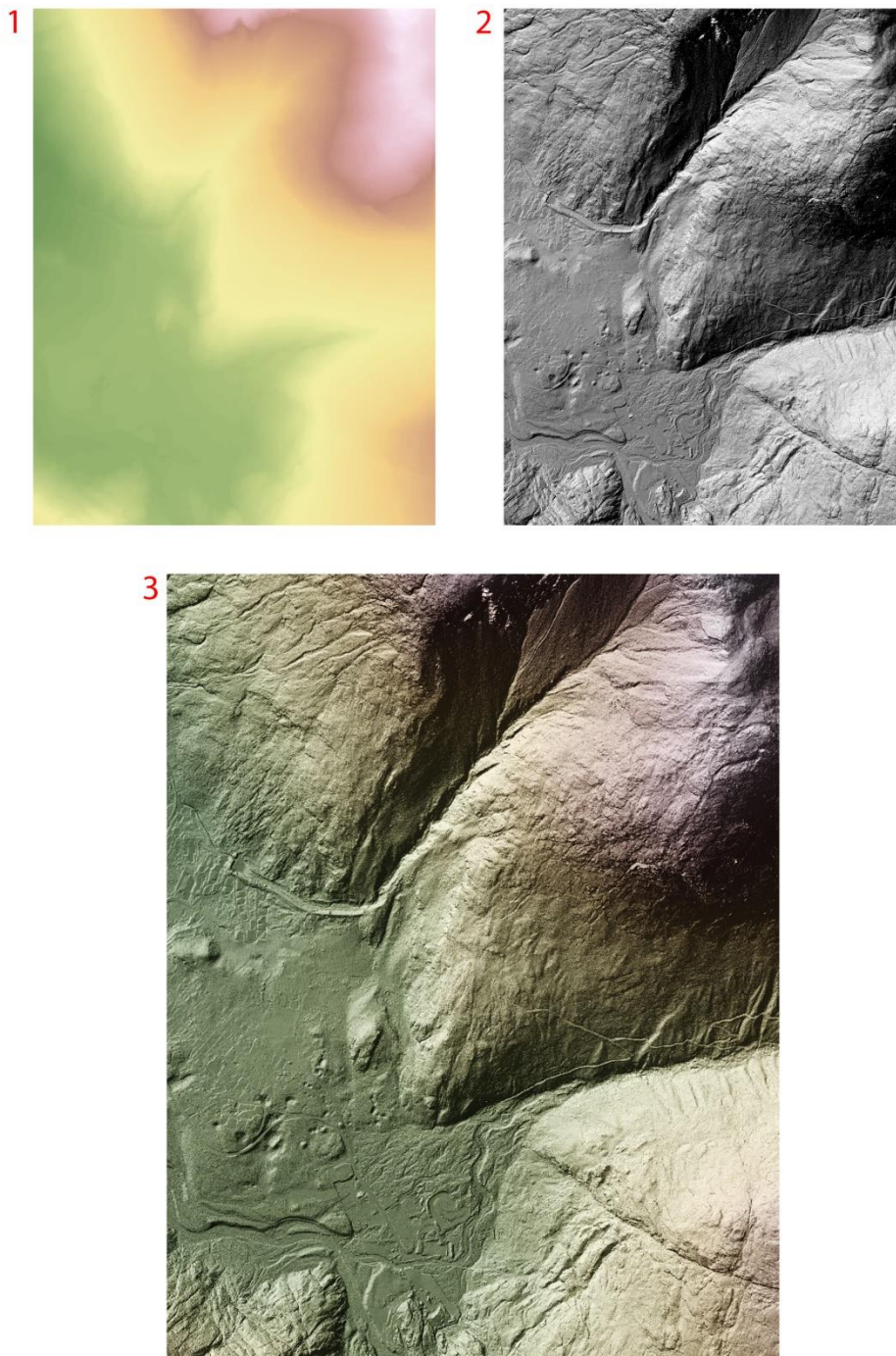
ESRIs ArcGIS er en programvarepakke som brukes til håndtering av digital romlig informasjon. Denne programvarepakken er også brukt innenfor arkeologien, blant annet til registreringer, utgravninger og avanserte GIS-analyser av større landskapsrom. ArcGIS kan håndtere lidardata i form av punktskyer, men er ikke spesiallaget for dette formålet. Det finnes tilleggsløsninger som letter arbeidet med punktskyene, men erfaringsmessig er det bedre å lage høydemodeller i eksempelvis QTM eller Relief Visualization Toolbox (RVT), for deretter å importere disse til ArcGIS. I ArcGIS kan man generere rastermodeller slik som hillshademodeller og helningsmodeller (slopemodeller), noe som i mange tilfeller vil være tilstrekkelig for de fleste formål. Programvaren egner seg godt til sammenstilling av ulike datakilder, som eksempelvis data fra registreringer og utgravninger eller forskjellige rasterdatasett for visualisering, samt til publikasjon av tolkningsresultater.

2.8 Visualiseringsteknikker

De digitale høydemodellene som genereres fra punktskyene består av regelmessige rutenett som inneholder høydeinformasjon. Disse kan enkelt visualiseres med fargeforskjeller og konturer, og man kan få et godt inntrykk av terrenget som helhet (Figur 20). Modellene kan

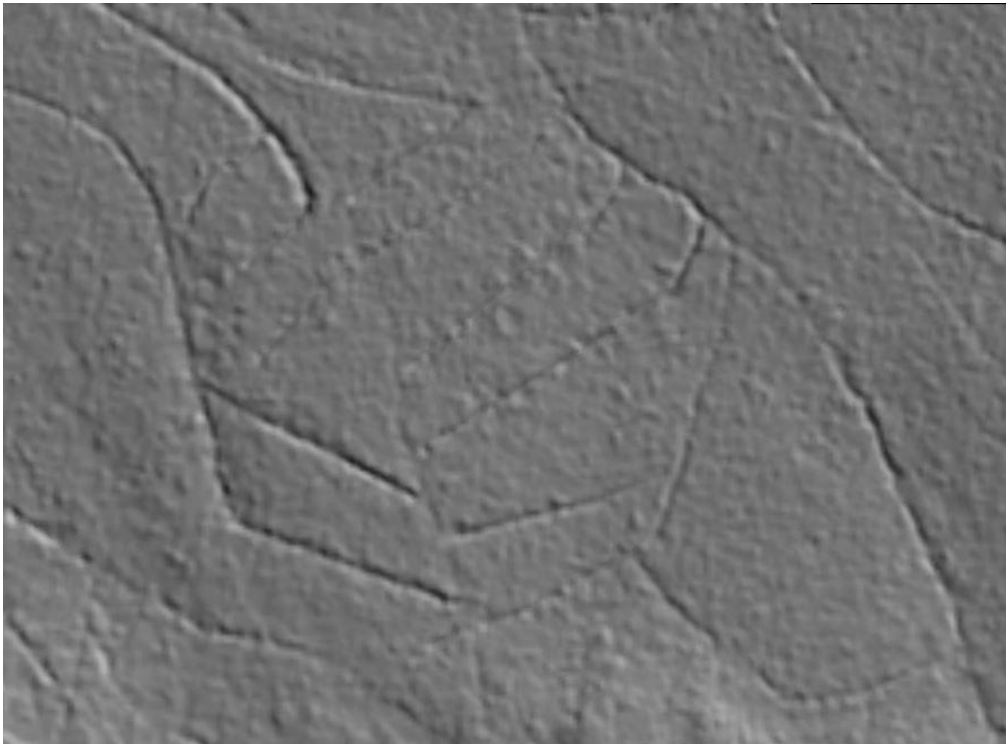
⁸ <http://www.esri.com/software/arcgis>

imidlertid kun vise de største og tydeligste terrengformasjonene, og det er vanskelig å uthente informasjon om mindre terrengformasjoner, slik som de fleste arkeologiske anlegg. For å kunne se og tolke detaljer i datasettene er det derfor nødvendig å ta i bruk andre, mer avanserte visualiseringsteknikker. Hensikten med å bruke disse er å fremheve kulturminnene og detaljer rundt disse slik at de kan identifiseres og tolkes. I tillegg kan man visualisere datasettene på en slik måte at kulturminnene fremstår som intuitive og lett gjenkjennbare, selv for et uerfarent øye.



Figur 20. Digital terrengmodell generert fra lidardata. 1. Digital høydemodell, 2. Hillshademodell generert ut fra høydemodellen, 3. Kombinert høydemodell og hillshademodell. Illustrasjon: NIKU.

Modeller som genereres ved hjelp av programmer som eksempelvis Quick Terrain Modeler (QTM) eller ArcGIS visualiseres gjerne som enkle skygge- eller helningsmodeller, og det er disse som oftest brukes til å formidle lidardata i publikasjoner. Dette er modeller som er relativt enkle å lage, samtidig som de er enkle å bruke som grunnlag for å analysere og tolke høydemodellene. Imidlertid kan arkeologiske anlegg ofte fremtre som lave forhøyninger eller grunne forsenkninger sammenlignet med områdene rundt. I tillegg kan anleggene være orientert på en slik måte at de ikke kommer tydelig nok frem i datasettene fordi lysretningen på modellen tilfeldigvis eliminerer lys/skygge-virkningen som er så viktig for å kunne identifisere en anomali (Figur 21).





Figur 21. Et eksempel på hvor viktig retningen og vinkelen på det kunstige lyset er for muligheten for å identifisere strukturer i terrenget. De to utsnittene er identiske og viser et område med grøfter i myr. På øverste figur kommer lyset fra nordøst, på det nederste fra nordvest. Illustrasjon: NIKU.

Begge disse forholdene kan gjøre påvisning og tolkning ved hjelp av tradisjonelle visualiseringsteknikker vanskelig, og i de senere år er det utviklet en rekke avanserte visualiseringsverktøy som søker å løse disse problemene. Enkelte visualiseringsverktøy er integrert som standard i GIS-programvarene, mens andre igjen er utviklet som frittstående verktøy. I dette avsnittet tar vi for oss noen av de mest brukte visualiseringsteknikkene for LiDAR-data, og beskrivelsene tar utgangspunkt i programvareløsninger som de fleste arkeologer som jobber med lidardata er kjent med.

Ulike kulturminnetyper og ulike landskap krever ulik behandling, og det må derfor påregnes en del eksperimentering for å finne de rette parametere. Videre kan det i enkelte tilfeller være hensiktsmessig å sammenstille og kombinere ulike visualiseringsteknikker for å oppnå ønsket effekt. De forskjellige visualiseringsverktøyene har sine styrker og svakheter som igjen er relatert til forskjellig type landskap, vegetasjon, kulturminnekategorier og så videre. Det anbefales derfor å ikke nøye seg med å bruke kun ett verktøy, men å bruke flere i kombinasjon. Dette bidrar til bedre tolkningsresultater.

Relief Visualisation Toolbox

Relief Visualization Toolbox (RVT)⁹ er en frittstående programvare utviklet spesielt for å visualisere arkeologiske strukturer, og som søker å forenkle prosessen med å generere ulike

⁹ Programvaren kan lastes ned fra IAPS's nettsider - <http://iaps.zrc-sazu.si/en/rvt#v>

visualiseringsmodeller fra de digitale høydemodellene (DEM). Utviklerne har begrenset utvalget av teknikker til de som har vist seg å fungere godt til å identifisere mindre endringer i datasettene slik at de passer godt i arkeologisk øyemed.

Bruken av programvaren fordrer at man allerede har laget en digital høydemodell (DEM) av punktskyen og at denne er lagret i et egnet format¹⁰. Høydemodellen hentes inn i programvaren, hvor man deretter velger hvilke visualiseringsmodeller man ønsker at programmet skal generere, samtidig som at man justerer ulike parametere for hver visualiseringsmetode.

Når de ulike parameterne er bestemt, genererer programmet automatisk georefererte visualiseringsmodeller, og legger disse i samme mappe som høydemodellen. De ulike modellene kan deretter hentes inn i et GIS hvor de kan viderebehandles og kombineres med andre datasett. I tillegg genereres det lavoppløselige kopier av de ferdigprosesserte datasettene der parameterne allerede er satt. Disse kan brukes til å få et raskt overblikk over prosesseringsresultatene, eller til publisering og annen formidling uten at man behøver å videreprosessere dataene i annen programvare.

COWI-løsningen

Firmaet COWI har i samarbeid med Oppland fylkeskommune utviklet en WMS-basert visualiseringsløsning. Med denne løsningen kan man jobbe med flere av de ovenfor nevnte visualiseringsteknikker samtidig i samme programvare. De forskjellige visualiseringene kan legges opp på hverandre og gjøres mer eller mindre transparente, noe som bidrar til en effektiv og forbedret tolkning av dataene.

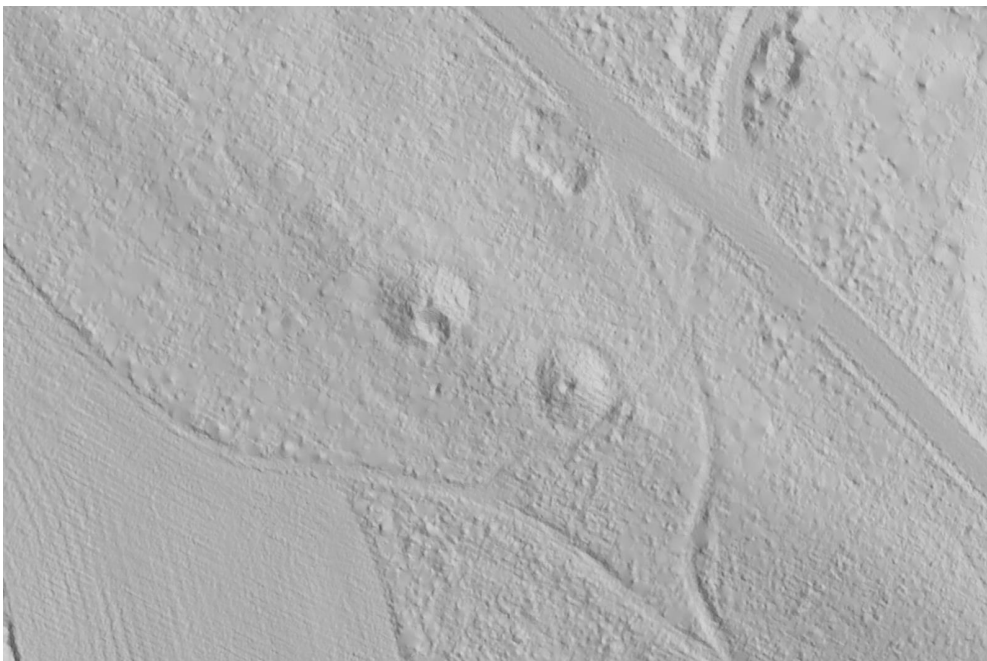
Hillshade

Hillshade er den vanligste metoden for å visualisere et laserdatasett (Figur 22). Teknikken går ut på å illudere en lyseffekt i kartet basert på høydevariasjoner i landskapet, og er vanligvis brukt for å etterligne sollysets effekt på terrenget. Noe av forklaringen på verktøyets popularitet er at det representerer landskapets topografi på en naturlig og intuitiv måte, og at det på en god måte får frem en tredimensjonal effekt i et todimensjonalt kart - høydedrag ser ut som høydedrag mens daler ser ut som daler.

Verktøyet er i dag implementert i de fleste GIS-løsninger, og brukes ofte for å visualisere digitale terrengmodeller. Videre kan modellene relativt enkelt genereres, og resultatene er forholdsvis enkle å tolke, selv for uerfarne brukere. Skyggevirkningen utledes fra en digital høydemodell (DEM), et rasterdatasett av de faktiske høydeverdiene, og beskriver hvordan innkommende lys reflekteres i en overflate basert på fysiske lover. Ved å sette en tenkt lyskilde som sender ut et direkte lys i en gitt retning fra en bestemt høyde over horisonten, kan man beregne belyningsverdien av hver celle i datasettet i forhold til nabocellen.

¹⁰ Programmet støtter per i dag *.tif, *.img, *.bin, *.xyz, *.dat, *.txt, *.asc, *.jp2 og *.bsq-filer.

Selv om hillshade-modeller i de aller fleste tilfeller vil være gode nok for å uthente informasjon om kulturminner, har metoden enkelte svakheter som man bør være oppmerksom på. Vanligvis belyses modellen fra nordvest, og fra mellom 20-40° høyde over en digital horisont. Dette gir modellen et naturalistisk og intuitivt preg som det er lett å forholde seg til. Velger en å belyse modellen fra andre vinkler, eksempelvis fra sørøst, vil forhøyninger opptre som forsenkninger og vice versa. Det største problemet med hillshade-modellen er imidlertid at anlegg som ligger parallelt med lysretningen ikke kommer tydelig frem i datasettet (Figur 21). Det samme gjelder anlegg som ligger i områder med svært sterke eller svært svake lysforhold. Dette kan gjøre at man rett og slett kan gå glipp av enkelte anlegg, eller at detaljeringsgraden blir såpass redusert at det ikke lar seg gjøre å tolke anlegget.



Figur 22. Eksempel på enkel hillshade-modell som viser to gravhauger som ligger i et skogholt. Nederst til venstre er det dyrket mark. Illustrasjon: NIKU.

Multi-hillshade

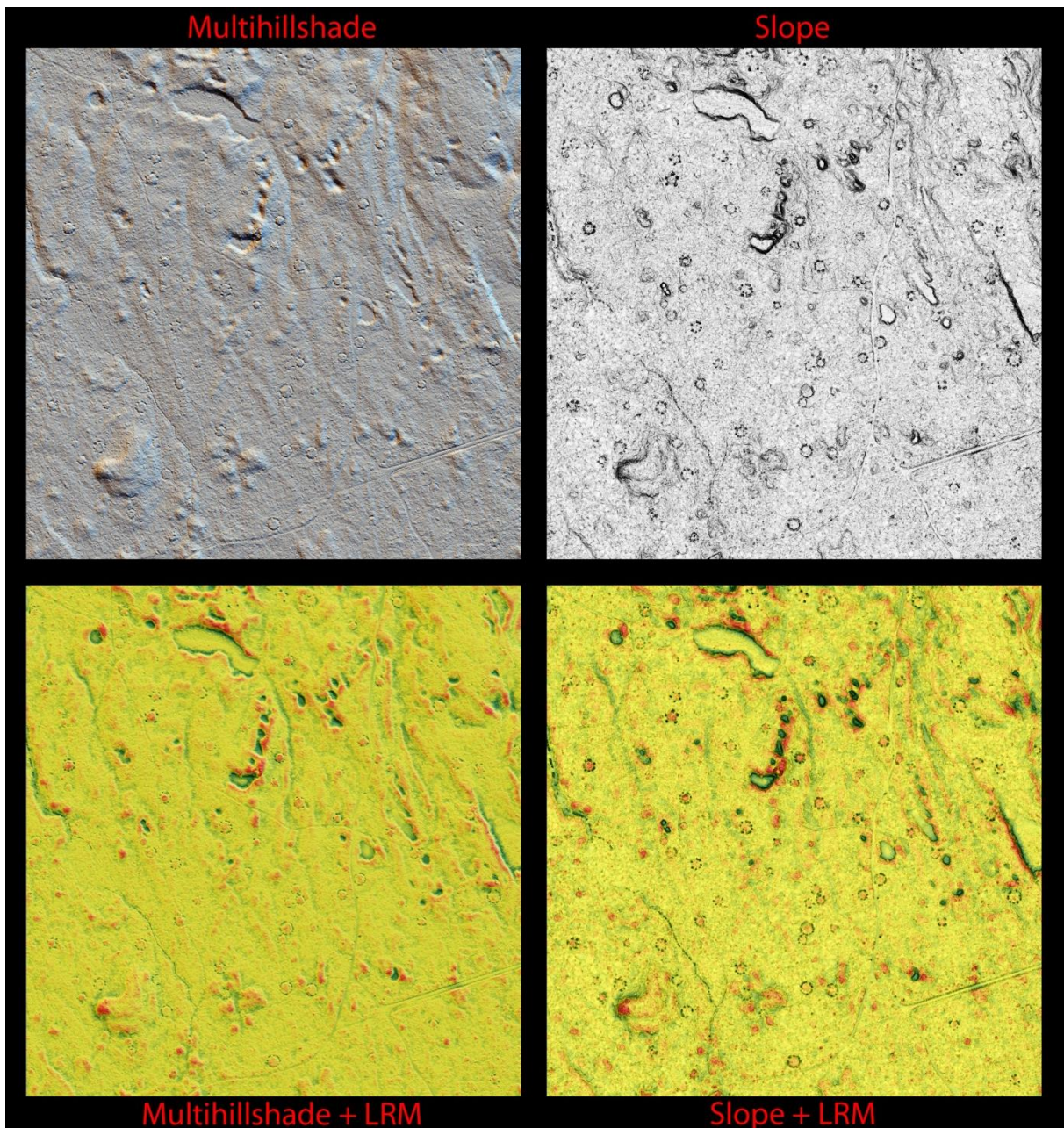
En enkel måte å unngå problemene med varierende skyggeforhold og ufordelaktig orientering på, er å lyssette terrenngmodellen med direkte lys fra flere ulike retninger (Figur 23). Ved hjelp av programvaren RVT gjøres denne prosessen ved at de enkelte rastermodellene lagres som midlertidig filer og deretter kombineres til én enkelt fil hvor en kan velge de optimale lyssettskombinasjoner.

Terrenngmodellen kan belyses fra alle tenkelige retninger, men i de fleste tilfeller har man valget mellom 8, 16, 32 eller 64 retninger, da dette følger en logisk inndeling av kompassretningene. Det som kan fremstå som noe forvirrende i denne sammenheng, er at man fort kan få inntrykk av at man kan visualisere modellen fra alle disse retningene samtidig. Når en slik modell innhentes i eksempelvis ArcGIS, har man imidlertid kun mulighet

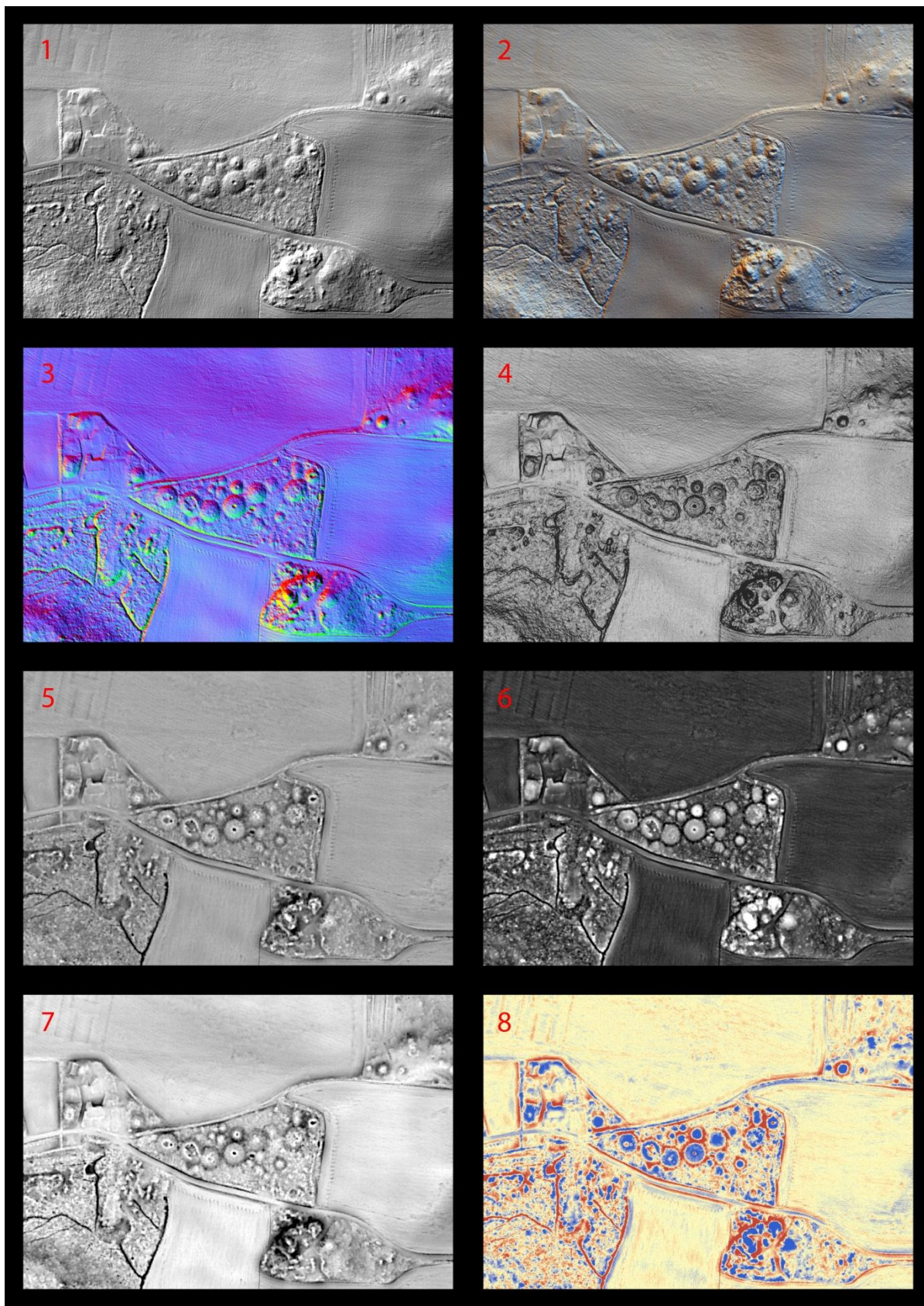
til å vise lyset fra tre retninger samtidig, uansett hvor mange lysretninger som er valgt. Erfaringsmessig holder det fint med enten 8 eller 16 retninger, da det eneste man oppnår ved å velge et høyere antall retninger er at man får flere valgmuligheter. Resultatet fra en slik prosess fremstår ofte som visuelt attraktiv og egner seg godt i formidlings- eller publikasjonsøyemed.

Slope

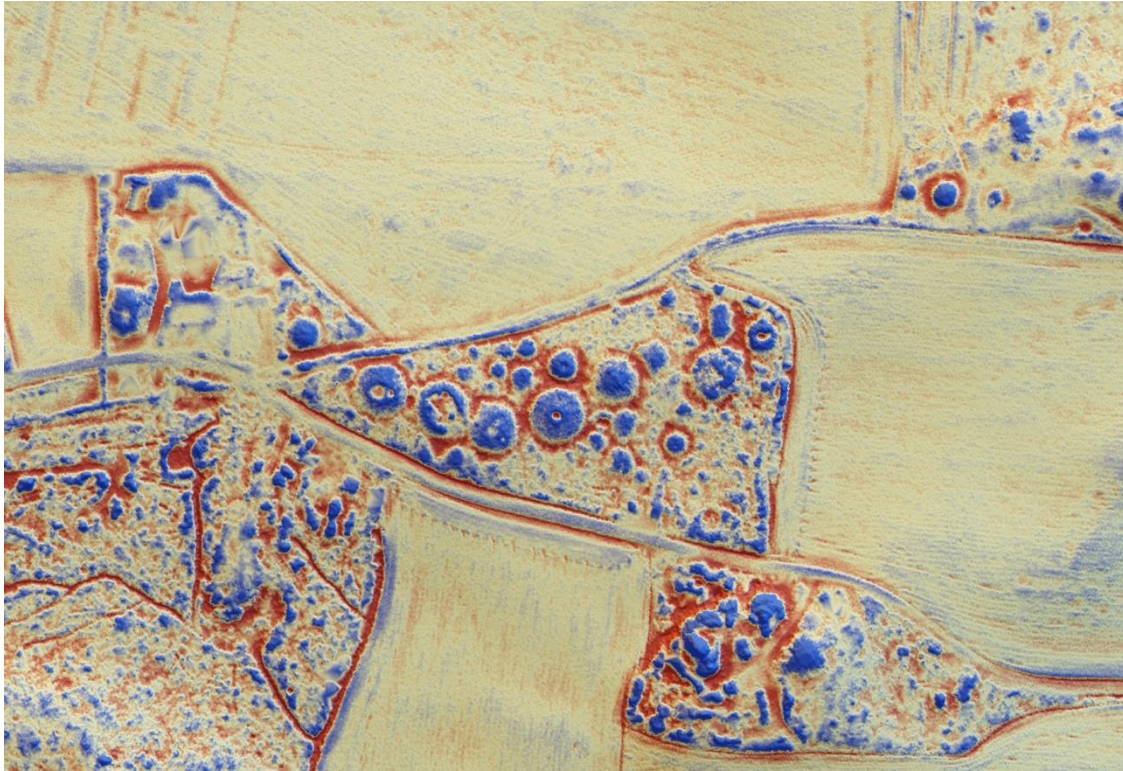
En annen populær visualiseringsteknikk, spesielt i kombinasjon med hillshade, er såkalt *Slope*-, eller helningsmodellering (Figur 23). Dette er, som navnet tilsier, en teknikk som brukes til å illustrere terrengets helningsgrad. For hver celle i rasterdatasettet beregner *Slope*-verktøyet det maksimale endringsforholdet til cellene rundt. Den maksimale endringen i høyde over avstanden mellom cellen og dens naboer beskriver altså den bratteste helningen fra cellen. Verktøyet tilpasser et tenkt plan til z-verdiene for de cellene som omgir en sentercelle, og helningsverdien av dette planet beregnes. Desto lavere denne helningsverdien er, jo flatere er terrenget. Likeledes beskriver en høyere helningsverdi et brattere terreng.



Figur 23. Multihillshade-modell og slope-modell fra et kullmølefelt i Hurdal, Akershus. I multihillshade-modellen er området belyst fra tre vinkler og lyskilden er satt til 35° vinkel over horisonten. Slope-modellen visualiseres helst i gråtoner der de største helningsgradene er mørke og de flatere partiene er lyse. Modellene er i de nederste eksemplene satt sammen med en Local Relief Model (LRM) over samme område. Effekten av denne kombinasjonen er at modellen får et anstrøk av dybde, samtidig som at flere detaljer blir synlige. Illustrasjon: NIKU.



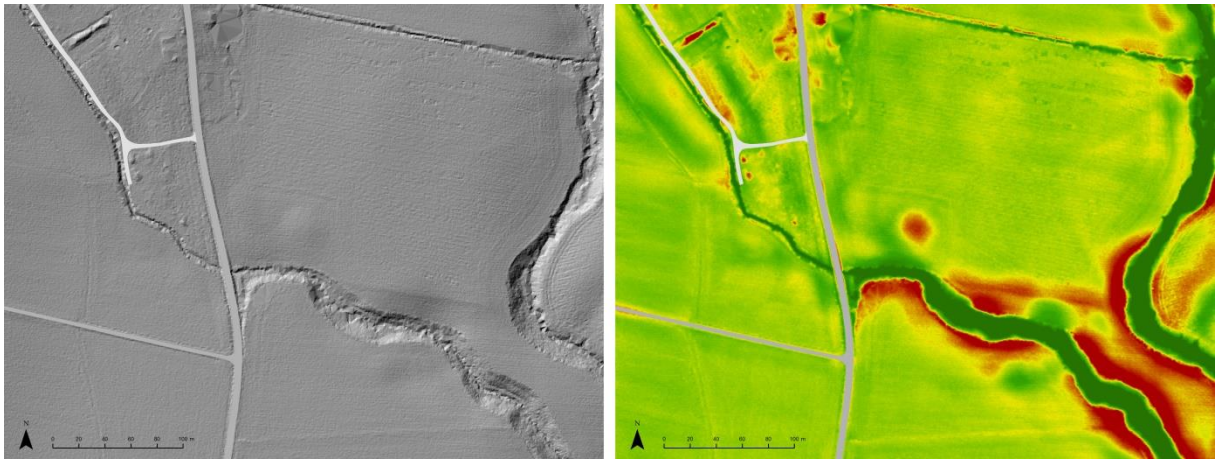
Figur 24. Ulike visualiseringsteknikker brukt på et gravfelt i Ås, Akershus. 1. Hillshade, 2. Multihillshade, 3. Principal component analysis (brukes sjelden i arkeologisk øyemed), 4. Slope, 5. Openness (positive), 6. Openness (negative), 7. Sky-View Factor, 8. Local Relief Model. Illustrasjon: NIKU.



Figur 25. Local Relief Model over Multihillshade med 40% transparens. Samme utsnitt som over. Legg merke til hvor tydelig fotgrøftene rundt gravhaugene fremkommer. Illustrasjon: NIKU.

Local Relief Model (LRM)

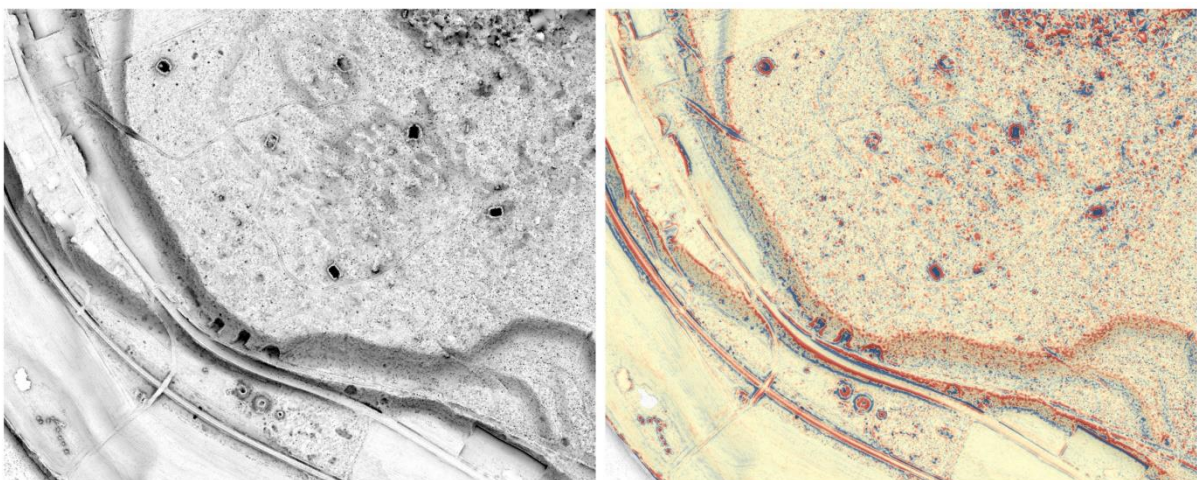
I visse tilfeller kan det være nyttig å fremstille en såkalt Local Relief Model (lokal relieffmodell, LRM) av DEM-bildene. Dette gjelder spesielt dersom hensikten er å fremheve små anlegg som fremstår med svak høydeforskjell i terrenget (Figur 25 og Figur 26), hvor LRM fjerner effekten av større og mer dominerende terrengformasjoner. Selv om prosessen med å generere en LRM-modell er automatisert og derfor relativt enkel, er konseptet bak modelleringen kompleks. I hovedsak går det ut på å lage en grov modell av terrenget som deretter trekkes fra den opprinnelige DEM-modellen, noe som genererer et datasett som viser lokale høydevariasjoner. Denne modellen vil imidlertid være vektet mot de minste høydeforskjellene i datasettet, og videre prosessering må til. Fra datasettet med lokale relieffvariasjoner henter man derfor ut informasjon om hva som er positive og negative høydeforskjeller, samtidig med at man fjerner de minste høydeforskjellene. Denne informasjonen danner grunnlag for nok en DEM-modell som på ny trekkes fra den opprinnelige modellen, og resulterer i en ferdig generert, optimalisert LRM-modell.



Figur 26. Romshaugen utenfor Tønsberg visualisert som hillshademodell (venstre), og Local Relief Model (høyre). Haugen ligger i dyrket mark, og går nærmest i ett med terrenget. I hillshademodellen fremstår haugen som nærmest usynlig og den kan lett overses. I visualiseringen der Local Relief Model er brukt fremstår haugen som klart avgrenset. Illustrasjon: NIKU.

Sky-View Factor (SVF)

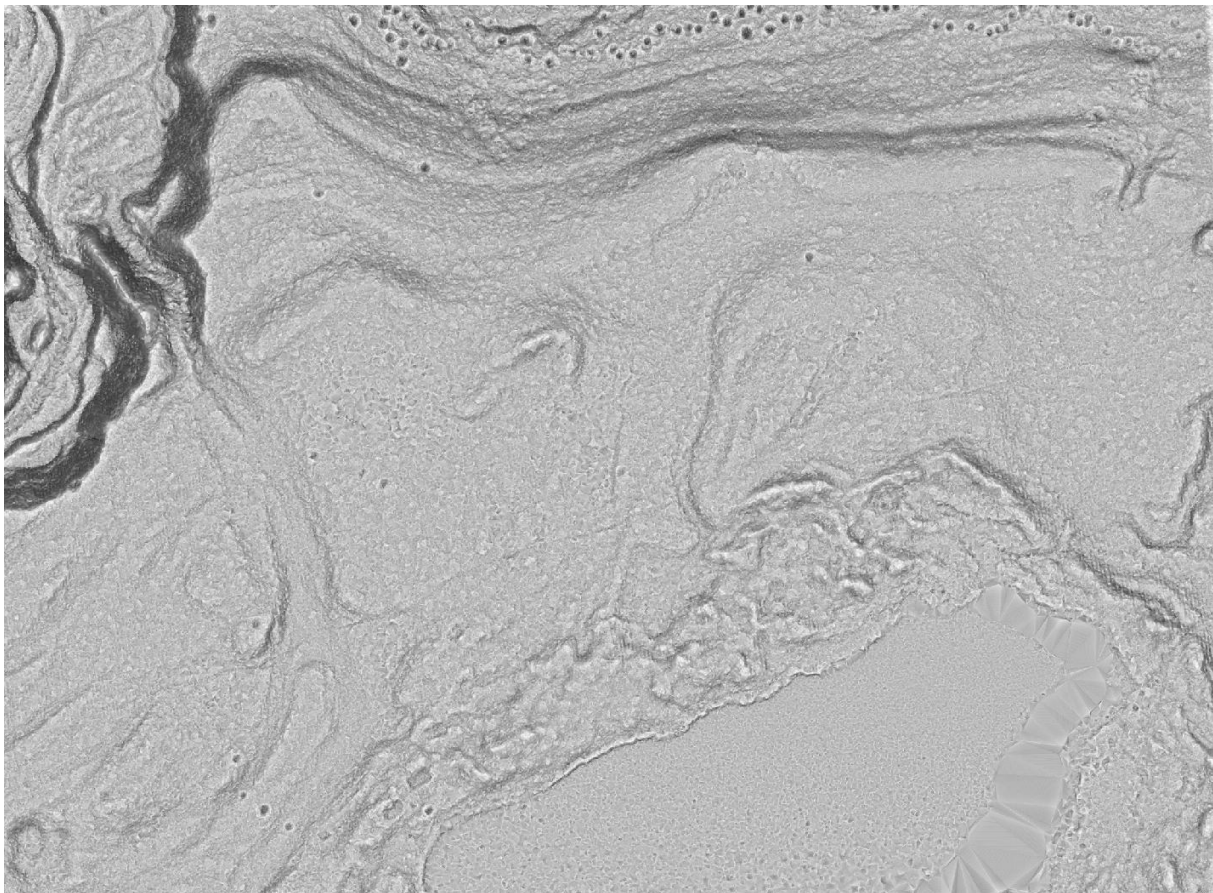
En visualiseringsteknikk som bruker diffus og ikke direkte lyssetting, er Sky-View Factor (SVF). Prinsippet bak metoden er at en simulert lyskilde i form av en halvkule som omslutter terrenget, belyser hver celle i datasettet (Figur 27). Halvkulen er jevnt lys over det hele og det finnes ikke andre, direkte, lyskilder. Mengden lys som treffer overflaten samsvarer med den delen av halvkulen som er synlig og som avgrenses av den omliggende horisonten, noe som betyr at et punkt som befinner seg oppe på et høydedrag vil være sterkere belyst enn et punkt nede i en dal. Begge punkt vil være belyst fra den samme, like lyse halvkulen, men en større andel av halvkulen vil være synlig fra høydedraget enn fra dalbunnen. Denne synligheten vil derfor være en indikasjon på hvor belyst punktet er.



Figur 27. Eksempel på overflate belyst ved Sky-View Factor (venstre) og en kombinasjon av Sky-View Factor og Local Relief Model (høyre). Modellen er et utsnitt fra et datasett over Romsdalen og viser levninger fra andre verdenskrig samt et gravfelt skjult av vegetasjon. Illustrasjon: NIKU.

Openness (positiv og negativ)

Ettersom Sky-View Factor fungerer bedre til avgrensning av konkave enn konvekse strukturer og Local Relief Model i enkelte tilfeller gir unøyaktige resultater, er det utviklet verktøy som i teorien skal kunne løse disse utfordringene. Openness er til forveksling lik SVF, men beregner i tillegg en slags «negativ» variant (Figur 28). Den skal, teoretisk sett, fungere både for konkave og konvekse strukturer, og den tar i motsetning til SVF hensyn til terrengets helningsgrad. Verktøyet beregner digitale profiler over i minst åtte kompassretninger i en gitt lengde fra hver celle i datasettet, og deretter beregnes den største mulige senit og nadir langs hver profil. Middelveidien av alle senitvinklene utgjør det som kalles positiv Openness, mens middelveidene av alle nadirvinklene utgjør den negative. Lengden på profilene kan justeres slik at man enten fokuserer på mindre eller større strukturer i datasettene. Det vil si at man kan velge å fremheve mikrotopografiske elementer i datasettet slik som arkeologiske strukturer, eller større terrenglementer slik som elveleier og åsrygger.



Figur 28. Eksempel på overflate belyst med openness. Fangstgroper på rekke øverst og ellers spredt i landskapet. Nederst til venstre ligger det fire tufter. Illustrasjon: Jan Ingolf Kleppe, Finnmark fylkeskommune.

2.9 Semi-automatisert deteksjon

Manuell tolkning av lidar-datasett basert på en visuell gjennomgang av høydemodeller på skjerm, er klart mest vanlig. Det arbeides imidlertid med å få til automatiserte tolkninger av datasett hvor algoritmer utvikles og anvendes i kombinasjon med de manuelle tolkningene.

Det er utfordrende å få til algoritmer med de riktige terskelverdiene slik at hverken for mange eller for få anomalier fanges opp. Variasjon i kulturminnenes form og størrelse er også en utfordring. Erfaringene med semi-automatiserte tolkninger så langt er at de fanger opp en god del av de kulturminner de er utviklet til å fange opp, men at mange havner i kategorien av anomalier som må sjekkes nærmere, og at noen faller utenfor. De kulturminnene som i hovedsak fanges opp med denne tilnærmingen er som regel også dem som er lettest å identifisere ved en manuell visuell tolkning av en høydemodell. Semi-automatisert tilnærming egner seg per i dag best hvor en har meget store datasett med få og klart definerte kulturminnekategorier. I de senere årene er semi-automatisert deteksjon utviklet og testet ut på kullgroper og fangstgroper, på kullmiler, på veier og stier samt på gravhauger. Semi-automatiserte deteksjoner er ikke noen erstatning for en visuell tolkning av et datasett, men kan i noen tilfeller brukes som et supplement som kan bidra til å effektivisere analyser av store datasett. Semi-automatisert deteksjon av kulturminner basert på fjernmålingsdata, det vil si satellitt-opptak, lidar og flyfoto, er under utvikling. Samtidig med den tekniske utviklingen, pågår det en diskusjon om fordeler og ulemper ved denne tilnærmingen sett opp mot deteksjoner basert på visuelle studier.

2.10 Verifisering i felt

Tolkning av anomalier på skjerm vil alltid være mer eller mindre sikre, og vanligvis vil det være nødvendig å foreta en sjekk i felt av de anomaliene det knytter seg mest usikkerhet til. Med kartdata, høydemodellen og øvrige data overført til en PDA kan verifiseringen i felt gjennomføres effektivt.

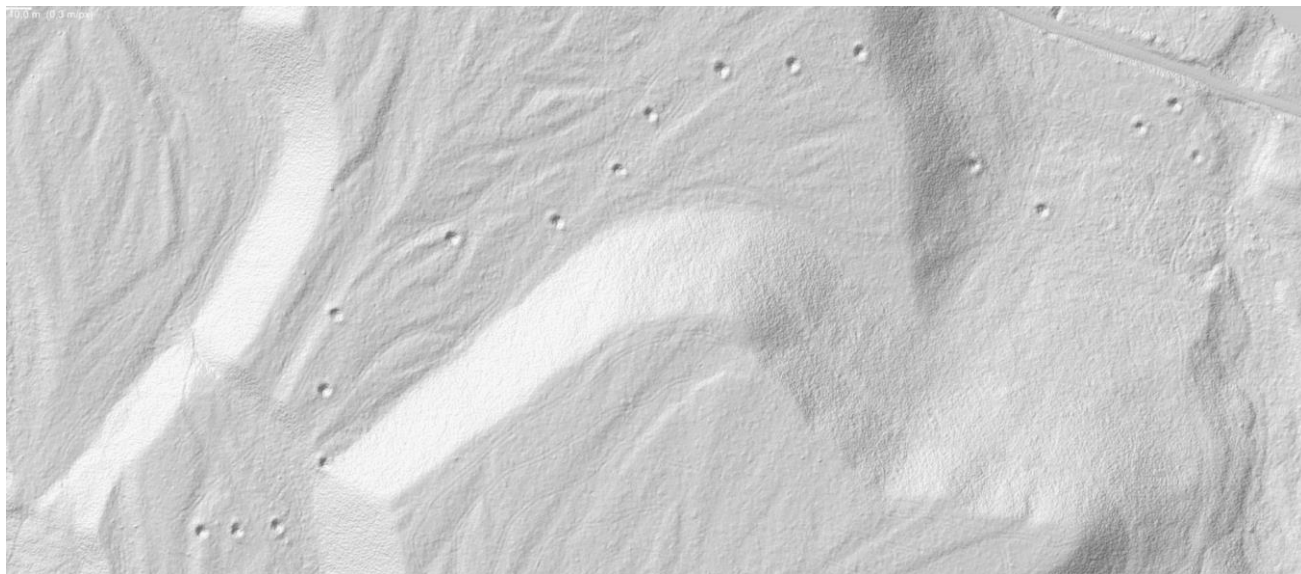
3. Huskeliste

Her følger en kort huskeliste med viktige elementer å vurdere når du skal bruke lidar:

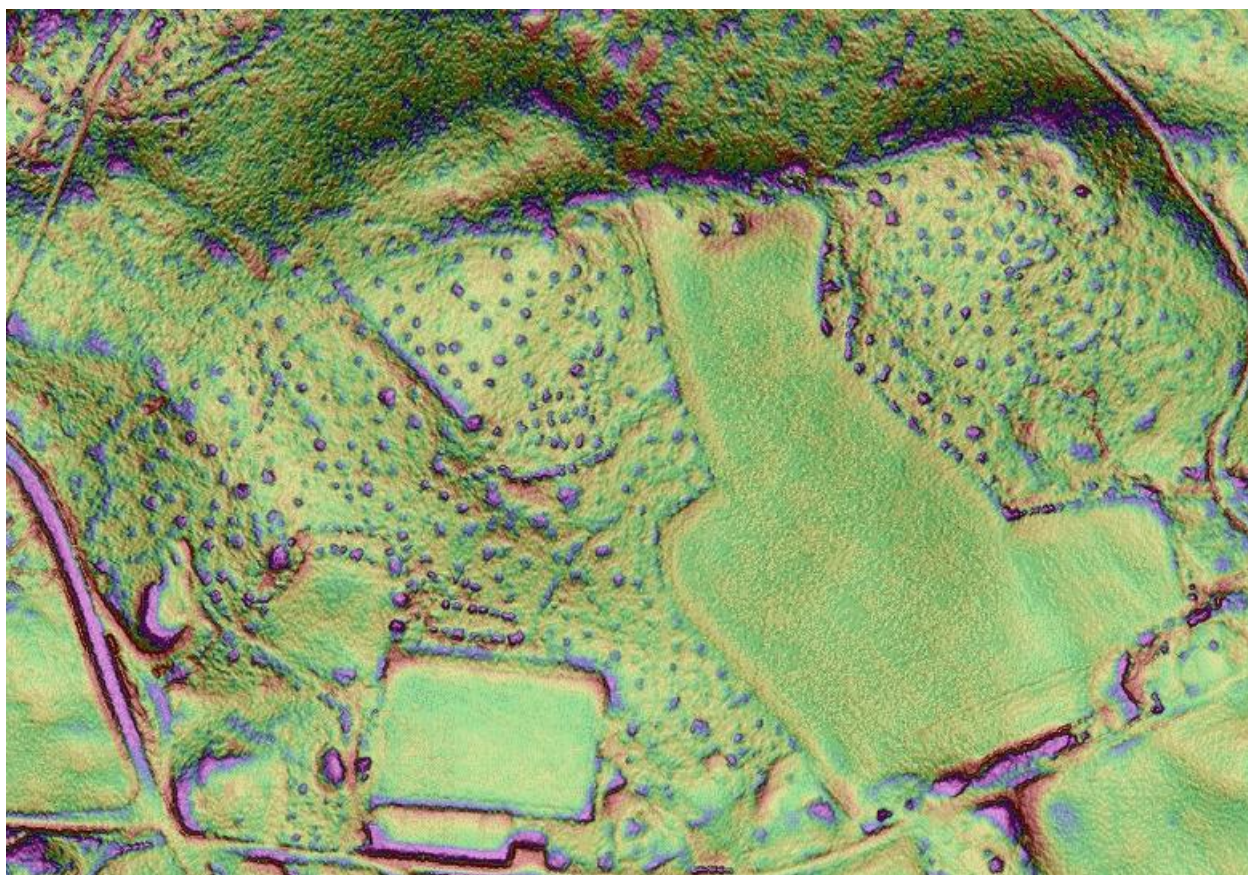
- Hva er formålet med å ta i bruk lidar?
 - Hvorfor ta i bruk lidar?
 - Vil lidar svare på min problemstilling?
 - Vil andre metoder være mer velegnet til å besvare min problemstilling?
- Har jeg de ressurser som trengs?
 - Har jeg kompetanse, programvare og økonomi til å ta i bruk lidar?
 - Har jeg tilgang til disse forutsetningene?
- Skal jeg kjøpe data eller bruke eksisterende?
 - Finnes det eksisterende data og er disse av tilstrekkelig kvalitet?
 - Planlegges det laserskanning i mitt område av andre aktører?
 - Bestill data gjennom Kartverket og avtal hvilket format de leveres i.
 - Be om skanningsrapporten som inneholder opplysninger om metadata
 - Ved kjøp av egne data: Vær nøye med kravspesifikasjon; husk krav til oppløsning, tidspunkt for skanning og når du ønsker dataene og klargjør hvilket format du ønsker dataene i.

- Hvordan bearbeide datasettene fra skanningen:
 - Importer punktskyen (eller de ferdige DTM-ene)
 - Konverter til heldekkende modell (gjelder punktskyer)
 - Analyser modellen for anomalier
 - Manipuler og visualiser modellen underveis, bruk gjerne flere metoder og programvarer
 - Marker anomaliene
 - Tolk anomaliene (kategoriser gjerne disse som henholdsvis sikre og usikre tolkninger)
 - Eksportér og lagre anomaliene
 - Følg opp med verifisering i felt

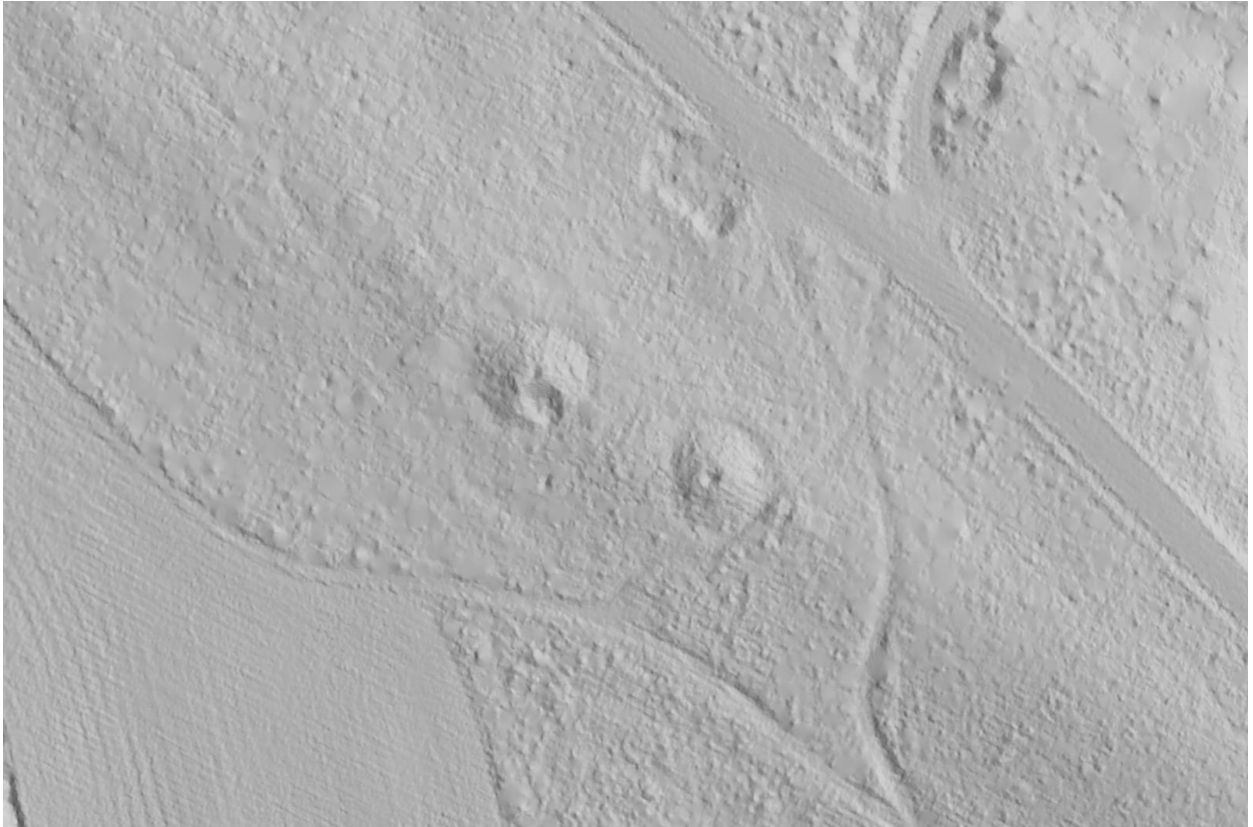
4. Eksempelsamling med forskjellige kulturminnetyper



Figur 29. Fangstgroper, Olstappen, Nord-Fron kommune, Oppland. Illustrasjon: Lars Pilø, Oppland fylkeskommune.



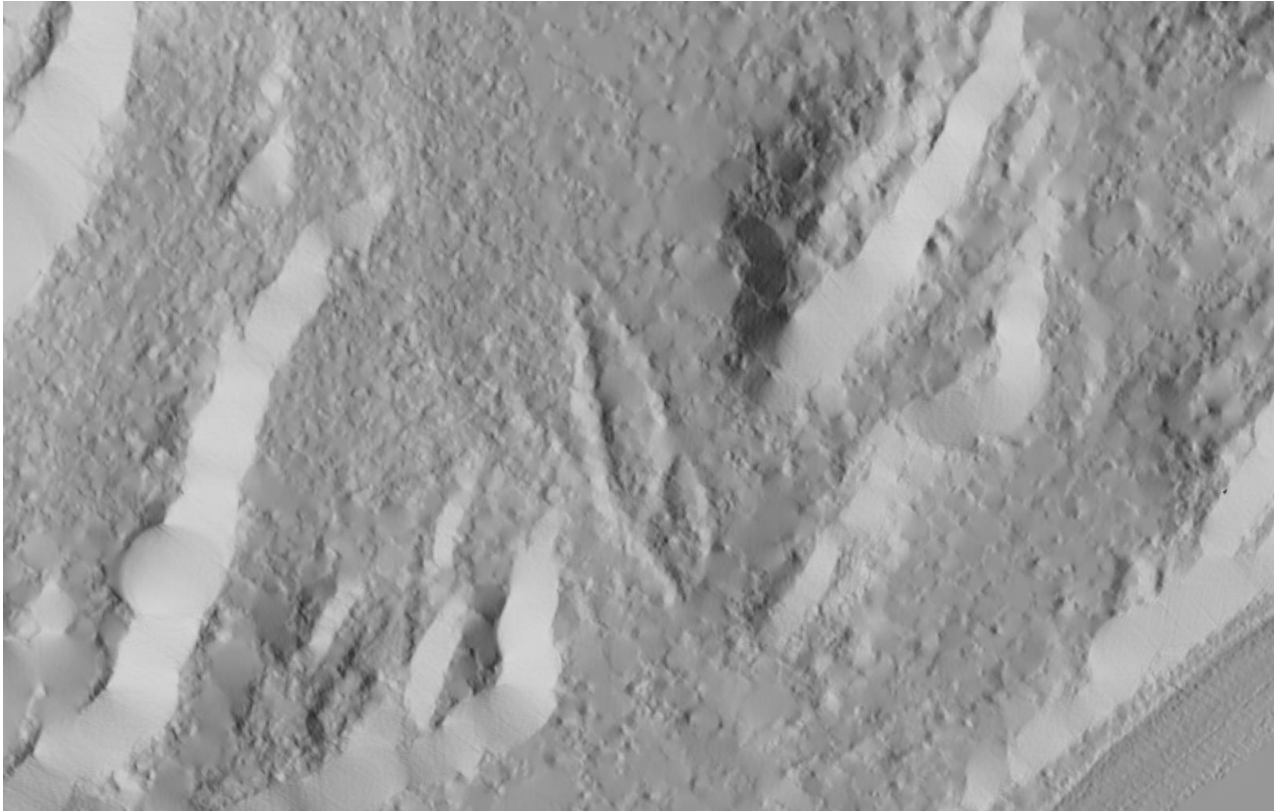
Figur 30. Rydningsrøysfelt på Bråstad, Gjøvik kommune, Oppland. Illustrasjon: Lars Pilø, Oppland fylkeskommune.



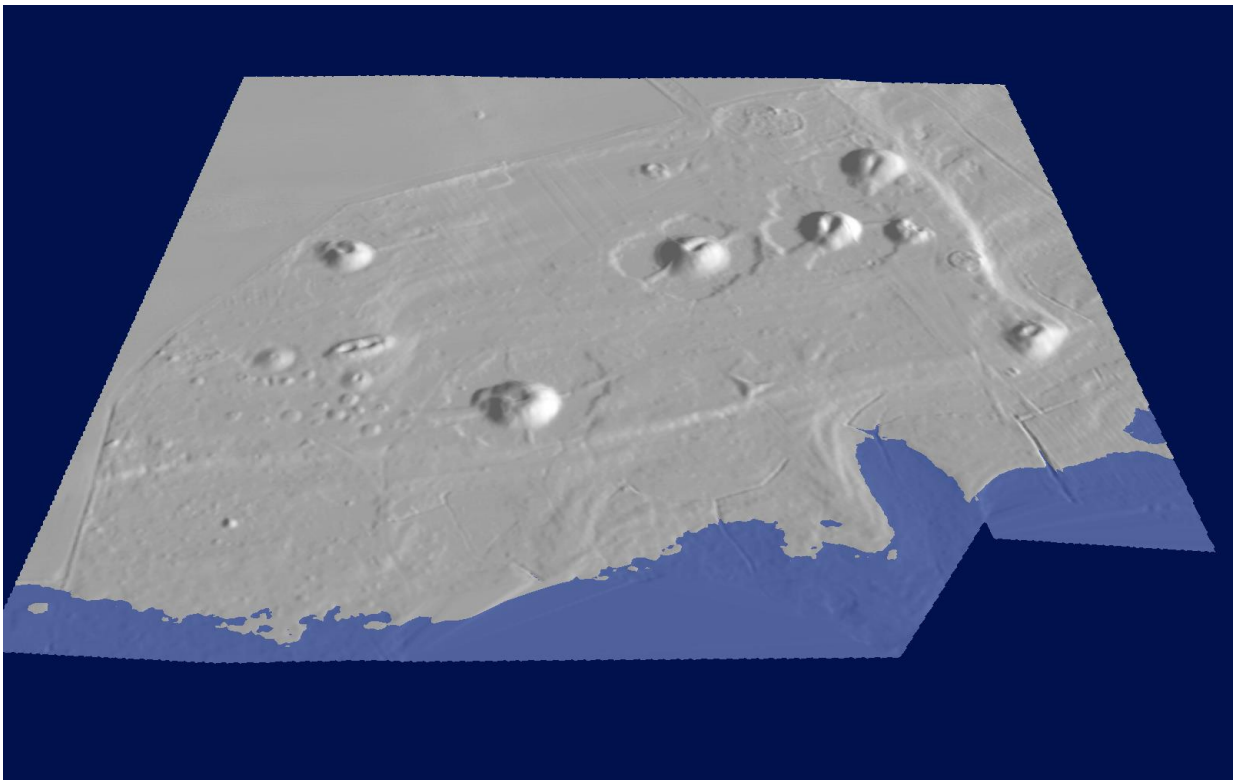
Figur 31. Gravhauger, Rokke, Halden kommune, Østfold. Det er tatt masse fra den nordvestligste haugen og det sees en plyndringsgrop i toppen av den sørøstlige haugen. I kanten av begge gravhaugene anes en fotgrøft. Illustrasjon: NIKU.



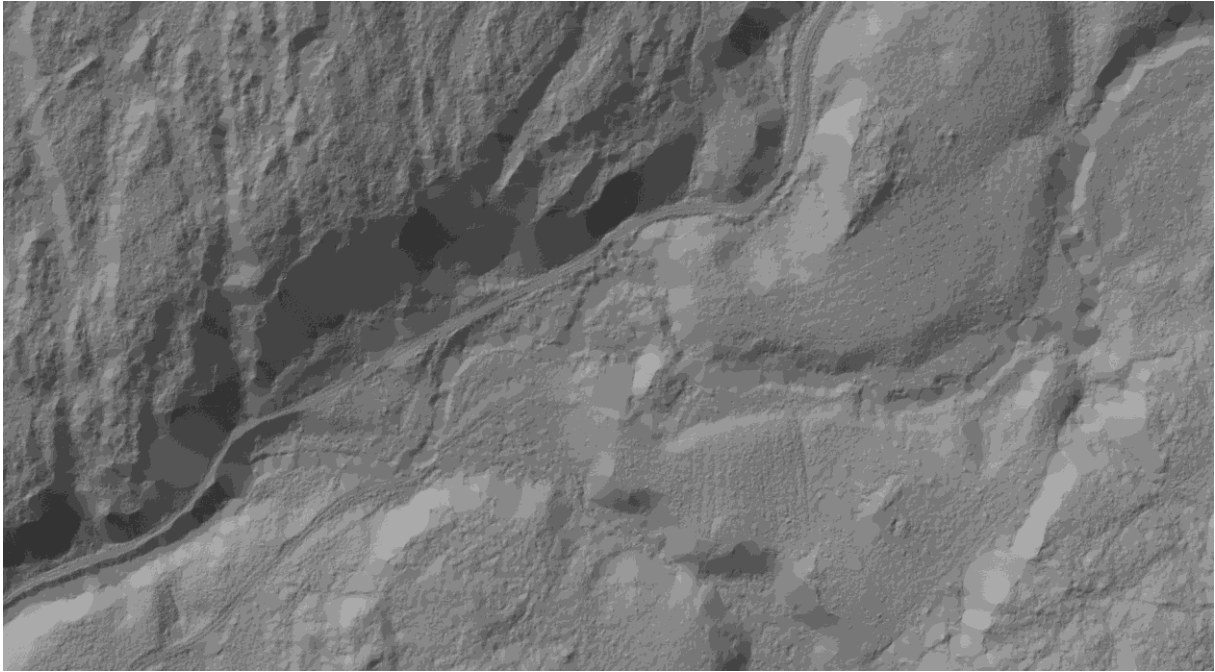
Figur 32. To samiske tufter midt i bildet, Nesseby kommune, Finnmark. Illustrasjon: NIKU.



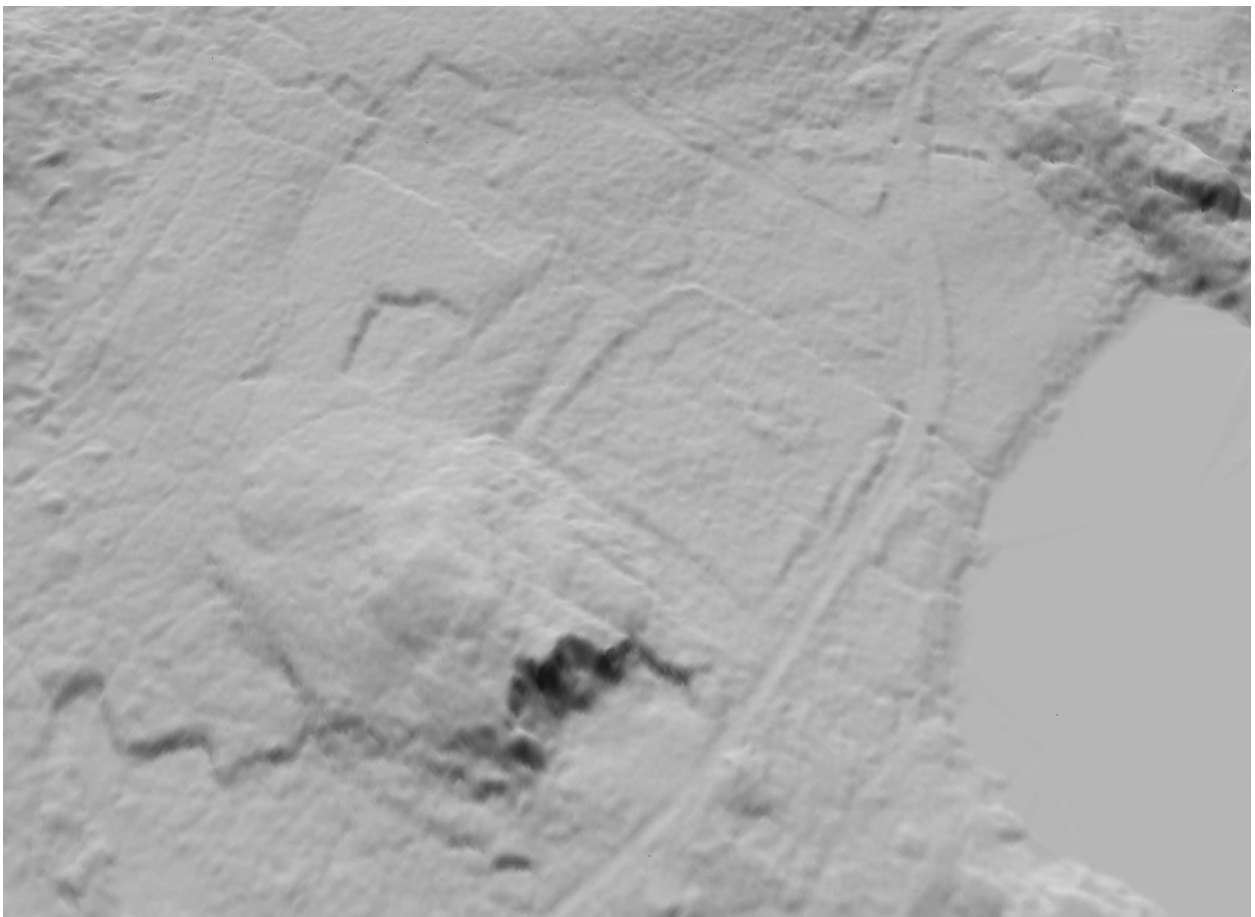
Figur 33. Hulveier, Halden kommune, Østfold. Illustrasjon: NIKU.



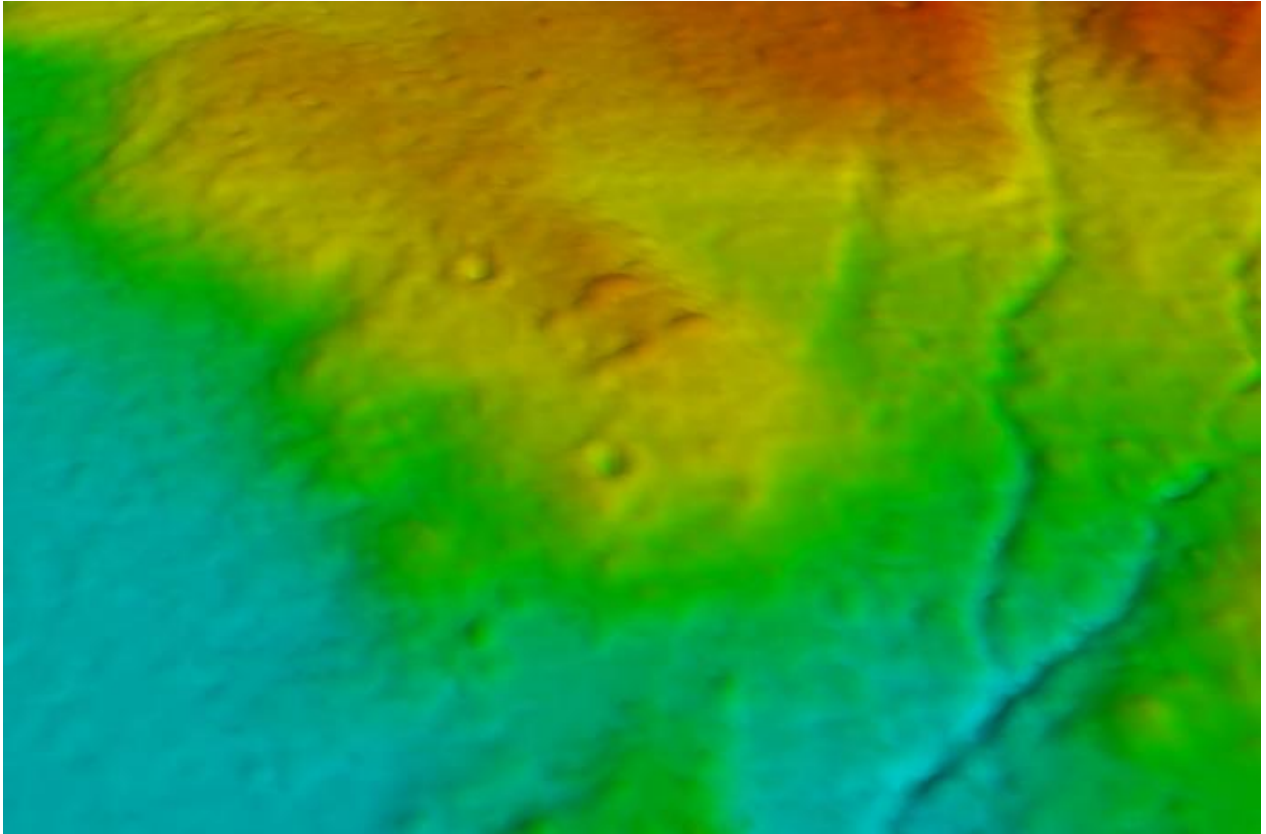
Figur 34. Gravfelt, Borreparken, Horten kommune, Vestfold. Illustrasjon: NIKU.



Figur 35. Dyrkingsspor, Halden kommune, Østfold. Illustrasjon: NIKU.



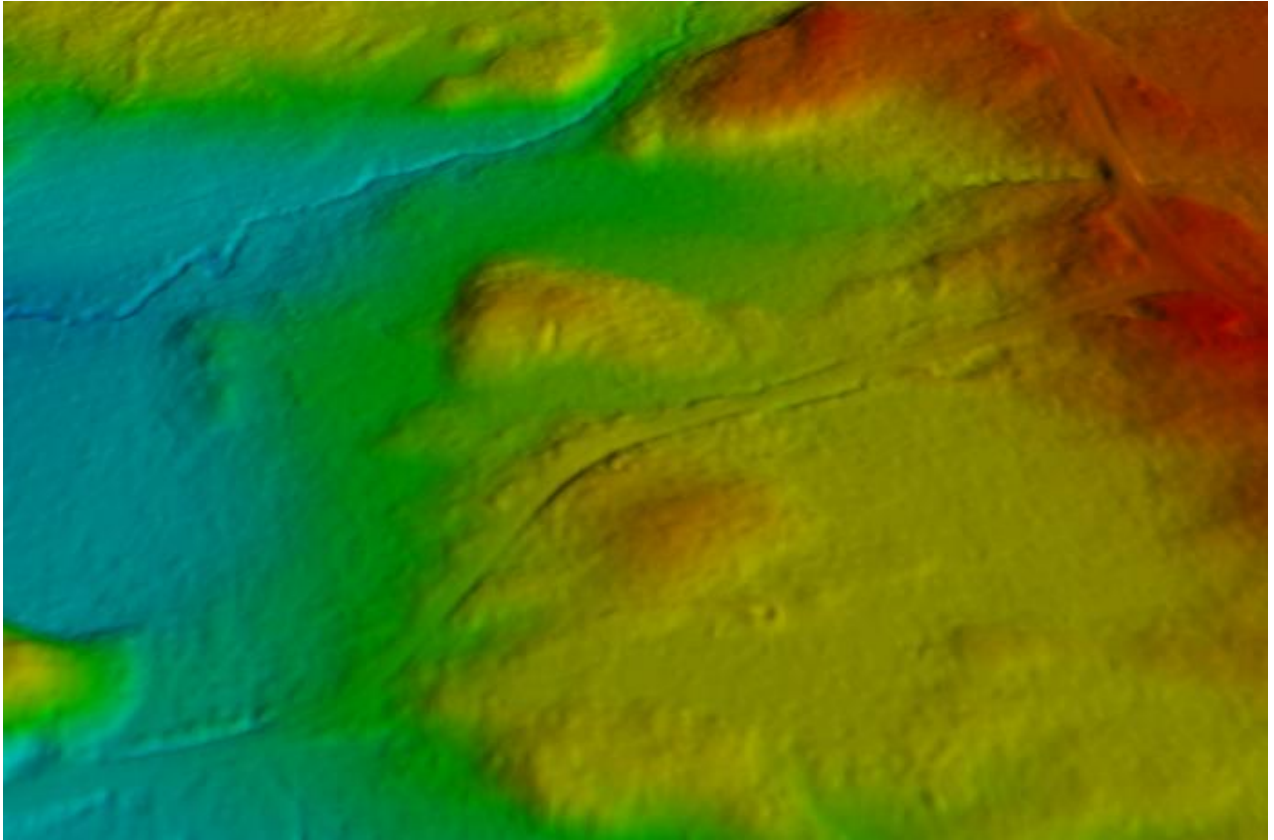
Figur 36. Kirketuft med kirkegård (kvadratisk), Selja, Selje kommune, Sogn og Fjordane. I området vest og nordvest for kirkegården ses spor etter torvtekt. Illustrasjon: NIKU.



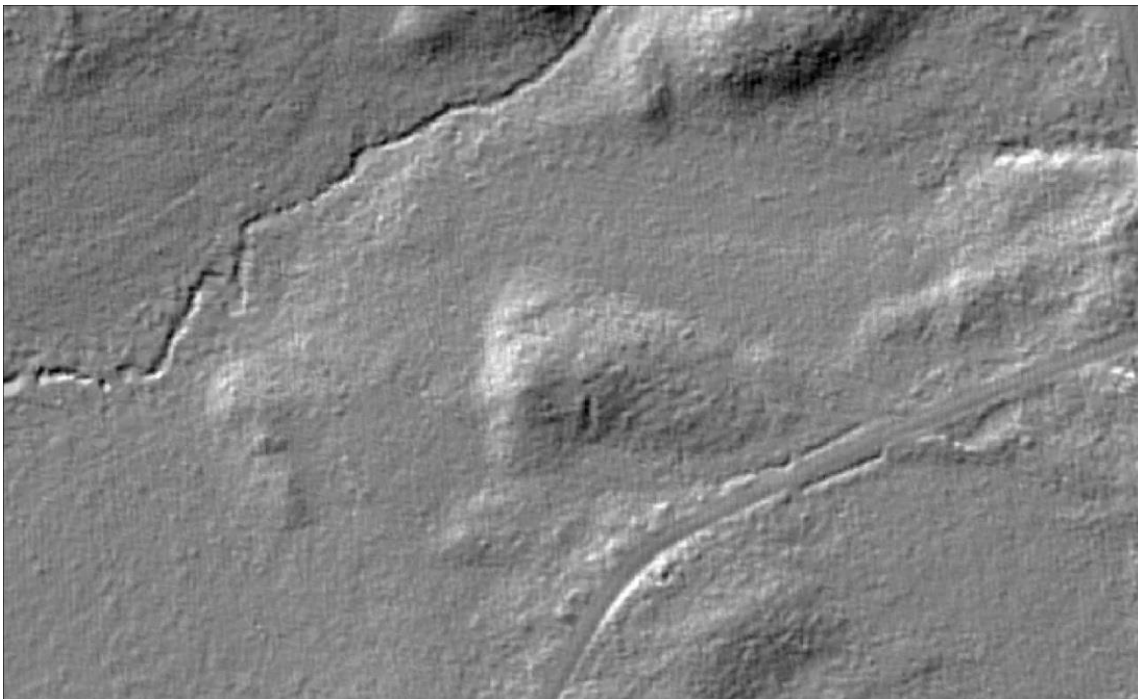
Figur 37. Jernvinneanlegg med to parallelle slagghauger og to kullgroper, Elverum kommune, Hedmark. Illustrasjon: NIKU.



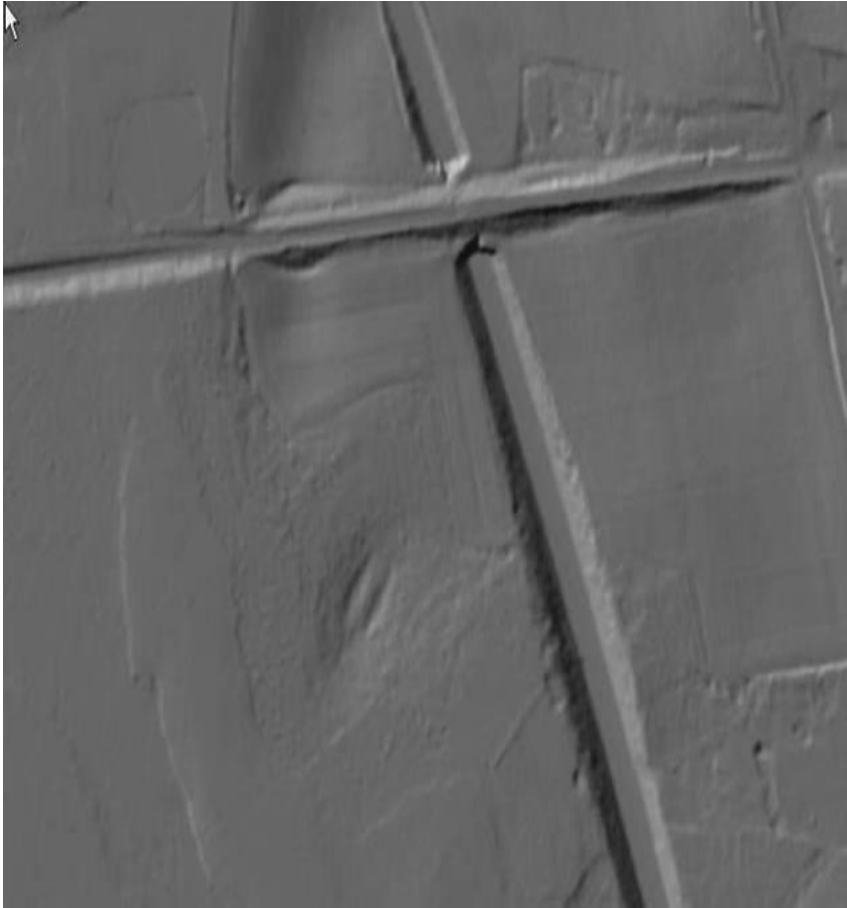
Figur 38. Kullmiler omgitt av kjørespør, Nannestad kommune, Akershus. Illustrasjon: NIKU.



Figur 39. Tjæregroft i skråninga litt ovenfor midten av bildet, Elverum kommune, Hedmark. Illustrasjon: NIKU.



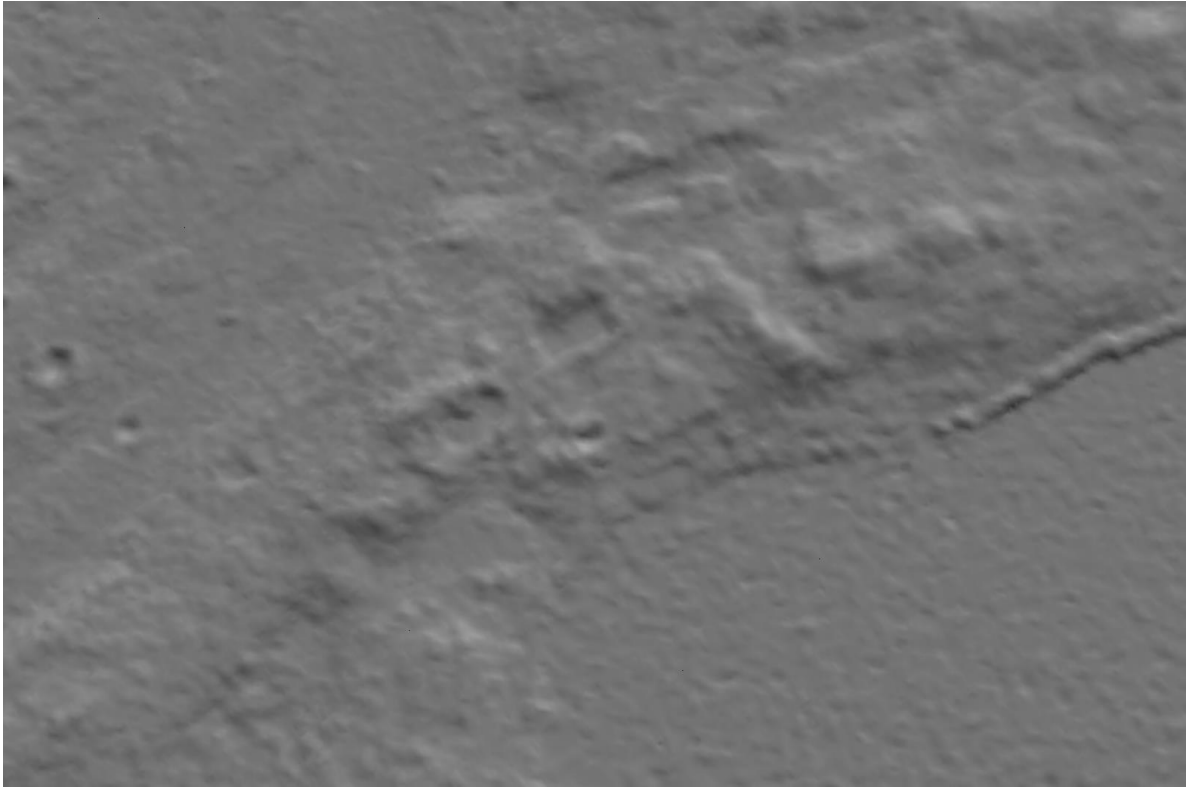
Figur 40. Tjæregroft i skråninga midt i bildet, Elverum kommune, Hedmark. Illustrasjon: NIKU.



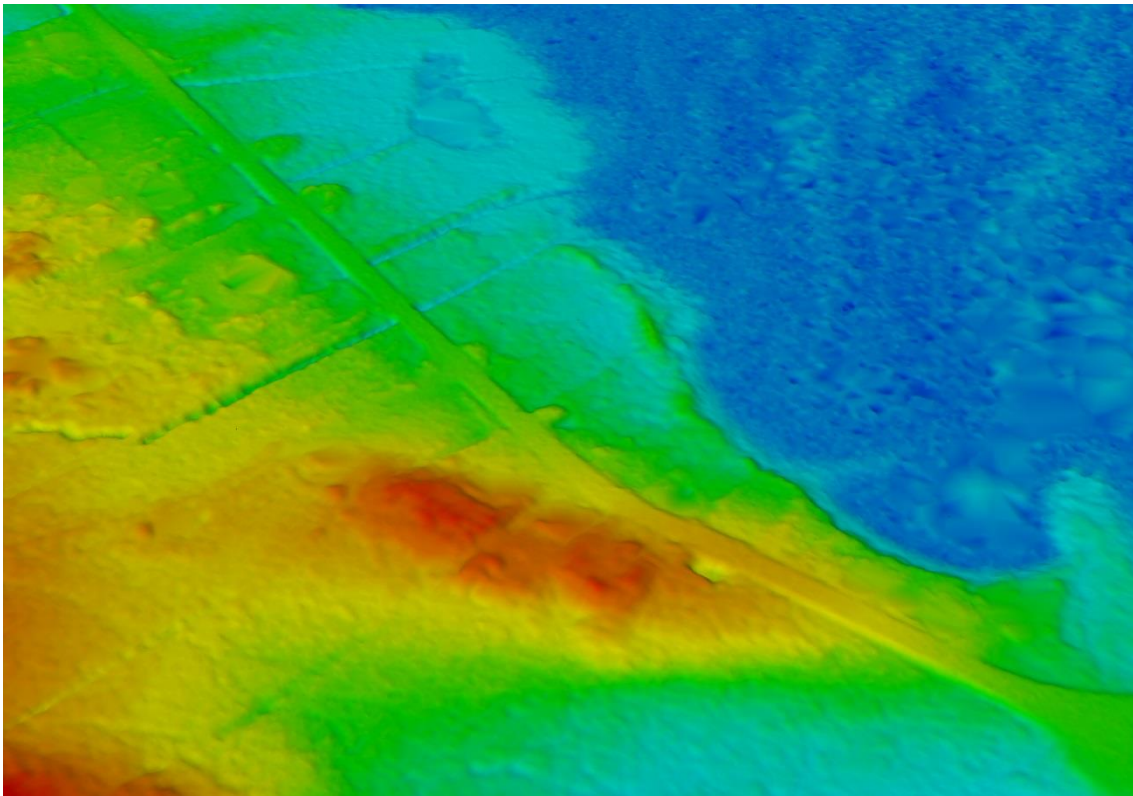
Figur 41. Nausttuft, Åkersvika, Hamar kommune, Hedmark. Illustrasjon: Kjetil Skare, Hedmark fylkeskommune.



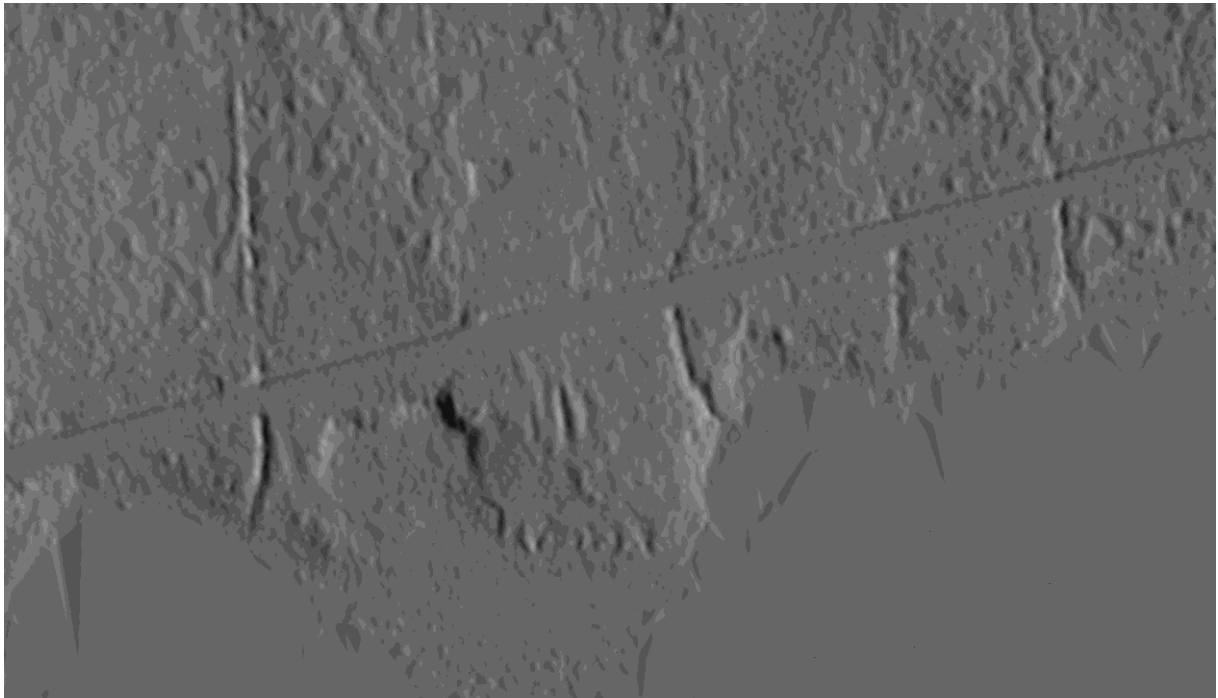
Figur 42. Steintipp, Folldal kommune, Hedmark. Illustrasjon: NIKU.



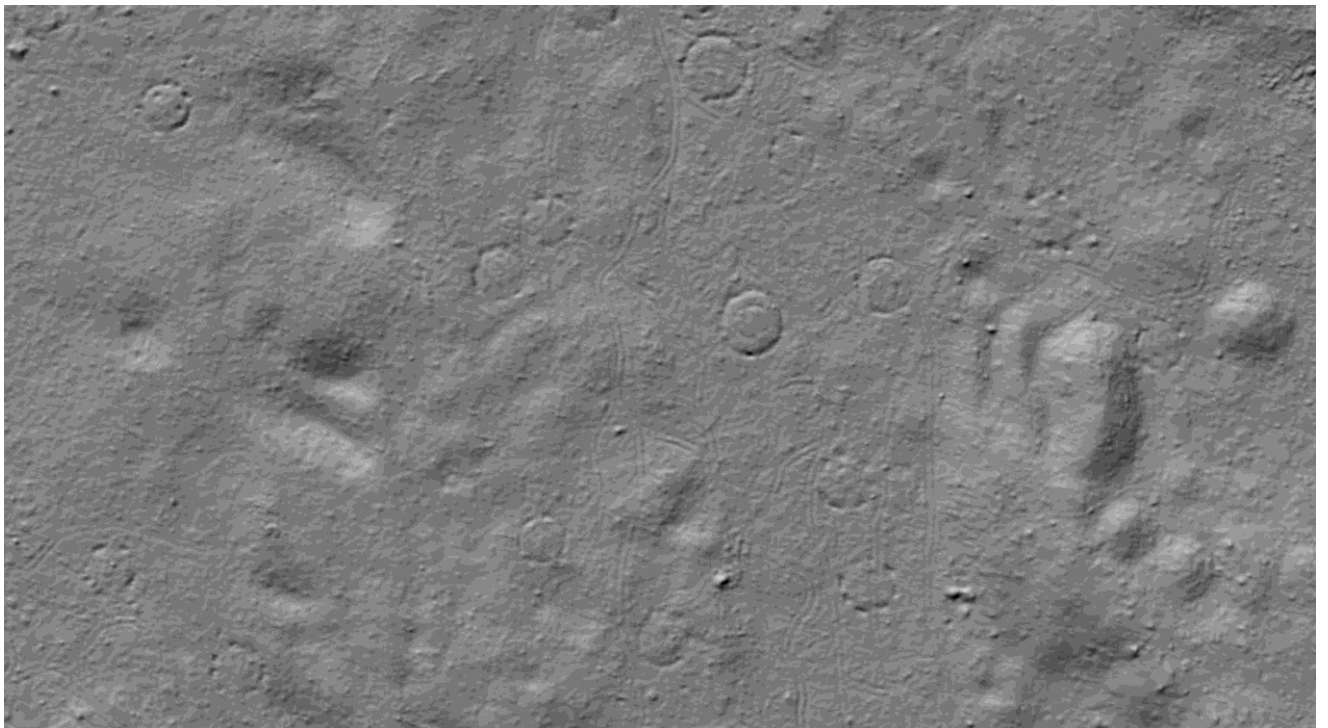
Figur 43. Tufter, Tana kommune, Finnmark. Illustrasjon: NIKU.



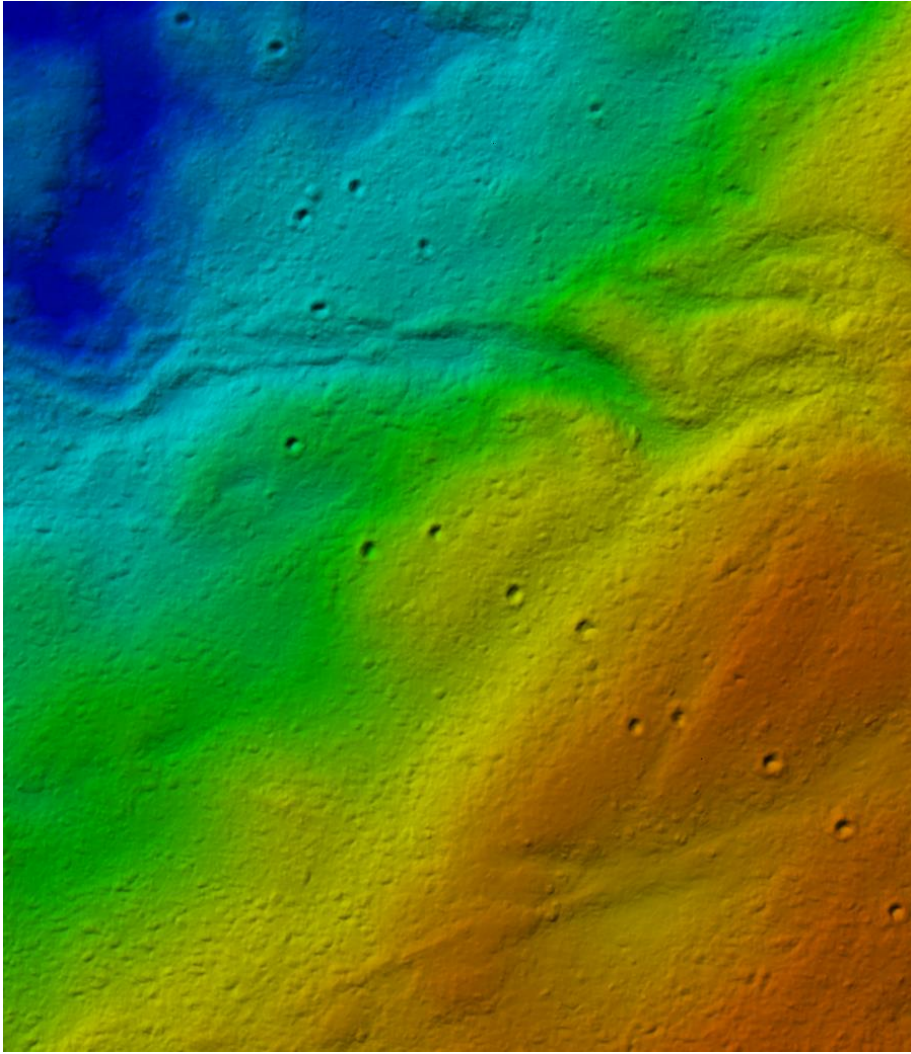
Figur 44. Gårdshaug (rødfarge), Grunnfarnes, Torsken kommune, Troms. Illustrasjon: NIKU.



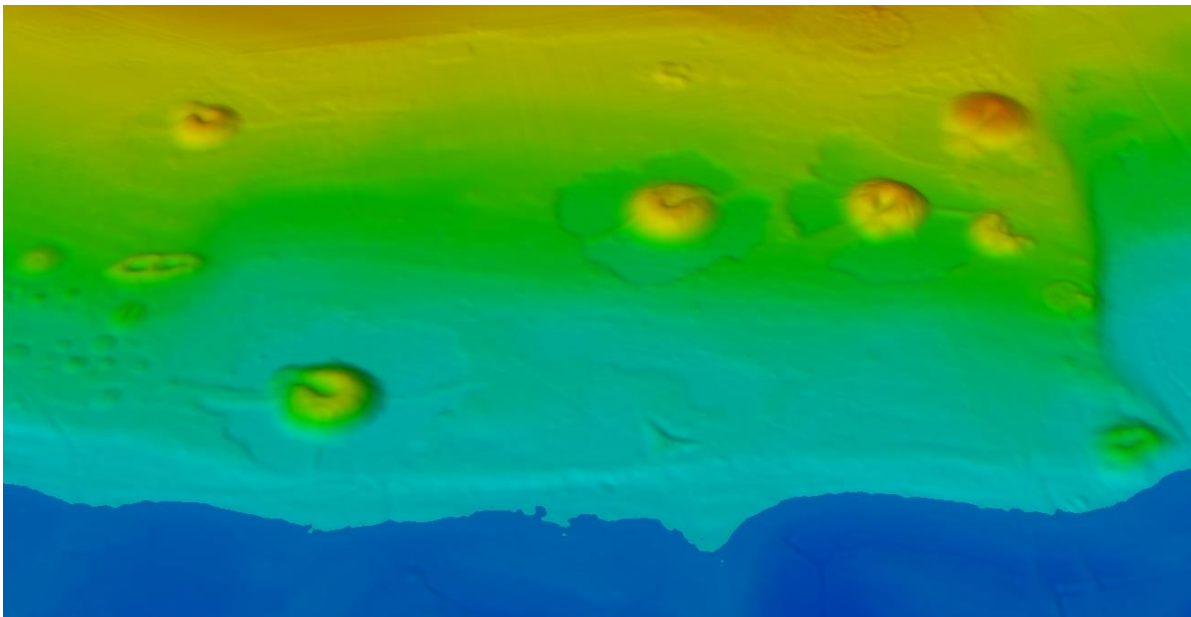
Figur 45. Båtnaust, Grunnfarnes, Torsken kommune, Troms. Illustrasjon: NIKU.



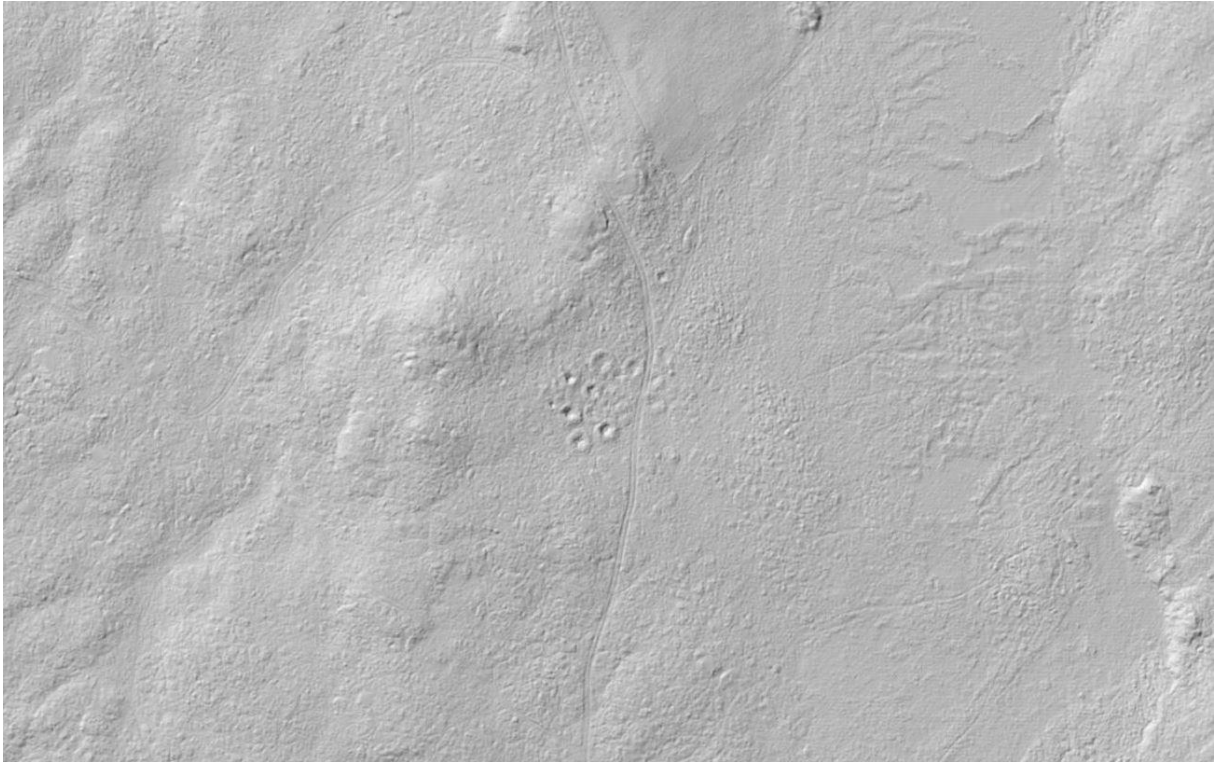
Figur 46. Kullmiler, Nannestad kommune, Akershus. Illustrasjon: NIKU.



Figur 47. Fangstgroper, Grimsdalen, Dovre kommune, Oppland. Illustrasjon: NIKU.



Figur 48. Gravfelt, Borreparken, Horten kommune, Vestfold. Illustrasjon: NIKU.



Figur 49. Jernvinneanlegg med kullgrop i samling, Valdres, Oppland. Illustrasjon: Lars Pilø, Oppland fylkeskommune.

5. Vil du lese mer?

A. Generelt og historikk

Campbell, J.B. & Wynne, R.H., 2011. *Introduction to Remote Sensing*. New York, London, The Guildford Press.

Crutchley, S., 2006. Light Detection and Ranging (lidar) in the Witham Valley, Lincolnshire: an Assessment of New Remote Sensing Techniques. *Archaeological Prospection*, vol. 13, pp. 251-257.

Crutchley, S., 2009. Using LiDAR in archaeological contexts: The English heritage experience and lessons learned. In: *Laser scanning for the environmental sciences* (Heritage, G.L. & Large, A.R.G., ed.), pp. 180-200. Wiley-Blackwell.

Holden, N., Horne, P. & Bewley, R., 2002. High-resolution digital airborne mapping and archaeology. In: *Aerial Archaeology: Developing Future Practice* (Bewley, R. & Raczowski, W., ed.), NATO Sciences Series. Series I: Life and Behavioural Sciences, pp. 173-180. Amsterdam: Elsevier.

Lambrick, G., 2008. *Air and Earth. Aerial archaeology in Ireland. A review for the Heritage Council*. Dublin, The Heritage Council.

Risbøl, O., Amundsen, H., Bollandsås, O.M. & Nesbakken, A., 2011. Flybåren laserskanning til bruk i forskning og til forvaltning av kulturminner og kulturmiljøer. Dokumentasjon og overvåking av kulturminner. . NIKU Oppdragsrapport. Oslo.

B. Lidar og arkeologiske registreringer

Barlindhaug, S., Holm-Olsen, I.M., Risan, T., Risbøl, O. & Sollund, M.-L.B., 2008. Fortiden sett fra lufta - fjernmålingsmetoder til overvåking av kulturminner og kulturlandskap. *Kart og plan*, vol. 68/2, (101), pp. 106-118.

Doneus, M. & Briese, C., 2006. Digital terrain modelling for archaeological interpretation within forested areas using full-waveform laserscanning. In: *The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST, Aire-La-Ville 2006*, pp. 155-162.

Doneus, M., Briese, C., Fera, M. & Janner, M., 2008. Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning. *Journal of Archaeological Science*, vol. 35/4, pp. 882-893.

Georges-Leroy, M., 2011. Airborne Laser Scanning for the management of archaeological sites in Lorraine (France). In: *Remote sensing for archaeological heritage*

management (Cowley, D.C., ed.), EAC Occasional Paper No. 5, pp. 229-234. Brussel: Europae Archaeologia Consilium (EAC).

Nesbakken, A. & Risbøl, O., 2011. Med laserblikk på villreinfangst. *OTTAR*, vol. 2, pp. 41-47.

Risbøl, O., 2009. Fugleperspektiv på kulturminner. Bruk av flybåren laserskanning i arkeologien. *Viking - Norsk arkeologisk årbok*, vol. LXXII - 2009. , pp. 211-226.

Risbøl, O., 2010. Towards an improved archaeological record through the use of airborne laser scanning. In: *Time and place: 3rd International Conference on Remote Sensing in Archaeology* (Forte, M., Campana, S. & Liuzza, C., ed.), British Archaeological Reports, International Series, Vol. 2118, pp. 105-112. Oxford: Archaeopress.

Risbøl, O., Gjertsen, A.K. & Skare, K., 2006. Airborne laser scanning of cultural remains in forests: some preliminary results from a Norwegian project. In: *From Space to Place: 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology* (Campana, S. & Forte, M., ed.), British Archaeological Reports, International Series, Vol. 1568, pp. 107-112. Oxford: Archaeopress.

Skare, K., 2011. Som lys fra oven. En introduksjon til flybåren laserskanning. *Primitive Tider. Arkeologisk Tidsskrift*, vol. 13, pp. 101-112.

C. Lidar og landskap

Bofinger, J., Kurz, S. & Schmidt, S., 2006. Ancient maps - modern data sets: different investigative techniques in the landscape of the Early Iron Age princely hill fort Heuneburg, Baden-Württemberg. In: *From space to place: 2nd international conference on remote sensing in archaeology (Proceedings of the 2nd international workshop, CNR, Rome, Italy, December 2-4, 2006)* (Campana, S. & Forte, M., ed.), British Archaeological Reports International Series 1568, pp. 87-92. Oxford: Archaeopress.

Crutchley, S., 2009. Shedding light on the past: Using airborne LIDAR to understand ancient landscapes. In: *Geoinformation Technologies for Geocultural Landscapes: European Perspectives* (Bender, O., Evelpidou, N., Krek, A. & Vassilopoulos, A., ed.), pp. 87-103. London, New York, Leiden: CRC Press, Taylor & Francis Group.

Doneus, M. & Briese, C., 2011. Airborne laser scanning in forested areas - potential and limitations of an archaeological prospection technique. In: *Remote sensing for archaeological heritage management* (Cowley, D.C., ed.), EAC Occasional Paper No. 5, pp. 59-76. Brussel: Europae Archaeologia Consilium (EAC).

Draganits, E., Doneus, M., Gansum, T., Gustavsen, L., Nau, E., Tønning, C., Trinks, I. & Neubauer, W., 2015. The late Nordic Iron Age and Viking Age royal burial site of Borre in Norway: ALS- and GPR-based landscape reconstruction and harbour location at an uplifting coastal area. *Quaternary International*, vol. 367, pp. 96 – 110.

- Hesse, R., 2013. The changing picture of archaeological landscapes: lidar prospection over very large areas as part of a cultural heritage strategy. In: *Interpreting archaeological topography. 3D data, visualisation and observation* (Opitz, R.S. & Cowley, D.C., ed.), Occasional Publications of the Aerial Archaeology Research Group No. 5, pp. 171-183. Oxford: Oxbow Books.
- Opitz, R.S. & Cowley, D.C., 2013. Interpreting archaeological topography: lasers, 3D data, observation, visualisation and applications. In: *Interpreting archaeological topography. 3D data, visualisation and observation* (Opitz, R.S. & Cowley, D.C., ed.), Occasional Publications of the Aerial Archaeology Research Group No. 5, pp. 1-12. Oxford: Oxbow Books.
- Risbøl, O., 2013. Cultivating the "wilderness" - how lidar can improve archaeological landscape understanding. In: *Interpreting archaeological topography. 3D data, visualisation and observation* (Opitz, R.S. & Cowley, D.C., ed.), Occasional Publications of the Aerial Archaeology Research Group No. 5, pp. 51-62. Oxford: Oxbow Books.
- Risbøl, O., Petersen, T. & Jerpåsen, G.B., 2013. Approaching a mortuary monument landscape using GIS- and ALS-generated 3D models. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, vol. 2, (4), pp. 510–525.

D. Lidar i vann

- Doneus, M., Doneus, N., Briese, C. & Pregesbauer, M., 2013. Airborne laser bathymetry – detecting and recording submerged archaeological sites from the air. *Journal of Archaeological Science*, vol. 40, pp. 2136–2151.
- Kartverket, 2014. Rapport: TopoBaty 2014. Eit pilotprosjekt om datainnsamling med grøn laser i kystsona, 1 – 229.
- Shih, P.T.-Y., Chen, Y.-H. & Chen, J.-C., 2014. Historic shipwreck study in Dongsha Atoll with bathymetric LiDAR. *Archaeological Prospection*, vol. 21, pp. 139–146.

E. Lidar og miljøovervåking

- Kincey, M. & Challis, K., 2010. Monitoring fragile upland landscapes: The application of airborne lidar. *Journal of Nature Conservation*, vol. 18, pp. 126-134.
- Nesbakken, A. & Risbøl, O., 2014. Kulturmiljøet Mølen - bruk av fjernmåling i endringsanalyser. *Kart og Plan*, vol. 74/2, (107), pp. 134–149.
- Risbøl, O. & Amundsen, H., 2011. Tilstandsanalyse og miljøovervåking av kulturminner og -miljøer langs regulerte vassdrag ved bruk av flybåren laserskanning. *Viking, Norsk arkeologisk årbok*, vol. LXXIV - 2011, pp. 279-304.

Risbøl, O., Briese, C., Doneus, M. & Nesbakken, A., 2015. Monitoring cultural heritage by comparing DEMs derived from historical aerial photographs and airborne laser scanning. *Journal of Cultural Heritage*, vol. 16, pp. 202 – 209.

F. Visualiseringsteknikker

Bennett, R., Welham, K., Hill, R.A. & Ford, A., 2012. A comparison of visualization techniques for models created from airborne laser scanned data. *Archaeological Prospection*, vol. 19, (1), pp. 41-48.

Challis, K., Forlin, P. & Kincey, M., 2011. A Generic Toolkit for the Visualization of Archaeological Features on Airborne LiDAR Elevation Data. *Archaeological Prospection*, vol. 18, (4), pp. 279–289.

Devereux, B.J., Amable, G.S. & Crow, P., 2008. Visualisation of LiDAR terrain models for archaeological feature detection. *Antiquity*, vol. 82, pp. 470-479.

Doneus, M., 2013. Openness as visualization technique for interpretative mapping of airborne lidar derived digital terrain models. *Remote Sensing*, vol. 5, pp. 6427–6442.

Hesse, R., 2010. LiDAR-derived Local Relief Models - a new tool for archaeological prospection. *Archaeological Prospection*, vol. 17, pp. 67-72.

Kokalj, Ž., Zakšek, K. & Oštir, K., 2011. Application of the sky-view factor for the visualization of historic landscape features in lidar derived relief models. *Antiquity*, vol. 85 (327), pp. 263-273.

Kokalj, Ž., Zakšek, K. & Oštir, K., 2013. Visualizations of lidar derived models. In: *Interpreting archaeological topography. 3D data, visualisation and observation* (Opitz, R.S. & Cowley, D.C., ed.), Occasional Publications of the Aerial Archaeology Research Group No. 5, pp. 100-114. Oxford: Oxbow Books.

Oppland Fylkeskommune, K., 2014. Veiledning til LIDAR-visualisering. Oppland Fylkeskommune, Kulturarvenheten.

Zakšek, K., Oštir, K. & Kokalj, Ž., 2011. Sky-view factor as a relief visualization technique. *Remote Sensing*, vol. 3, pp. 398–415.

G. Deteksjonssuksess

Bollandsås, O.M., Risbøl, O., Ene, L.T., Nesbakken, A., Gobakken, T. & Næsset, E., 2012. Using airborne small-footprint laser scanner data for detection of cultural remains in forests: an experimental study of the effects of pulse density and DTM smoothing. *Journal of Archaeological Science*, vol. 39, pp. 2733-2743.

Risbøl, O., Bollandsås, O.M., Nesbakken, A., Ørka, H.O., Næsset, E. & Gobakken, T., 2013. Interpreting cultural remains in airborne laser scanning generated digital terrain models: effects of size and shape on detection success rates. *Journal of Archaeological Science*, vol. 40, pp. 4688-4700.

H. Semi-automatiserte registreringer

Bennett, R., Cowley, D.C. & De Laet, V., 2014. The data explosion: tackling the taboo of automatic feature recognition in airborne survey data. *Antiquity*, vol. 88, pp. 896–905.

Schneider, A., Takla, M., Nicolay, A., Raab, A. & Raab, T., 2014. A template-matching approach combining morphometric variables for automated mapping of charcoal kiln sites. *Archaeological Prospection*, vol.

Trier, Ø.D. & Pilø, L., 2012. Automatic detection of pit structures in airborne laser scanning data. *Archaeological Prospection*, vol. 19, pp. 103-121.

Trier, Ø.D. & Pilø, L., 2014. Archaeological mapping of large forested areas, using semi-automatic detection and visual interpretation of high-resolution lidar data. Conference proceedings: 42th Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA 2014), pp. 81-91.

Trier, Ø.D., Zorteza, M. & Tønning, C., 2015. Automatic detection of mound structures in airborne laser scanning data. *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 2, pp. 69–79.

Vletter, W.F., 2015. A workflow for (semi) automatic extraction of roads and paths in forested areas from Airborne Laser Scan data. *AARGNews*, vol. 50, ((March 2015)), pp. 33–40.

6. Forkortelser og ordliste

Algoritme = Prosessering av data ved hjelp av en detaljert sekvens av beregninger med det formål å løse et problem eller et sett med problemer for å kunne utføre en bestemt oppgave.

ALS = Airborne Laser Scanning. Se også FLS.

ASPRS = the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. En institusjon som blant annet sertifiserer LAS-formatet.

DEM = Digital Elevation Model. Digital høydemodell. En digital representasjon av terrenget i et regelmessig rutenett.

DOM = Digital overflatemodell. Se DSM.

DSM = Digital Surface Model. En modell som består av alle returer.

DTM = Digital Terrain Model. En modell som kun består av returer fra bakken.

FLS = Flybåren laserskanning.

Fotavtrykk = Brukes om en laserpulsenes projeksjon på overflaten som måles.

FWF = Full waveform FLS. I motsetning til konvensjonelle skannere gir FWF-skannere muligheten for å skille mellom returer som ligger mye nærmere hverandre i tid. I tillegg registreres også utstrekningen til den enkelte retur i tid samt hvordan intensiteten til laserpulsene varierer på returen fra bakken til flyet. Bruk av FWF-skannere gir dermed grunnlag for en finere filtrering av dataene og dermed en mer detaljert høydemodell.

GIS = Geographic Information System. Et programvaresystem som er laget for å innhente, lagre, behandle, analysere, håndtere og presentere alle former for romlige eller geografiske data.

GNSS = Global Navigation Satellite System. En generisk betegnelse på globale satellittnavigasjonssystemer. Eksempler på disse er GPS, GLONASS og Galileo.

GPS = Global Positioning System. Et amerikansk satellittnavigasjonssystem.

Hillshade = Skyggerelieff. En visualiseringsteknikk som går ut på å belyse datasettet med en tenkt, direkte lyskilde fra én bestemt vinkel.

IMU = Inertial Measurement Unit. En sensor i plattformen som registrerer dennes bevegelser, slik som hastighet, akselerasjon, høyde eller rotasjon i forhold til en hovedakse.

INS = Inertial Navigation System. En navigasjonsteknikk som bruker informasjon fra ulike sensorer slik som akselerometer og gyroskoper for å bestemme posisjon og orientering til et fly/helikopter i forhold til et kjent utgangspunkt.

Intensitet = Styrken en laserpuls returneres til sensoren.

LAS = Er et standardisert binært filformat for lagring av dataene i en punktsky.

LAStools = En programvarepakke for prosessering og analyse av lidardata.

Programvarepakken har enkelte gratisfunksjoner, deriblant LASzip som brukes til å komprimere/dekomprimere filer i LAZ-formatet.

Laser = En forkortelse for Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

LAZ = En standard for å komprimere LAS-filer. Komprimerte LAZ-data kan enten brukes direkte eller først dekomprimeres ved hjelp av programmet LASzip (se LAStools).

Lidar/LiDAR = Light detection and ranging.

LLS = Luftbåren laserskanning.

LRM = Local Relief Model (lokal relieffmodell) er en visualiseringsteknikk som går ut på å fremheve små høydeforskjeller i datasettet, mens effekten av større terrengformasjoner begrenses.

Punktsky = En samling data (punkter) som er samlet inn ved bruk av laserskanning.

QTM = Forkortelse for Quick Terrain Modeler.

Quick Terrain Modeler = Programvare for prosessering og analyse av lidardata. Utviklet ved John Hopkins University i Maryland, USA. Distribueres i dag av firmaet *Applied Imagery* (www.appliedimagery.com)

RVT = Relief Visualisation Tool. Et frittstående visualiseringsverktøy utviklet ved Slovenian Academy of Sciences and Art (<http://iaps.zrc-sazu.si/en/rvt#v>).

Skyggemodell = se Hillshade.

SVF = Sky-View-Factor er en visualiseringsteknikk som beskriver hvor mye av himmelen som kan sees fra et gitt punkt.

TIFF = Tagged Image File Format.



UNIVERSITETET I OSLO
RIKSANTIKVAREN