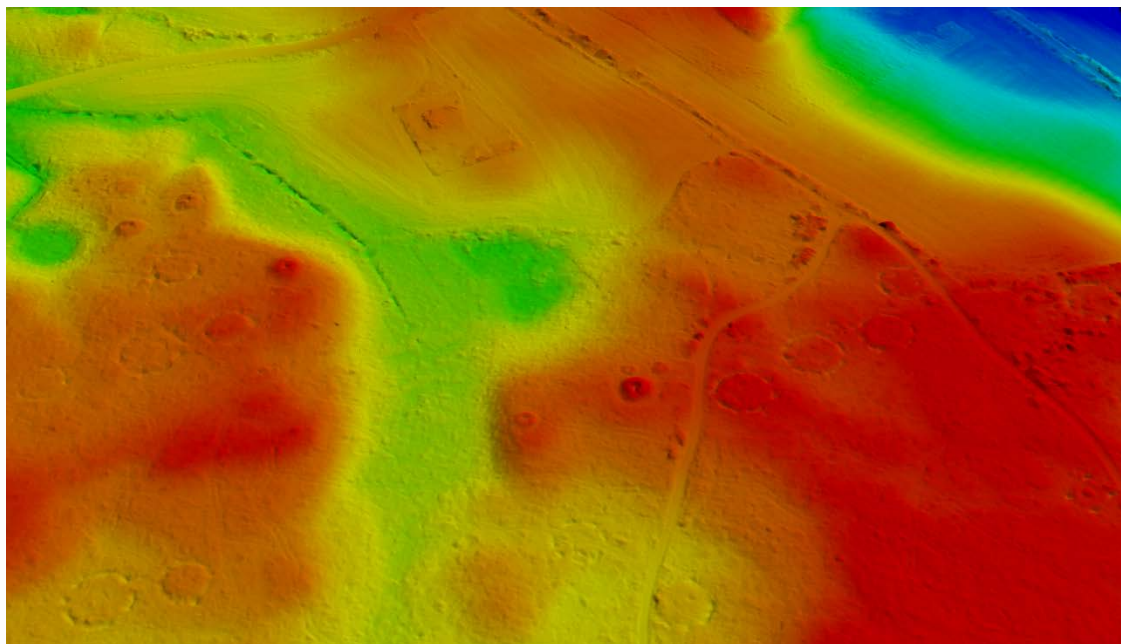


NIKU Rapport 45

Flybåren laserskanning til bruk i forskning og til forvaltning av kulturminner og kulturmiljøer

Dokumentasjon og overvåking av kulturminner

Ole Risbøl, NIKU
Hilde Rigmor Amundsen, NIKU
Ole Martin Bollandsås, UMB
Anneli Nesbakken, NIKU



Risbøl, Ole, Amundsen, Hilde Rigmor, Bollandsås, Ole Martin, Nesbakken, Anneli. 2011.
*Flybåren laserskanning til bruk i forskning og til forvaltning av kulturminner og kulturmiljøer.
Dokumentasjon og overvåking av kulturminner.* - NIKU Rapport 45: 40 sider.

Oslo, august 2011

NIKU Rapport 45
ISSN 1503-4895
ISBN 978-82-8101-107-6

Rettighetshaver © Copyright Stiftelsen Norsk institutt for kulturminneforskning, NIKU.
Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Rapporten er kun tilgjengelig som pdf-fil på www.niku.no

Kontaktadresse: NIKU, Storgata 2, 0155 Oslo

Postadresse: NIKU, P.O.Box 736 Sentrum, NO-0105 Oslo
Tlf: 23 35 50 00
Fax: 23 35 50 01
Internett: www.niku.no

Forsidebilde: En digital terrengmodell som viser gravhauger, kullgroper og kullmiler i et skogområde i Eidsvoll kommune.

| | |
|----------------------------|-----------------------|
| Tilgjengelighet: | Åpen |
| Prosjektnummer: | 1563166 |
| Oppdragsgiver: | Riksantikvaren |
| Faglig ansvarlig hos NIKU: | Kari Charlotte Larsen |

Forord

I de senere årene har LiDAR funnet økt anvendelse innenfor kulturminnesektoren hvor det oppnås gode resultater ved bruk av denne teknikken til kartlegging og dokumentasjon av kulturminner. Skanningsdataene som hentes inn gir grunnlag for å lage høyoppløselig 3D terrengmodeller av hele landskap. I norsk arkeologi går bruken av LiDAR tilbake til 2005 hvor NIKU initierte et pilotprosjekt med midler fra Riksantikvaren. Pilotprosjektet ble fulgt opp av nye LiDAR-prosjekter i de etterfølgende år.

Prosjektet som presenteres i denne rapporten omfatter flere tilnærminger som ligger i skjæringspunktet mellom LiDAR og arkeologi og hvis resultater presenteres under de enkelte kapitler i rapporten. Prosjektet har gått over to år og er finansiert av Riksantikvaren. Kontaktpersoner hos Riksantikvaren har vært Maj-Britt Håbjørg og Anke Loska og i tillegg Kari Stuberg, Isa Trøim og Kristine Johansen.

NIKU har gjennomført prosjektet under ledelse av Ole Risbøl som har hatt med seg Hilde Amundsen og Anneli Nesbakken som prosjektmedarbeidere. Ole Martin Bollandås, en av våre samarbeidspartnere fra Universitetet for miljø- og biovitenskap, har også bidratt til rapporten.

Innhold

| | |
|---|----|
| Forord | 3 |
| Sammendrag..... | 5 |
| Abstract..... | 6 |
| 1. Innledning..... | 7 |
| 1.1 Bakgrunn og målsetting | 7 |
| 2. Valg av formålstjenlige skanningsparametere..... | 10 |
| 2.1 Skanningsparametere..... | 10 |
| 2.2 Oppløsning på data..... | 13 |
| 2.3 Rådata | 20 |
| 2.4 Full-waveform versus konvensjonell skanning | 21 |
| 2.5 Oppsummering | 22 |
| 3. Dokumentasjon og miljøovervåking av kulturminner og -miljøer ved regulerte vassdrag .. | 23 |
| 3.1 Vassdragsproblematikk..... | 23 |
| 3.2 Skanning av vassdrag..... | 24 |
| 3.3 Registrering og dokumentasjon..... | 26 |
| 3.4 Tilstandsanalyse og miljøovervåking..... | 28 |
| 3.5 Oppsummering | 33 |
| 4. Oppsummering og veien videre | 34 |
| 4.1 Oppsummering | 34 |
| 4.2 Videre frem | 35 |
| 5. Formidling | 36 |
| 6. Litteratur | 38 |

Sammendrag

Risbøl, O., Amundsen, H. R., 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 Rapport 45.

Siden 2005 har NIKU gjennomført flere prosjekter hvor flybåren laserskanning er tatt i bruk og testet ut med henblikk på å kartlegge og dokumentere arkeologiske kulturminner. Disse prosjektene er i hovedsak finansiert av Riksantikvaren og utført i samarbeid med kulturminneforvaltningen samt andre forskningsmiljøer. I 2009 fikk NIKU midler fra Riksantikvaren til å gjennomføre det 2-årige prosjektet: *Flybåren laserskanning til bruk i forskning og forvaltning av kulturminner og kulturmiljøer. Dokumentasjon og overvåking av kulturminner.* Resultatene at dette prosjektet presenteres i denne rapporten.

På grunnlag av de gjennomførte prosjekter som har gitt gode resultater, men som samtidig har avdekket begrensninger og utfordringer, så vi behovet for å ta tak i en del problemstillinger knyttet til videreutvikling og forbedring av LiDAR som metode for kartlegging, dokumentasjon og overvåking av kulturminner og -miljøer. Behovet for økt kunnskap om de forskjellige parametere som laserskanningen foretas med, og deres betydning for kvaliteten på de digitale terrengmodellene, er et stadig tilbakevendende FoU-tema. I dette prosjektet ble det formulert tre delmål: **A.** Utrede optimal innhenting og optimal behandling av laserskanningsdata tilpasset kulturminneformål. **B.** Utvikle og tilpasse metoder basert på LiDAR i forhold til forvaltningsmessige kulturminneutfordringer i regulerte vassdrag. **C.** Utvikle metoder for endringsanalyser basert på laserskanningsdata på kulturminne- og kulturmiljønivå.

Delmål A har fokus på oppløsningen på de digitale terrengmodellene som brukes som grunnlag for å detektere kulturminner og innenfor dette delmålet ble det gjennomført en test med bruk av tre datasett fra de samme områdene, men av ulik kvalitet (ulik punktetthet og glatting). Analysen av disse dataene er dessverre ikke ferdigstilt ennå og vil bli publisert på et senere tidspunkt. Foreløpige resultater viser imidlertid at det kan være grunn til å anbefale en punktetthet på mellom 3 og 5 pkt/m² når det skal utføres laserskanning med henblikk på å detektere og dokumentere kulturminner.

Det foretas omfattende flyskanning over hele landet, men mesteparten av skanningen blir gjennomført av andre aktører enn kulturminnesektoren. Disse dataene vil ofte være tilgjengelige for kulturminneforskning og -forvaltning, men kvaliteten på dataene gjør ofte utbyttet begrenset. I kapittel 2 understrekes betydningen av å foreta laserskanning og prosessering av dataene med utgangspunkt i behov og problemstillinger knyttet til påvisning av kulturminner. Dette er å foretrekke fremfor å bruke eksisterende ferdigprosesserte data innhentet med annet formål som ikke stiller samme krav til kvalitet og oppløsning. Samtidig understrekes det at en likevel kan oppnå gode resultater med standard laserskanningsdata som ikke har optimal kvalitet tilpasset kulturminneformål.

Resultatene fra delmål B og C presenteres sammen i kapittel 3 i rapporten. Laserskanningsdata fra Møsvatn og Mårvatn i Telemark ble brukt til å påvise kulturminner som ligger ved regulerte vassdrag. Analysene viser at kulturminner ved vassdragsregulerte vann lar seg identifisere og dokumentere, bortsett fra dem som er så sterkt ødelagt av erosjon og overlaging at de ikke lenger skiller seg ut som tilstrekkelig markante høydeforskjeller i terrenget. Dette gjelder kulturminner som ligger i selve erosjonssonen og som utsettes for årvisse vannstandsendringer, erosjon, isskuring osv.

Flyskanningsdataene fra Møsvatn og Mårvatn blir i tillegg brukt til å vise eksempler på hvordan en kan foreta endringsanalyser som grunnlag for miljøovervåking av kulturminner og

-miljøer ved regulerte vassdrag. Dette viste seg å være en velegnet tilnærming som må videreutvikles og implementeres – helst innenfor et konkret miljøovervåkingsprosjekt.

I kapittel 4 oppsummeres resultatene og det påpekes at punktetthet og skanningstidspunkt er de to viktigste faktorer å ta hensyn til ved gjennomføring av et skanningsprosjekt. Videre skisseres det en del problemstillinger som bør forfølges videre innenfor FoU-arbeid. Dette gjelder så vel arbeidet med å forbedre LiDAR-teknikk og -metode samt utviklingsarbeid knyttet til å ta i miljøovervåking.

Emneord: LiDAR, flybåren laserskanning, tekniske parametere, kulturminneregistreringer, miljøovervåking, endringsdeteksjon, regulerte vassdrag.

Abstract

Risbøl, O., Amundsen, H. R., Bollandsås, O. M., Nesbakken, A.. 2011. *Airborne laser scanning used for cultural heritage research and management – documentation and monitoring of cultural remains and environments*. - NIKU Rapport 45. In Norwegian.

In this report the results of a 2-year project running from 2009-2011 and financed by the Norwegian Directorate of Cultural Heritage are presented. The project was called Airborne laser scanning used for cultural heritage research and management – documentation and monitoring of cultural remains and environments.

The first part of the report describes technical issues dealt with within the project - mainly challenges concerning the resolution of digital terrain models. A test was carried out using three different point densities and three different smoothing of datasets in order to gain more knowledge about the effect of different data qualities on the interpreting results when looking for cultural remains on digital terrain models. Unfortunately the analysis of this test hasn't been completed yet and will be published later on.

In chapter 2 the importance of controlling the whole process from commissioning and processing and to interpreting a laser scanning in order to keep control of all stages of the process as opposed to using general purpose data is discussed. The advantages of cooperation between archaeologists and technicians are also underlined in this chapter.

Chapter 3 deals with the use of laser scanning data to detect and monitor changes in landscapes holding cultural monuments and remains. Two case study areas are used – both areas with cultural heritage along lakes and rivers which have been subjected to water power regulation. Except for the remains which are severely damaged by this activity – typically those situated in the erosion zone – LiDAR data are proven suitable for detecting and monitoring cultural heritage. Some examples are presented using two LiDAR data sets from the same area in order to detect changes from one dataset to another.

Finally, in chapter 4, some further challenges concerning the use of LiDAR for cultural heritage purposes are outlined and the need to pursue these in further research and development projects is stressed.

Key words: LiDAR, airborne laser scanning, technical parameters, surveying, documentation, monitoring, change detection, water power regulation.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn og målsetting

Flybåren laserskanning – eller LiDAR (Light detection and ranging) som det også kalles¹ – er en fjernmålingsteknikk der korte pulser av nærinfrarødt lys sendes ned mot bakken fra en sensor montert i et fly. Pulsene blir distribuert ut til begge sider av flyretningen ved at et speil vipper frem og tilbake med en vinkel på typisk 20° (skannevinkel). Dette gjør at LiDAR-dataene blir samlet i en korridor under flyet som normalt er mellom 100 og 1000 meter bred. Lyspulsene reflekteres tilbake til sensoren fra det som treffes på vei mot bakken, enten det er vegetasjon, bygninger, terrengoverflaten eller annet. Posisjonen til hver refleksjon kan deretter beregnes i tre dimensjoner (3D) ved at flyets posisjon og orientering i rommet er kjent, samt skannevinkel og tiden det tar fra pulsen forlot sensoren til returene blir registrert i sensoren. Disse posisjonene brukes til å lage en digital overflatemodell. I en slik modell kan man velge å filtrere bort vegetasjonen slik at man står igjen med en detaljert terrengmodell av selve bakken. Vegetasjonsfrie terrengmodeller egner seg svært godt til å analysere, tolke og visualisere forhold på bakken i 3D fra alle vinkler og aspekter som ligger mellom froske- og fugleperspektiv. Dette har gjort LiDAR til en populær metode innenfor arkeologien og stadig flere og flere miljøer tar nå denne teknologien i bruk. LiDAR-data består som nevnt av flate- (x, y) og høydedata (z) som kan brukes til å lage tre-dimensjonale (3D) terrengmodeller. Dette gjør også LiDAR anvendelig til overvåking av kulturminner og -miljøer/landskap.

I perioden 2005-2008 gjennomførte NIKU prosjektet "Flybåren laserskanning av kulturminner i skog" i samarbeid med Hedmark fylkeskommune samt Norsk institutt for skog og landskap (Risbøl et al. 2006a, 2007a & 2008). Parallelt med dette ble det gjennomført laserskanning innenfor andre prosjekter og i andre deler av landet (Risbøl 2009a, 2009b, Risbøl & Nesbakken 2009), (**figur 1**). Alle disse prosjektene er utført med finansiell støtte fra bl.a. Riksantikvaren og Norges Forskningsråd.

De gjennomførte prosjektene har vist at det er mulig å påvise, kartfeste og for øvrig gjøre en tilfredsstillende dokumentasjon av en stor prosentdel av synlige kulturminner i alle typer landskap. Videre har det også vist seg at flybåren laserskanning egner seg godt til kvalitetssikring av eksisterende registreringer i Askeladden og at det er en kostnadseffektiv form for registrering. Samtidig som det er oppnådd gode resultater gjennom disse prosjektene, er det også avdekket begrensninger og utfordringer. En helt sentral utfordring knytter seg til målet om å få optimal oppløsning på LiDAR-dataene, bl.a. gjennom å forbedre så vel innhenting av data som etterprosessering av disse. Bakgrunnen for første delen av prosjektet var at vi så et behov for å jobbe videre med krav til oppløsning og øvrig kvalitet på dataene og få dette bedre utredet slik at laserskanningsdata tilgodeser arkeologers interesser. Samtidig må det jobbes mot en mest mulig kostnadseffektiv bruk av laserskanningsdata innenfor kulturminnefeltet.

Å ta i bruk LiDAR til systematisk kartlegging og dokumentasjon av kulturminner og kulturmiljøer er en måte å kunne effektivisere forvaltning av disse både på et kvantitativt og et kvalitativt plan. Ved å forbedre metoden vil anvendelsesområdet utvides og flere registreringer av kulturminner i områder som ikke er registrert fra før, kunne bli gjort på en mer kostnadseffektiv måte enn ved konvensjonell feltarbeid alene (Risbøl et al. 2007a). En videreutvikling vil også sikre enda bedre LiDAR-data til bruk ved en effektiv og kostnadsbesparende kvalitetssikring av eksisterende kulturminneregistreringer. I tillegg kan

¹ Andre betegnelser er ALS (airborne laser scanning), FLS (flybåren laserskanning) eller LLS (luftbåren laserskanning).

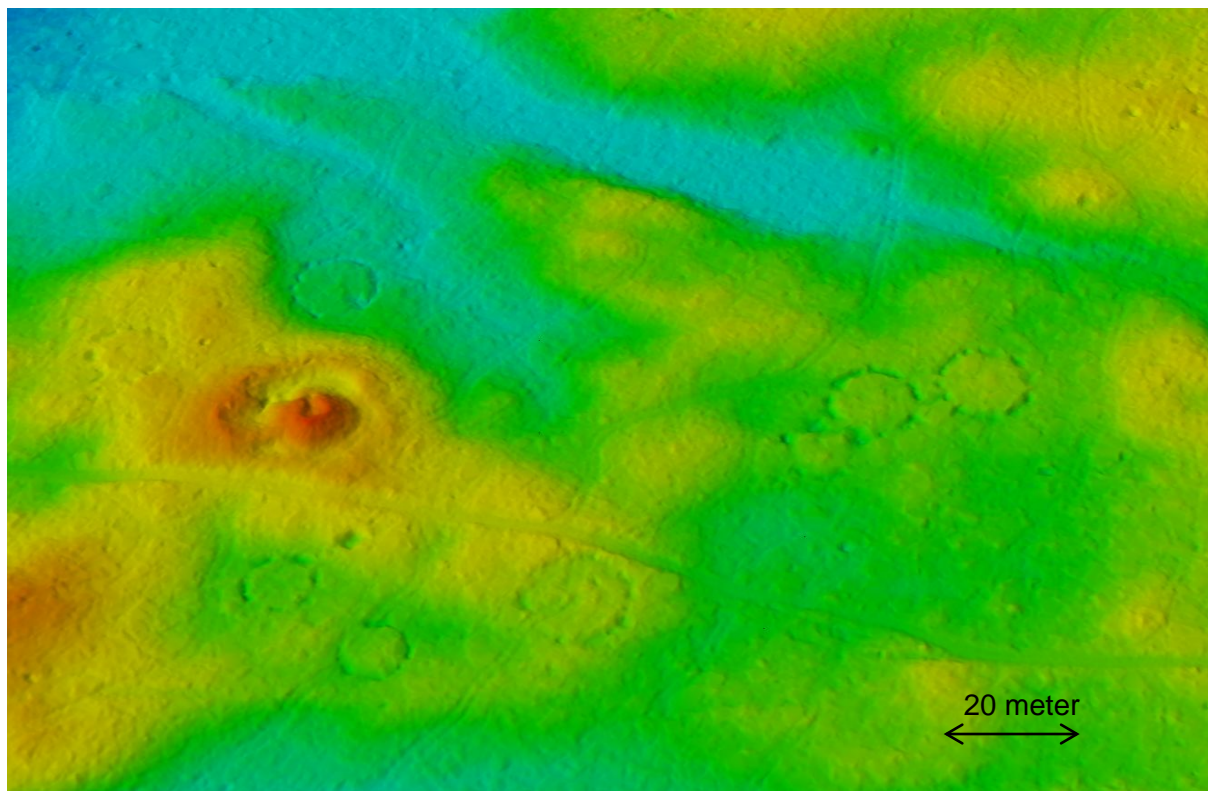
LiDAR utvikles til å bli en nyttig og rasjonell plattform for langsiktig overvåking av kulturminner og kulturmiljøer.

I de senere årene er behovet for å overvåke tilstanden til kulturminner og kulturmiljøer blitt stadig klarere (Miljøverndepartementet 2004-2005, 2005, Riksantikvaren 2004) og det gjennomføres i dag miljøovervåkningsprosjekter med bruk av ulike metoder (Dramstad et al. 2003, Barlindhaug et al. 2008, Sollund 2008). Vi ønsket i dette prosjekt også å se nærmere på muligheten for å ta i bruk laserskanningsdata til overvåking av kulturminner i regulerte vassdrag. Regulerte vassdrag er spesielt utfordrende for forvaltningen hva angår ivaretagelse og vern, grunnet de dynamiske og kontinuerlige endringer som vassdragsreguleringer forårsaker.

Med dette som bakgrunn søkte NIKU Riksantikvaren om midler til gjennomføring av et 2-årig prosjekt (2009-2011) som fikk navnet: *Flybåren laserskanning til bruk i forskning og forvaltning av kulturminner og kulturmiljøer. Dokumentasjon og overvåking av kulturminner*. Hovedmål med prosjektet var å: *videreutvikle og forbedre LiDAR som teknikk og metode for kartlegging, dokumentasjon og overvåking av kulturminner og kulturmiljøer*. Vi ønsket å tilnærme oss dette målet gjennom følgende tre delmål:

- A. Utrede optimal innhenting og optimal behandling av laserskanningsdata tilpasset kulturminneformål
- B. Utvikle og tilpasse metoder basert på LiDAR i forhold til forvaltningsmessige kulturminneutfordringer i regulerte vassdrag
- C. Utvikle metoder for endringsanalyser basert på laserskanningsdata på kulturminne- og kulturmiljønivå.

Målgrupper vi ønsker å nå med prosjektet er henholdsvis en primær målgruppe bestående av MD, RA og øvrig kulturminneforvaltning samt en sekundær målgruppe bestående av LMD og skogsektoren for øvrig, samt NVE og andre aktører i vassdragssektoren. Under gjennomføringen av prosjektet har vi samarbeidet med forskjellige institusjoner på forskjellig vis. Disse samarbeidsrelasjonene vil bli omtalt under de enkelte kapitler. Et viktig incitament for RA til å støtte dette og tidligere laserskanningsprosjekter gjennomført av NIKU har vært å stimulere regional kulturminneforvaltning til å ta i bruk eller bli kjent med det potensial som ligger i flyskanning som tilnærming til registrering og miljøovervåking av kulturminner.



Figur 1. En digital terrengmodell som viser kulturminner beliggende i et skogsområde i Eidsvoll kommune. På modellen sees en gravhaug, kullgroper og flere kullmiler.

2. Valg av formålstjenlige skanningsparametere

I prosjektene som er gjennomført siden 2005 har vi jobbet med problemstillinger knyttet til vegetasjon, skanningstidspunkt og til de tekniske parametere skanningsprosjektene er gjennomført etter; først og fremst oppløsning på dataene. Alt dette med tanke på "best practice". Innenfor prosjektet som presenteres i denne rapporten har vi gått i dybden med å evaluere effekten av punkttetthet og glatting i forhold til oppnådd deteksjonssuksess ved manuell tolking av terrengmodeller ved hjelp av egnet soft-ware. Punkttettheten er definert som det gjennomsnittlige antall laserpulser per kvadratmeter for studieområdet. Dette gjennomsnittet er regnet ut fra alle pulsene, ikke bare de som ble returnert fra terrenget. Med glatting menes i hvilken grad man lar algoritmen som klassifiserer laserreturene i terrengtreff og vegetasjonstreff tolerere ujevnheter i terrengoverflaten. Algoritmen analyserer naboskap mellom de ulike lasertreffene, og en glatting der man i liten grad aksepterer at nabotreff kan ha stor høydeforskjell vil gi jevn overflate i terrengmodellen. Man risikerer i dette tilfellet at returer som faktisk er fra terrenget vil bli klassifisert som vegetasjonstreff. I det motsatte tilfellet der man har stor toleranse for høydeforskjeller mellom nabotreff, vil man risikere å innlemme vegetasjonstreff i terrengmodellen. A priori kunnskap om terrenget i et område er derfor nyttig i forhold til å bruke et riktig glattingsnivå. Arbeidet med denne studien er ikke avsluttet ennå, men pågår og vil bli publisert i løpet av 2011. En foreløpig visuell inspeksjon har dog vist noen tendenser som omtales kort under kapittel 2.2. Målsetningen med arbeidet har vært å bedre bestillerkompetansen blant arkeologer og andre som ønsker å ta i bruk LiDAR-data til kulturminneformål. Også med tanke på flerbruk av LiDAR-data er dette viktige punkter å få utredet. Det samles hvert år inn store mengder laserskanningsdata av forskjellige sektorer: kommuner, store utbyggingsaktører, skogbruket osv. Disse data er samlet inn med andre formål enn å lete etter kulturminner, men kan i prinsippet tas i bruk til dette. Det er imidlertid en fordel om en kjenner parameterne disse data er samlet inn etter som et grunnlag for å vurdere nytten. Det er behov for kunnskap om hva en kan forvente å oppnå med de enkelte datasettene når formålet er kulturminneregistreringer, noe som utdypes i neste avsnitt.

2.1 Skanningsparametere

Parameterne som legges til grunn ved bestilling av LiDAR-data er av stor betydning for kvaliteten på produktene som brukes som grunnlag for å utrede spørsmål relatert til kulturminner. Noen av de erfaringene som er opparbeidet gjennom våre prosjekter vil bli presentert her.

De øvrige sektorer som anvender LiDAR i sitt arbeid setter ikke like store krav til oppløsningen på de digitale terrengmodellene som vi gjør innenfor kulturminnesektoren, hvor målet er å få best mulig oppløsning på dataene med tanke på å påvise og dokumentere flest mulig kulturspor best mulig. Mange kulturminnetyper er bare vagt synlig i terrenget og en best mulig oppløsning er en ubetinget fordel ved bruk av denne metoden til kartlegging av kulturminner.

Tabell 1 viser en oversikt over noen av de parametrene som er brukt i våre prosjekter.

| Prosjekt | Plattform | Instru- ment | Fly- hastighet | Fly- høyde | Frek- vens HZ | Vinkel | Dato | Punkt- tetthet |
|------------------------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|---------------|---------------------|--------|---------------------------------|-------------------|
| Elverum, Hedmark | fly | Optech ALTM310 | 270 km/t | 1000 | 70.000 | 17° | 28.06. 2005 | 4 |
| Setermoen, Troms | fly | - | 270 km/t | 750 | 100.000 | 18° | 26.10. 2007 | 5,6 |
| Gollevarre, Finmark | fly | - | 270 km/t | 1200 | 100.000 | 18° | 17.09. 2007 | 5,7 |
| Grunnfarnes, Troms | fly | - | 270 km/t | 750 | 100.000 | 18° | 11.09. 2007 | 5,7 |
| Selje, Sogn og Fjordane | fly | - | 270 km/t | 850 | 100.000 | 17,8° | 23.05. 2008 | 5 |
| Mølen, Vestfold | helikopter | Leica ALS50-II | - | 500 | 140.000 | 20° | 22.05. 2008 | 10 |
| Slagendalen, Vestfold | fly | Leica ALS50-II | 135 km/t | 550 | 142.000 | 20° | 21.04. 2009 | 10 |
| Borre Nasjonalpark, Vestfold | fly | Leica ALS50-II | 135 km/t | 550 | 142.000 | 20° | 21.04. 2009 | 10 |
| Gokstad, Vestfold | fly | Leica ALS50-II | 135 km/t | 550 | 142.000 | 20° | 21.04. 2009 | 10 |
| Halden, Østfold | fly | Leica ALS50-II | - | 650 | 133.000 | 17° | okt.07 | 10 |
| MEV, Akershus | fly, helikopter | Leica ALS50-II | - | 600 | 127.500 | 18° | aug.- sep. 2007 | 10 |
| Møsvatn, Telemark | fly | Leica ALS50-II | 135 km/t | 550 | 142.000 | 20° | 02.06 og 13.06. 2009 | 10 |
| Mårvatn, Telemark | fly | Leica ALS50-II | 135 km/t | 550 | 142.000 | 20° | 02.06 og 13.06. 2009 | 10 |
| Byglandsfjord en, Aust-Agder | helikopter | Leica ALS50-II | 70 km/t | 540 | 142.000 | 20° | 29.09. 2009 | 10 |
| Kongsberg, Buskerud | fly | - | 270 km/t | 1200 | 70.000 | 18° | 24.04. 2005 | 3 og 5 |
| Grimsdalen, Oppland | helikopter | TopEye system S7N 700 | - | 400 | - | - | 22.08. 2010 | 10 |
| Larvik, Vestfold | helikopter | TopEye system S7N 700 | - | 450 | - | - | 03.-04. og 07.06. 2010 | 10 |

Det er blitt anvendt både fly og helikopter som har operert i flyhøyder på mellom 400 og 1200 meter over terrenget. Flyhøyden er en av de variabler 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. Pulsrepetisjonsraten (antallet pulser som sendes ut fra sensoren per tidsenhet) har i våre prosjekter ligget på mellom 70.000 Hz og 142.000 Hz og skanningsvinkelen på mellom 17 og 20°.

Skanningstidspunktene for de samme prosjektene dekker stort sett hele sommerhalvåret fra

den tidligste flyving 21. april til den seneste som ble utført 26. oktober. Datoen for når skanningene er foretatt er i denne sammenheng kun interessant på grunn av den nære koblingen mellom årstid og vegetasjon. For å identifisere kulturminner er det vanligvis viktig å lage en modell av bakken hvor vegetasjonen er fjernet. Selv om en av de største fordelene med laserskanning er at laserpulsenes fordeling over hele arealet gjør det mulig å utnytte åpninger i vegetasjonen slik at de når helt ned og returneres fra bakken, er også vegetasjonens beskaffenhet ellers av stor betydning for kvaliteten på den digitale terrengmodellen. Noen av laserpulsene vil normalt trenge gjennom vegetasjonen og nå ned til bakken, men det vil være slik at jo tettere vegetasjon, dess flere laserpulser returneres fra blader, grener og stammer isteden for fra bakken. Vegetasjonens karakter endrer seg med årstiden, noe som 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 utvisker høydeforskjeller i terrenget. Utfordringen er å treffe det mest optimale tidspunkt hvor all snø er borte og før ting begynner å spire og gro. Store høydeforskjeller innenfor området som skal skannes vil gjøre det ekstra vanskelig å treffe riktig tidspunkt da vegetasjonen vokser frem til forskjellig tid alt etter hvilken høyde over havet terrenget ligger i. På hvilken breddegrad skanningsområdet befinner seg er selvsagt også av betydning da årstidene arter seg forskjellig innenfor de ulike deler av landet.

Som oversikten i Tabell 1 viser har vi i våre prosjekter stort sett brukt 5 eller 10 pkt/m² som standard, men vi har også samlet inn data med 3 og 4 pkt/m². Det er viktig å ha klart for seg at punkttetthet per kvadratmeter er et uttrykk for den oppløsningen en teoretisk ønsker å oppnå, men at tettheten i realiteten kan variere ganske kraftig innenfor det skannede arealet. Dette kommer spesielt tydelig frem når en jobber med digitale terrengmodeller generert av bakketreffene i et datasett hvor retur fra vegetasjon, bygninger osv. er filtrert bort. Her vil punkttettheten variere alt etter tettheten på vegetasjonsdekket over bakken. I områder med mye vegetasjon vil vi få færre bakkepunkter enn i områder med lite eller ingen vegetasjon. Variasjonen innenfor et og samme område vil derfor i regelen være meget stor. Den gjennomsnittlige punkttetthet sier likevel noe om kvaliteten eller oppløsningen på terrengmodellen og generelt er det en sammenheng mellom høy punkttetthet og høy oppløsning på terrengmodellene som fremstilles. Det er likevel grunn til å stille spørsmålet om hvor høy punkttetthet en kan nøye seg med – hva er godt nok for å fange opp de fleste kulturminnetyper? Dette spørsmålet kommer vi tilbake til i neste kapittel.

Som nevnt ovenfor kan punkttettheten reguleres ved å variere flyhøyden. En annen måte 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 uskarp oppløsning på terrengmodeller som følge av en mer upresis interpolering enn hvis skanningspunktene var samlet inn i en og samme operasjon (se også under punkt 2.3). Dette er foreløpig en antakelse og det er behov for å undersøke dette nærmere.

Det erfaringsgrunnlaget vi har opparbeidet gjennom disse LiDAR-prosjekter gjør det mulig å konkludere med at skanningstidspunkt og oppløsning på terrengmodellene (passe høy punkttetthet) er de to viktigste forholdene når en skal gjennomføre en flyskanning som skal resultere i en høyoppløselig bakkemodell som vil være anvendelig til detektering av kulturminner.

2.2 Oppløsning på data

Som et ledd i å øke kunnskapen om sammenhengen mellom henholdsvis punktetthet og glatting i et laserdatasett på den ene siden og muligheten for å detektere kulturminner i samme laserdatasett på andre siden, ble delprosjektet “Kvantifisering av effekter ved visuell tolkning av LiDAR-genererte digitale terrengmodeller med hensikt å påvise kulturminner i skog” igangsatt i samarbeid med Institutt for naturforvaltning (INA) ved Universitetet for miljø og biovitenskap (UMB). Dette arbeidet knytter seg opp mot prosjektets delmål A. Pulstetthet og glatting er to av de viktigste faktorer i forhold til terrengmodellens lesbarhet og dermed avgjørende for muligheten for å oppnå gode tolkningsresultater. Dette er kunnskap som blant annet er av stor viktighet for at brukere av LiDAR-data kan øke sin bestillerkompetanse. I tillegg er det av betydning ved vurderinger av om en skal ta i bruk eksisterende LiDAR-data som er samlet inn med annet formål enn kulturminneregistrering. Det finnes per i dag lite forskning som har hatt som mål å kvantifisere betydningen av pulstetthet og glatting i forhold til det å analysere og tolke digitale terrengmodeller. Denne studien har hatt som mål å fremskaffe gode kvantitative data som kan brukes til å belyse dette problemkompleks.

Denne problemstillingen har vi grepet an ved å ta i bruk et eksisterende datasett på 10 pkt/m² fra Eidsvoll og Nannestad kommuner som var samlet inn med skogtaksering som formål². Innenfor de to kommunene valgte vi ut ni ruter á 500x500 meter som ble feltregistrert sommeren 2010 med henblikk på å skaffe en “fullkommen” fasit over forekomsten av kulturminner³ (**Figur 2**). Hovedparten av arealet de ni rutene dekker lå i skog, mens en mindre del var dyrket mark. Terrenget var i hovedsak relativt flatt, men stedvis noe kupert og kan beskrives som et typisk indre Østlandsterreng. De skogdekte delene av undersøkelsesområdet var preget av blandingsskog, primært gran og furu med innslag av bjørk. Innenfor de ni rutene ble det funnet til sammen 334 kulturminner (**Tabell 2**). En meget stor prosentdel av kulturminnene var kullmiler som finnes i rikt monn i disse traktene. Kullmilene knytter seg til jernproduksjon på Eidsvoll verk som var i bruk en 200-års periode fra 1620-tallet til 1820-tallet. I tillegg ble det funnet eldre kulturminnetyper som gravhauger, kullgroper og fangstgroper samt noen nyere tids tufter og tjæremiler. Fordelingen av kulturminner innenfor de ni rutene varierte ganske mye fra seks objekter i rute 2 til 66 i rute 10⁴ med et gjennomsnitt på 36 kulturminner per rute.

² Dataene stammer fra FoU-prosjektet *Miljøregistreringer i skog – LiDAR og kulturminner* som gjennomføres av Norsk institutt for skog og landskap i samarbeid med NIKU.

³ Feltarbeidet ble utført av Anneli Nesbakken, Kristin Os og Ole Risbøl, alle fra NIKU.

⁴ Opprinnelig hadde vi 11 ruter som under arbeidet ble redusert til ni, men den opprinnelige rutenummereringen ble beholdt. Rutene 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10 og 11 inngikk i forsøket.



Figur 2. Feltregistrering av kulturminner i Eidsvoll. Foto: Ole Risbøl, NIKU.

Tabell 2. Kulturminnene som ble registrert i Eidsvoll og Nannestad fordelt på type.

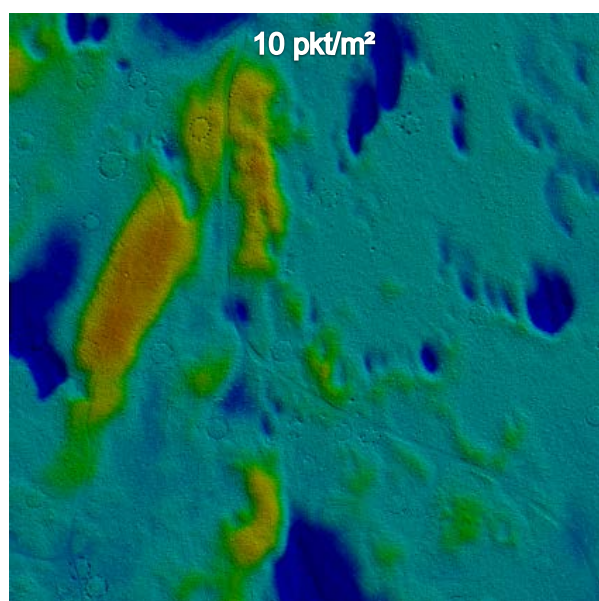
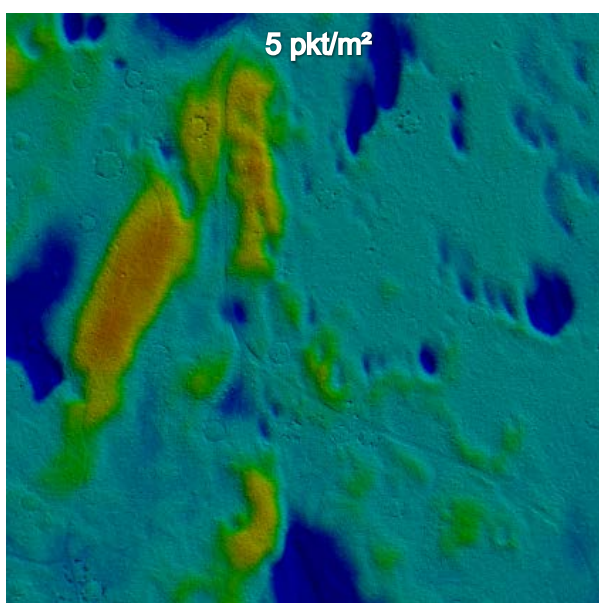
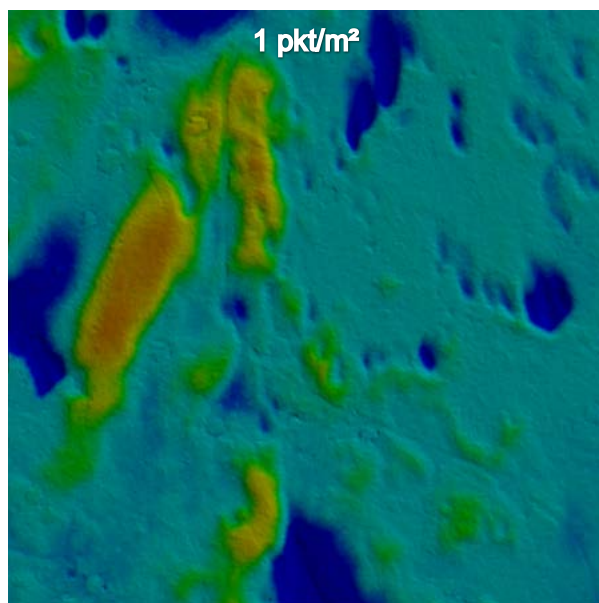
| Kulturminnetype | Antall |
|-----------------|--------|
| Kullmiler | 205 |
| Kullgroper | 48 |
| Fangstgroper | 25 |
| Gravhauger | 14 |
| Tjæremiler | 14 |
| Hulveier | 11 |
| Diverse groper | 10 |
| Tufter | 7 |
| I alt | 334 |

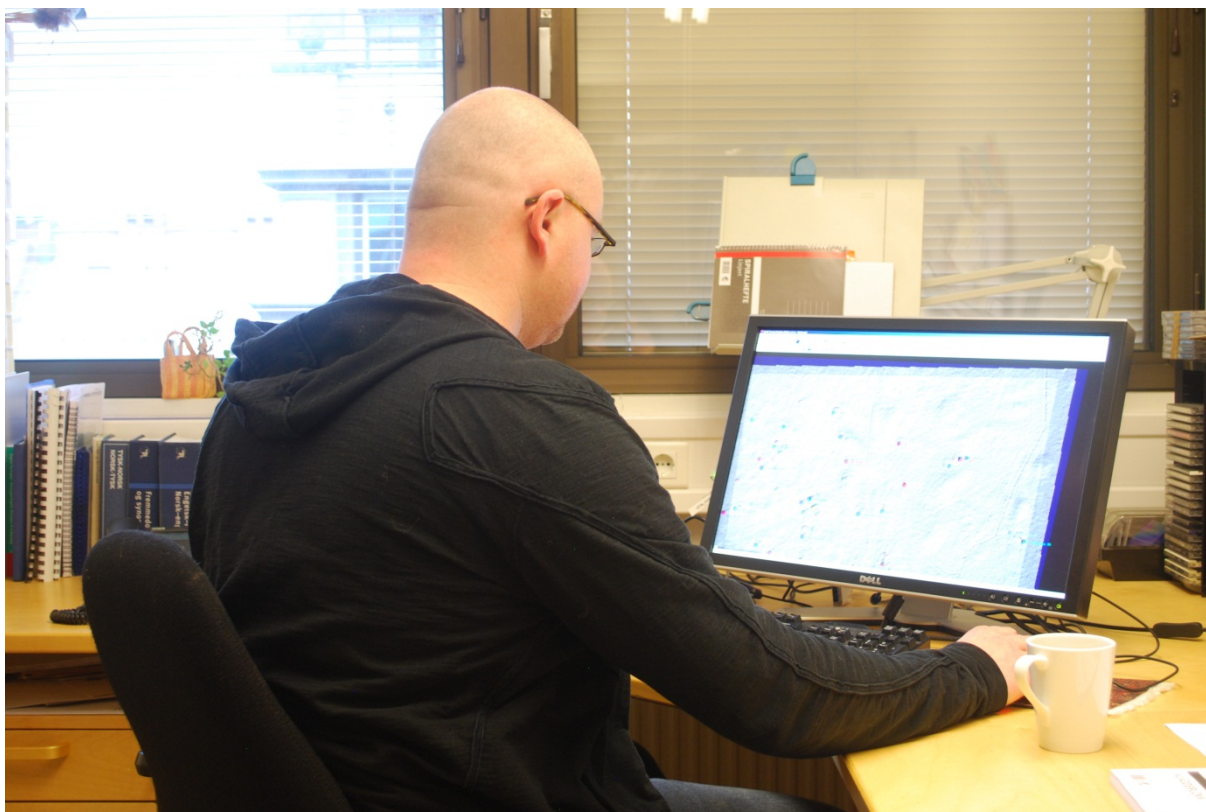
For hver av de ni rutene ble det fremstilt digitale terrengmodeller med forskjellig punkttetthet (1, 5 og 10 pkt/m²) og tre forskjellige typer glattinger slik at 81 testruter (9 x 3 x 3) har dannet grunnlaget for undersøkelsen. Rutene som ble anvendt var alle digitale terrengmodeller hvor punkter fra vegetasjon og bygninger var filtrert bort. Laserdataene som ble brukt i testen hadde som tidligere nevnt i utgangspunktet en tetthet på 10 pkt/m². Disse dataene ble tynnet til 5 og 1 pkt/m² og terrengmodeller ble generert for hver av de tre tetthetene (**Figur 3**). I tillegg ble det brukt tre ulike glattinger for hver av terrengmodellene. Deretter gjennomførte vi en kontrollert test hvor et testpanel på fire arkeologer med erfaring fra bruken av laserskanningsdata detekterte kulturminner på de 81 rutene ved pc-skjermen⁵ (**Figur 4**). Hver tolker utførte tolkninger basert på hvert parameteroppsett for hver tolkningsrute. Oppgaven deres var å finne og tolke så mange kulturminner som mulig innenfor de 81 rutene. Tolkningen blir utført med innsyns- og analyseprogramvaren Quick Terrain Modeler

⁵ De fire som deltok var: Rut Langbrekke Nilsen, Hans Marius Johansen, begge fra Sør-Trøndelag fylkeskommune, Kjetil Skare fra Hedmark fylkeskommune og Christer Tonning fra Vestfold fylkeskommune.

(QTM) versjon 7.1.1 ved bruk av de funksjoner som normalt anvendes til tolkning av terrengmodeller i denne programvaren. Med QTM er det mulig å optimalisere visualiseringen av modellen og til dels manipulere modellene slik at så mange anomalier som mulig kan påvises og tolkes. Anomalier forstås her som strukturer som skiller seg ut på terrengmodellen fordi de avviker fra topografien – typisk som konvekse eller konkave strukturer. Den kunstige lyskilden som modellen er utstyrt med for å skape relieffvirkning (lysskygge) kan enkelt flyttes rundt 360° samtidig som vinkelen på lyset justeres med denne programvaren. Det kan lages digitale profiler gjennom kulturminnene for derved å få laget en tegning som viser det valgte objekt i tverrsnitt. Modellens høydeverdi kan i tillegg manipuleres slik at anomalier forstørres, noe som også kan bidra til å forbedre tolkningsmulighetene. Med denne programvaren som verktøy og de analysemuligheter den åpner for, kan LiDAR-dataene analyseres og anomalier gis en tolkning.

På neste side vises **figur 3** som et eksempel på de tre oppløsninger som ble brukt i studien. Hver rute måler 500 x 500 meter.

Figur 3.



Figur 4. Tolkning av digitale terrengmodell pågår. Foto: Anneli Nesbakken, NIKU.

Vi forutså at det kunne bli et problem at tolkerne skulle kjenne seg igjen når samme tolkningsrute dukket opp flere ganger og at de dermed vil kunne påvise kulturminner de egentlig ikke ville ha kjent igjen om det ikke hadde vært for at de hadde tolket ruten før med en bedre oppløsning/glatting. Denne utfordringen ble forsøkt imøtekommet dels ved randomisering av tolkningsrutene og dels ved å rotere noen av terrengmodellene 90, 180 og 270°. Alle 81 filer fikk i tillegg unike filnavn for at det ikke skulle være mulig å se at samme scene skulle tolkes på nytt. Det store antall scener har også i seg selv bidratt til å svekke hukommelsen.

Med fasiten fra feltarbeidet og resultatene fra testpanelet er vi nå i stand til å analysere effekten av tre forskjellige punkttetthet og glattinger. Dessuten kan vi kontrollere effekten av tolkeren (testpersonen) og om det oppsto en evt. læringsprosess under tolkningsarbeidet. Vi kan også gjøre interessante analyser som viser sammenhengen mellom deteksjonssuksess og kulturminnenes form og størrelse, vegetasjonsdekke osv. Som nevnt ovenfor er dette analysearbeidet ikke ferdigstilt. En kort visuell studie av tolkningsdataene viser imidlertid en tendens som tyder på at det skjer en kraftig økning i antall detekterte kulturminner fra terrengmodellene med 1 pkt/m² til dem med 5 punkter, mens denne økningen flater ut mellom 5 og 10 punkts-dataene (**figur 5**). En studie foretatt av Norsk Regnesentral nylig på fangstgroper synes å bekrefte dette mønsteret (Trier et al. 2011, 133ff).

Alle tolkerne tolket hele studieområdet som var delt inn i de ni tolkningsruter på 500x500m. Tolkningen av de 81 rutene skulle gjennomføres innenfor en tidsramme på til sammen ca. 14 timer effektiv tolkningstid, hvilket gir et gjennomsnitt på rundt 10 minutter per rute. Tidsrammen viste seg å være noe stram og tolkerne ble tilbudt mer tid, men avsto dette og

⁶ Av tekniske grunner kunne vi ikke bruke de som var rotert til 90°, slik at det i testen utelukkende var ruter som ikke var rotert eller de var rotert 180 eller 270°. Det så ikke ut til å ha større effekt på gjenkjenningen da tolkerne etter eget utsagn gjennomskuet dette etter at 8-10 ruter var gått gjennom.

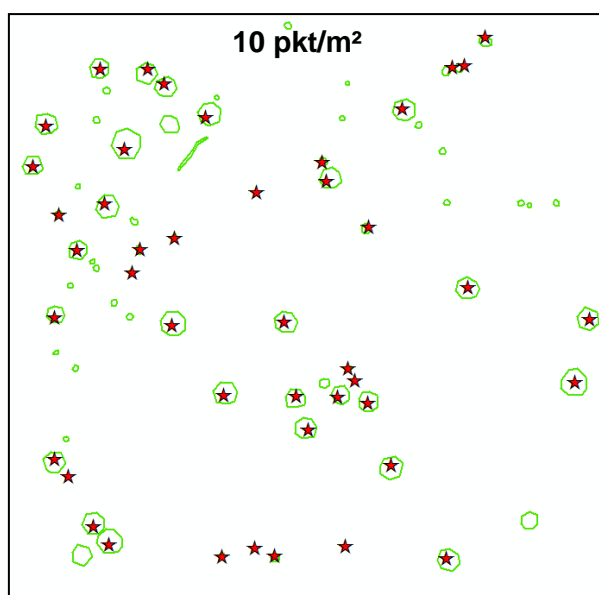
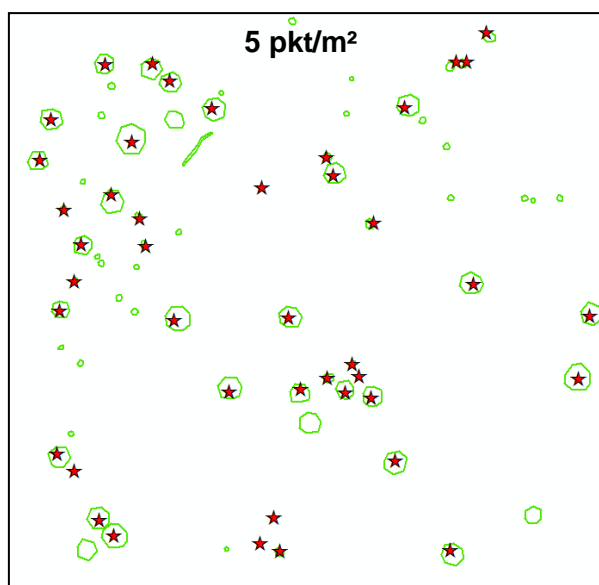
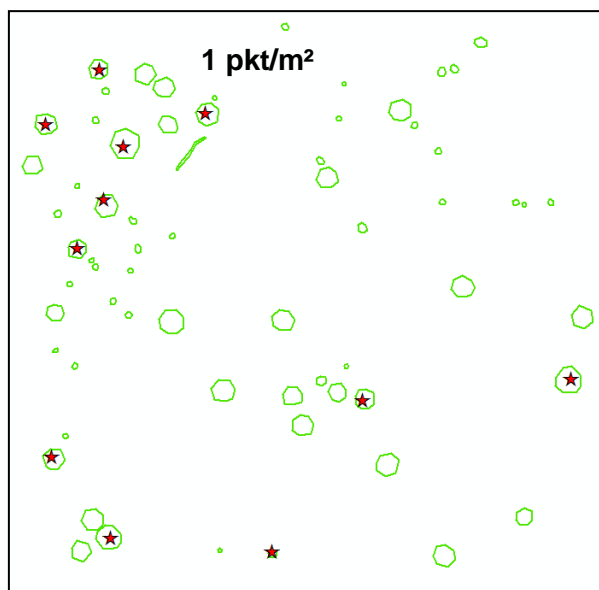
gjennomførte testen innenfor tidsrammen. Tolkerne disponerte for øvrig tiden selv og sto fritt i forhold til hvor lang tid de ønsket å bruke på de enkelte rutene. Det ble imidlertid gjort klart at alle 81 ruter skulle tolkes innenfor den samlede tidsrammen.

Ved tolkningen av terrengmodellene måtte hver tolker markere posisjonen med en markør på selve modellen der denne mener å ha funnet et kulturminne. En buffer på 1 meter vil bli lagt til rundt det feltregistrerte polygonet rundt hvert kulturminne. Innenfor dette arealet vil eventuelle markører satt av tolkerne bli akseptert som korrekte når analysen skal gjennomføres.

Som en ekstra kvalitetssikring av forholdet mellom terrengmodell og det virkelig terreng var det i forsøksdesignet lagt opp til at vi skulle sjekke de steder hvor tolkerne fant mulige kulturminner på terrengmodellene som ikke ble påvist under feltarbeidet. Disse ble sjekket i felt i etterkant. Utvelgelsen av de potensielle kulturminner som ble sjekket i felt ble gjort på bakgrunn av en helhetsvurdering. Antall markeringer på samme sted og antall tolkere som sto bak disse ble vektlagt sammen med en sjekk av den pågjeldende terrengmodellen i høyeste oppløsning. På den måten ble 27 sjekkpunkter fordelt nokså jevnt utover de ni rutene prioritert for feltsjekk. Feltsjekken viste at åtte av disse var kulturminner oversett under feltarbeidet i 2010, mens resten var naturformasjoner eller inngrep fra nyere tid. De åtte nyregistrerte kulturminnene kommer i tillegg til de 326 registrert i fjor, slik at det samlede antall kulturminner innenfor de ni rutene nå er 334. Omregnet i prosent betyr det at 2,4 % av kulturminnebestanden ikke ble funnet under førstegangsregistreringen.

Det primære målet med denne testen var å undersøke i hvilken grad pulstetthet og glatting påvirker deteksjonsraten for kulturminner. Samtidig vet vi at det er sannsynlig at det finnes en effekt av hvem som tolker og i hvilken rekkefølge scenene blir tolket. For at dette ikke skulle influere på resultatet, noe som kunne ha skjedd hvis for eksempel alle tolkere hadde tolket de høyoppløselige dataene først, ble rekkefølgen randomisert. Med det forsøksdesignet som ble brukt er det også mulig å ta ut informasjon om en læringseffekt forekom under forsøket og hvorvidt det er forskjeller mellom tolkerne.

På neste side ses **figur 5** som et eksempel på tolkningsresultat. En ser umiddelbart en forskjell mellom 1 pkt/m² og de to øvrige, mens forskjellen mellom 5 og 10 pkt/m² er mindre tydelig.



Figur 5.

2.3 Rådata

Når et område laserskannes fra fly samles det inn punkter fra alle typer overflater (toppen av vegetasjon, bygninger osv.). Når hensikten er å generere en detaljert digital terrengmodell er det en vesentlig utfordring å rense bort alle uønskede retursignaler. Rensingen øker samtidig risikoen for å fjerne informasjon som er ønskelig å beholde for å få optimal oppløsning på terrengmodellene. Filtring av dataene blir gjort etter leverandørens standardmetoder og med programvarer som ikke nødvendigvis er tilpasset kulturminneformål. Spørsmålsstillingen her var derfor om det er et forbedringspotensial i forhold til prosessering av innsamlete laserdata. Ved prosesseringen som foretas etter at dataene er samlet inn gjøres det noen valg som har betydning for det endelige resultat. Så langt har vi i våre prosjekter basert oss på ferdigprosesserte data uten å ha innflytelse på prosessen som skjer fra disse er samlet inn og til vi får det ferdige klassifiserte datasettet med punkter. Uten å ha empirisk belegg for det, anslår vi at det mest vanlig at arkeologer som bruker flyskanningsdata i sitt arbeid skaffer seg ferdigprosesserte data.

For å få bedre innblikk i disse problemstillingene valgte vi å bruke eksisterende kompetanse som er opparbeidet på dette feltet i andre miljøer som har jobbet med LiDAR og arkeologi gjennom en årrekke. Gjennom det internasjonale forskningsprosjektet Ludwig Boltzmann Institute for Archaeological Prospection and Virtual Reality (LBI) samarbeider NIKU med personer og forskningsmiljøer med spisskompetanse på geofysikk og fjernmåling – herunder LiDAR. I LBI ledes arbeidet med LiDAR av arkeolog Michael Doneus fra det arkeologiske institutt ved Universität Wien (UW) som har hatt et årelangt samarbeid med Technische Universität Wien (TUW) og spesielt med Christian Briese som også deltar i LBI-prosjektet. Dette samarbeidet mellom arkeologer og teknikere har gjort det mulig å ta tak i mer grunnleggende tekniske problemstillinger knyttet til laserskanning og dens bruk til arkeologisk registrering og dokumentasjon. Arkeologer ønsker høy detaljeringsgrad på terrengmodellene i sitt arbeid med å detektere kulturminner, noe som gjør det viktig å samarbeide med teknikere som kan bidra til å oppnå det mål.

Høsten 2010 ble det avholdt et møte mellom NIKU og forskerne som jobber med flyskanning i LBI-prosjektet. Dette møtet resulterte i avtalen om å arrangere en workshop i regi av LBI i Østerrike i mars 2011. Det ble også bestemt at NIKU skulle tilbringe tre dager i forlengelse av workshopen for å jobbe med laserskanningsdata fra Larvik⁷. Sentrale temaer på workshopen og det etterfølgende opphold på TUW var prosessering av LiDAR-data og bruk av full-wave-skanning.

På TUW utvikler de programvare som kan brukes til å håndtere laserskanningsdata. Den første programvaren de har utviklet kalles SCOP++ som primært er en programvare tilpasset filtrering av laserskanningsdata (http://www.inpho.de/index.php?seite=index_scope). Filtringen kan fininnstilles etter forskjellige terskelverdier for vegetasjon fra grov til fin filtrering. Dette gjør den spesielt velegnet for å jobbe med data fra skog. Det anbefales å teste filtreringen på et lite utvalgt område for deretter å overføre parameterne til hele det skannede området. SCOP++ er på vei ut og vil på sikt erstattes av en ny programvare kalt OPALS som så langt er utviklet med kvalitetskontroll for øye, men som innen kort tid vil bli utviklet til også å kunne brukes til filtreringsprosessen (http://www.ipf.tuwien.ac.at/opals/opals_docu/index.html).

Det finnes i dag tre forskjellige filtreringsmåter: 1. morfologisk filtrering, 2. TIN-triangulering som er den vanligste og brukt av TerraSolid (TerraScan) og en tredje som kalles hierarkisk robust interpolasjon som skal være best egnet av de tre når en jobber med skanningsdata fra

⁷ Larvik-skanningen ble foretatt i 2010 og er delvis finansiert av Vestfold fylkeskommune som fikk gjort skanningen i samarbeid med NIKU innenfor LBI-prosjektet. Christer Tønning fra Vestfold fylkeskommune deltok i Østerrike-oppholdet sammen med Anneli Nesbakken og Ole Risbøl fra NIKU.

skogsterreng. Forskjellige filtreringsalgoritmer er vurdert i en ofte sitert publikasjon av Sithole & Vosselman fra 2003 og denne studien av algoritmer skal følges opp mer målrettet mot arkeologi innenfor LBI-prosjektet.

En av grunnene til å utvikle OPALS frem for SCOP++ er at sistnevnte har vanskeligheter med å håndtere store datamengder. Mens OPALS kan håndtere 10^9 punkter klarer SCOP++ ikke mer enn maksimalt 20 mill. punkter. Å jobbe med 20 mill. punkter byr ifølge dem som har utviklet programvaren ofte på tekniske problemer og det anbefales å ikke jobbe med mer enn maksimalt 4 mill. punkter. OPALS har moduler for kvalitetskontroll av data, flystripejustering og geomorfologi og flere moduler kommer. Det er tilpassede verktøy for planlegging av flyvningen, og moduler for testing av punktetthet samt relativ og absolutt georeferering, som kan utjevne forskjell mellom flystriper. Når det laserskannes fra fly oppstår det ofte feil i plan på grunn av forskyvning mellom flystripene, noe som kan rettes opp ved å foreta en "strip adjustment" (Kager 2004). OPALS er klar til bruk til kvalitetssikring av data, men det jobbes fremdeles med å utvikle denne programvaren til også å omfatte filtrering av data.

Forut for oppholdet ved TUW sendte vi et utsnitt av Larvik-skanningen nedover til Wien, slik at de der kunne behandle dataene etter sine rutiner og med de programvarene de vanligvis bruker i sitt arbeid. Tanken var å sammenligne resultatet med de digitale terrengmodeller levert av skanningsoperatøren Blom Geomatics (<http://www.blomasa.com/>) som var de som sto bak Larvik-skanningen. Larvik-dataene ble fremskaffet i rådataformat og et ca. 2x2 km stort område ble valgt ut for nærmere behandling hvor stripejusteringen ble gjort i OPALS og filtreringen i SCOP++. Tiden tillot ikke å gjøre en fullstendig og grundig komparativ studie mellom Bloms standardprosessering og TUWs prosessering under studieoppholdet ved TUW, men umiddelbart var det ikke den store forskjell å spore. Dette bør imidlertid følges opp av en mer grundig studie hvor en ser nærmere på områder med mye bakkenær vegetasjon f.eks. Vår antagelse om at det er et forbedringspotensial i forhold til hvordan etterprosessering av dataene foregår, står likevel fremdeles ved lag og må utredes videre, noe som forutsetter et samarbeid mellom teknikere og folk med kulturminnekompetanse.

Ved oppholdet i Wien fikk vi også bedre innsikt i hvordan full-wave-data kan brukes til å forbedre filtreringen og klassifiseringen av skanningsdataene. Dette er tema for neste avsnitt.

2.4 Full-waveform versus konvensjonell skanning

Erfaringene fra bruken av LIDAR til kulturminnedetektering viser at vegetasjon som sperrer for innsyn til bakken langt på vei lar seg fjerne som et ledd i etterprosesseringen, men at bakkenær vegetasjon er en utfordring. Det skyldes at det ofte ikke er mulig å skille mellom returer fra bakken og fra vegetasjon som ligger ganske nær bakken ved bruk av den konvensjonelle skanningsmetoden. Dette er derimot i høyere grad mulig når det anvendes full-waveform-skanning.

De fleste laserskanningsprosjekter gjennomføres ved bruk av konvensjonell teknikk. I de senere årene er full-waveform-skanning kommet til som en ny og forbedret metode for innsamling av data. Den gjør det mulig å foreta en mer fintfølende bortrensing av bakkenær vegetasjon enn det som er mulig med konvensjonell teknikk. Ved bruk av full-wave-skanning er det mulig å skille mellom returer som ligger tettere hverandre i tid, fordi den samler inn flere opplysninger om den enkelte retur.

Våre samarbeidspartnere ved UW og TUW har gjennom flere år testet ut metoden med godt hell i forhold til kulturminner i Wien-regionen (Doneus & Briese 2006). Det mest vellykkete eksempel er fra et skogsområde sør for Wien hvor man ved bruk av full-wave-metoden klarte

å eliminere kvisthauger og mye mer av den lave bunnvegetasjonen enn det som var mulig med konvensjonell skanning (Doneus et al 2008).

Resultatene er så interessante at potensialet for å forbedre konvensjonell skanning bør utredes innenfor et norsk prosjekt på bruk av full-waveform-skanning. Å teste ut metoden i norske landskap vil kunne belyse om full-waveform-teknikken kan bidra til å oppnå enda bedre grunnlag for å tolke de digitale terrengmodellene spesielt i områder med tett barskog. Hensikten med et slikt prosjekt vil være å opparbeide seg kunnskap om full-waveform-metodens anvendelighet og potensialet som ligger i forbindelse med etterprosesseringen av full-waveform-data. Til et slikt formål kan det hentes inn nye data eller tas i bruk allerede eksisterende data⁸. Resultatene vil da kunne sammenlignes med den konvensjonelle laserskanningen som tidligere er foretatt.

2.5 Oppsummering

Med henblikk på å øke kunnskapen om punktetthet og glatting av laserskanningsdata er det innenfor delmål A i dette prosjektet igangsatt en kontrollert test som omfatter bruk av et testpanel som har tolket et stort antall terrengmodeller. Analysene av testen er ikke foretatt ennå, men vil bli gjennomført og publisert i løpet av 2011. Det finnes flere inngangsvinkler til datamaterialet som er samlet inn og vi planlegger å publisere flere resultater også etter 2011.

Deltakelsen på LBI workshopen og studieoppholdet ved TUW har økt vår kunnskap om hvordan det jobbes i krysningspunktet mellom laserskanningsdata og arkeologi i forskningsmiljøer som har satset på et samarbeid mellom arkeologer og teknikere. Vi fikk videre et godt innblikk i muligheter og begrensninger som de to programvarene SCOP++ og OPALS byr på. Dette var inspirerende i forhold til å gå videre fra dagens situasjon der vi bestiller ferdigprosesserte data fra LIDAR-leverandørene.

I det videre arbeidet vårt ønsker vi å ha større innvirkning på filtreringen og interpoleringen av datasettene samt bli i stand til å gjøre en solid kvalitetskontroll av dataene. Dette i tillegg til ønsket om å jobbe videre med å utrede hva full-wave-skanning kan bidra med. Tilnærmingen til dette ser vi for oss kan skje ved å ta i bruk Larvik-dataene, samt eventuelt andre datasett, og at dette arbeidet gjennomføres i samarbeid med miljøer med teknisk kompetanse på LiDAR. Dette kan skje i samarbeid med LBI-ekspertisen, men det er samtidig viktig å sikre kontinuitet i samarbeidet mellom arkeologer og teknikere utover LBI-prosjektet og bygge opp norsk kompetanse på dette tverrfaglige feltet.

⁸ Skanningen som er gjort i NIKU-regi i Grimsdalen, Dovre kommune og skanningen av Larvik kommune som er bestilt av Vestfold fylkeskommune i samarbeid med NIKU er begge gjort med et TopEye-instrument som samler inn FWF-data i tillegg til konvensjonelle data.

3. Dokumentasjon og miljøovervåking av kulturminner og -miljøer ved regulerte vassdrag

Hovedmålet med denne delen av prosjektet var å videreutvikle og forbedre flybåren laserskanning som metode for å identifisere, dokumentere og overvåke kulturminner og -miljøer i vassdragsregulerte områder. Videre var det et mål å bidra med økt kunnskap om de forvaltnings- og verneutfordringer vassdragsreguleringer representerer samt å gjøre behov og muligheter for miljøovervåking bedre kjent.

I de senere årene er miljøovervåking blitt et viktig innsatsområde for kulturminneforvaltningen. Med miljøovervåking menes en kunnskapsinnhenting om kulturminner og kulturmiljøers tilstand som grunnlag for å påvise endringer av disse i tid og rom. Innhenting av tilstandsdata fra samme objekt eller område med tidsmessige intervaller er et bærende element i miljøovervåking. Kombinert med analyser av hvilke årsaker som ligger til grunn for endringene, gir den samlede kunnskapen et grunnlag for å forstå virkninger eller effekter av en utvikling og muligheten for å rette opp eller forebygge en uønsket utvikling.

3.1 Vassdragsproblematikk

Vassdragsproblematikk er en aktuell utfordring innenfor kulturminneforvaltningen noe som er synliggjort gjennom Riksantikvaren og NVE sin utredning og rapport vedrørende automatisk fredete kulturminner ved fornyelse og revisjoner av vassdragskonsesjoner (2006). Videre kommer dette klart frem av den oppfølgende utredningen som Riksantikvaren initierte og som resulterte i et faglig program for kulturminner i vassdrag i Sør-Norge (Indrelid 2009). Riksantikvaren har nylig igangsatt arbeid med tilsvarende faglige program for kulturminner i vassdrag i Midt- og Nord-Norge (Foosnæs & Stenvik 2010, Amundsen & Os 2011).

Kulturminner berørt av vassdragsutbygging er svært sårbare for inngrep og mange kulturminner og -miljøer er allerede skadet, fjernet eller på annen måte ødelagt som en følge av reguleringer (se for eksempel Amundsen et al. 2007, Bang-Andersen 2006, Indrelid 2006). Den generelle oversikten over kulturminner i og nær regulerte vassdrag er svært mangelfull. Det er en stor utfordring å skaffe bedre oversikt over, og dokumentere kulturminner langs vassdrag ved bruk av konvensjonell feltarbeid som både er kostnadskrevende og utfordrende i forhold til logistikk og sikkerhet (HMS).

Som et alternativ ønsket vi derfor å undersøke i hvilken grad LiDAR kan bidra til en kostnadseffektiv kartlegging av kulturminner langs vassdrag og se nærmere på hvordan laserskanningsdata kan anvendes i arbeidet med tilstandsanalyser og miljøovervåking. Mange kulturminner av ulik type slik som steinalderboplasser, fangstgroper, jernvinneanlegg, hustuffer og kullgroper finnes langs de opprinnelige strandlinjene. Vassdragsreguleringer har resultert i at et stort antall kulturminner er skadet eller fjernet på grunn av oppdemming. Samtidig som skadeomfanget er stort viser undersøkelser at det er betydelige variasjoner i skadevirkningene, fra total ødeleggelse til nesten ingen forstyrrelse, fordi prosessene varierer og virker forskjellig i ulike deler av det samme vannmagasin (se for eksempel Finstad 2007, 2008, Indrelid 2009:9-10). Mekanisk heving og senking av vannstanden i reguleringsmagasinene, som normalt skjer minst én gang hvert år, fører til bølgeslag, strømninger, isskuring osv., som igjen medfører endringer av terrenget på grunn av erosjon, overlaging og utrasing av masser. Tilstanden til kulturminner og -miljøer i regulerte vassdrag er derfor under konstant endring og reguleringen representerer generelt et stort trusselbilde mot kulturminneobjektene.

Kulturminnekartlegging i slike vassdrag er svært ressurskrevende og må ofte utføres innenfor den korte tiden hvor vassdragene er nedtappet. I tillegg er det ofte snakk om vanskelig tilgjengelig områder. Vår hypotese har vært at ved skanning fra fly kan store arealer dekkes på kort tid og gi et kostnadseffektivt grunnlag for å lokalisere og overvåke kulturminner. Hva regulerte vassdrag angår er det to hovedutfordringer som gjør seg gjeldende: ⁱ⁾ å kartlegge kulturminner i store områder som ofte ikke har vært registrert av arkeologer fra før og ⁱⁱ⁾ få etablert gode miljøovervåkingsopplegg som ikke er for ressurskrevende. Vi ønsket å se nærmere på hvordan LiDAR kan bidra til å løse disse utfordringene.

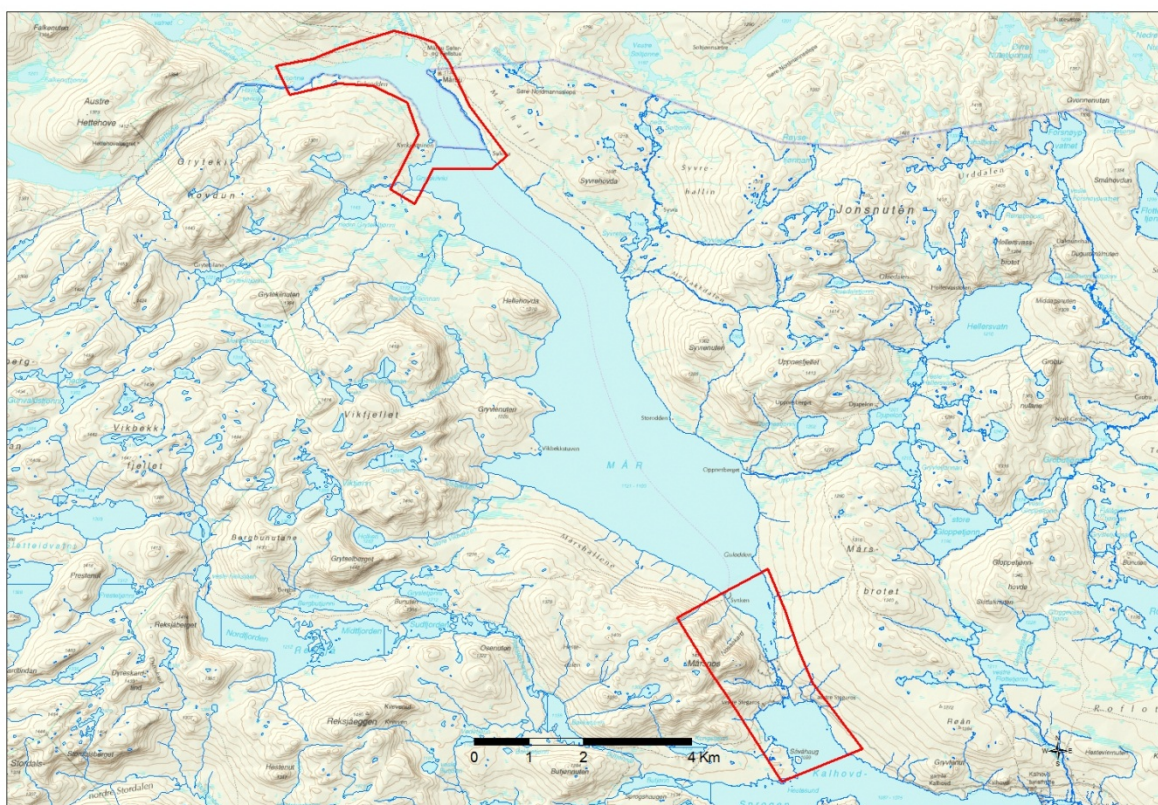
3.2 Skanning av vassdrag

Som en del av dette prosjektet ble deler av Mårvatn, Møsvatn og Byglandsfjorden laserskannet i 2009 og disse dataene dannet grunnlaget for arbeidet med denne delen av prosjektet⁹ (figur 6 og 7). Ved Møsvatn ble 9,7 km² skannet, mens tallet er 5,7 km² for Mårvatn. Grunnen til at disse områdene ble valgt som studieområder var todelt: dels hadde vi kunnskap om at det finnes mange kulturminner og kulturminnetyper rundt disse vannene, og dels at de representerer tre hovedlandskapsregioner: høyfjell, fjellskog/øvre dalbygder samt lavereliggende vann. Det har for øvrig vært et mål at resultatene skal ha overføringsverdi til regulerte vassdrag generelt, noe som også er bakgrunnen for valget av innsjøer i ulike landskapszoner. Den kulturhistoriske bruken av områdene har vært av forskjellig karakter slik at vassdragene samlet sett representerer mange forskjellige kulturminnetyper.



Figur 6. Kart som viser hvor det ble skannet ved Møsvatn. Kartgrunnlag: Statens Kartverk.

⁹ Av tekniske grunner viste Bygland-dataene å være vanskelige å jobbe med. Hovedparten av arbeidet med vassdragsskanningen er derfor basert på data fra de to andre vassdragene.



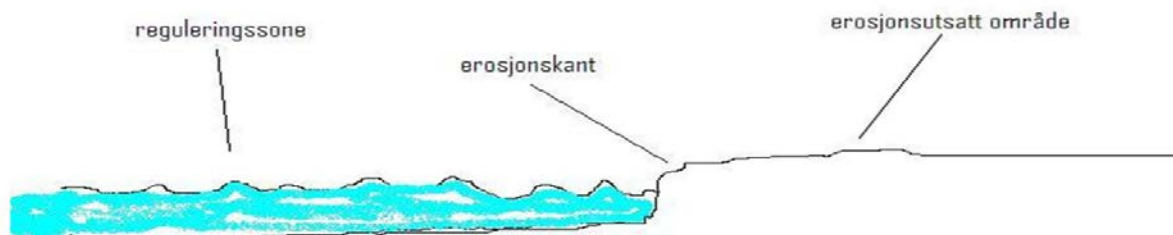
Figur 7. Kart som viser hvor det ble skannet ved Mårvatn. Kartgrunnlag: Statens Kartverk.

LiDAR-dataene fra vassdragene er blitt tolket med hensyn til forekomsten av kulturminner og deretter fulgt opp av en befaring der noen av de tolkede anomalier ble oppsøkt og enten verifisert eller avskrevet i felt. Det er ofte en utfordring å tolke de anomalier som fremkommer på relieffkartene og det er bestandig behov for å sjekke tolkningene eller et utvalg av tolkningene i felt. Dette var også tilfellet i dette prosjektet. Med på feltarbeidet som ble gjennomført høsten 2009 var representanter fra Riksantikvaren, Kulturhistorisk Museum og Telemark fylkeskommune¹⁰.

Tolkningene av terrengmodellene med etterfølgende feltverifisering ble senere fulgt opp av analyser av de digitale terrengmodellene i forhold til hvor synlige kulturminnene fremtrer på terrengmodellene. I dette arbeidet inngikk også en studie av sammenhengen mellom kulturminnenes synlighet og deres beliggenhet innenfor områder preget av vassdragsutbygging. Kulturminnenes synlighet ble også analysert i forhold til deres størrelse og ytre karakter samt tilstand. Ved tilstandsanalysen ble dokumentasjonen fra en arkeologisk registrering som NIKU gjennomførte ved Møsvatn i 1999 (Risbøl 1999) brukt i kombinasjon med skanningen fra 2009 (se nedenfor under kapittel 3.3).

På grunn av variasjoner i graden av desimering, ødeleggelse og fare for ødeleggelse valgte vi å dele de regulerte vassdragene inn i tre soner som grunnlag for å gjennomføre analysene: 1. selve reguleringssonen, 2. erosjonskanten og 3. erosjonsutsatt område (**figur 8**).

¹⁰ Deltakere på befaringen som ble foretatt 27. og 28. august 2009: Kristine Johansen og Isa Trøim fra Riksantikvaren, Inger Marie Berg-Hansen og Jostein Bergstøl fra Kulturhistorisk Museum, Åsne D. Meyer fra Telemark fylkeskommune samt Hilde R. Amundsen og Ole Risbøl fra NIKU.



Figur 8. Skisse som viser en inndeling av regulerte vassdrag i tre soner på tvers av landskapet.

3.3 Registrering og dokumentasjon

De digitale terrengmodellene ble tolket på vanlig vis for å finne nye ikke-registrerte kulturminner. Ved denne gjennomgangen ble det påvist 96 anomalier; 81 ved Møsvatn og 15 ved Mårvatn. Dataene ble overført til en håndholdt pc for feltbruk og ved en befaring til begge vannene ble i alt 15 av anomaliene oppsøkt i terrenget (**tabell 3**). Noen av de oppsøkte anomaliene viste seg å være kulturminner, mens andre var naturformasjoner eller spor etter nyere tids aktivitet. Dette understreker våre tidligere erfaringer med utfordringen å skille kulturminner fra naturformasjoner (Risbøl et al. 2006b, Risbøl 2007). Dette varierer imidlertid med formen på kulturminnet hvor anomalier med klar geometrisk form er lettere å skille fra dem med mer uregelmessig form.

Tabell 3. Oversikt over anomalier sjekket i felt.

| | Tolkning terrengmodell | Fasit i felt |
|---------|------------------------|--|
| Mårvatn | 6 groper | 2 fangstgroper 4 naturformasjoner |
| | 4 tufter | 1 tuft 3 massetak |
| Møsvatn | 3 kullgroper | 3 kullgroper |
| | 1 samling av groper | 1 samling av groper (uviss om kultur eller natur) |
| | 1 jernvinneanlegg | 1 naturdannelse |

Eksisterende registreringsdata fra Askeladden kombinert med nye fra laserskanningen gir et godt utgangspunkt for å sjekke i hvilken grad laser-genererte digitale terrengmodeller er velegnet til å detektere og dokumentere ulike kulturminnetyper i de vassdragsregulerte områdene. Å sammenholde dataene fra Askeladden med sammenfallende anomalier på terrengmodellen viste seg noen steder å være vanskelig på grunn av mangelfull nøyaktighet på kartfestingen i Askeladden. Uoverensstemmelsen var dog ikke større enn at analysen lot seg gjennomføre.

Ved Møsvatn var det 63 Askeladden-registreringer innenfor det skannede området. Av disse var syv funnsteder, slik at det reelle antall registrerte kulturminner var 56. Kun ni av disse (syv kullgroper og to jernvinneanlegg) var synlige på terrengmodellen, mens resten var lite synlige eller ikke synlige i det hele tatt. Ved Mårvatn var det 28 Askeladden-registreringer av hvilke ni (en tuft, seks fangstgraver og to stisystemer som er spor etter Nordmannsslepa) var

godt synlige på terrengmodellen. At det i hovedsak var groper og andre konkave strukturer som var synlige stemmer godt overens med tidligere erfaringer fra andre laserskanningsprosjekter.

Sammenhengen mellom tilstandsgrad og synlighet ble gjenstand for en enkel analyse. Ved den arkeologiske registreringen som NIKU gjennomførte i 1999 rundt utvalgte områder av Møsvatn ble de registrerte kulturminnenes tilstand delt inn i følgende fem tilstandskategorier: 1. meget dårlig, 2. ganske dårlig, 3. dårlig, 4. mindre dårlig og 5. god (Risbøl 1999). Tre av kulturminnene innen det skannede området tilhører kategorien ganske dårlig, 46 hører hjemme i dårlig og syv i mindre dårlig. Det faktum at tre av de syv kulturminner med mindre dårlig tilstand og ingen av kulturminnene i ganske dårlig tilstand var synlige på terrengmodellen viser at det er en viss sammenheng mellom kulturminners synlighet på terrengmodellen og deres grad av nedbryting. Dette viste også en gjennomgang av tilstanden til kullgroper i Elverum (Risbøl et al. 2007a).

Vi foretok også en analyse av sammenhengen mellom synlighet og kulturminnenes beliggenhet innenfor undersøkelsesområdene (**figur 9**). Ingen av de 47 kulturminnene som ligger i selve reguleringssonen (sone 1) på Møsvatn var synlige på terrengmodellen. Det samme var tilfellet ved Mårvatn, bortsett fra en enkel tuft som ses godt på terrengmodellen selv om den ligger i reguleringssonen. De ni kulturminnene som var synlige på terrengmodellen ligger alle på erosjonskanten (sone 2) eller ovenfor denne (sone 3). Hovedgrunnen til at såpass få kulturminner var synlige kan dermed forklares ut fra deres beliggenhet i sone 1. Likevel er dette ikke hele forklaringen da flere av kulturminnene i sone 2 og 3 var lite synlige eller ikke synlige i det hele tatt. Studier av de digitale overflatemodellene (modeller hvor vegetasjonen er beholdt) og av flybilder fra undersøkelsesområdene, viste i stedet at det er vegetasjon som gjør at disse kulturminnene ikke sees på terrengmodellene. At vegetasjon utgjør en utfordring for innsyn til bakken var ikke noe nytt. Det er noe som er godt dokumentert gjennom flere studier (Crow et al. 2007, Risbøl et al. 2007a) og som også omtales over.



Figur 9. Foto av jernvinneanlegg ved vestbredden av Møsvatn (Askeladden ID 77906). Det er samme anlegg som er gjengitt på terrngmodellen figur 14. Foto: Hilde Amundsen, NIKU.

Ved Møsvatn ligger majoriteten av kulturminnene i områder som er preget av en blanding av bjørkekratt og einer. Lav og tett vegetasjon som dette er ugunstig for muligheten for å fremstille en høyoppløselig terrengmodell ved hjelp av flyskanning med mindre det kan skannes på tider av året hvor vegetasjonen fremstår som glissen. Blader på trærne hindrer en stor del av laserpulsene å nå ned til bakken. Skanning i begynnelsen av juni slik det ble gjort ved Møsvatn var derfor trolig ikke det optimale tidspunkt. Det optimale tidspunkt er imidlertid vanskelig å treffe i et område som dette som både må være snø- og isfritt samtidig som løvsprettene ikke må ha kommet for langt. Vegetasjonen rundt Mårvatn er annerledes da den består av mye lyng ispedd vier og einerbusker. Eineren, og spesielt krypeineren som er ganske utbredt i fjellet, utgjør en stor utfordring ved skanning i fjellområder da den er tett og i tillegg eviggrønn¹¹. Det betyr at den – og lignende vekster - representerer et problem uansett når på året det skannes.

3.4 Tilstandsanalyse og miljøovervåking

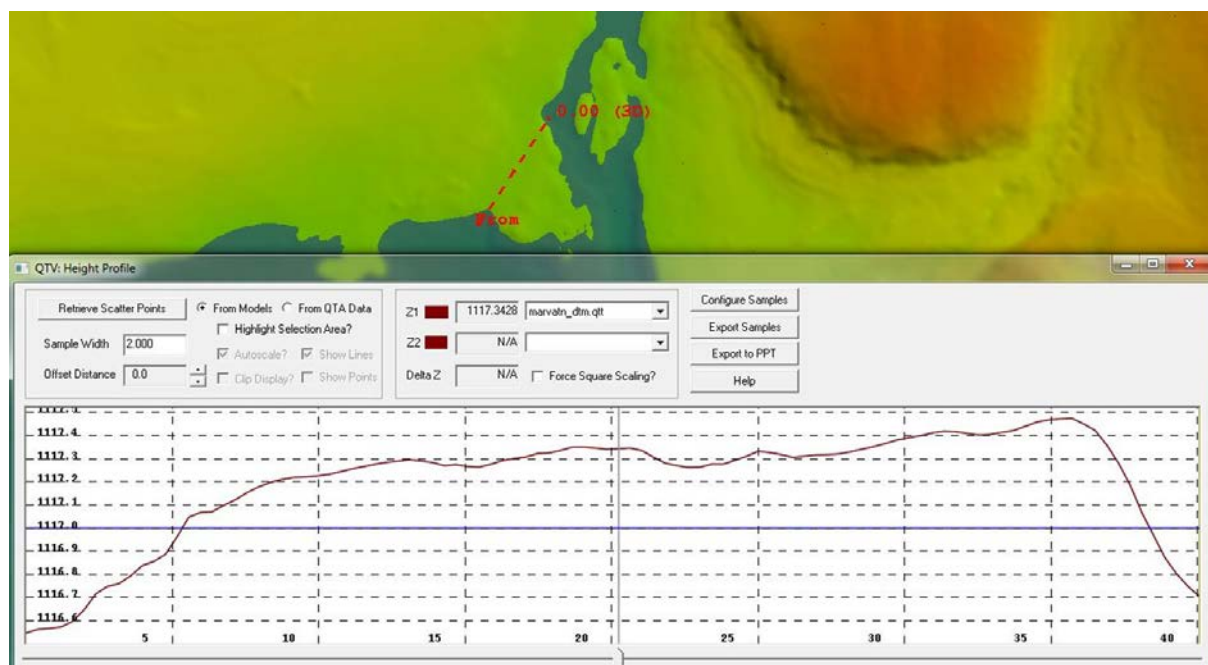
En tilstandsbeskrivelse utgjør en nødvendig basis for å kunne dokumentere endringer i kulturminners bevaringsgrad over tid. I regulerte vassdrag kan endringer av kulturminners bevaringstilstand relateres til virkninger av kraftproduksjonen, både i anleggs- og driftsfaser. Tilstandsbeskrivelse er en viktig forutsetning for miljøovervåking som innebærer at innsamling av tilstandsdata fra samme kulturminne, -miljø med tidsintervaller er et bærende element. Kombinert med analyser av hvilke årsaker som ligger til grunn for endringene, gir

¹¹ Dette er et problem vi bl.a. også har støtt på ved et skanningsprosjekt i Grimsdalen i Dovre kommune.

dette kunnskap om endringsprosesser og trusselbilder. Dette gir igjen forvaltningen mulighet for å varsle, rette opp og prøve ut avbøtende tiltak og/eller forebygge en uønsket utvikling. Per i dag er det igangsatt få miljøovervåkningsprosjekter knyttet mot vassdragsproblematikk og kulturminnevern (Indrelid 2009:142-145). Det er behov for å utvikle sikre og kostnadseffektive metoder for å følge med på endringsprosesser som grunnlag for å følge opp med tiltak.

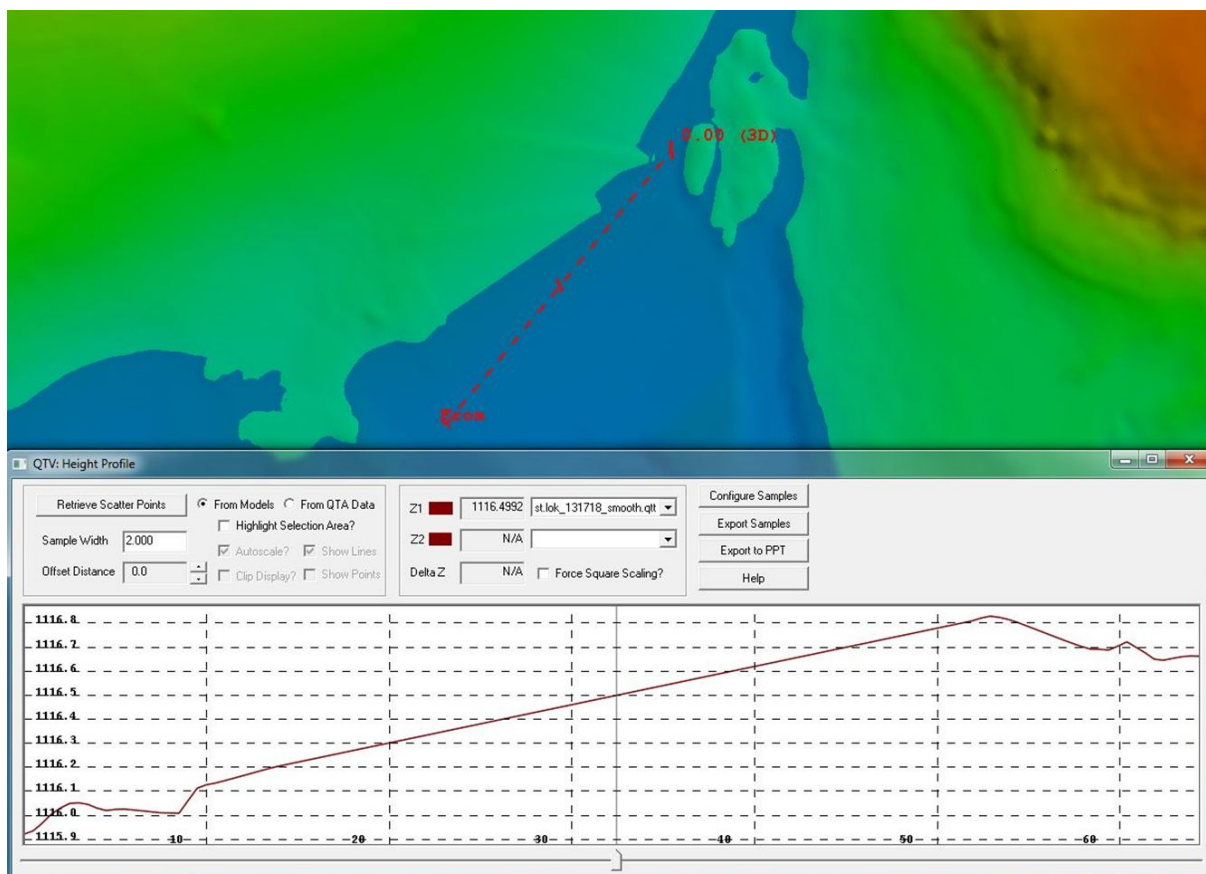
Metodikk og resultater av fjernmålingsbasert miljøovervåking av kulturminneverdier har vært testet ut innenfor en del prosjekter også her til lands. Potensialet for å bruke LiDAR til miljøovervåkingsformål innenfor forvaltningen av kulturminner er nevnt i flere sammenhenger (Barlindhaug et al. 2008, Skare 2011) men utgjør så langt et potensial som ennå ikke er tatt i bruk i noen særlig grad¹². I dette prosjektet har vi gjort noen forsøk på å foreta både visuelle og automatiserte endringsanalyser og noen eksempler på hvordan endringsanalyser kan gjennomføres basert på LiDAR-data skal presenteres her (se også Risbøl og Amundsen in press).

Grunntanken er å ta i bruk to eller flere digitale terrengmodeller som dekker samme område, men som er skannet på forskjellige tidspunkt. En slik tilnærming gir mulighet for å påvise fysiske endringer av vassdragslandskapet og deres effekter på kulturminner og -miljøer. LiDAR-data egner seg godt til å foreta endringsanalyser av den erosjonsutsatte sonen for eksempel. Erosjonskanten lar seg også lett identifisere og overvåke blant annet ved å lage tverrsnitt gjennom denne og de kulturminner som måtte befinne seg i dette sårbare området (**Figur 10 og 11**). Vi hadde ikke tilgang til to sett med skanningsdata fra samme område med tidsmessig mellomrom og brukte i stedet originalskanningen og en manipulert utgave av denne. Dermed var det mulig å foreta konstruerte endringsanalyser som illustrerer hvordan endringene vises visuelt. Figur 10 og 11 viser en steinalderlokalitet som har vært utsatt for en simulert endringsprosess i form av masseforflytning (erosjon og overlaging).



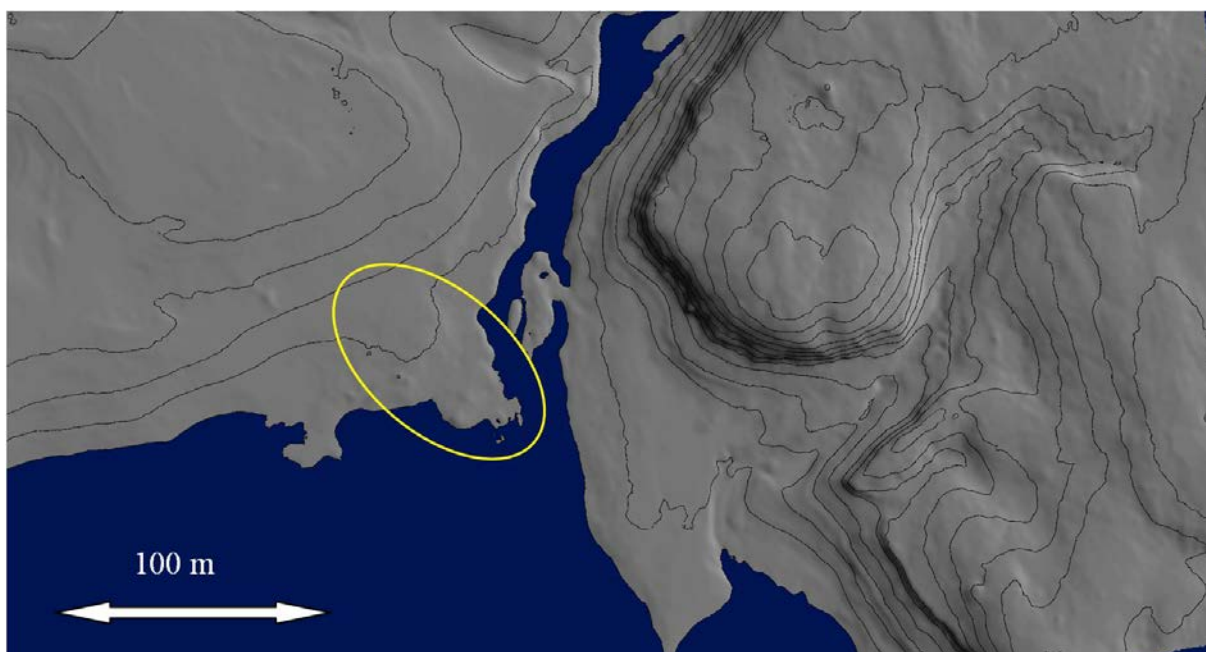
Figur 10. Tverrsnitt gjennom steinalderlokalitet som viser terrengformen ved skanningstidspunktet.

¹² Det kan nevnes at Vestfold fylkeskommune for tiden gjennomfører en systematisk kontrollregistrering av Askeladden-registrerte kulturminner i Larvik kommune. Dette arbeidet baserer seg på bruken av lasergenererte terrengmodeller.

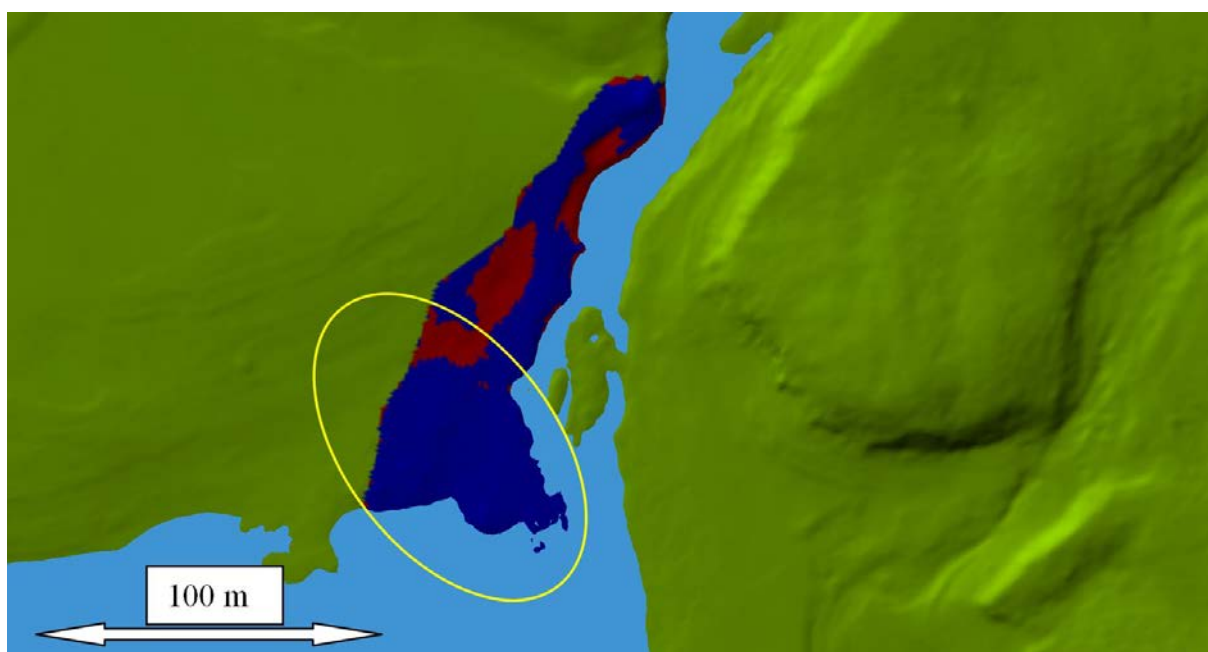


Figur 11. Tverrsnitt gjennom samme steinalderlokalitet som på figur 10, men etter at det er foretatt en simulert erosjon.

Bruk av LiDAR-data gjør det i tillegg mulig å foreta digitale endringsanalyser basert på volumberegninger. Med to sett med 3D-data er det mulig å foreta automatiserte analyser av romlige endringer på detaljert nivå som følge av for eksempel masseforflytninger. Dermed kan både graden av utvasking og overlaging kunne følges fra ett omdrev til det neste. Automatiserte endringsanalyser er spesielt velegnet til å overvåke forhold i reguleringssonen hvor det nettopp foregår slike store masseforflytninger (**Figur 12 og 13**).

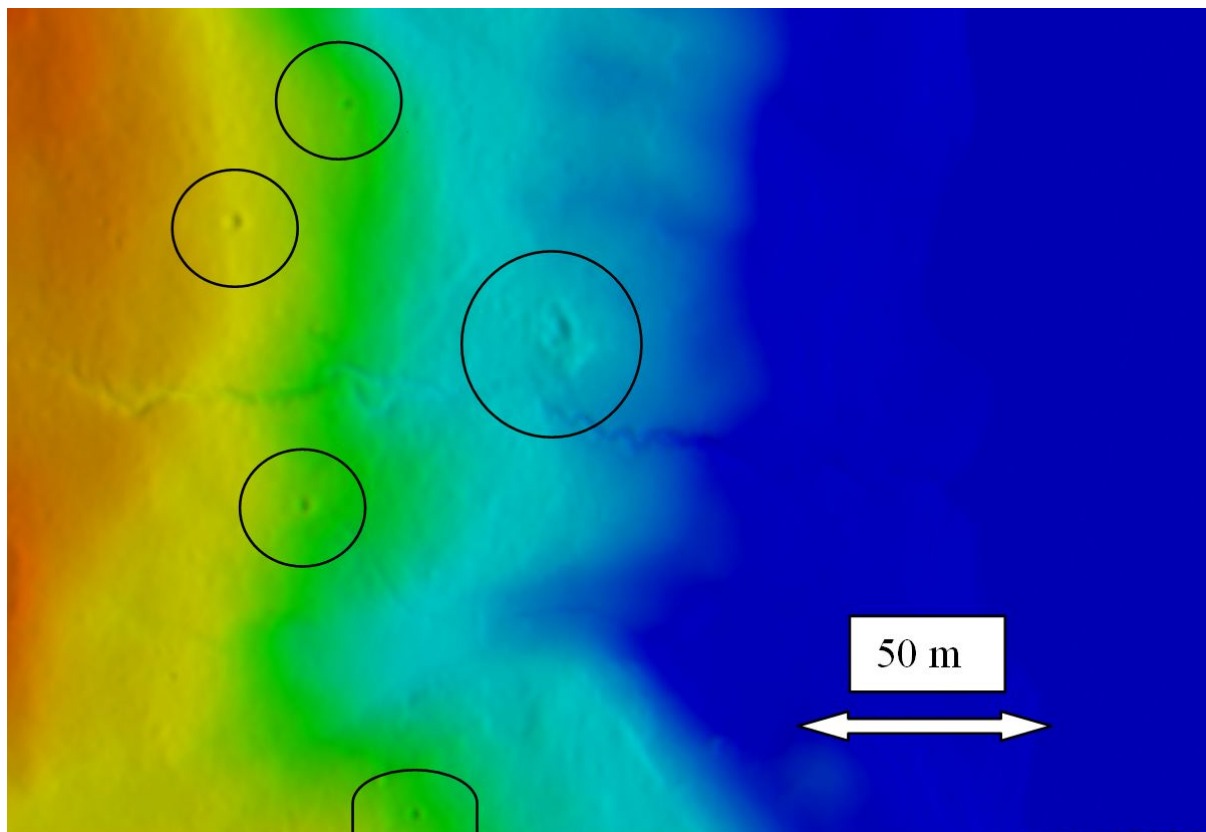


Figur 12. Steinalderlokaliteten slik den så ut da området ble skannet.



Figur 13. Samme steinalderlokalitet som på figur 12. Røde områder viser hvor masse er tilført, mens blå viser områder hvor masse er fjernet og grønn hvor det ikke er påvist endringer.

Som et siste eksempel skal vises hvordan LiDAR-data er brukt til å lage trusselkart (**Figur 14**). På figuren ses et jernvinneanlegg (til høyre) og fire kullgroper. På dette eksempelet er det brukt en fargeskala fra rød via gul og grønn til blå som viser økende grad av trussel mot kulturminnene i den rekkefølge. I dette tilfellet er det overlaging og erosjon fra vassdragsaktiviteten som utgjør trusselen, mens det i andre tilfeller vil kunne være effekten av havstigning eller flom som følge av klimaendringer som kan visualiseres på denne måten.



Figur 14. Sårbarhetskart (for forklaring: se teksten).

3.5 Oppsummering

Bakgrunnen for dette delprosjektet er at det i forbindelse med miljøovervåking innenfor kulturminnefeltet finnes et behov for å utvikle sikre og kostnadseffektive metoder for påvisninger av endringer over tid. LiDAR har et stort potensial i forbindelse med innhenting av data til bruk i miljøovervåkningsprosjekter.

Kulturminner og -miljøer ved regulerte vassdrag ble dokumentert og tolket ved hjelp av laserskanningsdata i tillegg til at det ble foretatt endringsanalyser som grunnlag for miljøovervåking. Kartleggingen og tilstandsanalysen slik den er beskrevet, eksemplifiserer hvordan det kan jobbes med langsiktig og systematisk miljøovervåking av kulturminner langs vassdrag - en overvåking som er relatert til skadeomfang og inngrep, både sett i forhold til allerede utførte terrenginngrep og potensielle endringsprosesser. Det siste gjelder spesielt problematikken med heving og senking av vannstanden i reguleringsmagasinene og de konsekvenser dette får som nevnt ovenfor med hensyn til erosjon og økt fare for overlaging.

Resultater fra det gjennomførte prosjektet viser at LiDAR egner seg godt til å identifisere og dokumentere kulturminner og -miljøer som befinner seg i erosjonsutsatt område og til dels de som er beliggende på erosjonskanten. De utfordringer som vegetasjon representerer med hensyn til innsyn til bakken gjelder her som i andre skanningsprosjekter. Resultatene skiller seg derfor ikke ut fra det som er vist gjennom andre prosjekter på bruk av LiDAR til kulturminneregistreringer i utmarksområder (Risbøl 2010). Derimot egner LiDAR seg i mindre grad til å påvise de kulturminner som befinner seg i selve reguleringssonen og som har vært utsatt for en høy grad av nedbryting og overlaging. Ved feltarbeid er det konstatert at kulturminnene i denne delen av vassdraget ofte vil være synlige på overflaten, på tross av at de er utvaskete og eroderte til en slik grad at de har mistet sin opprinnelige form og karakter. Kulturminnene kan også være helt eller delvis overlagret av masser tilført som en effekt av reguleringen. Erfaringer fra andre prosjekter med bruk av LiDAR til kulturminneregistreringer har vist at kulturminner med tydelig og regelmessig form lettere lar seg identifisere enn kulturminnetyper som ikke har det (Risbøl et al. 2006b). En viktig begrensning som også bør nevnes, er det faktum at ikke-synlige kulturminner ikke fanges opp ved laserskanning som forutsetter at kulturminnene er synlige i terrenget.

LiDAR har vist seg å være en egnet metode for å hente inn data med utsagnskraft om miljøovervåking innenfor alle tre soner. Visuelle analyser av to digitale terrengmodeller fra samme områder, men skannet på to forskjellige tidspunkt, gir mulighet for å påvise fysiske endringer av landskapet og deres effekter på kulturminner og -miljøer. Slike endringsanalyser er sentrale i miljøovervåking. Våre studier viser at LiDAR-data vil kunne brukes til å foreta endringsanalyser av alle de erosjonsutsatte sonene. Det gjelder også erosjonskanten som lett lar seg identifisere og overvåke blant annet ved å lage tverrsnitt gjennom denne og de kulturminner som eventuelt befinner seg i dette sårbare området. Bruk av LiDAR gjør det i tillegg mulig å foreta digitale endringsanalyser på bakgrunn av volumberegninger. Med to sett med 3D-data er det mulig å foreta automatiserte analyser av endringer som følge av masseforflytninger. Dermed kan både graden av utvasking og overlaging kunne følges fra ett omdrev til det neste. Dette vil være spesielt velegnet til å overvåke forhold i reguleringssonen hvor det foregår store masseforflytninger.

4. Oppsummering og veien videre

4.1 Oppsummering

Innledningsvis ble hensikten med laserskanningsprosjektet som presenteres i denne rapporten nevnt:

- A. Utrede optimal innhenting og optimal behandling av laserskanningsdata tilpasset kulturminneformål
- B. Utvikle og tilpasse metoder basert på LiDAR i forhold til forvaltningsmessige kulturminneutfordringer i regulerte vassdrag
- C. Utvikle metoder for endringsanalyser basert på laserskanningsdata på kulturminne- og kulturmiljønivå.

Hva punkt A angår, så skal resultatene av en test som omhandler punktethet og glatting analyseres og publiseres. Dette arbeidet er ennå ikke ferdigstilt. Delmål A har også omfattet kompetanseoppbygging på mer grunnleggende forståelse av prinsippene som ligger til grunn for innhenting og prosessering av laserdata fra fly/helikopter. Dette er blant annet gjort ved deltakelse på en LBI workshop og ved studieopphold ved TUW hvor det over en årrekke har vært et samarbeid mellom arkeologer og teknikere. Det trengs fortsatt kompetanseoppbygging på dette feltet bl.a. gjennom fortsatt FoU-arbeid som ideelt sett bør gjennomføres innenfor internasjonalt forskningssamarbeid og som samarbeid mellom norske forskningsmiljøer med kompetanse på henholdsvis kulturminner og laserskanningsteknikk.

Delmål B og C, er i denne rapporten slått sammen i kapittel 3 hvor det redegjøres for resultatene. LiDAR har vist seg velegnet til å detektere og dokumentere kulturminner som ligger ved regulerte vassdrag, men med de samme begrensninger som er kjent fra laserskanningsprosjekter i andre typer landskap. I tillegg har prosjektet vist at kulturminner som ligger i selve reguleringssonen ofte vil være så nederoderte at høydeforskjeller er utjevnet og kulturminnenes form for øvrig endret slik at de ikke fremstår som anomalier på terrengmodellene.

Gjennom prosjektet er det også vist eksempler på hvordan kulturminner og -miljøer kan miljøovervåkes ved enten visuelle eller automatiserte metoder. Denne delen av prosjektet har vist hvordan bruken av innsyns- og analyse-softwaren QTM kan brukes til endringsdeteksjon. Spesielt nyttige er funksjonene endringsdeteksjon og volumkalkulasjon som kan brukes til å påvise topografiske endringer i områder med kulturminner i og ved regulerte vassdrag. Arbeidet har også vist hvordan en kan kvantifisere endringsprosesser som et ledd i å overvåke kulturminneinteresser i disse områder. Endelig har arbeidet med bruk av 3D LiDAR-data vist hvordan endringsprosessene kan visualiseres på en virkningsfull måte, noe som også kan være et effektivt virkemiddel i formidlingen av problematikk som knytter seg til miljøovervåking og øvrig forvaltning av kulturminner. –miljøer og landskap.

Det kan konkluderes med at LiDAR er en kostnadseffektiv metode som kan tas i bruk til kartlegge og overvåke kulturminner og -miljøer i regulerte vassdrag. Ved å bruke en kombinasjon av LiDAR og konvensjonelt feltarbeid, både i de innledende og oppfølgende faser i vassdragsprosjekter, vil disse metodene sammen kunne danne grunnlag for et faglig grundig arbeid med denne typen prosjekter. Ved gjennomføring av arkeologiske registreringsprosjekter og utarbeidelse av miljøovervåkingsprogrammer vil kulturminner og -miljøer kunne dokumenteres, tilstandsanalyseres og miljøovervåkes ved hjelp av skanningsdataene. Dette arbeidet må i tillegg kvalitetssikres og suppleres med konvensjonell feltarbeid.

Hvis vi her mot slutten skal oppsummere hva som er viktigst når en skal ta i bruk LiDAR som metode for å kartlegge og overvåke kulturminner, -miljøer og landskap, er det spesielt to forhold som vi vil fremheve: punktetthet og skanningstidspunkt. Som nevnt er resultatene av testen med tolkning av skanningsdata med tre forskjellige punktetthet ikke ferdigstilt, men foreløpige resultater og vår erfaring med flyskanningsdata gjennom en rekke andre prosjekter tilsier at en punktetthet på mellom 3 og 5 per m² gir best resultat og mest for pengene vurdert på bakgrunn av dagens skanningsteknologi. Økt punktetthet vil være dyrere, stille høyere krav til datahåndteringen, datalagring osv. uten at det nødvendigvis vil gi så mye bedre uttelling hva angår flere detekterte kulturminner. Resultatene av det pågående forskningsprosjektet med fokus på punktetthet og glatting av dataene forventes å gi mer og sikrere grunnlag for dette utsagn. Det er også viktig å understreke at det finnes mange eksempler på at en kan komme langt med bruk av datasett med færre enn 3 punkter per m². Hva formålet er med skanningen er samtidig helt avgjørende for hvilke parametere en velger å bruke. Å skanne et gravfelt eller et hvilket som helst annet kulturmiljø med tanke på å få laget en terrengmodell til bruk i formidling, er forskjellig fra å skanne med det formål å detektere flest mulig kulturminner innenfor et skogsområde for eksempel. Arbeidet som presenteres i denne rapporten har hatt sitt fokus på det siste.

Minst like viktig som punktetthet og oppløsning, er skanningstidspunktet. Her er tommelfingerregelen ganske enkelt å få gjort skanningen på den tid av året hvor det er minst bakkevegetasjon og færrest blader på trærne samtidig som bakken er fri for snø. Som nevnt ovenfor varierer dette med hvor i landet skanningen skal gjennomføres, mens det også kan være store forskjeller innenfor det konkrete skanningsområdet på grunn av lokale høydeforskjeller som igjen påvirker klima og vegetasjon. Endelig vil vi nevne at kompetanse på å ta i bruk dataene, datakapasitet og egnet verktøy (programvare) også er viktige forutsetninger å ta høyde for når en skal gjennomføre et laserskanningsprosjekt.

4.2 Videre frem

Det finnes et vell av problemstillinger å ta tak i ved videre FoU-arbeid med LiDAR som tema. Her skal bare kort nevnes et lite knippe som er relevant i forhold til det her presenterte prosjektet og som bør ha prioritet fremover. Som nevnt flere ganger er det viktig at en innenfor det videre arbeid med å ta i bruk og videreutvikle LiDAR til kulturminneformål har mulighet for å samarbeid med miljøer med teknisk kompetanse på LiDAR og alle dens fasetter. Et slikt samarbeid bør bl.a. omfatte bruken av full-waveform-data med det potensial denne teknikken har for å forbedre filtrering av dataene, spesielt med tanke på lav bakkenær vegetasjon som utgjør en utfordring. For øvrig trengs det mer kunnskap om forholdet mellom laserskanning og forskjellige vegetasjonstypers betydning for oppløsning på digitale terrengmodeller. Videre vil det være interessant å se på muligheten av å forbedre tolkningen av terrengmodellen ved bruk av ulike visualiseringsmetoder, f.eks. Local Relief Model som er utviklet for å få mer visuell informasjon ut av DTMer (Hesse 2010). Å se på muligheten for å ta i bruk intensitetsdata er også av interesse. Når det skannes samles det også inn opplysninger om intensiteten og refleksiviteten til de reflekterte punktene. Dette er data som har utsagnskraft om det objekt laserstrålen treffer, noe som innehar et potensial for tolkning av forhold på bakken. Endelig er det viktig å gjennomføre flere LiDAR-prosjekter med fokus på miljøovervåking. Slike prosjekter kan med fordel være tverrfaglige.

Siden LiDAR første gang ble tatt i bruk i arkeologien for ca. 10 år siden har vi sett en stadig økende interesse for å ta i bruk denne teknikken både nasjonalt og internasjonalt. Det pågår i dag utstrakt forsknings- og utviklingsarbeid innenfor laserskanningsfeltet. LiDAR er kommet inn i arkeologien som et nytt verktøy i den tekniske og metodiske verktøykassen vi har til disposisjon og som vil bidra betydelig til kulturminneforskning og -forvaltning i årene fremover.

5. Formidling

Her følger en oversikt over gjennomført og planlagt formidling av resultater innenfor prosjektperioden:

Foredrag:

Bollandsås, O.M.: *Deteksjon av kulturminner.*

Foredrag på seminar om skogplanlegging i Drøbak, 13.04.11.

Risbøl, O.: *Flyskanning som metode for å finne og registrere kulturminner.*

Foredrag for Eidskog Museum/Eidskog Museums – og Historielag, 29.03.11.

Risbøl, O.: *Airborne laser scanning for archaeological prospection in Norway - state-of-the-art and future directions.*

Foredrag på LBI-ArchPro workshop, Arbachmühle, Østerrike, 19.03.11.

Risbøl, O.: *Identifikasjon og dokumentasjon av kulturminner i skog ved bruk av flyskanning.*

Foredrag på fagkonferansen: Hvorfor og hvordan forvalter vi kulturarven. Forskning for økt forståelse og bedre forvaltning av kulturminner. Regi: NIKU. Oslo 30.11.10

Risbøl, O.: *Om LiDAR – resultater og perspektiver.*

Foredrag på den 3. norske konferansen Computer Application and Quantitative Methods in Archaeology. Regi: CAA Norway. Oslo 18.10.10

Risbøl, O.: *Retrospective and future monitoring of a Norwegian pebble-stone beach cemetery using aerial photos and LiDAR.*

Foredrag på The International Aerial Archaeology Conference

Bucharest, Romania. Regi: AARG – Aerial Archaeology Research Group. Bucurest 17.09.10

Artikler:

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

Risbøl, O. 2009: Laserskanning. Kapittel 6.1.6 i Svein Indrelid: *Arkeologiske undersøkelser i vassdrag. Faglig program for Sør-Norge*. Riksantikvaren.

Artikler in press/prep.:

Risbøl, O. & H. Amundsen in press: Tilstandsanalyse og miljøovervåking av kulturminner og kulturmiljøer langs vassdrag. Kommer i *Sluttrapport SIP 2006-2010. Populærvitenskapelige artikler*. NIKU Tema xx. 2011.

Risbøl, O. & H. Amundsen in press.: Tilstandsanalyse og miljøovervåking av kulturminner og -miljøer langs regulerte vassdrag ved bruk av flybåren laserskanning. Kommer i *Viking - Norsk arkeologisk årbok*, 2011.

Bollandsås, Risbøl, Ene, Næsset, Nesbakken & Gobakken in prep.: Using airborne small-footprint laser scanner data for detection of cultural remains in forests: an experimental study of the effect of pulse density and DTM smoothing. I: I relevant internasjonal tidsskrift.

Risbøl, Nesbakken, Petersen, Bollandsås, Ene, Næsset & Gobakken in prep: The size and shape of cultural remains and how this affect the success rate in detecting these (arbeidstittel).

6. Litteratur

- Amundsen, H.R., Engesveen, A. & Finstad, E. 2007. Arkeologisk registreringsrapport *Aursjøenprosjektet 2006. Aursjømagasinet; Aursjøen, Grynningen og Gautsjøen, Dalsida Statsallmenning gnr 156/bnr 1, Lesja kommune, Oppland fylke*. Kulturhistorisk rapport nr. 2007 – 2, Oppland fylkeskommune, Lillehammer.
- Amundsen, H.R. og Os, K. 2011. *Faglig program for vassdrag. Historisk oversikt og kunnskapsstatus for vassdragsundersøkelser i Finnmark, Troms og Nordland. NIKU Oppdragsrapport 11/2011, Upublisert rapport, Norsk institutt for kulturminneforskning. Oslo.*
- Bang-Andersen, S. 2006. I vannets vold. Om nedbrytning av steinalderboplasser i sørnorske innlandsvassdrag. I H. Glørstad, Skar, B. og Skre, D. (red.), *Historien i forhistorien. Festskrift til Einar Østmo på 60-årsdagen*: s. 29-39. Kulturhistorisk museum, Universitetet i Oslo. Skrifter nr.4., Oslo.
- Barlindhaug, S., I.M. Holm-Olsen, T. Risan, O. Risbøl & M-L. Bøe Sollund 2008: Fortiden sett fra lufta – fjernmålingsmetoder til overvåking av kulturminner og kulturlandskap. I: *Kart og Plan*, vol. 2 – 2008, s. 106-118.
- Crow, P., Benham, S., Devereux, B. J. & Amable, G. S. 2007: Woodland vegetation and its implications for archaeological survey using LiDAR. *Forestry* Vol. 80, No. 3, s. 241-252.
- Doneus, M. & Briese, C. 2006: Full-waveform airborne laser scanning as a tool for archaeological reconnaissance. In: Campana, S., Forte, M. (eds.), *From Space to Place. Proceedings of the 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology. BAR International Series*, 1568, s. 99-106.
- Doneus, M., Briese, C., Fera, M. & Janner, M. 2008: Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning. *Journal of Archaeological Science* 35/4, s. 882-893.
- Dramstad, W.E., Fry, G., Fjellstad, W.J., Skar, B., Helliksen, W., Sollund, M-L. Bøe, Tveit, M.S., Geelmuyden A.K. og Framstad E. 2001. Integrated landscape-based values – Norwegian monitoring of agricultural landscapes. *Landscape and Urban Planning* 57, s. 257-268.
- Finstad, E. 2007. *Miljøovervåking og FoU-utredning. Aursjøenprosjektet 2006*. Kulturhistorisk rapport 2007- 4. Oppland fylkeskommune. Lillehammer.
- Finstad, E. 2008. *Miljøovervåking og FoU-utredning. Aursjøenprosjektet 2006*. Kulturhistorisk rapport 2008 - 1. Oppland fylkeskommune. Lillehammer.
- Foosnæs, K. og Stenvik, L.F. 2010. *Vassdragsundersøkelser i Midt-Norge. Historisk oversikt over arkeologiske registreringer og undersøkelser i vassdrag som har blitt utbygd eller vurdert for utbygging av vasskraft*. Upublisert utredning for Riksantikvarens arbeid med strategisk plan. NTNU Vitenskapsmuseet, Trondheim.
- Hesse, R. 2010: LiDAR-derived Local Relief Models – a new tool for archaeological prospection. *Archaeological Prospection* 17(2), s. 67-72.

- Indrelid, S. 2006. Vassdragsundersøkelser og tap av kildemateriale til vår eldste historie. H. Glørstad, B. Skar og D. Skre (red.) *Historien i forhistorien. Festskrift til Einar Østmo på 60-årsdagen. Kulturhistorisk Museum, Universitetet i Oslo. Skrifter nr. 4*, s. 21-28.
- Indrelid, S. 2009: *Faglig program for kulturminner i vassdrag: Sør-Norge*. Riksantikvaren.
- Kager 2004: Discrepancies between overlapping laser scanning strips – simultaneous fitting of aerial laser scanner strips. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXV, B/1, s. 555-560. Istanbul.
- Miljøverndepartementet 2004-2005. St.meld. nr. 16: *Leve med kulturminner*. Det Kongelige Miljøverndepartement.
- Miljøverndepartementet 2005: *Katalog over Miljøverndepartementets viktigste kunnskapsbehov 2005-2009*. MD, april 2005.
- Riksantikvaren 2004: *Riksantikvarens oversikt over kulturminneforvaltningens kunnskapsbehov 2005-2009*. Riksantikvaren 01. oktober 2004.
- Risbøl, O. 1999. *Fornyelse av reguleringskonsesjonen for Møsvatn, Vinje og Tinn kommuner i Telemark. Konsekvenser for automatisk fredete kulturminner*. NIKU Oppdragsmelding 087. Norsk Institutt for Kulturminneforskning. Oslo.
- Risbøl, O. 2007: Airborne laser scanning of cultural features in Norwegian forests-reliminary results from a pilot project. In: *Past From the Air. Aerial archaeology and Landscape Studies in Northern Europe*. Department of Cultural Heritage Protection, Klaipėda University, Litauen.
- Risbøl, O. 2009a: *Flybåren laserskanning av kulturminner på Grunnfarnes, Torsken kommune, Troms fylke*. NIKU oppdragsrapport 03/2009
- Risbøl, O. 2009b: *Flybåren laserskanning av kulturminner i Gollevarre-området, Tana og Nesseby kommuner, Finnmark fylke*. NIKU oppdragsrapport 04/2009
- Risbøl, O. 2009c. Fugleperspektiv på kulturminner. Bruk av flybåren laserskanning i arkeologien. *Viking LXXI*, s. 211-226.
- Risbøl, O. 2010. Towards an improved archaeological record through the use of airborne laser scanning. *Space, Time and Place*. 3rd International Conference on Remote Sensing in Archaeology. M. Forte, S. Campana og C. Liuzza (red.) *British Archaeological Review International Series*, vol. 2118. 2010, s. 105-112.
- Risbøl, O. & A. Nesbakken 2009: *Flybåren laserskanning og bruk av historiske flybilder til bruk ved endringsanalyser. Retrospektiv miljøovervåking av strandgravfeltet på Mølen, Larvik kommune, Vestfold fylke*. NIKU oppdragsrapport 32/2009.
- Risbøl, O., A.K. Gjertsen & K. Skare 2006a: Flybåren laserskanning og kulturminner i skog. Et pilotprosjekt. NIKU Miljøovervåking 03/06.
http://niku.no/archive/niku/publikasjoner/diverse/LIDAR_upubl.rapport_fase_1.pdf
- Risbøl, O., A.K. Gjertsen & K. Skare 2006b: "Airborne laser scanning of cultural remains in forests – some preliminary results from a Norwegian project. I: From Space to Place. 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology (eds. Campana, S. og M. Forte). *BAR International Series*, vol. 1568. 2006, s. 107-112.

-
- Risbøl, O., A.K. Gjertsen & K. Skare 2007a: Flybåren laserskanning og kulturminner i skog. Fase 2. NIKU Rapport 18.
http://www.niku.no/archive/niku/publikasjoner/NIKU%20Rapport%20pdf/rapp18_Laserskanning.pdf
- Risbøl, O., A.K. Gjertsen & K. Skare 2007b: Flybåren laserskanning og kulturminner i skog. Ny teknologi i arkeologiens tjeneste. I: Kart og Plan, vol. 2 – 2007, s. 78-90.
- Risbøl, O., A.K. Gjertsen & K. Skare 2008: Flybåren laserskanning og kulturminner i skog. Fase 3. NIKU Rapport 22.
http://niku.no/archive/niku/publikasjoner/NIKU%20Rapport%20pdf/Rapport22_LIDAR%20i%20skog_2008.pdf
- Risbøl, O. & H. Amundsen in press.: Tilstandsanalyse og miljøovervåking av kulturminner og -miljøer langs regulerte vassdrag ved bruk av flybåren laserskanning. Kommer i *Viking - Norsk arkeologisk årbok*, 2011.
- Sithole & Vosselman 2003: Comparison of filtering algorithms. In: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 34, part 3/W13, Dresden, s. 71-78.
- Skare, K. 2011: Som lys fra oven. En introduksjon til flybåren laserskanning. *Primitive Tider – arkeologisk tidsskrift*, nr. 13, Oslo, s. 101-112.
- Sollund, M-L. Bøe 2008. Fornminner i fare - til alle tider. *Viking LXXI*, s. 179-192.
- Trier, Ø.D., T.A. Brun, L. Gustavsen, K. Loftsgarden, L.H. Pilø, A-B Salberg, R. Solberg, K.H. Stomsvik & C. Tonning. 2011. *Application of remote sensing in management of cultural heritage - Project report 2010*. Oslo, Norwegian Computing Center.

NIKU publikasjonsliste/Publications

Pr 30. juni 2011

Fra 2003 avslutter NIKU tidligere serier og etablerer to nye, NIKU Rapport og NIKU Tema. F.o.m. 2001 er samtlige utgivelser tilgjengelig på www.niku.no som pdf-filer.

Kontaktadresse/Publications can be bought from:

NIKU, Postboks 736 Sentrum, N-0105 Oslo

Tlf./Tel.: (+47) 23 35 50 00. Faks/Fax: (+47) 23 35 50 01

E-mail: kirsti.e.sundet@niku.no

Nye serier f.o.m. 2003

NIKU Rapport

- 1 Bergstadens Ziir; Røros kirke. Tilstand og tiltak. *Brønne, J.* 2003. 97 s.
- 2 «Intet forandrer seg så ofte som fortiden». Om krusifiksene i Ringebu stavkirke. *Stein, M., Bronken, I. A., Nyhlén, T., Strandskogen, K. og E. S. Tveit.* 2003. 114 s.
- 3 Den bemalte og forgylte kalvariegruppen fra 1100-tallet i Urnes stavkirke. Konservering 2001-2003. *Frøysaker, T.* 2003. 89 s.
- 4 Samiske Kirkegårder. Registrering av automatisk freda samiske kirkegårder i Nord Troms og Finnmark. *Svestad A. og S. Barindhaug.* 2003. 15 s. **Utsolgt, kun som pdf-fil**
- 5 Alterskapet i Grip stavkirke. Et 1700-talls alterskap fra middelalderen. Konservering 2001-2003. *Olstad, T.M.* 2003. 59 s.
- 6 Hamar Cathedral ruin. Archaeological investigations 1996-1998. *Reed, Stan.* 2005. 244 s. **Utsolgt, kun som pdf-fil**
- 7 Samiske urgraver. Statusrapport med forslag til miljøovervåkingsprogram. *Myrvoll, E. R.* 2005. 37 s. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 8 Lysekroner frå Nøstetangen glasverk. Dokumentasjon, vurdering av originalitet, sikring og konservering. *Bjørke, A.* 2006. 55 s.
- 9 Evaluering av digitale dokumentasjonssystemer for arkeologiske utgravninger. *Molaug, P.B., Petersén, A., Risan, T.,* 2006. 19 s. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 10 Kulturminneforvaltningens og planarbeidets historie på Røros. "Kulturarv og verdiskaping. Økonomiske virkninger av kulturarven på Røros". Arbeidspakke 1. *Andersen, S. og Brønne, J.* 2006. 89 s. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 11 Ikonene i St. Georgs kapell, Neiden, Sør-Varanger kommune. Kontekst, motiver, teknikk og restaurering. *Norsted, T.,* 2006. 71 s. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 12 Landskap og historie-GIS. Historisk landskapsanalyse i Vestre Slidre, Oppland. *Guttormsen, T. S.,* 2007. 43 s. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 13 Konservering av Peter Reimers' altermalerier i Valle kirke, Lindesnes kommune i Vest-Agder. *Ford, T. O. og Frøysaker T.* 2007. 30 s. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
14. Samiske kirkegårder. Registrering av automatisk freda samiske kirkegårder i Finnmark, Troms og Nordland. *E. R. Myrvoll.* 2007. 36 s. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 15 Kulturarv som kapital. En analyse av kulturarvskapitalens diversitet på Røros som et grunnlag for tenkning om verdiskaping. Delprosjekt 5 i forskerprosjektet "Verdiskaping Røros". *T. S. Guttormsen, & K. Fageraas.* 2007. 105 s + vedl. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 16 Konservering av kirkeskip. Bønsnes kirke, Hole kommune i Buskerud. *Smith, H.* 2007. 22 s. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 17 Kulturhistoriske registreringer. Porsangermoen – Halkavarri skytefelt. *Barindhaug, S., Risan, T. & Thuestad, A.E.* 2007. 127 s. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)

- 18** Flybåren laserskanning og registrering av kulturminner i skog. Fase 2. *Risbøl, O., Gjertsen, A. K. og K. Skare. 2007. 33 s.* (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 19** Kulturminneverdier i by mellom bevaring og byutvikling. Et kunnskapsgrunnlag. *Omland, A., Berg, S. K., Mehren, A. og Eldal, J. C. 2007. 59 s.* (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 20** Lokala röster och lokala värden. En studie av Ålgårds kyrkas betydelse för icke-kyrkogångare. *Grahn, W. 2007. 30 s.* (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 21** Alterskapet fra senmiddelalderen i Hadsel kirke – et alterskap attribuert til Lekagruppen. Undersøkelser og behandling av alterskapet. Oppmåling av fire skap i Lekagruppen. *Olstad, T. 2008. 83 s.*
- 22** Flybåren laserskanning og registrering av kulturminner i skog. Fase 3. *Risbøl, O., Gjertsen, A.K., og Skare, K. 2008. 43 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 23** Maleriene i Fingalshula, Gravvik i Nærøy. *Norsted, T. 2008. 101 s.* (Finnes kun som Pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 24** Samiske helligsteder. Tradisjon – registrering – forvaltning. *Myrvoll, E. R. 2008. 50 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 25** Krusifikset og madonnaskapet i Hedalen stavkirke. Undersøkelse 2006-2008. *Stein, M. og Andersen, E. 2008. 82 s.*
- 26** Før og etter. Overvåking av tilrettelagte kulturminner. *Myrvoll, E. R. og Thuestad, A. E. 2009. 128 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 27** Interseksjonella konstruksjoner och kulturminnesförvaltning. *Grahn, W. 2009. 60 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 28** Kulturmiljøvurdering i Hammerdalen – Larvik. *Berg, S. K., Hvinden-Haug, L. J. og Larsen, K. C. 2009. 66 s + vedl.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 29** Kulturmiljøbegrepet som teoretisk/analytisk begrep og som praktisk begrep for forvaltningen? *Molaug, P. B., Sollund, M.-L. B., Sæterdal, A. 2009. 41 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 30** Visuell innvirkning på kulturminner og kulturmiljøer. En studie med utgangspunkt i vindparkutbygging på Lista. *Larsen, K. og Jerpåsen, G. 2009. 29 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 31** Evaluering av "Spesielle miljøtiltak i jordbruket" (SMIL). Freda og verneverdige bygninger og andre kulturminner og -miljøer. *Sætren, A. 2009. 72 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 32** Om retningslinjer for håndtering og forvaltning av skjelett- og gravfunn fra nyere tid. Rapport til Riksantikvaren. *Sellevold, B. 2009. 49 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 33** I pilegrimenes fotefar. Pilegrimsleden som verdiskapingsprosjekt. *Berg, S. K., Nesbakken, A. 2009. 66 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 34** Godt fungerende bevaringsområder. *Nyseth, T.; Sognnæs, J. 2009. 124 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 35** Kulturminneforvaltningens kunnskapsbehov 2005-2009. *Larsen, K.C., Myrvoll, M. og Fløisand, I. 2009. 124 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 36** Nasjonalt resultatmål 3 for kulturminnevernet. En undersøkelse av status og mulighet for måloppnåelse i 2020. *Sætren, Anne. 2010. 79 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 37** Etablering av sentre for verdensarven. *Marit Myrvoll. 2010. 27 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 38** Tilbygning og påbygning av verneverdige bygninger – Kulturminnevern og tilpasning. *Hvinden-Haug, L., Andersen, E. 2010. 65 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 39** Verdier i Listalandskapet. Uprøving av metode for medvirkning i landskapskarakterisering. Rapport fra dialogseminar på Lista 7. og 8. oktober 2009. *Thomassen, J.; K. C. Larsen; W. Grahn og T. Risan. 2010. 49 s. 2010.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)

40 100-årsgrensen for automatisk fredete samiske kulturminner: Status og scenarier. Holm-Olsen, I. M., Myrvoll, E. R., Myrvoll, M., Thuestad, A. 2010. 52 s. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)

41 Gudstenestereform og vernestrategi. Hoff, A.M. 2010. 57 s.. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)

42 Strømsø – sentrumsutvikling med kulturminner som ressurs. Krokann Berg, S., Sognnæs, J. & Swensen, G.. 2010. 101 s. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)

43 100-årsgrensen for automatisk fredete samiske kulturminner: Casestudier og mulige modeller. Holm-Olsen, I.M., Myrvoll, E.R., Myrvoll, M. & Thuestad, A. 2011. 52 s. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)

44 Maleriene i Solsemhula, Leka kommune. Terje Norsted. 2011. 72 s. (Finnes kun som PDF-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)

NIKU Tema

1 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Eidskog kommune, Hedmark 2002. Sollund, M.-L. B. 2003. 20 s.

2 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Saltdal kommune, Nordland 2002. Barlindhaug, S. og Holm-Olsen, I. M. 2003. 22 s.

3 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Sandnes kommune, Rogaland 2002. Haavaldsen, P. 2003. 16 s.

4 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Skjåk kommune, Oppland 2002. Binns, K. S. 2003. 22 s.

5 NIKU strategiske instituttprogram 2001-2006. Verneideologi. NIKU-seminar 4. februar og 25. april 2002. Seip, E. (red.) 2003. 77 s.

6 Bevaring av samlingane ved fem statlege museer. Undersøkingar utført for Riksrevisjonen. Bjørke, A. 2003. 95 s.

7 På vandring i fortiden. Mennesker og landskap i Gråfjell gjennom 10 000 år. Amundsen, H. R., Risbøl, O. & K. Skare (red.) 2003. 112 s. **Utsolgt, kun pdf-fil**

8 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Bømlo kommune, Hordaland, 2003. Binns, K.S. 2004. 20 s.

9 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Horten kommune, Vestfold, 2003. Sollund, M.-L. B. 2004. 17 s.

10 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Lillesand kommune, Aust-Agder, 2003. Sollund, M.-L. B. 2004. 20 s.

11 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Sortland kommune, Nordland, 2003. Holm-Olsen, I. M. 2004. 17 s.

12 Landskap under press – Urbanisering og kulturminnevern. En studie med eksempler fra Nannestad og Stavanger. Swensen, G., Jerpåsen, G., Skogheim, R., Saglie, I-L, Guttormsen, T. S. 2004. 95 s.

13 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Sarpsborg kommune, Østfold, 2004. Sollund, M.-L. B. 2005. 29 s.

14 Fra vernesone til risikosone. Studier i middelalderbyene Bergen og Tønsbergs randsoner. Nordeide, S. Walaker (red.). 2005. 76 s.

15 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Skien kommune, Telemark 2005. Sollund, M.-L. B. 2006. 24 s.

16 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Grong kommune, Nord-Trøndelag 2005. Sollund, M.-L. B. 2006. 26 s

17 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Tromsø kommune, Troms 2005. Holm-Olsen, I. M. 2006. 22 s.

18 Kultur – minner og miljøer. Strategiske instituttprogrammer 2001-2005. Red. Egenberg I. M., Skar B. og Swensen, G. 2006. 354 s.

- 19 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Fræna kommune, Møre og Romsdal, 2006. *Sollund, M.-L. B. 2007. 19 s.*
- 20 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Nord-Aurdal kommune, Oppland, 2006. *Sollund, M.-L. B. 2007. 21 s.*
- 21 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Eidskog kommune, Hedmark 2007. *Sollund, M.-L. B. 2008. 20 s.*
- 22 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Sandnes kommune, Rogaland 2007. *Sollund, M.-L. B. 2008. 20 s.*
- 23 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Saltdal kommune, Nordland 2007. *Thuestad, A. E. 2008. 20 s.*
- 24 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Skjåk kommune, Oppland, 2006. *Thuestad, A. E. 2008. 21 s.*
- 25 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Guovdageainnu suohkan / Kautokeino kommune, Finnmark 2006. *Holm-Olsen, I. M. og Thuestad, A. E. 2008. 19 s.*
- 26 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Lillesand kommune, Aust-Agder 2008. *Sollund, M.-L. B. 2009. 21 s.*
- 27 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Bømlo kommune, Hordaland 2008. *Sollund, M.-L. B. 2009. 21 s.*
- 28 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Horten kommune, Vestfold 2008. *Sollund, M.-L. B. 2009. 17 s.*
- 29 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Sortland kommune, Nordland 2008. *Thuestad, A.E. 2009. 20 s.*
- 30 Kulturarv og stedsidentitet. Prosjektsammendrag. *Swensen, G. (red.). 2009. 9 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 31 Kulturarv og stedsidentitet. Kulturmiljø i kryssilden mellom bevaring og utvikling. *Swensen, G., Larsen, K.C., Molaug, P.M. og Sognnæs, J. 2009. 85 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 32 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Sarpsborg kommune, Østfold 2009. *Sollund, M.-L. B. 2010. 25 s.*
- 33 Fragmentert eller representativt? Konstruksjonen av kulturminneverdier langs Akerselva i Oslo. *Grahn, W., Berg, S.K., Larsen, K.C. 2010. 65 s.* (Finnes kun som pdf-fil på nettet. Utskrift kan bestilles hos NIKU.)
- 34 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Skien kommune, Telemark 2010. *Sollund, M.L.B. 2011. 28 s.*
- 35 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Grong kommune, Nord-Trøndelag 2010. *Sollund, M.L.B. 2011. 28 s.*
- 36 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Trondheim kommune, Sør-Trøndelag 2010. *Sollund, M.L.B. 2011. s.*
- 37 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Tromsø kommune, Troms 2010. *Thuestad, A. & Holm-Olsen, I.M. 2011. 28 s.*

Annet

Kulturminner – en ressurs i tiden (Jubileumsbok – NIKU 10 år). *Red. C.Paludan-Müller & G. Gundhus, G. 2005. 184 s.*