



NIKU Rapport 18

Flybåren laserskanning og registrering av kulturminner i skog

Fase 2

Ole Risbøl, NIKU

Arnt Kristian Gjertsen, Skog og landskap

Kjetil Skare, Hedmark fylkeskommune

NIKU

 skog+
landskap


HEDMARK
FYLKESKOMMUNE



Risbøl, Ole, Gjertsen, Arnt Kristian, og Kjetil Skare. 2007. Flybåren laserskanning og registrering av kulturminner i skog. Fase 2. – NIKU Rapport 18. 33 sider.

English title: Airborne laser scanning of cultural remains in forest. Phase 2. – NIKU Rapport 18. 34 p. In Norwegian with English abstract.

Oslo, mai 2007

NIKU Rapport 18
ISSN 1503-4895
ISBN 978-82-8101-049-9

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

Redaksjon: Grete Gundhus

Rapporten er ikke trykt. Den er 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

Tilgjengelighet:	Åpen
Prosjektnummer:	1561808
Oppdragsgiver:	Riksantikvaren
Faglig godkjenning hos NIKU:	Hilde Amundsen

Sammendrag

I denne rapporten presenteres resultatene fra fase 2 av laserskanningsprosjektet som ble påbegynt med et pilotprosjekt i 2005. Hovedmålet med prosjektet er å teste ut, utvikle og etter hvert implementere flybåren laserskanning som metode for registrering og overvåking av kulturminner i skog. I fase 2 av prosjektet har vi blant annet hatt som mål å teste ut både visuell og automatisk påvisning av kulturminner på terrengmodellen som er laget på bakgrunn av laserdataene som ble hentet inn i fase 1 av prosjektet. Den visuelle tolkningen ble foretatt ved henholdsvis en enkel studie av relieffkartene og en tolkning av kartene ved hjelp av innsyns- og analyseprogramvaren *QT-reader* som gjør det mulig å manipulere dataene. Det oppnås generelt god treffprosent ved visuelle analyser av kartene og resultatene forbedres ytterligere om en programvare som *QT-reader* tas i bruk. Forsøkene med automatisk detektering av kulturminner ved bruk av mønstergjenkjenningemetodene *template matching* og *Hough-transformasjon* var mindre vellykket, og resultatene viser at det er behov for å jobbe videre med å utvikle disse metodene til registreringsformål, eventuelt å se på om det finnes andre metoder som egner seg bedre. Et annet mål med årets prosjekt var å se på muligheten for å foreta oppmåling av kulturminner basert på laserskanningsdataene. I *QT-modeller* ble det laget høydeprofiler av en rekke kulturminner som ble målsatt på bakgrunn av de digitale profilene. Målene ble sammenlignet med mål tatt i felt og testen viser at det er mulig å oppnå nokså sikker oppmåling av kulturminner på grunnlag av lidardataene (lidar = **l**ight **d**etection and **r**anging). Hvorvidt flybåren laserskanning er en rasjonell måte å registrere kulturminner i skog på er belyst ved kostnadsberegninger. En sammenligning mellom kostnadene ved lidarbasert registrering og ordinær feltregistrering viser at det er en besparelse å hente ved å ta i bruk flybåren laserskanning.

To sesonger med uttesting og utvikling av flybåren laserskanning som metode for registrering av kulturminner har vist at metoden er særdeles anvendelig og rasjonell, men at det finnes en del begrensninger og et stort potensial for å oppnå enda bedre resultater. Metoden er ikke noen fullgod erstatning for feltregistrering hvis hensikten er en dekkende totalregistrering som skal kartlegge alle automatisk fredete kulturminner i et område for å unngå konflikter med disse i utbyggingssaker (registreringer etter § 9 i Lov om kulturminner). Lidar er imidlertid et svært godt supplement som i overbevisende grad gir en indikasjon av omfanget av synlige kulturminner og hvor i terrenget de befinner seg. Metoden vil i dag kunne anvendes i forbindelse med oppdrag hvor det er tilstrekkelig med en grovmasket registrering; eksempelvis i forbindelse med konsekvensutredninger.

Abstract

A lidar (**l**ight **d**etection and **r**anging) airborne laser scanning project was initiated in 2005, and the results of phase two of this project are presented in this report. The main objective was to test, develop and gradually implement lidar as a method for surveying and monitoring cultural remains in forest areas. As part of the project, a test area comprising 10 square kilometres containing cultural remains, mainly in the form of slag heaps and charcoal pits, was scanned. One of our goals in phase two was to test visual as well as the automatic detection of cultural remains on our terrain models. The visual approach was conducted by means of a simple study of the relief maps and by an approach using the analysis software *QT-reader*. Generally speaking, a good level of accuracy was achieved by exclusively visual study of the maps. However, results were improved when *QT-reader* was taken into use. Tests using the pattern recognition methods *template matching* and *Hough-transformation* were less successful, and the results suggest that further development is necessary if these, or other pattern recognition methods, are to be successfully used in connection with the survey of cultural remains. Another of the project's objectives was to clarify the extent to which it is possible to carry out measurements on individual cultural remains using the lidar data. This was done by making a height profile of a selection of cultural remains using *QT-*

modeller. The digital sections made it possible to measure the height, width and depth of the different categories of cultural remains found in our test area. The digital measurements were compared with fieldwork measurements and showed a high degree of correspondence. Cost accounts can demonstrate whether airborne laser scanning is an economically efficient way of surveying cultural remains in forest areas. A cost comparison was made between the lidar survey method and ordinary field survey methods, revealing that lidar is indeed an economical approach. Our testing and development of airborne laser scanning as a method for surveying cultural remains in forest areas have been in progress since 2005, and have proven that this method is extremely useful and economical. However, there still remain a range of limitations which must be overcome, and a large potential for obtaining even better results. At present, lidar is not a satisfactory substitute for field-work if the purpose is to map the total prehistoric use of an area, but it is very suitable where a more large-meshed overview is sufficient. The project will continue to focus on the challenges and limitations associated with this method.

Forord

NIKU, NIJOS (nå Norsk institutt for skog og landskap) og Hedmark fylkeskommune fikk i 2005 midler fra Riksantikvaren (RA) til å gjennomføre pilotprosjektet: "Flybåren laserskanning og kulturminner i skog." I tillegg til midlene fra RA gikk to av de tre deltakende institusjonene inn med midler i form av egeninnsats. Prosjektet ble gjennomført i 2005 og rapportert tidlig i 2006 (Risbøl et al. 2006a). Samtidig med rapporteringen ble det sendt søknad til RA om midler til videreføring av prosjektet. Søknaden ble innvilget og resultatene av prosjektets del 2 legges frem i denne rapport.

Deltakere i prosjektet var Ole Risbøl, NIKU (prosjektleder), Arnt Kristian Gjertsen, Skog og landskap samt Kjetil Skare, Hedmark fylkeskommune. Vi vil med dette takke RA for finansiering av prosjektet og for faglige innspill underveis.

Innhold

Sammendrag.....	3
Abstract	3
Forord.....	4
Innledning.....	5
1.1 Bakgrunn	5
2. Data og metode.....	6
2.1 Data	6
2.2 Tolkning	6
2.3 Analyse av resultater	7
3. Resultater	8
3.1 Visuell basert tolkning og feltarbeid	9
3.2 Tolkingsarbeid basert på bruken av QT-reader	12
3.3 Mønstergjennkjennning	15
3.4 Lidarbasert oppmåling av kulturminner.....	21
3.5 Kostnadsberegninger.....	27
3.5.1 Feltregistrering	27
3.5.2 Laserskanning.....	28
4. Formidling.....	29
5. Konklusjon og veien videre	30
6. Referanser.....	31
Vedlegg A.....	32
Vedlegg B.....	32
Vedlegg C.....	33
Vedlegg D.....	33

Innledning

1.1 Bakgrunn

I skog og utmark er registreringen av kulturminner i dag svært mangelfull, og kulturminneforvaltningen har et behov for å få bedre oversikt over kulturminner i denne delen av landskapet. Formålet med prosjektet er å utnytte ny fjernmålingsteknologi for å oppnå bedre oversikt over kulturminner i skog som grunnlag for en bedre forvaltning av disse. Tradisjonelle fjernmålingsmetoder som fotogrammetri har ikke vært mulig å benytte fordi kulturminnene på bakken er skjult av den tette bartrevegetasjonen. En systematisk kartlegging av kulturminner i de enorme skogområdene er svært tids- og ressurskrevende. Et hovedmål for prosjektet er derfor å prøve ut om lidarmålinger fra fly (lidardata) kan bli et nyttig verktøy for å kartlegge og overvåke kulturminnebestanden i skog på en rasjonell og effektiv måte.

I pilotprosjektet fokuserte vi på å teste ut anvendelighet av lidardata i forhold til i) påvisning, ii) stedfesting og iii) typebestemmelse av kulturminner i skog. Tilnærmingen det første året var en tolkning av anomalier på relieffkart gjennom en visuell analyse. Relieffkart ble avledet fra lidardata gjennom å belyse terrengmodellen basert på lidarmålingene med en kunstig sol plassert lavt over terrenget i enten nordvest eller i nordøst. Konklusjonen i pilotprosjektet var at det langt på vei lar seg gjøre å påvise kulturminner, men med visse begrensninger. Det er en forutsetning at de er (godt) synlige over bakken, at de har en gjenkjennelig, regelmessig form og at de ikke er dekket av veldig tett vegetasjon. Hva angår stedfestingen, så er denne meget nøyaktig, da det opereres med feilestimer på 15-30 cm vertikalt og 0,5-1 m horisontalt på laserskanningsdataene. Typebestemmelse av de anomalier som opptrer på kartene er en klar utfordring. Det er relativt uproblematisk å kjenne igjen kulturminner med regelmessig form, slik som de fleste kullgroper, mens det for eksempel er vanskeligere å skille mellom slagghauger og naturlige hauger i terrenget. Resultatene fra pilotprosjektet har vist at laserkartene gir grunnlag for å påvise og typebestemme mange av de kulturminner som finnes i området, men at rene visuelle observasjoner ikke er tilstrekkelig for å påvise og typebestemme alle kulturminner som er synlige over bakken. Konklusjonen etter pilotprosjektet var at det er behov for å utrede ulike tolkningsmetoder og evaluere hvor egnet de er til å detektere og identifisere kulturminnetypene i området.

1.2 Målsetting i fase 2

Ved bruk av de eksisterende laserdata fra Elverum (**figur 1**) har vi i denne fasen av prosjektet hatt som mål å videreutvikle det metodiske grunnlag for tolkning av lidardataene med tanke på å overkomme de utfordringer som ble avdekket i pilotprosjektet. Ønsket var å se nærmere på hvilken dekningsgrad det er mulig å oppnå ved bruk av forskjellige metodiske tilnæringer til dataene: hvor stor andel av den samlede synlige kulturminnebestanden klarer vi å kartlegge og typebestemme med lidar som grunnlag? Dessuten ønsket vi å utrede om det er mulig å foreta tilfredsstillende oppmålinger av kulturminner basert på terrengmodellen fra lidarmålingene. Endelig har prosjektet gjort kostnadsanalyser av den lidarbaserte registreringsmetoden sammenlignet med ordinær feltregistrering.

Fase 2 av prosjektet hadde følgende mål:

- Teste hvor stor andel av kulturminnebestanden som vi klarer å registrere med lidarbasert registreringsmetode
- Sammenlikne visuell påvisning med automatisk påvisning (mønster-gjenkjenning) av kulturminneobjekter for å utrede mulig rasjonalisering og optimalisering av datatolkningen
- Prøve ut oppmåling av kulturobjekter basert på terrengmodell fra lidarmålinger og sammenligne mot feltbaserte målinger
- Gi et kostnadsoverslag på den nye metoden sammenliknet med tradisjonell feltregistrering



Figur 1. Elverum kommune med testområdet tegnet inn som hvitt rektangel.

2. Data og metode

2.1 Data

En luftbåren laserskanning ble utført over testområdet 28. juni 2005 for pilotprosjektet som dette prosjektet er en fortsettelse av. Laserdataene ga grunnlag for en nøyaktig beskrivelse av terrengoverflaten med 2.53 punkter pr. kvadratmeter i gjennomsnitt. Leverandøren oppga punktettheten til å være ca. 4 pr. kvadratmeter [$p\ m^{-2}$], men pilotstudien viste at tettheten varierte med typen vegetasjon: standardavviket var 1.60 [$p\ m^{-2}$]. For en detaljert beskrivelse av datasettet henvises til Risbøl et al. (2006a).

Fra terrengmodellen basert på laserdataene ble det i fase 2 av prosjektet framstilt to relieffkart der terrengoverflaten ble belyst fra en posisjon ca. 25 grader over horisonten fra hhv. nordøst og nordvest. Relieffkartene ble brukt i tolkningsarbeidet. En modell basert på et nettverk av triangler (TIN) ble framstilt fra punktdataene. TIN-modellen ble brukt for tolkning i programvaren QT Reader. I denne kan en variere parametrene belyningsretning, betraktningvinkel og en z-faktor for høydegjengivelse av terrenget. En z-verdi større enn 1 overdriver avstander i z-retningen i forhold til avstander i xy-planet. Ved å øke z-verdien kan tolkeren gjøre høydeanomalier mer tydelige og dermed gjøre dem lettere å tolke.

2.2 Tolkning

Tolkning av kulturminner ble utført med visuelle og automatisk metoder. Følgende metoder for påvisning og typebestemmelse av kulturminner ble forsøkt:

1. visuell tolkning av relieffkartene på en dataskjerm
2. visuell tolkning av en høydemodell i QT Reader
3. automatisert tolkning av relieffkartene og terrengmodellen ved bruk av mønstergjenkjenning

Metode 1 ble utført samtidig av de tre prosjektdeltakerne i fellesskap. Relieffkartene ble lastet inn i ArcMap og kartene ble tolket systematisk. Vi startet øverst i datasettet og digitaliserte fortløpende inn punkter over bildeelementer vi tolket som kullgrop, fangstgrop, jernvinneanlegg eller tjæregroft som er de aktuelle kulturminnetyper i dette området.

Metode 2 ble utført av to av prosjektdeltakerne hver for seg. Et område som var gjenstand for systematiske feltregistreringer i 2002, men som ikke har vært jobbet med i laserskanningsprosjektet ble tolket. Den tidligere feltregistreringen fungerte som referanse og hensikten var å teste andelen påviste objekter, dvs. funnprosenten og identifikasjonsnøyaktigheten ved bruk av QT-reader.

Metode 3 ble utført ved hjelp av mønstergjenkjenningsprogramvare. To ulike tilnærminger ble forsøkt. En var bruk av *template matching* der et lite template $t(x,y)$ eller utsnitt fra datasettet brukes som mal for å finne like områder i resten av datasettet $f(x,y)$. Som mal brukes en typisk forekomst av enten en kullgrop, et jernvinneanlegg eller en tjæregroft. Mønstergjenkjenningen foregår ved at malen flyttes systematisk over datasettet og i hver posisjon (u,v) blir en korrelasjon beregnet med formelen:

$$c(u,v) = \sum_{x,y} f(x,y) \times t(x-u, y-v).$$

Store verdier for $c(u,v)$ indikerer en match eller funn. En terskelverdi brukes for å bestemme en nedre grense for korrelasjonsverdien. Alle verdier over terskelverdien blir tolket som et funn (match).

En annen mønstergjenkjenningsmetode som ble forsøkt er basert på Hough-transformasjon (uttales /hauf/). Den er basert på parameterframstilling av geometriske figurer som f.eks. rette linjer og sirkler. For en sirkel brukes parameterframstillingen $(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2$, der (a,b) er senterpunktet i sirkelen og r er radiusen. a , b , og r er alle tre ukjente parametere som Hough-transformasjonen skal prøve å bestemme. For hvert punkt (x,y) i datasettet lar en (a,b) variere fritt, og for hver verdi av (a,b) beregnes r . For en gitt verdi av (a,b) vil en få akkumulert mange verdier av r hvis det fins mange punkter (x,y) i datasettet som sammen beskriver en sirkel med radius r med senter i (a,b) . En akkumulatormatrise blir brukt for å lagre antall funn. For sirkler som er beskrevet med tre parametere er akkumulatoren tredimensjonal. For sikker gjenkjenning av objekter må vi ha relativt mange treff i en celle som tilsvarer parameterverdiene til objektet. For å kunne identifisere punktene (x,y) må laserdatasettet gjennom en kantdeteksjon. Kanter er overganger mellom ulike høydenivåer i datasettet, og kantdeteksjonen resulterer i et binært bilde der kanter er hvite (verdi 1) og områder imellom er svarte (verdi 0). Alle piksler med verdien 1 er da et punkt (x,y) som brukes i Hough-transformasjonen. Metoden er avhengig av at objektene en vil finne framstår tydelig i kantbildet. Mye støy i kantbildet vil gi problemer i den påfølgende Hough-transformasjonen og med å finne objektene en er ute etter. Metoden kan i prinsippet brukes for alle geometriske objekter som kan beskrives med parametere, men effektiviteten til metoden blir ofte relativt lav med flere enn tre parametere. Metoden må derfor brukes med varsomhet når flere enn tre parametere er nødvendig (http://en.wikipedia.org/wiki/Hough_transform, 17.april 2007).

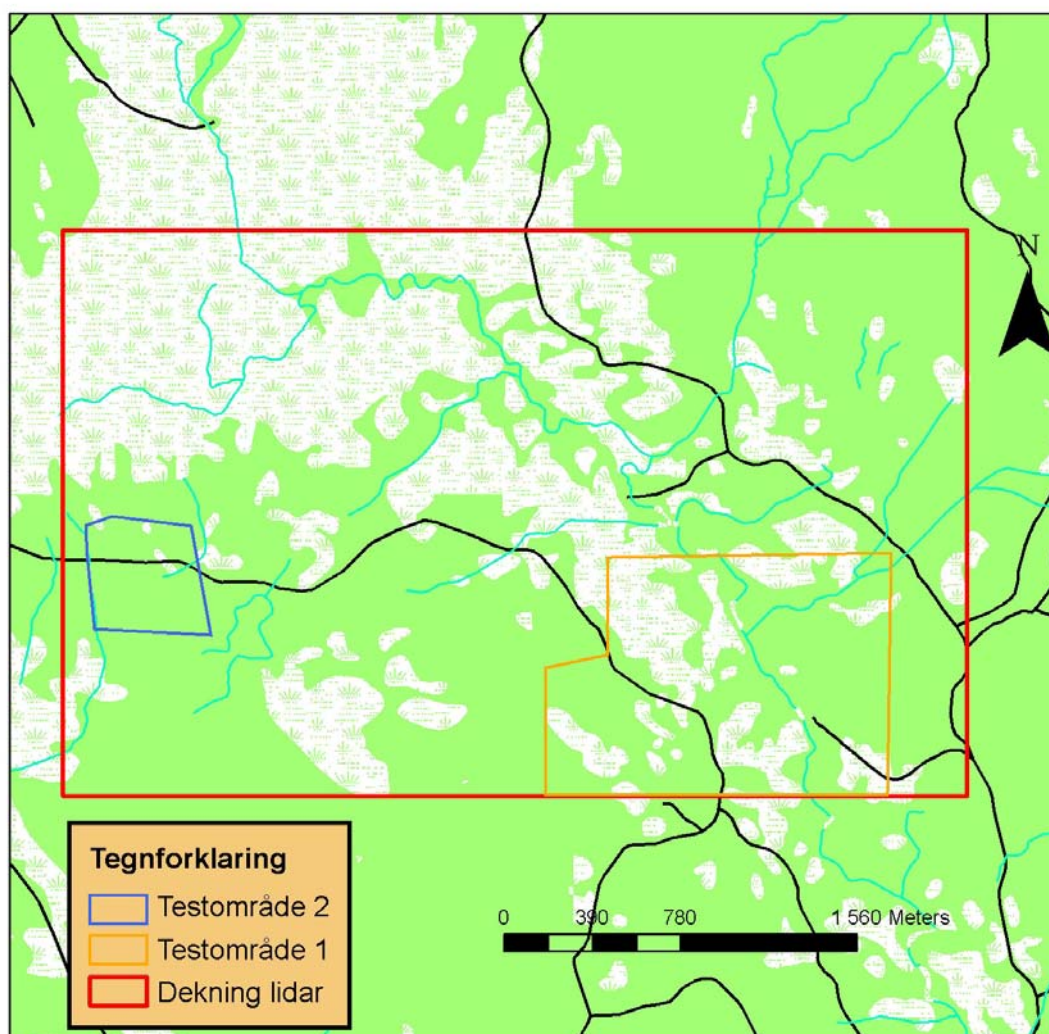
2.3 Analyse av resultater

Resultatet fra metode 1 ble sammenholdt med fasiten fra feltregistreringen, mens resultatene fra metode 2 - den QT reader-baserte tolkningen ble vurdert i forhold til oversikten over kulturminner fra en tidligere gjennomført feltregistrering. Dataene som fremkom ved forsøket med bruk av mønstergjenkjenning ble, som tilfellet var med metode 1, sammenlignet med resultatene fra den systematiske feltregistreringen foretatt i 2006. Den delen av prosjektet som tok for seg oppmålingsanalyser baserte seg på å foreta noen standardmål på utvalgte

kulturminner ved hjelp av QT modeller. Målene ble sammenlignet med mål tatt i forbindelse med feltarbeid utført i 2002 og 2003. Endelig ble det foretatt en kostnadsanalyse som sammenlignet utgiftene til innhenting av data ved flybåren laserskanning og ved vanlig feltarbeid. Grunnlaget for feltarbeidskostnadene ble beregnet med utgangspunkt i feltarbeidet foretatt i 2006.

3. Resultater

Innenfor det 10 km² store testområdet som ble skannet i 2005, valgte vi ut to mindre testområder (**figur 2**). Område 1 er på 1480 dekar og ble gjenstand for en visuell basert tolkning av relieffkartene, etterfulgt av kontroll av samme område ved tradisjonell systematisk mangnardsregistrering. Område 2, som er på 240 dekar, ble tolket ved bruk av programvaren QT-reader som er et innsyns- og analyseverktøy utviklet til bl.a. å håndtere lidardata.

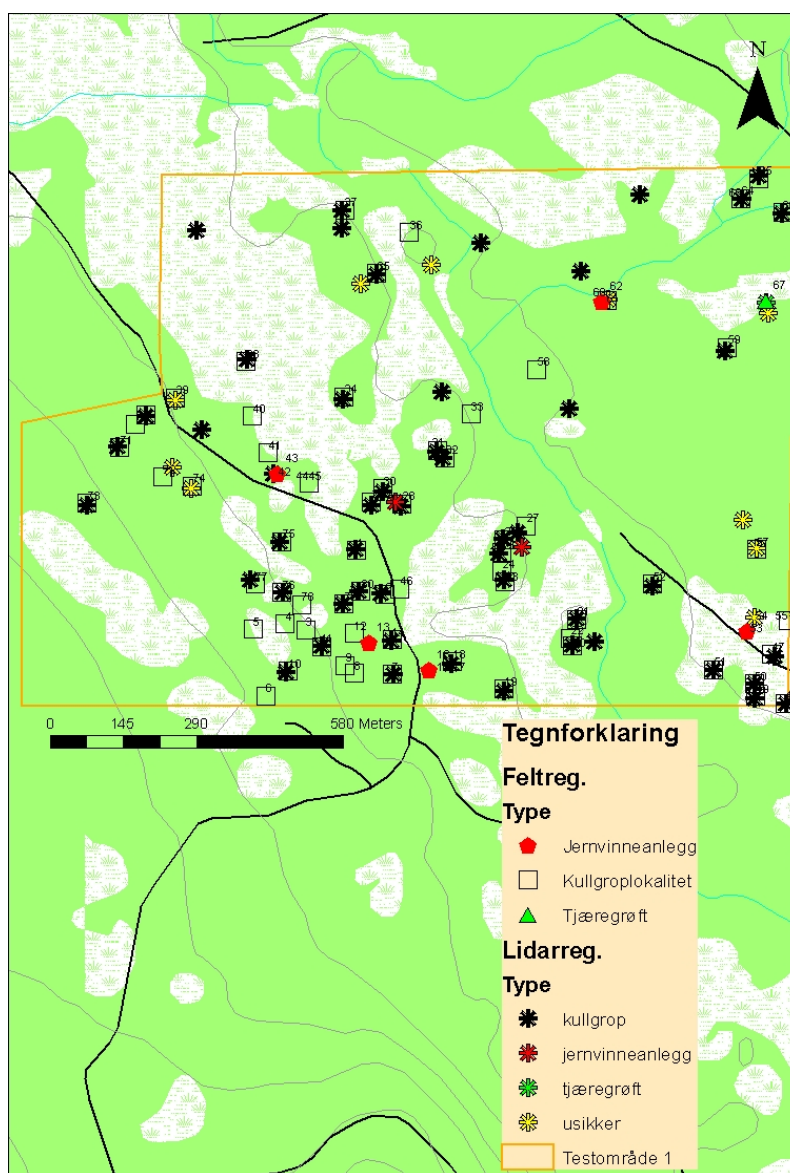


Figur 2. De to delområder som ble analysert med to forskjellige metodiske tilnæringer.

3.1 Visuell basert tolkning og feltarbeid

I pilotprosjektet ble det valgt ut en rekke anomalier spredt over hele det 10 km² store testområdet. Etter utvelgelsen og tolkningen ble disse oppsøkt og sjekket i felt. I 2006 ble det valgt en annen tilnærming fordelt på to ulike tolkningsmetoder. Den første tilnærmingen presenteres her og den andre under kapittel 3.2.

Et 1,5 km² stort område hvor det ikke var gjort kulturminneregistreringer tidligere ble avgrenset (**figur 3**). Først ble det foretatt en visuell basert tolkning av anomalier i området av alle tre prosjektdeltakere som i fellesskap gjennomgikk relieffkartene visuelt og avmerket samtlige anomalier tolket som kulturminner på kartene. Ved gjennomgangen ble det anvendt to forskjellige lyssettinger på samme datasett, med skrålys fra henholdsvis nordvest og nordøst. Dette ble gjort da det erfaringsmessig har vist seg at flytting av lyskilden, som medfører endring av lys-skyggeeffekten, gjør landskapet mer lesbart. Hvorvidt et kulturminne er synlig eller ei, er ofte avhengig av retningen og vinkelen på skrålyset som gir relieffkartene dybdevirkning.



Figur 3. Testområde 1 som var gjenstand for visuell basert tolkning fulgt opp av systematisk registreringer i felt.

På denne måten ble anomalier i hele testområde tolket med det resultat at i alt 62 kulturminner ble påvist og typebestemt på basis av relieffkartene (**tabell 1**). Ved gjennomgangen ble det gjort en distinksjon mellom sikre og usikre tolkninger. Den visuelt baserte tolkningen av relieffkartene ble fulgt opp av feltarbeid hvor hele testområde 1 ble systematisk kartlagt for kulturminner ved hjelp av tradisjonell manngardmetode. Etter at feltarbeidet var gjennomført kunne de lidarbaserte tolkningene sammenlignes med resultatet av feltarbeidet.

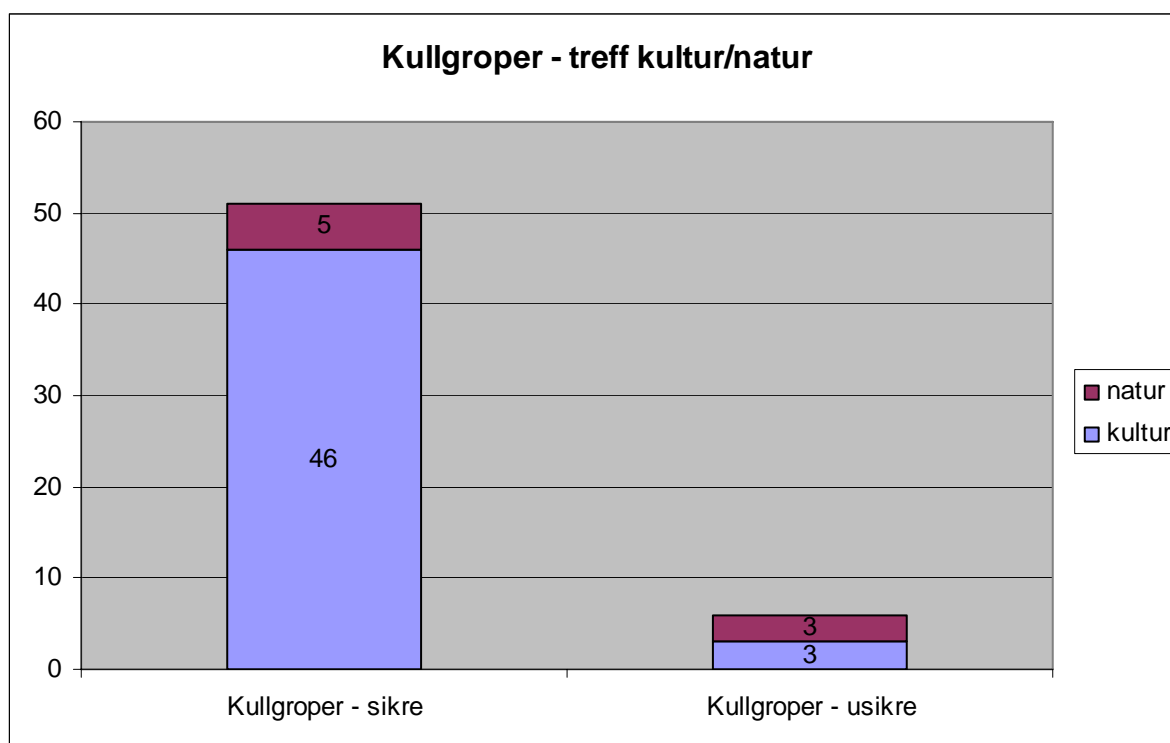
Av i alt 52 kullgroper som ble påvist på kartene viste 46 å være reelle, mens fem viste seg å være naturformasjoner. Dessuten ble det funnet 16 kullgroper under feltarbeidet som ikke ble fanget opp ved den visuelle gjennomgangen av lidarkartene.

Bare ett av de fire objekter tolket som jernvinneanlegg viste seg å være reelt, mens tre av disse var naturformasjoner. Under feltarbeidet ble det i tillegg funnet hele seks jernvinneanlegg som ikke ble funnet ved karttolkningen. Tolkningen av en anomali til å være en tjæremile viste seg å holde stikk.

	Karttolkning	Feltarbeid	
		ok	Natur
Kullgroper			
sikre	51	46	5
usikre	6	3	3
nye	0	16	0
Jernvinneanlegg		ok	Natur
sikre	2	0	2
usikre	2	1	1
nye	0	6	0
Tjæremile		ok	Natur
sikker	1	1	0
I alt	62	73	11

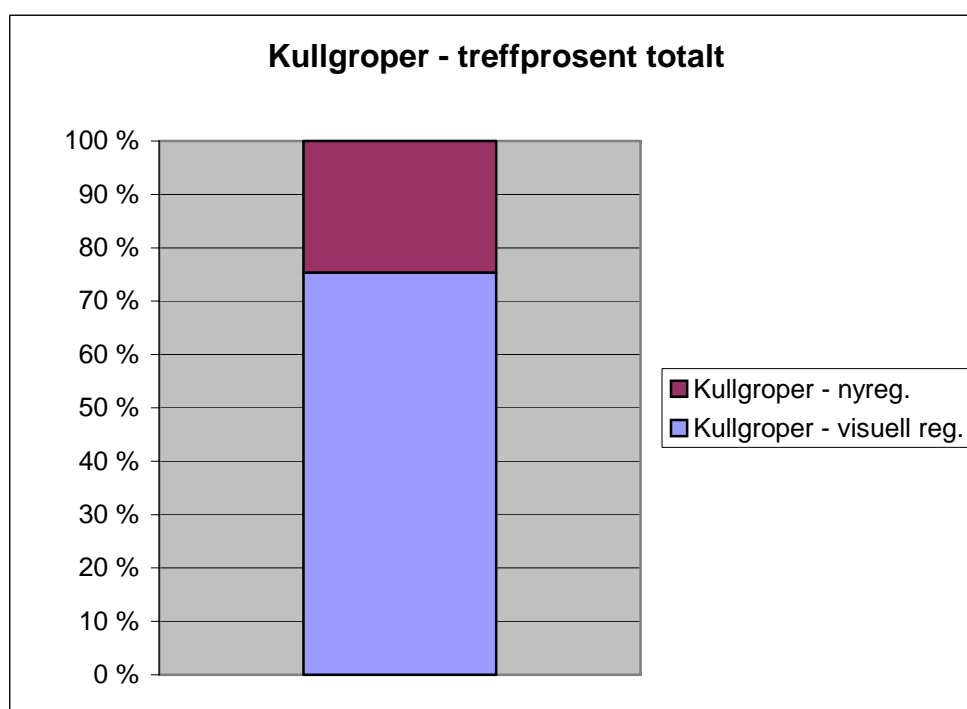
Tabell 1. Oversikt over antall og type kulturminner som ble observert på relieffkartene i testområde 1 sammenlignet med resultatet av feltkontrollen.

Ser vi på tolkningsprosenten på det som ble definert som sikre kullgroper, så er den relativt bra og ligger på 90 %, mens den er nede på 50 % hva angår dem som ble tolket som usikre (**figur 4**).



Figur 4. Tolkningen av kullgroper sett i forhold til resultatet av feltkontrollen.

Den totale treffprosenten for kullgroper fremgår av **figur 5** som viser alle kullgroper medregnet dem som ble funnet under feltarbeidet og som ikke ble fanget opp under den visuelle kartgjennomgangen. Som figuren viser, ligger treffprosenten samlet på ca. 75 %.



Figur 5. Samlet treffprosent på kullgroper.

Samlet sett viser gjennomgangen at det langt på vei er mulig å påvise kullgroper og typebestemme disse ved en enkel visuelt basert tolkning av våre lidardata. Kullgroper er som regel tydelige og regelbundne i form og derfor lettere å observere enn slagghauger som er mye mer heterogene i form og størrelse.

Tabell 1 viser med all tydelighet at det samme ikke er tilfellet for jernvinneanleggene. Begge anleggene som ble tolket som sikre, viste seg å være naturformasjoner, og det var kun treff på en av de to anomalier som ble tolket som usikre jernvinneanlegg. Når det under det etterfølgende feltarbeid ble funnet ytterligere seks jernvinneanlegg, viser analysen at det er en stor utfordring å bruke lidar til påvisning av jernvinneanlegg og andre tilsvarende mindre distinkte kulturminner. Som nevnt tidligere skyldes dette anleggenes uregelmessige form som lett kan forveksles med naturlige forhøyninger i terrenget. Dessuten er flere av anleggene lave og ekstra vanskelige å tolke på relieffkartene. Det må derfor jobbes videre med å løse dette problemet. Bruken av flybårent magnetometer er en metode vi ønsker å se nærmere på. Det er grunn til å tro at denne metoden kan være anvendelig i forhold til å kartlegge de sterkt magnetiske slagghaugene fra lufta. Multispektrale analyser av ir-bilder kan også være en farbar vei å gå. Samtidig er mulighetene for å forbedre tolkningsverktøyet ikke uttømt, og det bringer oss videre til neste trinn hvor det ble gjort bruk av innsyns- og analyseverktøyet QT-reader.

3.2 Tolkingsarbeid basert på bruken av QT-reader

Hensikten med denne testen var å se hvorvidt bruken av en programvare utarbeidet spesielt til analyser av 3D-data øker påvisnings- og tolkningsprosenten sammenlignet med vanlig visuell basert tolkning av relieffkartene. Prosjektleder valgte ut et område på 240 dekar innenfor vårt testområde hvor NIKU gjorde systematiske feltregistreringer i 2002 (Risbøl et al. 2002). Deretter analyserte de to prosjektmedarbeidere hver for seg dette området uten å ha kjennskap til fasiten fra 2002. Tolkningen av anomalier på relieffkartene ble foretatt med QT-reader ved bruk av de funksjoner som denne åpner for. Endring av belyningsretning og –vinkel, manipulering av z-verdiene og surfing i 3D var de viktigste funksjonene som ble anvendt. Resultatet av forsøket fremgår av tabell 2 og figur 6.

Registreringer 2002	1. analyseperson	2. analyseperson	
18 kullgroper	14 kullgroper + 1 nyreg.	15 kullgroper + 3 nyreg.	
2 jernvinneanlegg	1 jernvinneanlegg	1 jernvinneanlegg	
1 tjæregroft	0 tjæregroft	0 tjæregroft	
I alt	21 reg.	15 reg. + 1 nyreg.	16 reg. + 3 nyreg.

Tabell 2. Resultatet av de to tolkninger av testområde 2 ved bruk av QT-reader.

Innenfor området ble det i 2002 registrert i alt 21 kulturminner, fordelt på 18 kullgroper, to jernvinneanlegg og en tjæregroft (**vedlegg A**). Av kullgroperne ble henholdsvis 14 og 15 funnet på relieffkartet, noe som tilsvarer 77 og 83 %. Tjæregroften ble ikke påvist, og kun ett av de to jernvinneanlegg ble funnet. Samlet gir det en total treffprosent på henholdsvis 71 % og 76 % for de to analysepersonene. I tillegg bør det nevnes at det ble funnet henholdsvis en og tre kullgroper på relieffkartene som ikke ble fanget opp under registreringene i 2002. Det knytter seg en viss usikkerhet til tolkningen av i hvert fall to av disse som bør følges opp av en sjekk i felt. Den ene gropa som ble påvist av begge fremstår som nokså sikker på relieffkartet og er trolig oversett under feltregistreringen.

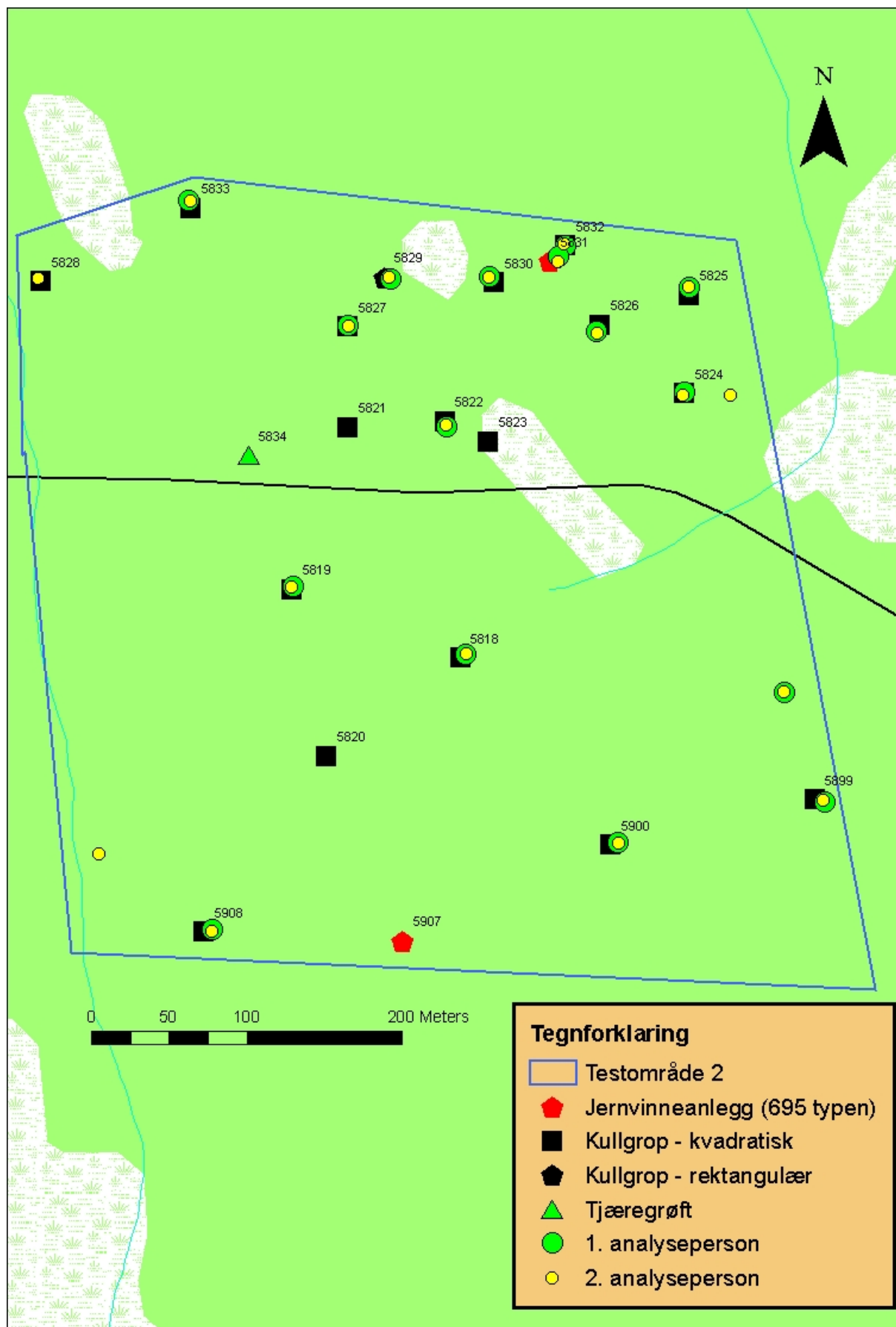
Tre av de 18 kullgroperne ble ikke funnet på relieffkartene av analysepersonene. Forklaringen på dette kan være at disse tre er sterkt skadet og/eller grunne. Dette fremgår av registreringsbeskrivelsen fra 2002: "Sterkt skadet kvadratisk, grunn kullgrop. Sterkt skadet av grøftegraving og maskinspor. Masse dumpet oppi gropa" (nr. 5821), "Ødelagt kullgrop.

Meget sterkt skadet av kjørespor” (nr. 5823), ”Grunn kvadratisk kullgrop med noe utydelig voll. Usikker som kulturminne” (nr. 5820).

At det ene av to jernvinneanlegg ikke ble funnet, skyldes vel det generelle problem at slagghaugene er mindre distinkte enn kullgropene, og når det oversette anlegg er blant de minste og laveste i hele området, kan dette bidra til å styrke denne forklaringen. Anlegget er imidlertid ikke vesentlig mindre enn flere av de andre anleggene og sees da også på relieffkartet når man vet at det er der. Dette var også en erfaring vi noterte oss i forbindelse med feltarbeidet innenfor testområde 1. De fleste av jernvinneanleggene som ikke ble fanget opp ved den visuelt baserte tolkningen av relieffkartene, men først ble erkjent da de ble påtruffet i felt, fremsto som relativt tydelige på relieffkartene når vi studerte disse etter feltarbeidet.

Tjæregrofta er ikke synlig på relieffkartet. Grofta ligger i en bratt helling rett nord for og inntil en skogsbilvei. Målene på denne tjæregrofta avviker ikke spesielt fra de øvrige tjæregrofter i området som fremstår som tydelig på relieffkartene. Det er derfor grunn til å tro at det er den spesielle beliggenheten, spesielt den bratte helningsgraden, som forstyrrer bildet.

Alt i alt må treffprosenten for testen med bruk av QT-reader sies å være ganske bra - i hvert fall hva angår kullgroper. Denne konklusjon kan gis spesiell utsagnskraft hvis det tas høyde for at de kullgroper som ikke ble fanget opp, ble beskrevet som lite tydelige, sterkt ødelagte og til og med tvilsomme under feltarbeidet i 2002.



Figur 6. Testområde 2 som var gjenstand for en QT-reader basert analyse.

3.3 Mønstergjenkjenning

Template matching for automatisk påvisning av kulturminneobjekter ble testet for kullgroper og jernvinneanlegg. Siden det kun var noen få jernvinneanlegg i datasettet, viste det seg å være vanskelig å få en god test på hvor godt den automatiske metoden fungerer for denne typen kulturminne. Anleggene kan ligge med ulik orientering, slik at en mal for et anlegg med slagghaugene liggende nord-sør ikke passer med et anlegg hvor slagghaugene ligger orientert i en annen himmelretning. Vi gikk derfor ikke videre med å prøve ut automatisk tolkning av jernvinneanlegg.

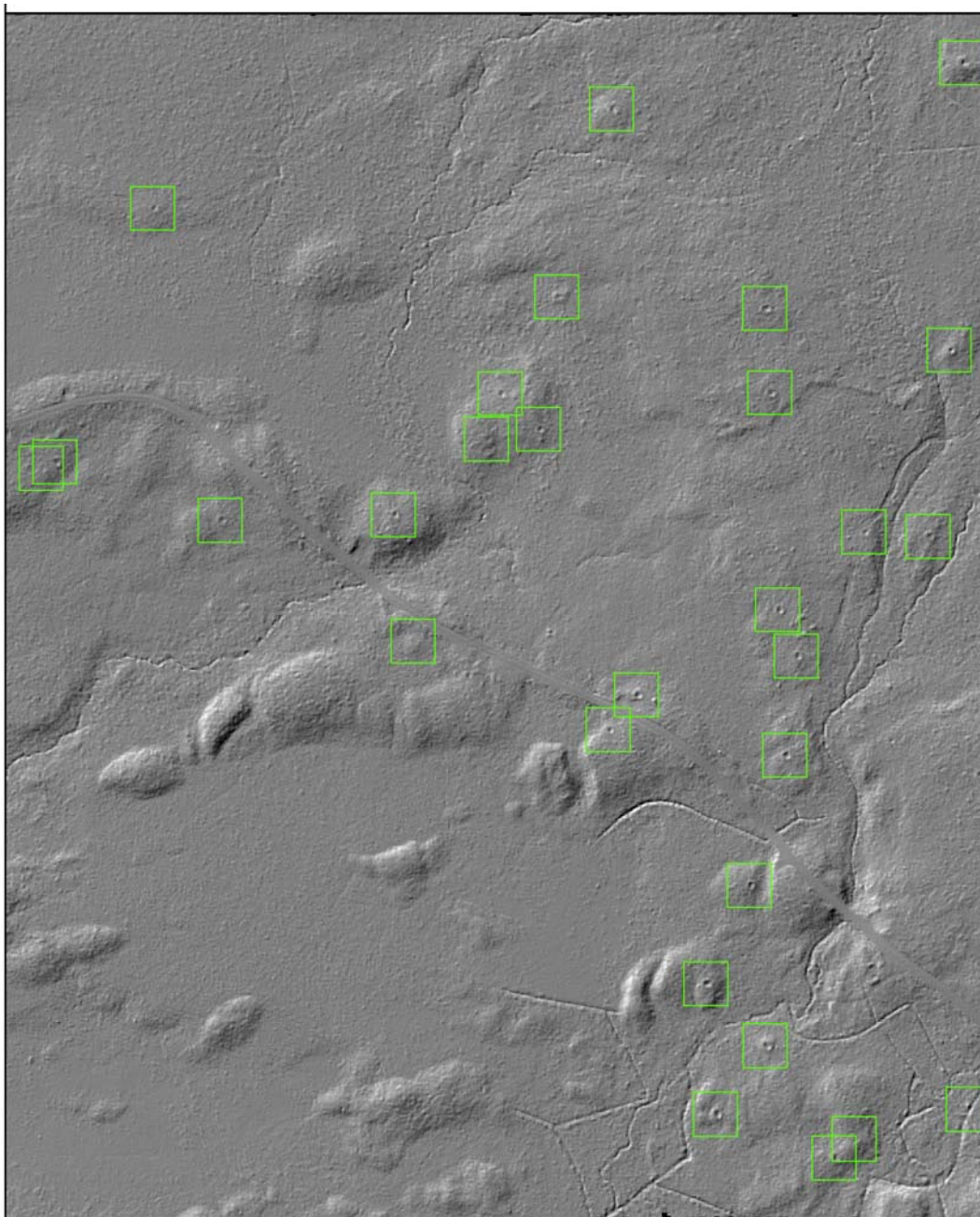
Kullgroperne derimot er mer isotropiske i sin form, og orienteringen i landskapet spiller dermed liten rolle. En mal fra en kullgrop vil således passe et relativt stort antall kullgroper i resten av datasettet. Avhengig av hvordan en setter terskelverdier for korrelasjonen kan en få mange eller få funn. Lav terskelverdi fører til mange treff og mange falske deteksjoner, mens en stor terskelverdi fører til få treff og flere tilfeller der kullgroper blir oversett. En praktisk tillempling av metoden vil være å bruke en relativt lav terskelverdi slik at så få kullgroper som mulig oversees av operatøren som så må sjekke alle treffene og enten godta eller forkaste dem. I figurene under vises eksempler på mal brukt for kullgrop (**figur 7**).



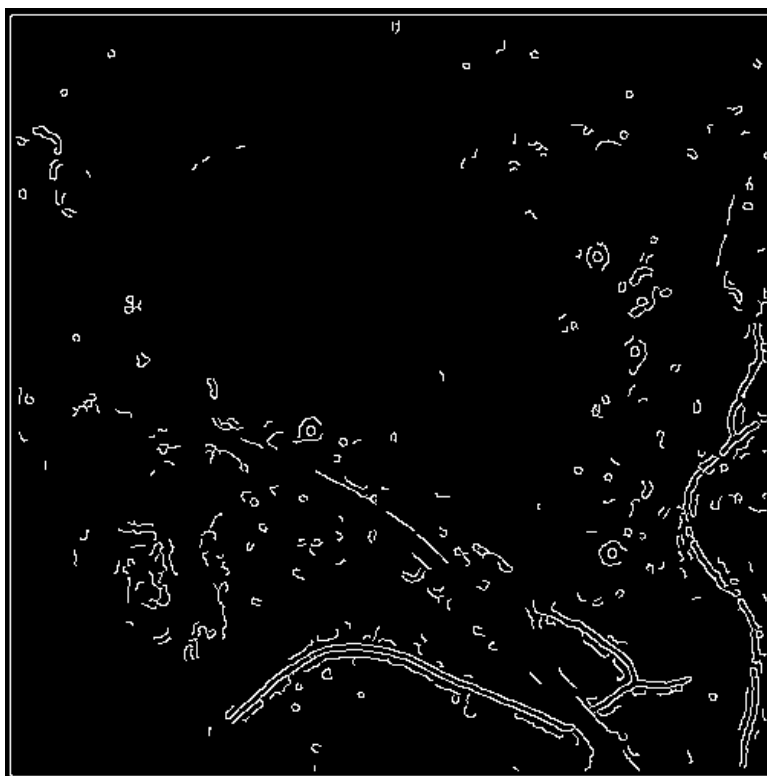
Figur 7. Mal for en kullgrop.

Flere forsøk med ulike terskelverdier for korrelasjon mellom kullgroptempletet og hele testdatasettet ble gjort. For det beste resultatet ble det gjort 50 potensielle påvisninger. Av disse viste 26 seg å være kullgroper. Totalt viste feltkontrollen at det var 65 kullgroper i testområdet, og metoden klarte dermed å finne 40 % av alle kullgroperne i testområdet. Dette ligger i underkant av hva vi hadde håpet på. I en innledende test av metoden på et lite utprøvningsområde klarte den å påvise de fleste kullgroperne (**figur 8**).

Mønstergjenkjenning basert på Hough-transformasjon ble testet for automatisk gjenkjenning av kullgroper. Datagrunnlaget for metoden er et binært kantbilde der objektenes omriss blir framhevet. Først ble det kjørt et filter over høydemodellen for å framheve lokale endringer i terrenghøyden. Deretter ble datasettet tersklet til et binært kantbilde der kanter framstår med verdien 1 og områdene imellom med verdien 0 (**figur 9**). Figuren viser tydelig flere små sirkler hvor noen, men ikke alle, tilsvarer kullgroper.



Figur 8. Eksempel på template matching av kullgroper i et område der metoden har klart å påvise de fleste kullgroperne. Grønne kvadrater viser resultatet fra den automatiske metoden.

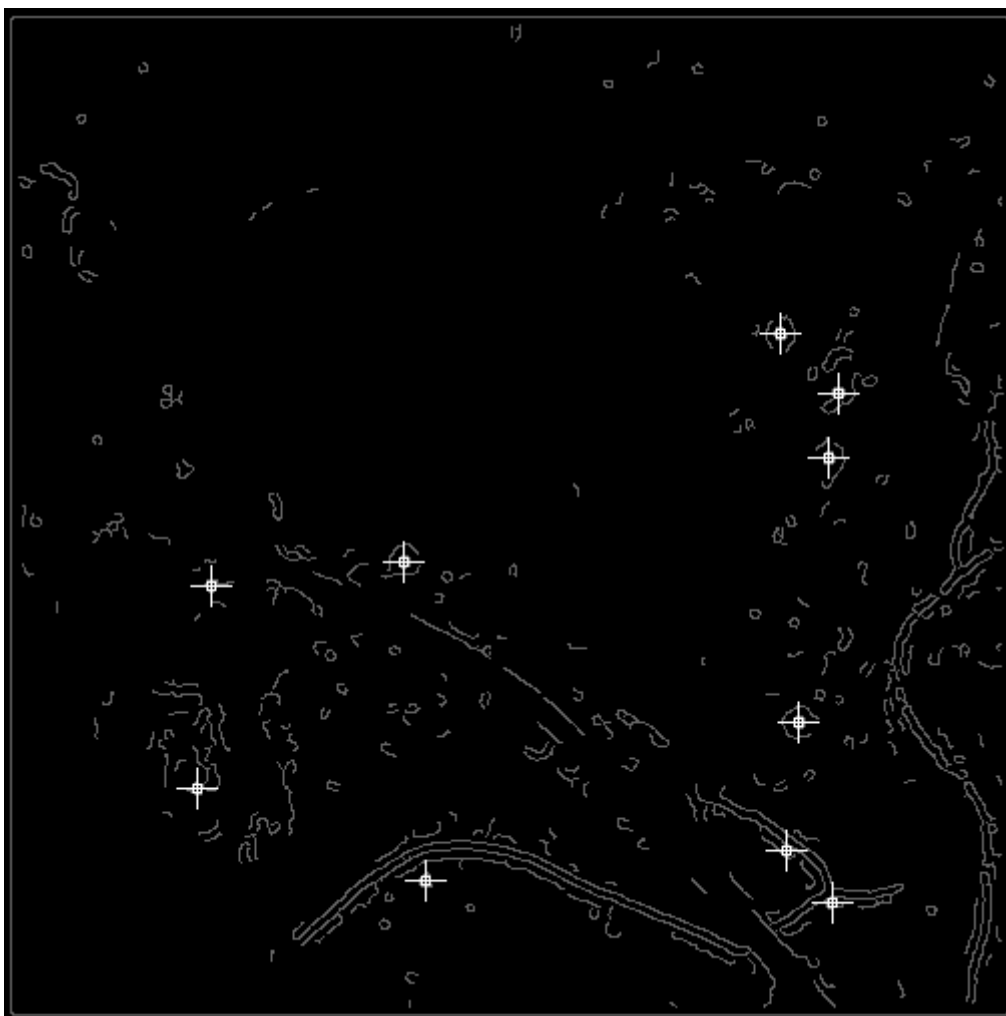


Figur 9. Laserhøydemodell transformert til et kantbilde. Legg merke til små runde sirkler som kan tilsvare kullgroper.

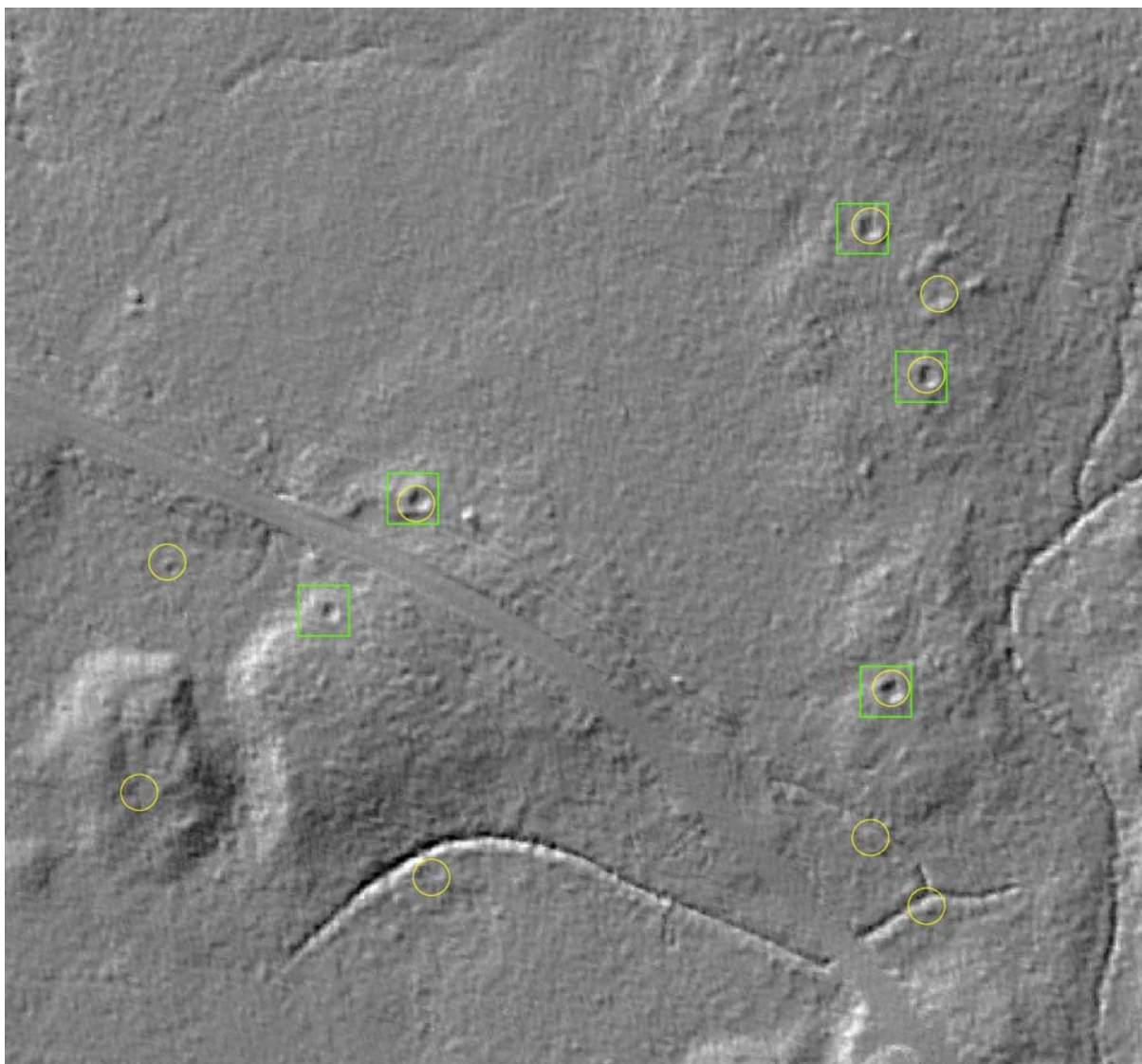
Kantbildet (**figur 9**) ble brukt som input i en Hough-transformasjon for å finne sirkulære objekter. I **figur 10a** vises resultatet av Hough-transformasjonen. Vi ser sorte flekker eller prikker i sentrum av konsentriske sirkler flere steder i figuren. Disse prikkene kan tolkes som sentrum av kullgroper. En terskelverdi må brukes for å skille ut det som kan være kullgroper. Resultatet av en slik terskling kan ses i **figur 10b**. For lettere å kunne bedømme resultatet er det sammenstilt med resultatet fra template matchingen og lagt over relieffkartet i **figur 10c**. Vi ser at template matching har færre feilpåvisninger enn Hough-transformasjonen.



Figur 10a. Resultat av en Hough-transformasjon. En parameterframstilling av sirkler har blitt brukt for å finne potensielle kullgroper. Sorte prikker inne i konsentriske sirkler viser senteret til potensielle kullgroper.



Figur 10b. Ti objekter påvist som potensielle kullgroper med Hough-basert metode etter terskling av verdiene i akkumulatormatrisa.



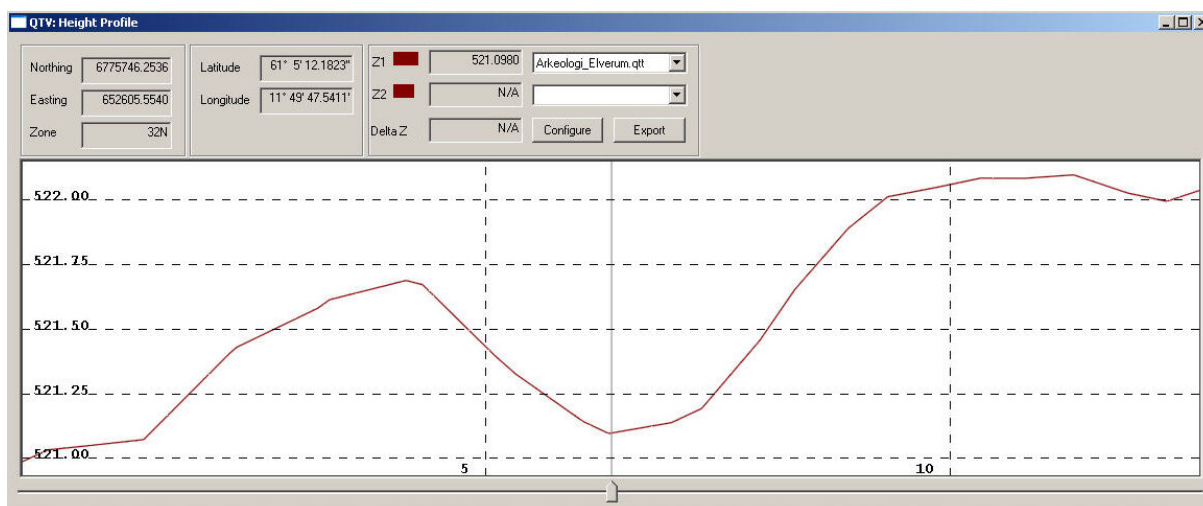
Figur 10c. Gule sirkler viser objekter påvist som potensielle kullgroper av Hough-basert metode, og grønne firkanter viser det samme for template matching.

For Hough-metoden er den forutgående kantdeteksjonen svært avgjørende for resultatet. Metoden er helt avhenging av tydelige kanter av objektene (silhuetter) som skal gjenkjennes. Hough-transformasjonen fungerer ved å gjenkjenne grupper av punkter som sammen beskriver et geometrisk objekt, for eksempel linje, sirkel, ellipse. Et problem med metoden er å lage et godt nok kantbilde uten støy. Når kantbildet viser for mange sirkelformede figurer som ikke tilsvarer kullgroper, så gir den mange feildeteksjoner. Kantdeteksjon er et fundamentalt problem i automatisk bildeanalyse (Jain 1989: 347).

Den innledende utprøvingen av mønstergjenkjenningemetodene viste at på datasettet i dette prosjektet fungerte template matching best. Den var også den enkleste metoden å bruke. Svakheten med metoden er at den virker best på objekter som er isotropiske (invariant mht. rotasjon) og mindre bra på anisotropiske objekter som f.eks. jernvinneanlegg. Et annet problem kan være følsomhet for skalaforandringer, dvs. når størrelsen på objektene som skal gjenkjennes varierer. Hough-transformasjon er ikke følsom for skalaforandringer og rotasjon av objektene, men kan være vanskelig å bruke på objekter som ikke har en enkel parametrisert beskrivelse som linje eller sirkel.

3.4 Lidarbasert oppmåling av kulturminner

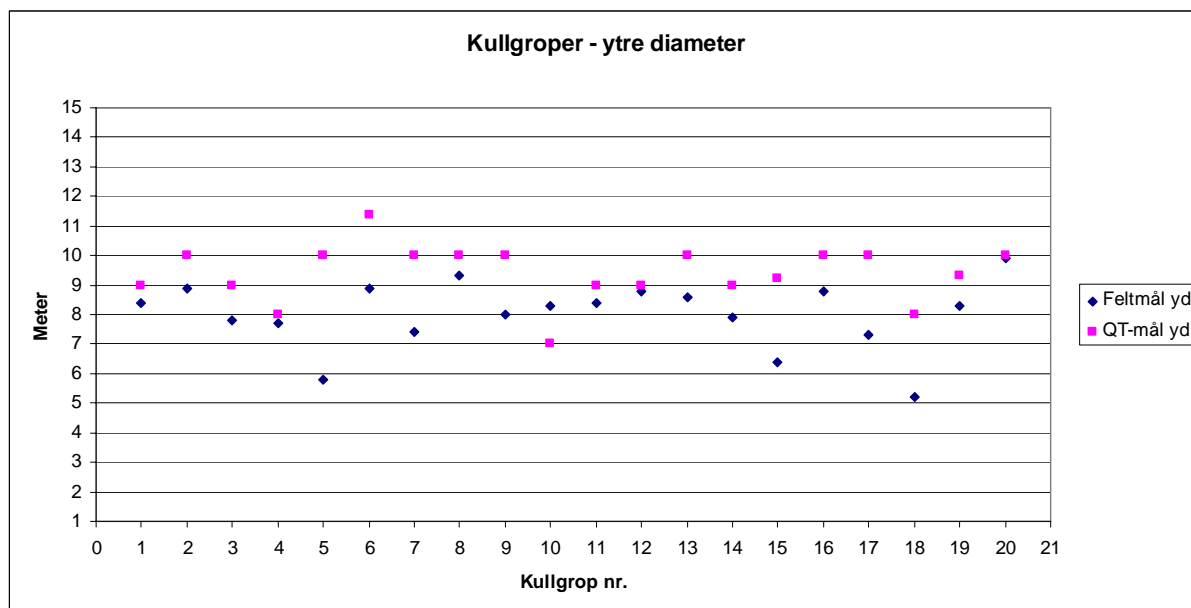
Oppmåling er en vesentlig del av dokumentasjonen når kulturminner registreres. I registreringsammenheng foregår dette normalt ved bruk av målebånd og tommestokk, mens det i utgravingsammenheng er blitt mer vanlig å ta i bruk totalstasjon i dokumentasjonsarbeidet. Å foreta oppmåling av kulturminner på basis av lidardataene var et av målene i fase 2 av laserskanningsprosjektet. QT-modeller har en funksjon som gjør det mulig å lage horisontale profiler gjennom kulturminnene. Profilene viser formen på kulturminnet i snitt og gir grunnlag for å hente ut de mest elementære målene (**figur 11**).



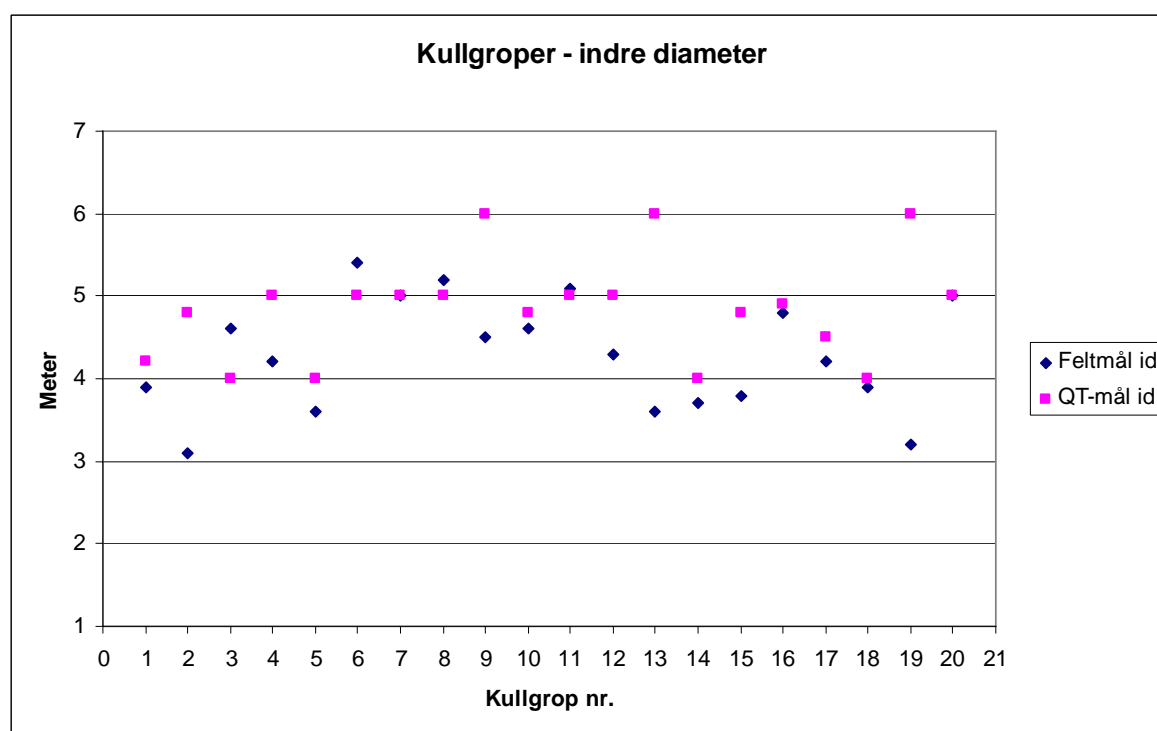
Figur 11. Et snitt gjennom kullgrop foretatt med QT-modeller.

Med tanke på å utrede nøyaktigheten på oppmåling av kulturminner på basis av lidardataene, ble det valgt ut tre kulturminnetyper som danner grunnlag for analysen. I alt 20 kullgroper, tre fangstgroper og fem jernvinneanlegg ble målt i QT-modeller. De innhentede tallene ble da sammenlignet med feltmålene av de samme kulturminnene.

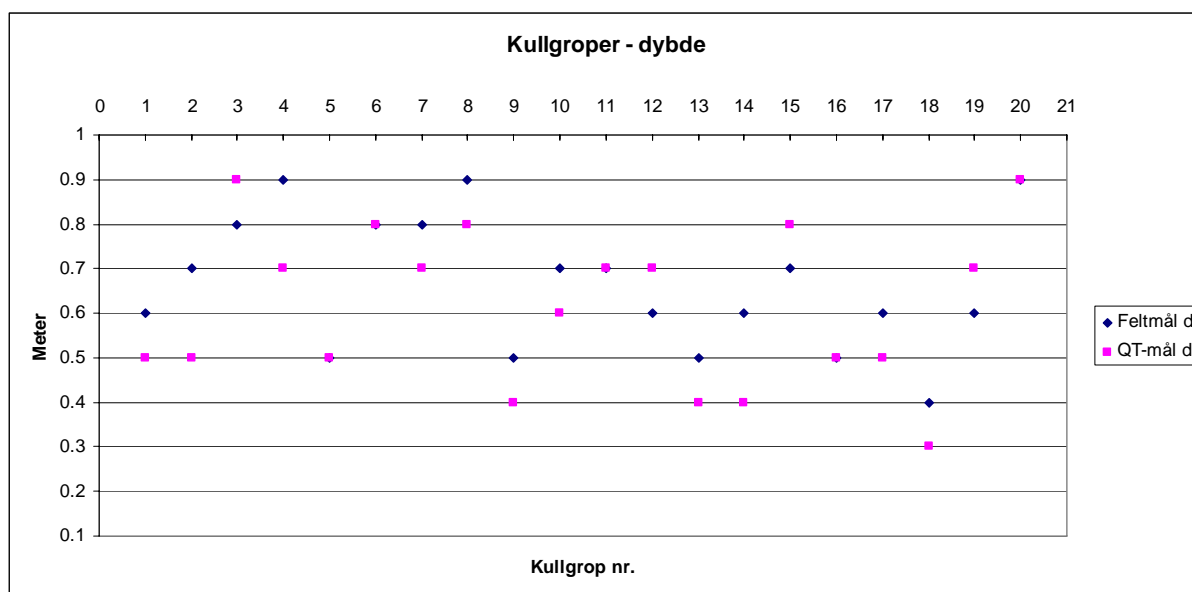
Tar vi først for oss kullgroperne, så viser **figur 12a, b og c** forskjellen mellom målene slik de ble hentet inn ved henholdsvis tradisjonelt feltarbeid og ved analyse av lidardataene (**vedlegg B**). Hva angår gropenes ytre diameter, så avviker QT-målene med mellom 0,1 og 4,2 m med et gjennomsnittlig avvik på 1,5 m. QT-målene av ytre diameter ligger jevnt over litt høyere enn feltmålene, og det relative store avvik skyldes trolig at det er vanskelig å definere akkurat hvor vollen rundt gropa slutter og urørt terreng begynner. Da er det lettere å definere hva som er indre diameter (topp voll til topp voll) som fremstår tydeligere på profiltegnningene. Avviket her er da også mindre og ligger på gjennomsnittlig 0,7 m innenfor ytterpunktene 0 – 2,8 m. Det samme gjelder kullgropernes dybde, men i enda sterkere grad. Dybdeavviket ligger innenfor intervallet 0 – 0,2 m med et gjennomsnitt på 0,09 m. Settes feltmålene som fasit, kan den gjennomsnittlige nøyaktigheten på QT-målene angis å være på 85 % for ytre diameter, 88 % for indre diameter og 92 % for dybden på kullgroper.



Figur 12 a. Feltmål og QT-mål på kullgroper.

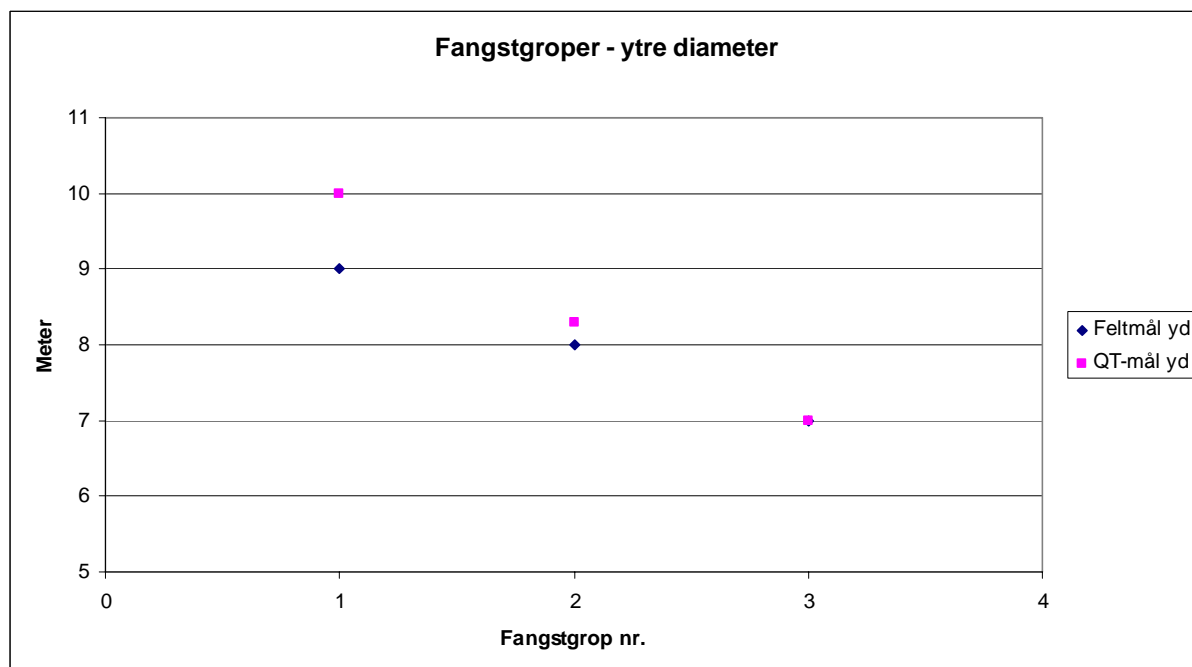


Figur 12 b. Feltmål og QT-mål på kullgroper.

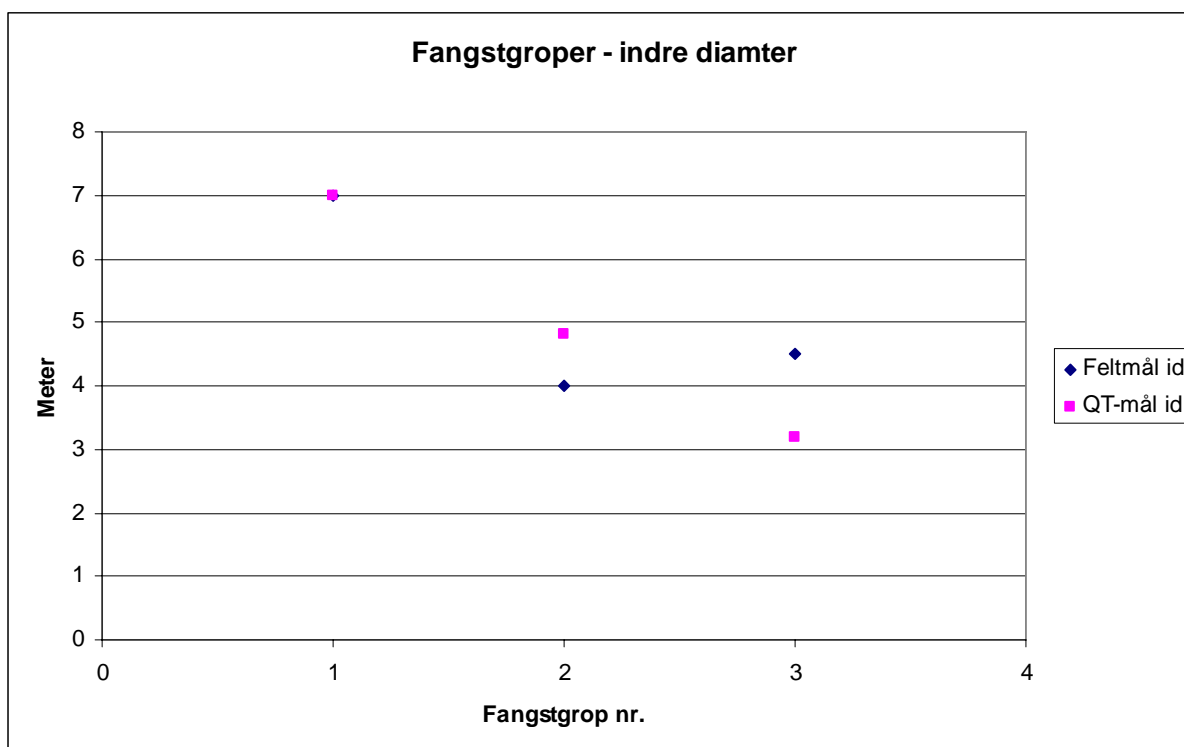


Figur 12 c Feltmål og QT-mål på kullgroper.

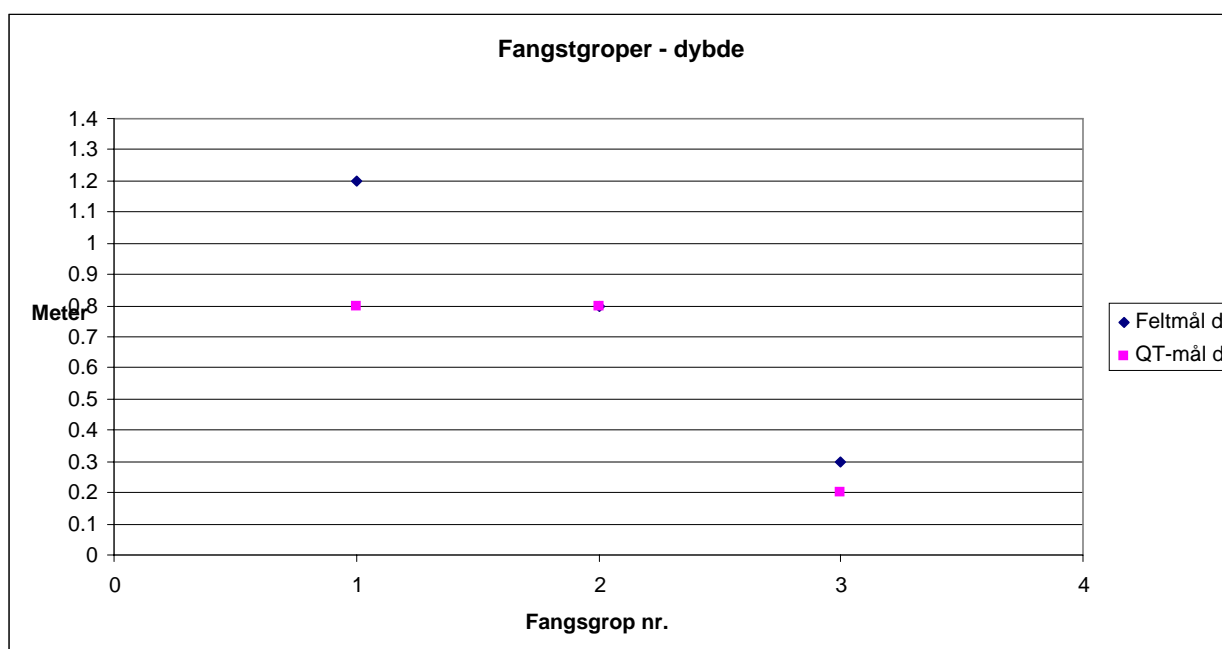
Samme analyse er foretatt på fangstgroper, men her var det statistiske grunnlaget spinkelt med kun tre registrerte fangstgroper innenfor vårt testområde (**vedlegg C**). De tas likevel med da de gir et godt supplement til gjennomgangen av kullgroperne. Avvikene på QT-målene ligger mellom 0 – 1 m og et gjennomsnitt på 0,4 m hva angår ytre diameter, 0 – 1.3 m og et gjennomsnitt på 0,7 m med hensyn til indre diameter, mens tilsvarende tall for dybdemålene er 0 – 0.4 m og et gjennomsnitt på 0,5 m (**figur 13a, b og c**). Prosentmessig gir det en gjennomsnittlig nøyaktighet på henholdsvis 95, 97 og 78 %.



Figur 13 a. Feltmål og QT-mål på fangstgroper.



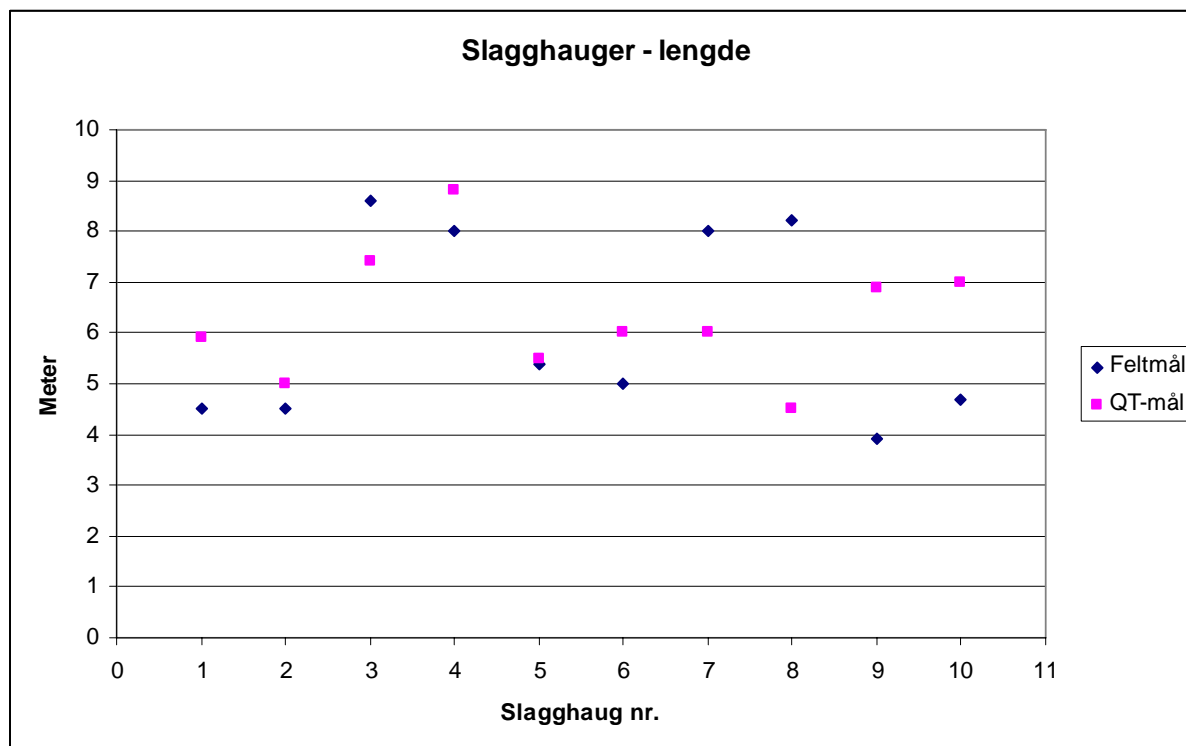
Figur 13 b. Feltmål og QT-mål på fangstgroper.



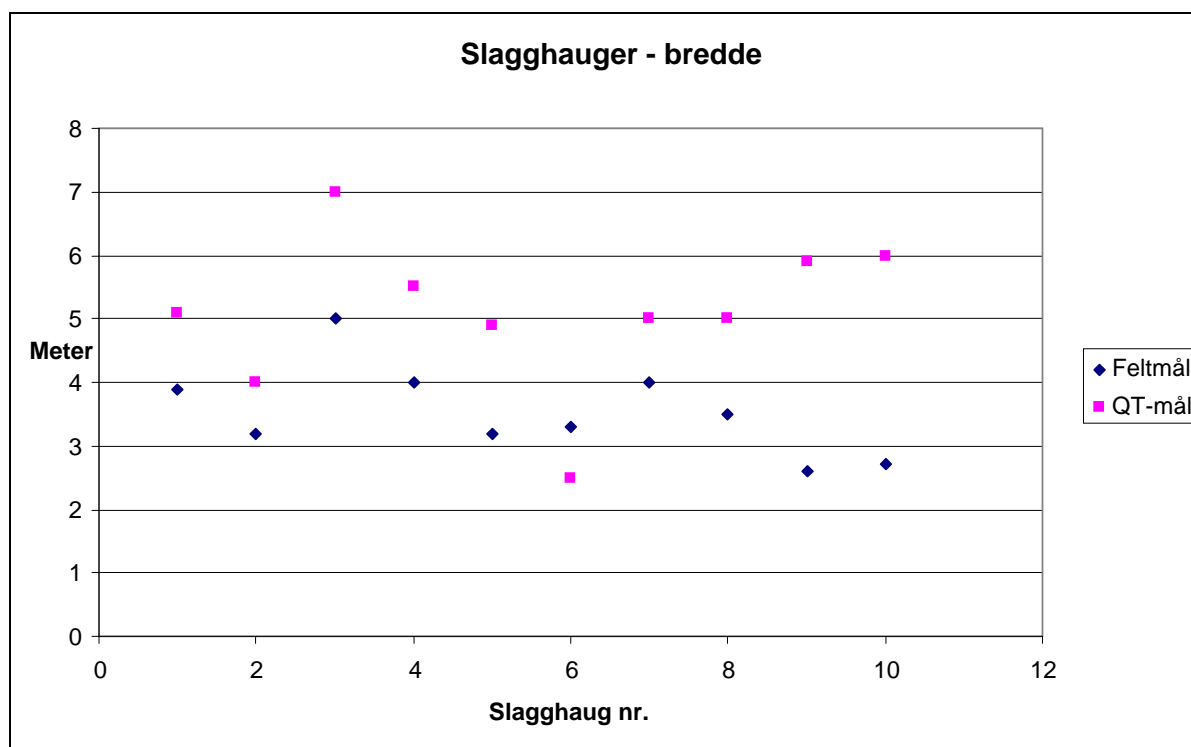
Figur 13 c. Feltmål og QT-mål på fangstgroper.

Samlet sett ligger den gjennomsnittlige nøyaktigheten av gropmålene på rundt 90 % av feltmålene, noe som må sies å være nøyaktig nok i registreringsammenheng. Selv hvis to lag foretar oppmåling av de samme kulturminnene i felt, vil det være grunn til å tro at det vil være et visst avvik mellom målene de kommer frem til. Problemet med de lidarbaserte målene er der hvor vi har opp til flere meters avvik; især der hvor distinksjonen mellom grop og terrenget rundt har vært vanskelig å erkjenne. Dette gjelder et fåtall av målene. Det kan tenkes at det kan oppnås bedre nøyaktighet gjennom å lage flere snitt gjennom kulturminnet som grunnlag for gjennomsnittberegninger. Hvor snittet gjennom kulturminnet legges i QT-modeller er mer eller mindre tilfeldig og vil sannsynligvis ikke være akkurat på samme sted som målebåndet ble spent ut i felt. I dette ligger det i seg selv et potensial for avvik mellom feltmål og de digitale målene.

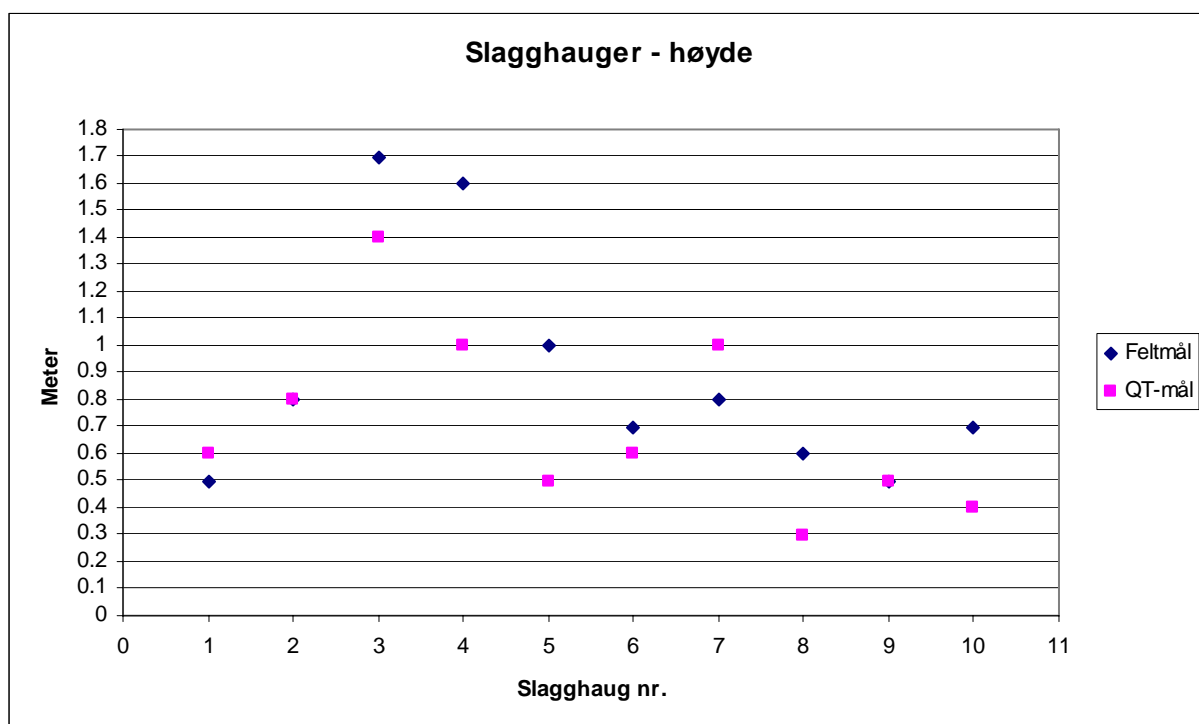
Ser vi på oppmåling av jernvinneanlegg, får vi frem følgende forhold som bygger på analyser av ti jernvinneanlegg av typen med to parallelle slagghauger på samme fremstillingsplass. Igjen setter vi feltmålene som fasit og sammenligner QT-målene med disse. Avvik på lengden på slagghaugene ligger på mellom 0,1 - 3,7 m og 0,8 – 3,3 m hva angår bredden, mens tallene for høyden er 0 - 0,6 m (**figur 14a, b og c**). Gjennomsnittet ligger på henholdsvis 1,6, 1,7 og 0,2 meters avvik i forhold til feltmålene (**vedlegg D**). Omregnet i prosent får vi tallene 97 % for lengden, 70 % for bredden og 80 % for høyden.



Figur 14 a. Feltmål og QT-mål på slagghauger.



Figur 14 b. Feltmål og QT-mål på slagghauger.



Figur 14 c. Feltmål og QT-mål på slagghauger.

Det er et meget godt sammenfall med hensyn til lengdemålene på slagghauger, mens avviket er betydelig større hva angår bredden og til dels også høyden. Slagghauger er mindre homogene i form enn tilfellet er med både kullgroper og fangstgroper. Det er derfor mer sannsynlig at avvikene blir større, da de faktiske målene er avhengige av hvor på kulturminnet de tas. At det "kun" oppnås 80 % nøyaktighet på høydemålene, må sees i lys av at slagghauger ofte har ujevn høyde med flere topper og at det alene av den grunn vil være et avvik alt etter hvor målene tas. Det samme gjelder bredden som også varierer sterkt, mens avslutningen på en slagghaug i lengderetningen er lettere å erkjenne på de langovale formene som slagghauger av denne typen har. Det samme gjelder for øvrig innmåling av slagghauger i felt som ofte også er noe tolkningsbasert, spesielt der hvor haugen er utflytende i form, overgrodd eller lignende. Derfor vil feltmål heller ikke være nøyaktige og "objektive".

En begrensning i bruken av QT-modeller til oppmålingsformål er at snittet må legges tilnærmedesvis rett øst-vest eller rett nord-syd. Dette skyldes at grunnlaget for måleberegningene er koordinater som hentes fra det geodetiske rutenettet (breddegrad og høydegrad) som jo følger de rette kompassretningene. Legges målestreken skjevt på de rette kompassretningene, vil målene følgelig bli feil.

Samlet sett er oppmålingsresultatene ved bruk av høydeprofilfunksjonen i QT-modeller tilfredsstillende.

3.5 Kostnadsberegninger

3.5.1 Feltregistrering

For å beregne kostnadseffektiviteten er det tatt utgangspunkt i feltregistreringen av delområdet fra 2006. Med utgangspunkt i disse feltregistreringene beregnes det hva det ville ha kostet å registrere hele det skannede arealet på 10 km² i felt. Deretter sammenliknes de beregnede kostnadene til feltregistrering med kostnadene ved bruk av lidar.

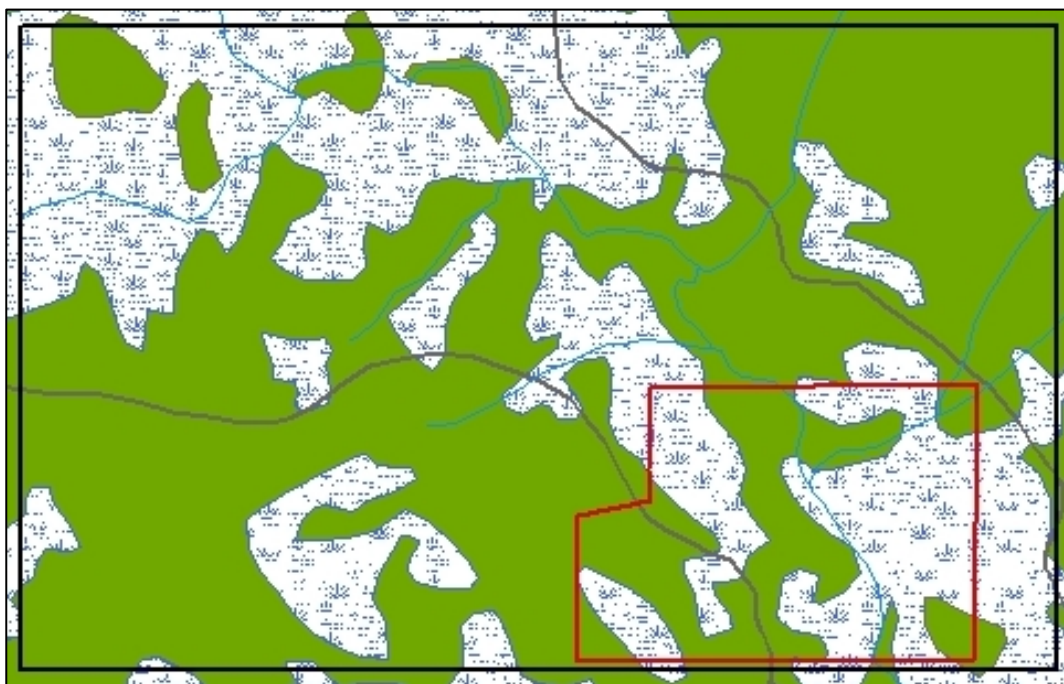
En ordinær feltregistrering av synlige kulturminner innebærer forarbeid, feltarbeid og etterarbeid. Resultatet skal være en rapport og kulturminnene skal legges inn i kulturminneregisteret Askeladden som en del av etterarbeidet, hvor ID-nr., kart osv. skal refereres til i rapporten.

For tilsvarende lidar-registrering av kulturminner følger forarbeid (bestilling av oppdrag), selve analysen av dataene/relieffet generert fra skanningen, og deretter produksjon av filer for innlegging av kulturminner i Askeladden samt rapportskrivning.

Grunnlaget for beregningene er tiden det tok å registrere delområdet fra 2006 (**figur 15**). Delområdet var på 1,48 km², hvorav ca 53 % var myr. Myrområdene ble ikke gjenstand for systematiske søk etter kulturminner. For at beregningen av kostnadene fra feltarbeidet i 2006 skal få overføringsverdi til områder med mer eller mindre prosentandel myr, må beregningen ta høyde for hvor stor del av arealet som er dekket av myr.

Som nevnt ovenfor befares ikke myrområder. Men ettersom kartgrunnlaget ikke fanger opp alle tørre rygger i myra og fordi myrområder ofte må krysses, kan man ikke se helt bort fra myrområdene i beregningene. Derfor regnes 10 % av myra som tørr grunn som må befares.

Arealet fra 2006 var som nevnt på 1,48 km². Av dette arealet var 0,69 km² tørr grunn, mens 0,79 km² var myr. I beregningsgrunnlaget skal kun 10 % av myra regnes med; 0,69 km² pluss 10 % av 0,79 km² er lik 0,77 km².



Figur 15. Sammenlikningsgrunnlaget er det skannede område i 2005 (Svart). Beregningsgrunnlaget er det registrerte området i 2006 (Rød).

Det ble brukt 76,5 timer på å registrere arealet fra 2006, noe som gir 99,5 timer pr km² fastmark. Estimert for- og etterarbeid er 38 timer og 15 min. Totalt beregnet tidsforbruk er dermed 114 timer og 45 min. Hedmark fylkeskommune beregner kr. 600.- pr time, og da er alle utgifter medregnet. Beregnet kostnad er 114 timer og 45 min x 600 = kr 68 850 for delområdet på 0,77 km². Med bakgrunn i dette blir beregnet kostnad pr km² ved ordinær overflateregistrering kr. 89 577.

For å beregne hva det ville ha kostet å befare hele det skannede arealet må man først regne om myrarealet slik det er gjort innenfor det registrerte arealet i 2006. Hele det skannede arealet fra 2005 er på 9,76 km². I alt 39 % eller 3,82 km² er myr på kartet. Av myra omregnes 10 % til tørt land og legges til det som faktisk er tørt land i følge kartet, og vi får et beregnet tørt areal på 6,32 km². Med en beregnet kostnad pr km² på kr. 89 577 blir den totale kostnaden for å feltregistrere hele det skannede arealet (89 577 x 6,32 km²) kr. 566 337.

3.5.2 Laserskanning

Beregnet forarbeid er i hovedsak å levere en bestilling til et firma som utfører skanningen. Det beregnes fem timer til dette. Faktiske påløpte kostnader til skanning og levering av data er kr. 53 119 for de 10 km².

Den neste arbeidsoppgaven består i søk etter og definering av kulturminner i QT-reader. Ved den gjennomførte testen brukte én person ca. 30 min på å analysere et areal på 240 000 m². Overført på det 10 km² store arealet som er skannet, gir det 20 timer og 20 minutter. Deretter må kulturminnenes egenskaper som dybde og diameter og geometri hentes ut fra QT-reader og fylles inn i attributt-tabellen i en shapefil for innlasting i Askeladden. Det regnes i gjennomsnitt 15 minutter pr. kulturminne til denne operasjonen. Innenfor arealet fra 2006 ble det registrert 73 kulturminner. I og med at det totale antallet kulturminner innenfor det

skannede arealet fra 2005 ikke er kjent, overføres det **gjennomsnittlige** antallet kulturminner pr km² fra 2006-arealet til 2005-arealet. Dette gir 600 kulturminner totalt. Femten minutter til å finne fram til - og legge inn data pr. kulturminne blir totalt 150 timer; og med 20 timer og 20 minutter til søk etter- og definering av kulturminner, vil det samlede tidsforbruket være 170 timer og 20 minutter.

Når punktene ovenfor er gjennomført, er man i prinsippet like langt som etter at feltpersonalet har kommet inn og har ryddet opp utstyr og kommet seg på plass foran Pcen etter vanlig feltarbeid. Derfor legges det til samme beregnede etterarbeid som etter feltarbeidet. Beregningene for feltregistrering ovenfor innebar at etterarbeidet tar halve tiden av tiden man har brukt i felt, noe som gir et etterarbeid på 314,6 timer og en utgift på kr. 188 779. Summen av beregnede og reelle utgifter ved registrering av kulturminner ved hjelp av lidar er kr. 344 171.

Beregningen viser at registrering av synlige kulturminner ved hjelp av lidar medfører ca. 61 % av utgiftene ved feltregistrering av synlige kulturminner. Det koster forholdsvis mye å få flyet med skanneren opp i lufta. Lønnsomheten vil derfor kunne øke med arealets størrelse, og tallene kan derfor bli enda bedre i lidar-registreringens favør.

En annen viktig faktor er at dette prosjektets lidardata er innhentet med det formål å registrere kulturminner alene, og at utgiftene i sin helhet dekkes av registreringsprosjektet. Et potensial ved bruk av lidar som det ikke er tatt høyde for her, er at denne typen data innhentes av andre aktører for andre formål. Merutgiftene ved å bruke data som er innhentet med andre formål for øye til kulturminneregistreringsformål blir da de ekstra kostnadene som eventuelt må til for å oppnå den oppløsningen som er nødvendig for at dataene skal kunne brukes til lidarbasert kulturminneregistrering.

4. Formidling

Foruten denne rapporten har resultater fra prosjektet vært gjenstand for formidling i forskjellige sammenhenger i 2006. I mars ble prosjektet invitert til å presentere våre resultater på seminaret "Nyere metoder for registrering av arkeologiske kulturminner" avholdt i regi av Riksantikvaren, hvor innlegget "Flybåren laserskanning og kartlegging av kulturminner i skog" ble holdt. Seminaret var spesielt rettet mot regional kulturminneforvaltning og landsdelsmuseene og tok for seg andre typer fjernmåling og geofysiske kartleggingsmetoder.

I september ble prosjektleder for laserskanningsprosjektet invitert til Falun i Sverige for å delta på seminaret "Laserskanning för kartläggning av forn- och kulturlämningar i skogsmark." På seminaret, som ble arrangert av Kulturmiljöenheten ved Länsstyrelsen i Dalarnas län, ble foredraget "Flybåren laserskanning og kulturminner i skog: noen erfaringer og resultater fra et norsk prosjekt" holdt av prosjektleder.

I desember deltok hele prosjektgruppa i den internasjonale fjernmålingskonferansen: "From Space to Place: 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology" som ble avholdt i Roma. Resultater fra prosjektet ble presentert under tittelen: "Air-borne laser scanning of cultural remains in forest areas – some preliminary results from a Norwegian project" og en artikkel under samme tittel er publisert i publikasjon fra konferansen (Risbøl et al. 2006b).

Endelig skal det nevnes at en artikkel kommer på trykk i neste nummer av tidsskriftet Kart og Plan i løpet av 2007. Artikkelen er skrevet av prosjektgruppa i fellesskap og har tittelen "Flybåren laserskanning og kulturminner i skog: ny teknologi i arkeologiens tjeneste."

5. Konklusjon og veien videre

I laserskanningsprosjektet har vi siden 2005 prøvd ut en ny metode for registrering av kulturminneobjekter i skog basert på fjernmålingsdata fra et flybårent lidarinstrument. På grunnlag av lidarmålingene ble det i pilotprosjektet i 2005 laget en detaljert terrengmodell som har vært datagrunnlaget for tolkning og registrering av kulturminner i testområdet.

I fase 2 av prosjektet ble både visuell og automatisk tolkning testet. I tillegg ble det gjort oppmåling av kulturminner basert på lidardataene. Våre resultater viser at en visuell tolkning av relieffkartene fungerer svært godt; spesielt når et analyseverktøy som QT-modeller tas i bruk. Ved en ren visuell tolkning av relieffkartene var treffprosenten for kullgroper 75, mens den ble økt til 80 % ved bruk av QT-reader. Ser vi bort fra de tre kullgroper som var svært ødelagte og gjenfylt med hogstavfall, blir treffprosenten nærmere 100. Den visuelle tolkningen var spesielt vellykket i forhold til kullgroper, mens jernvinneanlegg og tjæregrofter var vanskeligere å finne selv om de er synlige i datasettet. Dette er en utfordring vi ønsker å jobbe videre med.

Automatisk tolkning viste seg å være vanskeligere enn den visuelle. En Hough-transformasjon hvor en først måtte gjøre en deteksjon av objektenes kanter (omriss) ble forsøkt. Det viste seg at det kritiske steget var å lage en god nok kantdeteksjon som tydelig viser objektenes form og som har lite støy. Vi fikk mange feildeteksjoner av sirkulære objekter og mange ble oversett. Sirkulære objekter ble i dette testområdet tolket som kullgroper. Mer kompliserte former kan være vanskelig å parameterisere og metoden kan være vanskelig å bruke for sammensatte objekter (for eksempel jernvinneanlegg). Template matching viste seg å være mer lovende. Den er mindre komplisert å bruke og kan kjøres direkte på samme datasett som brukes til visuell tolkning. I en innledende test virket den svært lovende for å finne kullgroper, mens jernvinneanlegg var vanskeligere å finne da de ikke har samme isotropiske form som kullgroper. Slike anlegg kan også ligge ulikt orientert. Matching av kullgroper på et større testområde ga dårligere resultat enn den innledende testen tilsa med en treffprosent på 40. Årsaken til dette er ikke klar. Svakheten med den testede metoden er håndtering av skalaforandringer og anisotropiske objekter. Verktøyet vi brukte til template matching kunne ikke håndtere dette. Siden problemet er beskrevet og løst i tekstbøker om emnet, så må en kunne anta at det også fins verktøy for å håndtere slike situasjoner. Vi forventer derfor at det skal være mulig å få til bedre resultater med template matching enn dem vi har oppnådd så langt.

En metode som ikke har vært utprøvd er segmentering. Det fins ulike segmenteringsalgoritmer basert på kantdeteksjon og arealvekst (region growing) (Jain 1989). Etter at segmentene er definert, må disse klassifiseres i objekttyper. Gode resultater med segmentering vil også være avhengige av gode inputdata uten mye støy. Segmentering med kun terrengmodellen som input vil antakelig ikke gi tilfredsstillende resultater, og det må derfor avledes for eksempel kantbilde og helningsbilde som segmenteringen kan baseres på. En videre utprøving av mønstergjenkjenning bør prøve ut denne metoden. For å bli vellykket vil det være avgjørende at en kan avlede data fra terrengmodellen som gjør terrengobjektene (for eksempel kullgroper og slagghauger) tydeligere enn det de er i terrengmodellen. For den visuelle analysen representerte relieffbildene slike avledete data.

Vi har ikke kunnet gå i dybden med utprøving av automatiske tolkningsmetoder. Men vi har avdekket noen problemstillinger til de ulike metodene. Det trengs mer arbeid for å finne den best egnete metoden. Et spørsmål er om det fins en generisk metode som fungerer godt for alle objekttyper eller om en må bruke ulike metoder for ulike objekter. En bredere studie på flere områder og terrengtyper og flere objekttyper er nødvendig. Dette kan best realiseres gjennom et større prosjekt der flere fagmiljøer innen bildeanalyse deltar.

Oppmåling av kulturminner basert på lidardataene ble også testet ut i fase 2 av prosjektet. En funksjon i QT-modeller gjør det mulig å legge et snitt gjennom kulturminnene og generere en høydeprofil. Ved hjelp av høydeprofilen kan det tas mål av kulturminnet både horisontalt og vertikalt. Dette ble gjort for en rekke utvalgte kullgroper, jernvinneanlegg og fangstgroper og målene ble sammenlignet med målene tatt i felt. Selv om det var avvik, ligger disse innenfor det som er forsvarlig til vanlig registreringsbruk. Er det behov for veldig nøyaktige mål, må andre metoder tas i bruk på selve lokaliteten.

I fase 2 av prosjektet er det også foretatt en kostnadssammenlikning av ordinær feltregistrering av synlige kulturminner og en registrering av kulturminner med laserskanning. Kalkylen inneholder flere usikkerhetsmomenter, men gir likevel en indikasjon på kostnadsdifferansen.

Beregningen viser at registrering av synlige kulturminner ved hjelp av lidar medfører ca. 61 % av utgiftene ved feltregistrering av synlige kulturminner. Det koster forholdsvis mye å få flyet med skanneren opp i lufta. Lønnsomheten vil derfor kunne øke med arealets størrelse, og tallene kan derfor bli enda bedre i lidar-registreringens favør.

Et potensial ved bruk av lidar som det ikke er tatt høyde for i denne kalkylen, er at denne typen data innhentes av andre aktører for andre formål. Utgiftene til lidar-registrering av kulturminner vil i slike tilfeller reduseres betraktelig.

Resultatene fra fase 2 av prosjektet viser at flybåren laserskanning er en velegnet metode for å registrere kulturminner i skog, men at det samtidig er en del begrensninger. Ikke alle kulturminnetyper lar seg påvise like lett, og vi har så langt bare jobbet med et relativt snevert utvalg av de kulturminnetyper som finnes i skog. Som nevnt ovenfor er det også behov for å jobbe videre med både den visuelle tolkningen av relieffkartene og spesielt den automatiske. Lidar erstatter ikke ordinært feltarbeid, spesielt ikke hvis hensikten er å foreta systematiske registreringer av automatisk fredete kulturminner etter § 9 i Lov om kulturminner. For det første kan kulturminner som ikke er synlige over bakken påvises med denne metoden, for det andre er det fremdeles utfordringer knyttet til påvisning av mindre distinkte og mindre regelmessige kulturminner. I fortsettelsen av prosjektet ønsker vi derfor å jobbe videre med disse utfordringene og ta for oss et bredere spekter av kulturminner samt raffinere både den visuelle og automatiserte tilnærmingen til tolkningen av relieffkartene.

6. Referanser

Anil K. Jain 1989: Fundamentals of digital image processing. - Prentice Hall International Editions, 569 s.

Risbøl, O., T. Risan, R. Bjørnstad, S. Fretheim & B.H.E. Rygh 2002: Kulturminner og kulturmiljø i Gråfjell, Regionfelt Østlandet, Åmot kommune i Hedmark. Arkeologiske registreringer 2002, fase 4. - NIKU Publikasjoner 125. Oslo 2002.

Risbøl, O., A.K. Gjertsen & K. Skare 2006a: Flybåren laserskanning og kulturminner i skog. Et pilotprosjekt. – Upublisert rapport. NIKU Miljøovervåking 03-2006.

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, pp 107-112.

Risbøl, O., A.K. Gjertsen & K. Skare 2007: Flybåren laserskanning og kulturminner i skog. Ny teknologi i arkeologiens tjeneste. - I: Kart og Plan, vol. 67, s. 78-90. 2007.

Vedlegg A

Feltregistreringene fra 2002		1. analyseperson	2. analyseperson
kullgrop 5899		kullgrop 13	kullgrop 9
kullgrop 5900		kullgrop 12	kullgrop 6
kullgrop 5818		kullgrop 11	usikker kullgrop 12
kullgrop 5819		kullgrop 10	kullgrop 5
kullgrop 5820		0	0
kullgrop 5821		0	0
kullgrop 5822		kullgrop 9	kullgrop 3
kullgrop 5823		0	0
kullgrop 5824		kullgrop 8	kullgrop 4
kullgrop 5825		kullgrop 5	kullgrop 6
kullgrop 5826		kullgrop 6	kullgrop 18
kullgrop 5827		kullgrop 7	usikker kullgrop 15
kullgrop 5828		0	usikker kullgrop 14
kullgrop 5829		kullgrop 1	kullgrop 4
kullgrop 5830		kullgrop 2	kullgrop 0
jernvinneanlegg 5831		jernvinneanlegg 16	jernvinneanlegg 17
kullgrop 5832		kullgrop 3	kullgrop 7
kullgrop 5833		kullgrop 4	kullgrop 1
tjæregroft 5834		0	0
jernvinneanlegg 5907		0	0
kullgrop 5908		kullgrop 14	kullgrop 10
0		kullgrop 15	usikker kullgrop 11
0		0	usikker kullgrop 13
0		0	kullgrop 16

Vedlegg B

Kullgroper		Feltmål 2002			QT-mål		
Nr.	2002 id	ytre diam.	indre diam.	dybde	ytre diam.	indre diam.	dybde
1	5833	8.4	3.9	0.6	9	4.2	0.5
2	5825	8.9	3.1	0.7	10	4.8	0.5
3	5916	7.8	4.6	0.8	9	4	0.9
4	5857	7.7	4.2	0.9	8	5	0.7
5	5856	5.8	3.6	0.5	10	4	0.5
6	5898	8.9	5.4	0.8	11.4	5	0.8
7	5899	7.4	5	0.8	10	5	0.7
8	5924	9.3	5.2	0.9	10	5	0.8
9	5894	8	4.5	0.5	10	6	0.4
10	5921	8.3	4.6	0.7	7	4.8	0.6
11	5923	8.4	5.1	0.7	9	5	0.7
12	5829	8.8	4.3	0.6	9	5	0.7
13	5827	8.6	3.6	0.5	10	6	0.4
14	5819	7.9	3.7	0.6	9	4	0.4
15	5860	6.4	3.8	0.7	9.2	4.8	0.8
16	5931	8.8	4.8	0.5	10	4.9	0.5
17	5917	7.3	4.2	0.6	10	4.5	0.5
18	5897	5.2	3.9	0.4	8	4	0.3
19	5904	8.3	3.2	0.6	9.3	6	0.7
20	5920	9.9	5	0.9	10	5	0.9

Vedlegg C

Fangstgroper		Feltmål 2005			QT-mål		
Nr.	2005 id	ytre diam.	indre diam.	dybde	ytre diam.	indre diam.	dybde
1	105	9	7	1.2	10	7	0.8
2	106	8	4	0.8	8.3	4.8	0.8
3	107	7	4.5	0.3	7	3.2	0.2

Vedlegg D

Jernvinneanlegg			Feltmål 2002			QT-mål		
Nr.	2002 id	Slagghaug	lengde	bredde	høyde	lengde	bredde	høyde
1	5895	slagghaug 1	4.5	3.9	0.5	5.9	5.1	0.6
2		slagghaug 2	4.5	3.2	0.8	5	4	0.8
3	5926	slagghaug 1	8.6	5	1.7	7.4	7	1.4
4		slagghaug 2	8	4	1.6	8.8	5.5	1
5	5902	slagghaug 1	5.4	3.2	1	5.5	4.9	0.5
6		slagghaug 2	5	3.3	0.7	6	2.5	0.6
7	5922	slagghaug 1	8	4	0.8	6	5	1
8		slagghaug 2	8.2	3.5	0.6	4.5	5	0.3
9	5907	slagghaug 1	3.9	2.6	0.5	6.9	5.9	0.5
10		slagghaug 2	4.7	2.7	0.7	7	6	0.4

NIKU publikasjonsliste / Publications

pr. 30. mai 2007

Fra 2003 avslutter NIKU tidligere serier og etablerer to nye, NIKU Rapport og NIKU Tema. Tidligere serier er Fagrapporter, Temahefter, Oppdragsmeldinger, NIKU publikasjoner og Faktaark. 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. *Brænne, 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. Barlindhaug.* 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 Brænne, 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' altermalier i Valle kirke, Lindesnes kommune i Vest-Agder. *Ford, T.-O. og Frøysaker T.* 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 + vedlegg.
(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. S. *Barlindhaug, T. Risan & A. E. Thuestad*. 2007. 127 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.* 2003. 20 s.
- 2 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Saltedal 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.* 2005. 20 s.
- 9 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Horten kommune, Vestfold, 2003. *Sollund, M.-L.* 2004. 17 s.
- 10 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Lillesand kommune, Aust-Agder, 2003. *Sollund, M.-L.* 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. 2004. *Swensen, G., Jerpåsen, G., Skogheim, R., Saglie, I-L, Guttormsen, T. S.* 95 s.
- 13 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Sarpsborg kommune, Østfold, 2004. *Sollund, M.-L. Bøe.* 2005. 29 s.
- 14 Fra vernesone til risikosone. Studier i middelalderbyene Bergen og Tønsbergs randsoner. *Nordeide, S. Walaker (red.)* 76 s.
- 15 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Skien kommune, Telemark 2005. *Sollund, M-L Bøe* 24 s.
- 16 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Grong kommune, Nord-Trøndelag 2005. *Sollund, M-L Bøe* 26 s
- 17 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Tromsø kommune, Troms 2005. *Holm-Olsen, I. M.* 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.* 2007. 19 s.
- 20 Fortidens minner i dagens landskap. Status for automatisk fredete kulturminner i Nord-Aurdal kommune, Oppland, 2006. *Sollund, M.-L.* 2007. 21 s.

Annet

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