



Kunnskap for en bedre verden

Deteksjon av kullgroper i digitale terrengmodeller

*En sammenligning av egengenererte og
kartverkets modeller*

Amalie Kranstad Tjomsland, Bjørnar Raen, Margaret Mausest

Bachelor i Geomatikk BGEO390/Bygg BIBYG39

Innlevert: 15 mai 2018

Hovedveileder: Torbjørn Kravdal

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vareproduksjon og byggingteknikk

Oppgavens tittel: Deteksjon av kullgroper i digitale terrengmodeller	Dato: 15.05.2018		
	Antall sider: 57		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn: Amalie Kranstad Tjomsland, Bjørnar Raen, Margaret Mausest			
Veileder: Torbjørn Kravdal NTNU Gjøvik			

Sammendrag:

I denne studien sammenlignes egengenererte terrengmodeller med kartverkets terrengmodell hentet fra hoydedata.no i et forsøk på å komme frem til modellen som egner seg best for deteksjon av kullgroper. De egenlagde modellene er generert fra samme punktsky som den fra kartverket. Punktskyen er reklassifisert før generering av digital terrengmodell i et forsøk på å komme frem til en bakkeklassifisering godt egnet til deteksjon av kullgroper. Det er brukt splines for å interpolere mellom bakkepunktene, og det ble gjort forsøk med forskjellig grad av glatting av terrengmodellene.

For å detektere kullgropene ble det gjort et ikke helt vellykket forsøk med sirkelgjenkjenning i MatLab, og et litt mer vellykket forsøk på template matching i OpenCV. Terrengmodellen fra kartverket viste bedre resultater enn de egengenererte modellene. Det er likevel usikkert om dette kommer av klassifisering av punktene, interpolering eller begge deler.

Stikkord:

Flybåren laserskanning
Digital terrengmodell
Teknologisk arkeologi
Automatisk deteksjon

Amalie K. Tjomsland Bjørnar Raen Margaret Mausest

Abstract

In this study several digital terrain models were generated and compared with Kartverkets (Norwegian mapping authority) terrain model taken from hoydedata.no in an effort to determine what model is best suited for detection of charcoal pits. The custom models are generated from the same point cloud as the one from Kartverket. The point cloud is reclassified before generating the digital terrain models (DTM) in an attempt to find a ground classification well fitted for detection of charcoal pits. Splines have been used for interpolation between the ground points, and attempts were made with different degrees of smoothing of the terrain models. To detect the charcoal pits, an unsuccessful attempt was made with circle detection in MatLab, and a slightly more successful attempt on template matching in OpenCV. The terrain model from Kartverket showed better results than the DTMs generated in this study. However, it is uncertain whether this is due to the classification of the points, interpolation between them or both.

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av Bjørnar Raen, Amalie Kranstad Tjomsland og Margaret Mausset ved avdeling for Geomatikk på NTNU Gjøvik.

Oppgaven tar utgangspunkt i å se på klassifiseringen av en punktsky og deretter lage en digital terrengmodell (DTM) for til slutt å utføre en automatisk gjenkjenning av et kulturminne på bakken.

Vi vil takke vår veileder på NTNU, Torbjørn Kravdal for hjelp i skriveprosessen.

På Oppland fylkeskommune ble vi tatt imot av Dr. Arkeolog Lars H. Pilø som gav oss verdifull innsikt i arkeologiens verden generelt og om teknologisk arkeologi spesielt. Dette møtet ble inspirasjonen til valg av tema og problemstilling. Takk!

Det var overveldende mye nytt stoff å sette seg inn i for å få levert en akademisk og vitenskapelig rapport. Derfor må det rettes en stor takk til alle ansatte på NTNU Gjøvik som har vært delaktige med å føre oss på rett vei.

Vaidutis Žutautas hadde våren 2017 ferdigstilt en masteroppgave som fanget vår interesse. Vi ville gjerne prøve ut hans metode i vår kontekst. Takk for tiden som ble brukt på oss og for at vi fikk bruke hans kode i MatLab som utgangspunkt i vår oppgave.

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Hensikt.....	3
1.3	Problemstilling.....	5
1.4	Avgrensning.....	6
1.5	Rapportens oppbygning	6
1.6	Teori og litteratur.....	7
1.6.1	Omløpsskanning av Norge	7
1.6.2	Fordeler med laserskanning	7
1.6.3	Punkttetthet.....	8
1.6.4	Nøyaktighet	9
1.6.5	Litteratur.....	10
2	Metode og programvare	11
2.1	Utvalgt forskningsområde	12
2.2	Programvare.....	13
2.2.1	TerraScan	13
2.2.2	Lasground.....	14
2.2.3	GRASS GIS.....	14
2.2.4	Mathworks.....	14
2.2.5	Relief Visualization Toolbox (RVT).....	15
2.2.6	Open CV (Open Source Computer Vision).....	16
2.3	Gjennomføring.....	17
2.3.1	Dataflyt.....	17
2.3.2	Forarbeid	18
2.3.3	Reklassifisering	18
2.3.4	Digital terrengmodell (DTM).....	19
2.3.5	Kullgropdeteksjon i MatLab	19
2.3.6	Template matching	21
3	Analyse og resultater	22
3.1	Reklassifisering i TerraScan	22

3.2	Terrengmodell	24
3.3	Template Matching.....	25
4	Diskusjon.....	28
4.1	Feilkilder.....	28
4.2	Betraktninger	29
4.3	Konklusjon.....	33
4.4	Videre forskning.....	34
	Referanseliste	37
	Vedlegg	40

Figurliste

Figur 1: DOM over utvalgt område ved Gravfjellet, Øystre Slidre kommune. © Kartverket	12
Figur 2: Dataflyt i prosjektet	17
Figur 3: Oversikt over funn av kullgroper fra utprøvningsområdet.....	21
Figur 4: Tverrsnitt kullgrop 1	22
Figur 5: Tverrsnitt kullgrop 2.....	23
Figur 6: Utsnitt av egengenererte terrengmodeller	24
Figur 7: Utklipp av DTM fra kartverket. © Kartverket	25
Figur 8: Oversikt over funn av kullgroper og falske funn.....	27

Forkortelser

ALS – Airborne Laser Scanning

DHM – Digital høydemodell

DOM – Digital overflatemodell

DTM – Digital Terrain Model

FKB – Felles kartdatabase

FLS - Flybåren laserskanning

GIS – Geografiske Informasjonssystem

LASER – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

LiDAR – Light Detection and Ranging

NIKU – Norsk Institutt for Kulturminner

SVF – Sky-View Factor

TIN – Triangulated irregular network

Definisjoner

Anomali: Avvik fra regelen, uregelmessighet (Store norske leksikon, 2018b)

Autoklassifikasjon: Data som kan leveres kort tid etter utført skanning. Dataene er da kun automatisk klassifisert av programvaren, uten etterfølgende manuell kvalitetssikring (Oppland Fylkeskommune, 2013, s. 47).

CPOS: Centimeterposisjons, en tjeneste fra Kartverket. Korreksjoner for GNSS som mottas i sanntid ved hjelp av et GSM- eller GPRS- modem.

Digital høydemodell (DHM): En modell som inneholder høydeinformasjon over et område. Brukes ofte som samlebetegnelse for DOM og DTM.

Digital overflatemodell (DOM): (engelsk: Digital Surface Model DSM) En modell som er generert fra første retursignal fra skanningen. Inneholder trær og hus.

Digital terrengmodell (DTM): En modell som kun inneholder retursignaler fra bakken. Inkluderer ikke trær og hus.

DTM 10/20/50 standard: Lidarskanning i Norge skjer etter fastsatte standarder. En vanlig standard er DTM 20 / 0.7 pkt. Dette tilsvarer en punktsky med inntil 20 cm nøyaktighet på punktene og minimum 0.7 førsteiteter/ m² innenfor et spesifisert prosenttall (vanligvis 95% av arealet (Oppland Fylkeskommune, 2013, s. 47).

Fjernmåling: "innhenting av informasjon om et objekt, uten å være i fysisk kontakt med objekter" (Risbøl og Gustavsen, 2016, s. 5).

Faste kulturminner: "Boplasser, hus og bygninger samt arbeids- og verkstedsplasser, eller spor av disse, spor etter åkerbruk, veifar, forsvarsverker, tingsteder, begravelseplasser, helleristninger med mer" (Store norske leksikon, 2014)

Fornminner: "Konkrete, som regel synbare, spor etter eldre tiders liv og virke" (Store norske leksikon, 2014).

Georeferert: Geomatikk, stedfeste ved koordinater i et kjent geodetisk referansesystem. Informasjon om hvordan et punkt ligger i det virkelige terrenget (Det norske akademis ordbok, 2017).

Geovekst: er et samarbeid mellom flere store parter omkring felles etablering, forvaltning, drift, vedlikehold (FDV) og bruk av geografisk informasjon. GEO- Vegvesen, Energi, Kommune, Stat og Tele.

Iterasjon: Det å repetere en prosess med det formål å nærme seg et resultat. Resultatet legges inn som «input» i neste iterasjon.

Klassifikasjon: Gruppering av retursignaler etter hva de har truffet (bakke, vegetasjon, vann osv). Denne klassifikasjonen gjør det mulig å filtrere punktskyen ved produksjon av en terrengmodell (DTM).

Kulturminner: "Med de hurtige endringer i levevilkår og levevis som har funnet sted i moderne tid, hvor dagens samfunnsprodukt er morgendagens kulturminne, har begrepet (kulturminner) fått en videre tolkning, og kan omfatte kulturhistorisk verdifulle gjenstander, byggverk og anlegg av forholdsvis ny dato" (Store norske leksikon, 2014).

Morfologi: Formlære, Geomorfologi; Læren om hvordan landformer er bygget opp.

Relieffkart: Geografi: kart der terrengformasjonene fremstilles i relieff (fremhevet) (Den store norske bokmålsordboka, 2014).

Retursignal: Hver laserpuls kan gi en eller flere retursignaler ved refleksjon mot vegetasjon, bygninger, bakke og annet (Oppland Fylkeskommune, 2013, s. 47).

Spline: interpolasjonsmetode. Også betegnelse på en interpolasjonskurve eller -flate. Splinefunksjon, funksjon som består av stykkevis polynomer som til sammen beskriver en glatt linje eller flate. Glatte overganger mellom polynomene oppnås ved betingelse om at polynomene og deres deriverte skal være kontinuerlige (Store norske leksikon, 2018a).

1 Introduksjon

Det finnes en arkeologisk side og en geomatikkside av temaet som tas opp i denne oppgaven. Fokuset ligger på å finne hvilken metode som lager den beste terrengmodellen for automatisk deteksjon av kulturminner. Denne vinklingen legger fokuset på fagområdet geomatikk. Vi forutsetter at leseren har en viss basiskunnskap eller interesse for geomatikk. Den arkeologiske siden er vi selvsagt oppmerksomme på men innser at kunnskapen på det fagområdet ikke strekker til. Innledningen er ment å gi en kort innføring av de arkeologiske sidene som berøres av funnene i forskningen vår, slik vi ser det. Dette leder frem til en beskrivelse om hensikten med den nye kunnskapen. I slutten av kapittelet presenterer vi problemstillingen og avgrensninger til oppgaven.

1.1 Bakgrunn

Mennesker har alltid satt spor etter seg der de har ferdes. Mange av disse sporene har grodd igjen av ulik vegetasjon, andre har forsvunnet med den kultivering av landskap som har gått for seg opp gjennom historien. Dette kan være landbruk av ulikt slag hvor større og større maskiner etter hvert har pløyd dypt i jorden og ødelagt spor etter bosettinger og transportårer.

Ole Risbøl viser i NIKU's sluttrapport 39 at det er langt igjen før kulturminner som ligger inne i skogen fullt ut er registrert og kartfestet. (Sætren et al., 2012, s. 100-104)

Fortetting av bosetting, flere veier og annen infrastruktur bidrar til at de spor som måtte finnes av mennesker fra tidligere tider går tapt.

Kulturminner viser seg å ha blitt godt bevart inne i skogsterreng. De har blitt beskyttet fra vær og derfor mindre utsatt for erosjon. Samtidig gir skogsterreng utfordringer for arkeologene når kulturminnene skal kartlegges (Maas og Vosselmann, 2010, s. 279).

Får man en oversikt over de ulike sporene så som for eksempel kullmiler, fangstgroper, gravhauger og steinrydningsrøyser vil det gi oss viktig informasjon om tidligere tiders bruk av jorden, hvordan de drev skogen og hvordan menneskene livnærte seg. Dette kan igjen brukes i

analyser om hvilken effekt dette har hatt på landskapet og økosystemet (Schneider et al., 2015).

Norsk Institutt for kulturminneforskning (NIKU) er en pådriver i utviklingen av nye metoder i fagretningen teknologisk arkeologi. Erfaringene de har gjort viser at ved hjelp av laserskanning har de ved arkeologisk feltdokumentasjon fått svært gode resultater (Sætren et al., 2012, s. 100-104).

Gjennom nasjonale og internasjonale samarbeidsprosjekter viser NIKU at de ser viktigheten i metodeutvikling og kompetansebygging når det gjelder laserskanning, kulturminnedeteksjon, dokumentasjon og registrering.

Ludvig Boltzman Institute for Archaeological Prospection and virtual Archaeology (LBI ArcPro) startet et forskningsprosjekt som skulle vare i fem år. I dette prosjektet samarbeidet åtte forskningsinstitusjoner fra fem land, hvor NIKU var prosjektleder for den norske delen. De håper å kunne finne gode metoder som utfyller hverandre når det gjelder arkeologiske kartlegginger (Sætren et al., 2012, s. 41). Norge kan derfor sies å være langt fremme innen dette faget og mye forskning har allerede blitt utført. Gjennom bacheloroppgaven ønsker vi å bidra til en mer nøyaktig metode i klassifisering av punktskyer som igjen vil gi en bedre digital terrengmodell (DTM). Dette ønsker vi kan forbedre metoden for en automatisk gjenkjenning av formasjoner på bakken og som er av arkeologisk interesse.

Det er derfor viktig å stadig utvikle metoder som forenkler prosessen ved å finne fornminner. Graving i jorden til tomter eller annen infrastruktur skal være godkjent av kommunen i samarbeid med geomatikkavdelingen kommunen er tilknyttet. Denne godkjenningen innebærer at gravemelding skal sendes inn og området det blir søkt gravd i skal være klarert slik at det ikke er fare for at fornminner går tapt. Arkeologiske registreringer og undersøkelser for mange millioner blir hvert år utført i samband med veiutbygging (Gustavsén, Paasche og Risbøl, 2013, s. 5). Hvordan blir dette gjennomført i dag? Selve gravemeldingstjenesten er digitalisert og geomatikkavdelingen og kommunen har digitale hjelpemidler og databaser som gir informasjon om kjente fornminner. Disse er angitt med koordinater. Databasen som Riksantikvaren har ansvaret for heter Askeladden.

Hva er Askeladden? På Riksantikvarens nettside sier de blant annet:

Askeladden er Riksantikvarens offisielle database over fredete kulturminner og kulturmiljøer i Norge, og skal inneholde informasjon om alle, kjente, fredete kulturminner i Norge og på Svalbard.

Det er ikke alle automatisk fredete kulturminner som er registrert, og vi har heller ikke fullstendige registreringer av alle kulturminner. Det betyr at selv om Askeladden viser at det ikke er registrert kulturminner i et område, er det ingen garanti for at det ikke finnes kulturminner i det området (Riksantikvaren, 2004).

På grunn av at mye av innsamlet materiale er utført med gamle metoder kan en kanskje påstå at den inneholder informasjon med en for dårlig kvalitet når det gjelder nøyaktighet.

Innhenting av data med arkeologisk verdi slik det gjøres i dag, er kostbart. Det krever mye arbeid hvor arkeologer må ut i felt for å finne, registrere, dokumentere og georefere fornminnene. Det kan ta måneder fra innmeldt behov for kulturminne- informasjon til den er innhentet og behandlet og likevel være innenfor loven.

1.2 Hensikt

Hvordan har så informasjonen som ligger i riksantikvarens database blitt innhentet?

Arkeologisk datafangst har tradisjonelt blitt utført ved at fornminner har blitt dokumentert ved feltarbeid. Dette betyr at bare noen områder med spesiell interesse for eksempel ved utbygging av vei eller annen graving, har blitt undersøkt. Kulturminneloven §9 setter krav til at undersøkelser blir foretatt (Kulturdepartementet, 1979). Tradisjonelle måter å gjennomføre registreringer av funn er visuelle søk og prøvestikking i utmark og synfaring og sjakting når dette foregår på innmark. Enkelte typer fornminner blir forringet hvis det blir eksponert for oksygen. Det sier seg selv at den tradisjonelle måten å innhente data på er både langsom og kostnadskreven. Derfor vil det kunne oppstå konflikter mellom utbygger/ entreprenør og arkeologisk ansvarlig som er fylkeskommunen. (Gustavsen, Paasche og Risbøl, 2013, s. 5)

En annen konsekvens er at de arkeologiske undersøkelsene bare viser kulturminner/ fornminner på en måte som en kanskje kan påstå er stykkevis og delt. Dette kan føre til at arkeologene ikke får se hele bildet. Mønster og sammenhenger i menneskers bevegelser, liv og levnet fra tidligere tider kan derfor gå tapt. Risbøl sier at konsekvensen av en ufullstendig database vil for arkeologene og forvalterne av kulturminnene si at tidligere menneskelig aktivitet kan bli feiltolket (Risbøl *et al.*, 2013)

Innhenting av data ønsker vi skal utføres slik at fornminnet ikke blir ødelagt. Arkeologisk fjernmåling er et samlebegrep for flere metoder som i prinsippet utføres slik at en ikke er i direkte berøring av det objektet eller formasjonen som skal påvises og dokumenteres. Det trengs altså et redskap eller metode som hjelper til å detektere og georeferere fornminner så raskt som mulig uten at det forekommer ødeleggelse. Dette vil kunne dempe konfliktnivået i prosjekteringen. Ludwig Boltzmann Institute utførte en analyse hvor de kombinerte geofysikk, flyfoto, datateknologi og geomatikk for å få en effektiv og universell tilnærming til en ikke-destruktiv metode for å avdekke fornminner på bakken i skog. Denne fagkombinasjonen bedrer dokumentasjonen, visualiseringen og tolkningen av arkeologiske landskap (Ludwig Boltzmann Institute, 2013-2018).

Det er ikke vanskelig å forstå at bevaring av fornminner og utvikling i det moderne samfunn kan føre til konflikter. Kulturminneloven (§4) sier at faste kulturminner fra før 1537 (reformasjonen) og samiske eldre enn 100 år, automatisk blir fredet. Det skal i tillegg defineres en sikkerhetssone rundt disse. Loven sier videre at det ikke må foretas inngrep som kan skade, ødelegge eller skjemme kulturminnet. Likevel er det mulighet for å søke myndighetene om tillatelse til inngrep (Kulturdepartementet, 1979).

Får en til en automatisering av deteksjonen av fornminner, gjennom å ta i bruk ny teknologi og kunnskap vil dette få flere positive ringvirkninger. Det er antageligvis ikke alltid nødvendig å bevare alle fornminner fysisk men det er kanskje viktigere å få dokumentert hvor de ligger, slik kan de settes inn i riktig kontekst. Riksantikvaren har utgitt et dokument om strategiske valg i tidsrommet 2017- 2021. Der blir det sagt at «Et representativt utvalg av kulturminner, kulturmiljø og landskap skal tas vare på i et langsiktig perspektiv» (Riksantikvaren, 2017, s. 5).

I områdeplanlegging for reiselivet anvendes begrepet "sacrificed area" som brukes om områder/arealer hvor en legger til rette for økt bruk gjennom skilting og markedsføring og hvor man samtidig skjærer andre områder gjennom restriksjoner og fredning (Flognfeldt, 1995).

Håpet er da at vi oppnår en vinn- vinn situasjon. Færre konflikter, raskere utbygging, lavere kostnader både for utbyggere, jordeiere, arkeologer og myndigheter samt høyere andel av bevaring. Gode, nøyaktige databaser blir verdifulle for etterbruk til historiefortelling og til videre forskning.

1.3 Problemstilling

Vår problemstilling er:

"Sammenligne kartverkets terrengmodeller med en egengenerert terrengmodell for å finne ut hvilken som egner seg best til automatisk deteksjon av kulturminner. Den egenlagde terrengmodellen skal genereres ved å bruke samme punktsky som terrengmodellen fra kartverket".

Delmål 1: For å kunne foreta en sammenligning må vi få tak i en punktsky og en terrengmodell over et område. Dette området må også ha et datasett hvor det har blitt foretatt en dokumentert bekreftelse av fornminnenes beliggenhet ute i felt. Feltdokumentasjonen skal kunne brukes som en slags fasit av hvor fornminnene ligger på bakken.

Delmål 2: Vi vil prøve å klassifisere bakkepunkter på en måte som er bedre egnet enn hvordan kartverket gjør det. Metoden vil vi bruke til å få lagd en ny digital terrengmodell som er forskjellig fra kartverkets. Målet er å få laget en terrengmodell som blir bedre egnet til å brukes i deteksjon av fornminner med kjente formasjoner.

Delmål 3: Vi vil finne en måte å detektere kulturminner på, som gjør det mulig å sammenligne terrengmodellene på en vitenskapelig måte. Til dette formålet må vi finne de best egnede metodene. Vi ønsker å teste minst to ulike metoder. Slik kan vi sammenligne deteksjonsraten for å se om terrengmodellene gir like resultater i de ulike metodene.

Delmål 4: Hvis vi lykkes med å øke kunnskapen om å finne kulturminner i skog kan dette etter hvert skape positive ringvirkninger i flere samfunnsområder så som skogsdrift, eiendomsutvikling og infrastruktur. Hensikten ønsker vi skal være en økonomisk bedre prosess både i sammenheng med tid, penger og nøyaktighet. Målet er økt samfunnsnytte.

1.4 Avgrensning

Her tar vi kun for oss punktskyer hvor fly har vært brukt i datafangsten. Av fornminner ser vi kun på kullgroper.

Definisjonene vi har på kulturminner og fornminner viser at det uten avgrensning innbefatter ytterpunkter som hustuffer eller helleristninger fra flere tusen år tilbake, til et lite bedehus fra 1960- tallet. Derfor bør det finnes en avgrensning av hva vi vil forske på. Videre i rapporten omtaler vi kun fornminner, selv om de også er innen "familien" kulturminner.

Det området som en vet minst om er bakken i skogsterreng derfor konsentrer vi oss om å prøve ut metoden på fornminner på bakken i skog.

Vi har undersøkt hva som står i metadata som er tilgjengelig på hoydedata.no men ut over det ikke fordypet oss i hvordan kartverkets modell er laget. Fokuset i denne oppgaven er på konstruering og utprøving av nye modeller.

1.5 Rapportens oppbygning

Etter denne innføringen i problemstillingens kontekst vil vi videre si noe om bakgrunn og nøyaktighetsmål innen geomatikk. Siden dette er en praktisk oppgave med testing av programvare vil presentasjon av litteratur i all hovedsak være programvare.

Deretter blir utprøving av programvare beskrevet, med påfølgende analyse og resultat. Resultatene blir diskutert og føres frem til en konklusjon. Til slutt vil vi dra linjer ut til forskning videre. Dette er fundert på hva vi gjennom denne forskningen har tilegnet oss av kunnskap og hva vi antar vil gjelde fremover. Disse betraktningene kan muligens ikke kalles eksakt vitenskap men kanskje gi grobunn til flere tanker, ideer og nye løsninger.

1.6 Teori og litteratur

1.6.1 Omløpsskanning av Norge

For å få en detaljert høydemodell av Norge skal hele landet laserskannes i det som er det største landkartleggingsprosjektet (2016- 2020) som noensinne har blitt gjennomført her til lands. Når vi skriver april 2018 er så godt som halvparten av prosjektet utført.

Detaljerte høydedata danner grunnlaget for en god digital terrengmodell, en slags 3D-modell av Norge. Gode høydedata gir også en forenkling og forbedring av identifisering av fornminner, spesielt i skogsdekte områder. Høydedata blir i dag samlet inn gjennom ulike luftbårne laserprosjekter fra fly eller helikopter (FLS). Ønsket oppløsning er 1x1 meter (Kartverket, 2018b). Omløpsskanningen av Norge er bestilt av Kartverket og blir utført av Terratec med flere underleverandører.

1.6.2 Fordeler med laserskanning

Hva er den enestående egenskapen som laserskanning gir? Flybåren lidarskanning er en svært effektiv fjernmålingsmetode for å samle inn topografisk informasjon over store områder til en lav pris. Når en skanner et område får vi tett-i-tett med punkter, hvor hvert punkt er georeferert og har altså en koordinat ved seg i tillegg til angitt høyde (Solheim, Sørensen og Langseth, 2012, s. 23). Dette gir punktskyer som en bruker som grunnlag for å fremstille heldekkende tredimensjonale, digitale overflatemodeller.

Laserskanning er betraktet som en aktiv metode da laserpulsene til en viss grad trenger gjennom skog og gjennom hull i vegetasjonsdekket. (Oppland Fylkeskommune, 2013, s. 13). Det kan likevel oppstå utfordringer med lav, tett vegetasjon som hindrer laserstrålen å treffe bakken. Dette fører til lavere punkttetthet som igjen fører til en grovere, mindre nøyaktig terrengmodell (Risbøl *et al.*, 2013).

Den største fordelen med FLS er at den enkelt kan identifisere og fjerne returer fra vegetasjonen og dermed sitte igjen med det "bare" terrenget. Deretter kan en foreta en analyse

av overflaten. (Risbøl *et al.*, 2013). For å avdekke hva som er på bakken i et skogsdekket terreng er flyfoto ubrukelig. I håndboken om bruk av lidar (Risbøl og Gustavsen, 2016, s. 4) anbefales det å benytte en terrengmodell fri fra skog og bygninger til analyseformål. Kulturminner, som for eksempel kullgroper, vil i mange tilfeller fremstå som anomalier fra terrenget en ser på (Ibid).

Georeferering og klassifisering er viktige prosesser som påvirker nøyaktigheten i en endelig terrengmodell som er generert fra en punktsky. Klassifisering vil vi omtale mer inngående i metodekapittelet. Datasettene som samles inn med FLS er relativt lette å prosessere og er tilgjengelige gjennom nettsiden høydedata.no (Kartverket, 2018a). Arkeologiske kulturminner blir ofte godt gjenkjennelig når en bruker de riktige visualiseringsteknikkene.

Når datafangsten skjer ved hjelp av fly, sier det seg selv at en kan få tilgang på informasjon over store områder.

1.6.3 Punkttetthet

I litteraturen vi har funnet så langt er det uttrykt bred enighet om at riktig punkttetthet er avgjørende for å få en god nok terrengmodell slik at den kan avdekke fornminner i skog. Hva er riktig punkttetthet? Der om strides de lærde.

Ludwig Boltzmann Institute har foretatt en undersøkelse hvor de anbefaler en oppløsning på 20 cm til 1 meter som den mest optimale. Dette krever at punktskyens rådata har en punkttetthet på mer enn 8 punkt per m² (Ludwig Boltzmann Institute, 2013-2018).

Risbøl m.fl., har undersøkt hvilken punkttetthet som tjener formålet for å få laget en best mulig terrengmodell. Her ble resultatet at det var stor forbedring når en økte punkttettheten fra 2 pkt pr m² til 5 pkt pr m² men at det ikke var en forbedring når en økte punkttettheten til 10 pkt pr m² (Risbøl *et al.*, 2013; Bollandås *et al.*, 2012).

Lidarskanning for kulturminneformål er anbefalt å være DTM10 5 pkt. (Risbøl *et al.*, 2011). Det poengteres at 5 pkt per m² ikke referer til bakkepunkttetthet, men tetthet av første retur fra

bygning, vegetasjon, vei eller terreng. Lars Pilø sier i OPPtakt¹ FoU- rapporten at deres erfaring i Oppland er at 5 førsteletterer pr m² i skog vanligvis gir 2- 3 bakkepunkt pr m². Ulik type vegetasjon gir ulik bakkepunktthet (Oppland Fylkeskommune, 2013, s. 16).

Kartverket setter kravet til punktthet til minst 2 pkt pr m² på omløpsskanningen som skal brukes til å lage en punktsky til Høydedata.no. Som oftest er punkttheten høyere.

Noen av interessentene, som for eksempel arkeologien, har fremmet særskilte behov for høyere punktthet, inntil 5 punkter per m².

Høyeste punktthet oppnås ved høy frekvens på laserpulsene, lav flyhastighet, lav høyde over bakken og liten vinkel på laserstrålen fra fly til bakke (Maas og Vosselmann, 2010, s. 27).

Skanningen forutsettes utført utenom vekstsesongen. Dette har vært kjerne til uenigheter mellom skognæringen som gjerne vil ha skogen skannet under vekstsesongen for å få med så mye informasjon om skogen som mulig. Der er alle laserletterer like verdifulle. For arkeologien er det ønskelig å få så mange bakketreff som mulig og ønsker derfor at skanningen skal gjennomføres utenom vekstsesongen.

Punkttheten en behøver avhenger altså av hva en skal bruke datasettet til.

1.6.4 Nøyaktighet

Ofte er det punktthet som brukes til å beskrive nøyaktigheten, slik som beskrevet ovenfor. Nøyaktighet er relativt betinget. Hva som er god nok nøyaktighet for et bruksområde er ikke nøyaktig nok i et annet.

Hvilken konsekvens har dårlig nøyaktighet i dokumentasjonen av kulturminner egentlig? Her er et par praktiske eksempler; hogstmaskiner har i noen tilfeller tråkket ned det fornminnet de skulle unngå. Hogstmaskiner og anleggsmaskiner er i dag utstyrt med GNSS- utstyr så de er i stand til å kjøre med høy presisjon, ofte på centimeternivå. Her må en kunne skylde på

¹ OPPlandsprosjekt på Tidlig Avklaring av Kulturminner med ny Teknologi

unøyaktig dokumentasjon og dermed et unøyaktig kart som en her ser gir relativt store uønskede konsekvenser.

Et annet tilfelle på Gålå i Gudbrandsdalen viste at om et nytt anlagt hyttefelt hadde blitt flyttet omtrent 300 meter i en retning så hadde man kunne bevart fangstgroper som system heller enn som enkeltobjekter mellom hyttene. Dette forutsetter at kulturminnene er nøyaktig dokumentert, korrekt georeferert og gjort tilgjengelig slik at det kan tas hensyn til disse tidlig i reguleringsplanprosessen (Oppland Fylkeskommune, 2013, s. 11).

1.6.5 Litteratur

Litteraturen vi har valgt å ta med er basert mest på europeisk forskning. Vi søkte i ulike databaser med ord som teknologisk arkeologi, automatisk deteksjon, punktsky og LiDaR. Det var forskning som var utført i nær fortid fra ca 2008-2017. Teknologien utvikler seg veldig hurtig også i arkeologien derfor har vi valgt bort eldre forskning. Laserskanning og kulturminner er ingen ny kombinasjon å forske på så det var god tilgang på forskning som har belyst temaet fra flere sider. Vårt bidrag håper vi skal ta deteksjon av fornminner et musesteg videre i utviklingen.

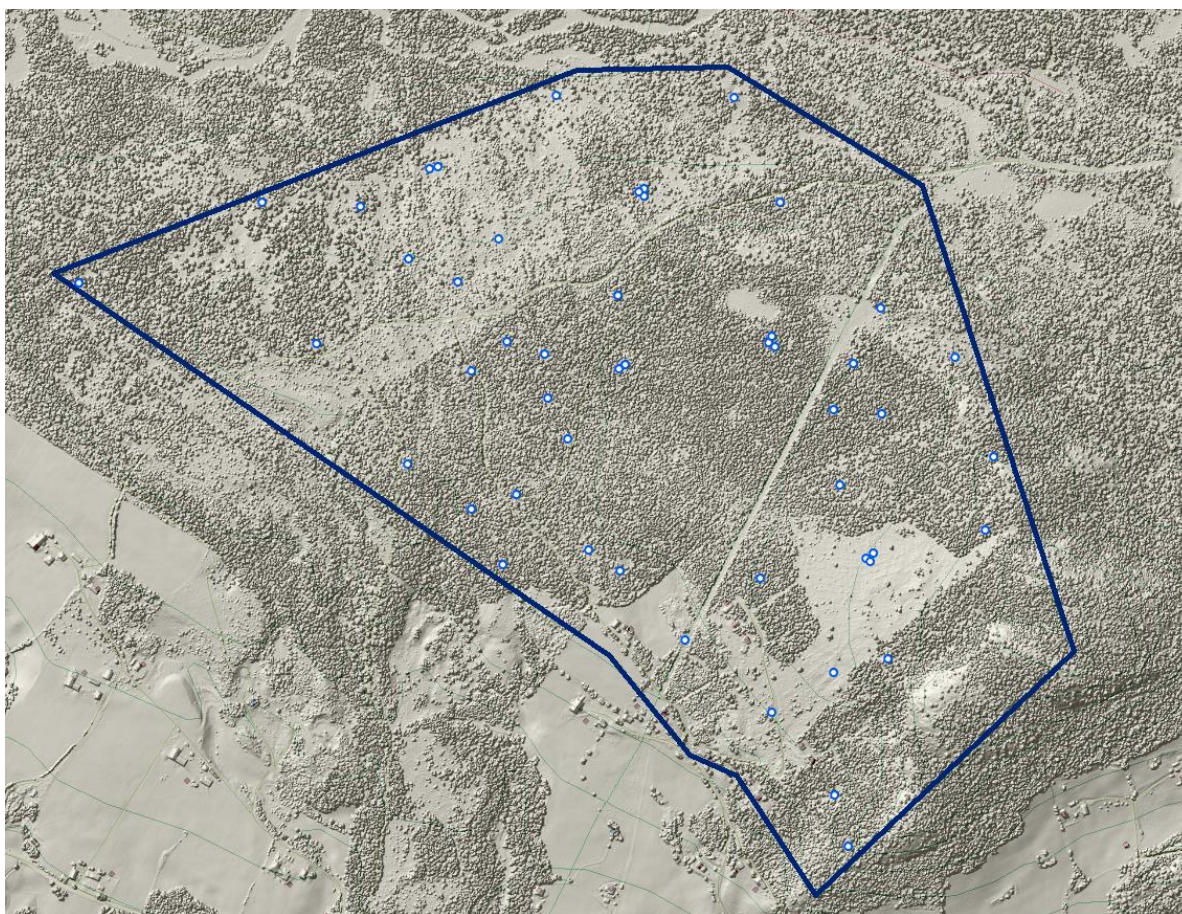
2 Metode og programvare

For å finne ut hvilken terrengmodell som egner seg best for deteksjon av kulturminner måtte det bestemmes hvilke metoder som skulle benyttes for å oppdage kulturminnene. Gruppen var den 16.01.2018 på besøk hos Oppland fylkeskommune og snakket med arkeologen Lars Holger Pilø for å lære om temaet FLS og kulturminner. Han fortalte at de i Oppland fylkeskommune nå hovedsakelig bruker visuell analyse når de bruker laserdata for å detektere kulturminner. NIKU har hatt prosjekter hvor visuell analyse har blitt brukt. Et av disse er beskrevet i NIKU rapport 45 (Risbøl *et al.*, 2011). Det ble derfor først tenkt at dette var en bra egnet metode å foreta analysen på. Vi kom likevel frem til at gruppen ikke hadde nok ekspertise til å gjennomføre denne formen for analyse siden ingen hadde erfaring med arkeologi fra før. Muligheten for menneskelig feil ville derfor skape en for stor usikkerhet rundt resultatene.

Det ble så fokusert på å finne programvare som kunne brukes til automatisk eller delvis automatisk gjenkjenning. I det samme møtet fortalte Lars Holger Pilø også at de tidligere hadde brukt et program som benyttet metoden deep learning for å oppdage kulturminner men at dette ikke lenger var i bruk på grunn av mangel på finansiering. Vi har søkt etter kilder om dette programmet men vi har ikke greid å finne noen. I følge Introduction to Deep Learning Using R er det mange deep learning modeller som etterligner menneskets nervesystem. Deep learning blir i boken forklart som en algoritme som ikke bare er i stand til å beregne sannsynlig utvikling og klassifisering av data, men også kan være i stand til å ta lærdom fra den. En deep learning modell har som regel lag med ikke lineære enheter som prosesserer dataen. Et eksempel på hvordan deep learning modell kan fungere som bildegjenkjennings verktøy er at modellen kan analysere et bilde med først å gjenkjenne øyenvipper, så en hundesnute, så hundens hodeform og så videre frem til den klassifiserer bildet som et bilde av en hund. En forutsetning for at modellene skal kunne greie dette er at den har blitt trent på en tilstrekkelig mengde bilder både med og uten hunder for å lære seg kjennetegn på hunder (Beysolow Ii, 2017, s. 1 til 3). Gruppen tenkte at dette ville være en bra egnet måte å teste ut terreng modellene våre med, men at det ville være for tidkrevende for en oppgave på denne størrelsen.

2.1 Utvalgt forskningsområde

Gjennom OPPtaktprosjektet (Oppland Fylkeskommune, 2013) ble Gravfjellområdet valgt ut til å bli flyskannet etter standard FKB-DTM10 med minimum punkttetthet på 5 pkt per m². Skanningen ble utført av TerraTec AS (MetadataTerraTec, 2011). I tillegg er det blitt utført et feltarbeid med registreringer av arkeologiske funn av ulik art. Feltarbeidet har fungert som kontroll- og kvalitetssikring av flybåren laserskanning som verktøy i kulturminneforvaltningen. Ut fra et ca. 23 km² stort område valgte vi ut en mindre del som kunne være relevant for vårt arbeide. Kriteriene vi hadde var at det skulle være skogsterreng og at det gjennom feltarbeidet i Gravfjellsprosjektet var dokumentert funn av kullgroper. Dette området var undersøkt i felt i 2012. Rapporten kom i 2013 og har tittelen «Kulturminne i Gravfjellet. Kulturhistoriske registreringer i Gravfjellområdet, Øystre Slidre kommune i Oppland» (Tveiten og Pettersson, 2013). Rapporten skal være grunnlaget for de størrelsesverdiene vi skal bruke i analysen videre.



Figur 1: DOM over utvalgt område ved Gravfjellet, Øystre Slidre kommune. © Kartverket

Studiet vårt ser på et område på omtrent 1,16 km² i Øystre Slidre kommune. Området er stort sett dekket av skog med variert tetthet av trær. Det er noe bebyggelse samt et lite areal med dyrket mark i sør-enden av området. Som en kan se på figur 1 er det også et nylig hogd skogsfelt innenfor valgt areal. Det er stort sett flatt, men har en åsside helt sør. Området inneholder 51 kullgroper som er bekreftet i felt. Det er også noen moderne massetak langs vegen som kan forveksles med kullgroper på en terrengmodell. Både punktsky og terrengmodell med 25cm oppløsning ble lastet ned fra hoydedata.no.

2.2 Programvare

2.2.1 TerraScan

Terrasolid er en finsk utvikler av programvare for behandling av LiDAR-data (Terrasolid, 2016). I denne studien er det brukt Terrasolids program TerraScan for reklassifisering av punktsky. TerraScan er i likhet med de fleste produktene fra Terrasolid bygget på grunnlag av programvare fra Bentley. I denne studien er TerraScan kjørt i Microstation (Bentley, 2018). Metoden for bakkeklassifisering går ut på å dele opp punktskyen i kvadratiske segmenter der det laveste punktet i hvert segment automatisk blir klassifisert som bakke. Programvaren lager så en TIN fra bakkepunktene, for deretter å bygge på med bakkepunkter gjennom flere iterasjoner.

I TerraScans bakkeklassifisering er det fire parametere som defineres av brukeren. Disse er maksimal bygningsstørrelse, terrengvinkel, iterasjonsvinkel og iterasjonsavstand. Bygningsstørrelsen er parameteren som avgjør størrelsen på kvadratene som brukes for å finne de første bakkepunktene. Det er derfor viktig at denne parameteren er stor nok til at det finnes minst ett bakkepunkt i hvert kvadrat. Terrengvinkelen bestemmer hvor bratt terrengmodellen kan være. Terrasolid anbefaler 88-90° for områder med menneskeskapt objekter (Terrasolid, 2016). Størrelsen til iterasjons-vinkel og -avstand bestemmer hvor høyt over den foreløpige TIN-modellen et punkt kan være, og likevel bli klassifisert som bakke i neste iterasjon. Iterasjonsvinkelen angir maksimalt tillatte vinkel fra gjeldende plan i TIN-modellen og opp til aktuelt punkt, sett fra nærmeste bakkepunkt. Iterasjonsavstanden angir maksimalt tillatt avstand mellom plan og potensielle nye bakkepunkter.

I tillegg til disse fire parameterne kan en velge å enten redusere iterasjonsvinkel eller stoppe trianguleringen helt i et område når alle sidene i gjeldende trekant i TIN-modellen er kortere enn en bestemt lengde.

2.2.2 Lasground

Lasground er et av verktøyene i programvarepakken LAStools fra rapidlasso. Lasground er et verktøy som klassifiserer bakkepunkter i en punktsky, hovedsakelig fra luftbåren laserskanning. Programmet kommer med forhåndsdefinerte parametere for forskjellige områdetyper, som f. eks. nature, town og city, men det er også enormt mange muligheter for å tilpasse algoritmen til ønsket formål. Selv om det er en mengde tilpasninger en kan gjøre kommer man langt med de fire parameterne step, offset, spike og stddev (Rapidlasso, 2018).

2.2.3 GRASS GIS

GRASS GIS er et gratis open source gis-program. GRASS har en rekke muligheter for prosessering og analyse av punktskyer, bilder og kart (GRASS, 2018). I denne studien er GRASS GIS benyttet for å generere DTM fra ferdig klassifiserte punktskyer. Metoden for interpolering brukt her er rst (regularized spline with tension). Rst har store muligheter for å skreddersy resultatet for eget formål. I tillegg til å velge hvordan den resulterende rasteren skal visualiseres er det en rekke parametere en kan sette for å oppnå ønsket detaljnivå. Man kan f. eks. velge ønsket spenning og glatting av terrengmodellen, eller sette minimums- og maksimums-avstand mellom punkter som skal inngå i beregningene. Spenningen angir hvor stort innflytelsesområde hvert punkt skal ha, mens glatting tillater terrengmodellen å avvike litt fra punktene den er generert fra. (GRASS, 2018).

2.2.4 Mathworks

Mathworks har utarbeidet et dataprogram som heter MatLab. Språket det benytter er matrisebasert og innebygd grafikk gjør det enkelt å visualisere og gi innsikt. Programmet fungerer som et interaktivt programmeringsmiljø best egnet for vitenskapelig databehandling. Det blir blant annet brukt for datanalyse og algoritmeutvikling (MathWorks, 2018).

Koden som er brukt i MatLab terskler og filtrerer et 8bits bilde. Målet med dette er å dele opp bildet i svarte og hvite deler som visualiserer kullgropene som sirkler. Så søkes det etter sirkler i bildet. Sirklene som blir oppdaget blir så filtrert slik at kun hvite sirkler med svarte sirkler inni står igjen.

2.2.5 Relief Visualization Toolbox (RVT)

RVT versjon 1.3, som enkelt bare kan lastes ned og zippes opp, er en software som skal hjelpe forskere å forbedre visualiseringen av rasterdata i høydemodeller. Det finnes flere teknikker for visualisering men i denne verktøykassen er det fokusert på utprøvde metoder for å identifisere små formasjoner. Det er satt som utgangspunkt at datafangsten er innhentet med laserskanning med fly (FLS) (Zakšek, Oštir og Kokalj, 2011; Kokalj, Zakšek og Oštir, 2011). Verktøyene som synes relevant for vår problemstilling er Sky View Factor (SVF) og Openness.

En av flere visualiseringsmetoder er Sky View Factor. De tidligste beregningene som er kjent kom allerede i 1980 og ble til ved hjelp av digitale kamera med "fish-eye"- linse og Steyns metode. Tidlig ble den blant andre benyttet av arkitekter og meteorologer. Flere metoder for rasterbaserte beregninger kom til etter hvert (Steyn, 1980).

Senere har metoden blitt brukt som en teknikk for å visualisere arkeologiske funn på bakken, fremstilt ved hjelp av relieffkart. Zakšek, Ostir og Kokalj har foreslått en definisjon på sky view factor som innebærer at en bruker, hva de kaller en diffus lyskilde. Dette vil si en lyskilde som fremstår som en «overskyet» himmel og med lik stråling fra alle vinkler. Denne himmelhalvkula er sentrert over det punktet en skal se og forske på. Kanten på toppen av en kullgrop vil fremstå som lys og bunnen av gropen vil fremstå som helt mørk. En større del av horisonten er synlig fra kanten rundt kullgropa og kommer vi langt nok ned i gropa vil nesten ikke noe av himmelen være synlig der nede fra og området blir svart. Med en slik lyssetting vil det heller ikke forekomme skarpe kanter, slik som en kan se når en tar i bruk den velkjente teknikken Hill-shading.

Det er to parametere som påvirker SVF relieff visualisering, det er antall retninger en søker og det er søkeradiusen. I denne rapporten har de kommet til at en må minst ha 8 retninger samt at

skjæringspunktet for økt nytteverdi er 32 retninger. For å oppnå den mest optimale søkeradiusen må en vurdere størrelsen på objektet som skal visualiseres eller andre karakteristiske avstander innen relieffet. Det ser ut som en radius mellom 10 og 30 pixler er passende for de fleste formål. En tommelfingerregel er at en ikke bør ha færre retninger enn halvparten av søkeradiusen (i piksler) og heller ikke flere enn søkeradiusen. (Zakšek, Oštir og Kokalj, 2011, s. 401-404). Pikselstørrelsen kan selvsagt variere. Det er for eksempel vanlig med 25 centimeter til 1 meter oppløsning på omløpsskanningen som kartverket bestiller. Dette betyr at man må ta hensyn til oppløsningen når en skal konstruere en mal som skal gjenkjennes automatisk. Vårt prosjektområde fra høydedata.no har en oppløsning på 25 centimeter og må da multipliseres for å få diameter angitt i meter.

Openness benytter også diffus belysning som utgangspunkt (som sky view factor). Den er basert på en estimering av en gjennomsnittlig høydevinkel på horisonten, innenfor en definert søkeradius. Middelverdien av alle Zenith-vinkler gir positive åpenhet, mens den gjennomsnittlige nadirverdien gir negativ åpenhet. Positiv åpenhet er lik sky view factor, med en mer "glatt/flat følelse", mens negativ åpenhet gir ytterligere informasjon om konvekse funksjoner. Fordi metoden er retning og skyggeuavhengig og fjerner noe topografi, er den nyttig for automatisk mønstergjenkjenning for arkeologien (Kokalj, Zakšek og Oštir, 2011; Zakšek, Oštir og Kokalj, 2011).

2.2.6 Open CV (Open Source Computer Vision)

Open CV er skrevet i programmeringsspråket C++. Dette hjelpemiddelet er et fritt tilgjengelig (open source) bibliotek med programmeringsfunksjoner som finnes i applikasjoner hvor vi har valgt å bruke Template matching. Denne ligger under Image Processing.

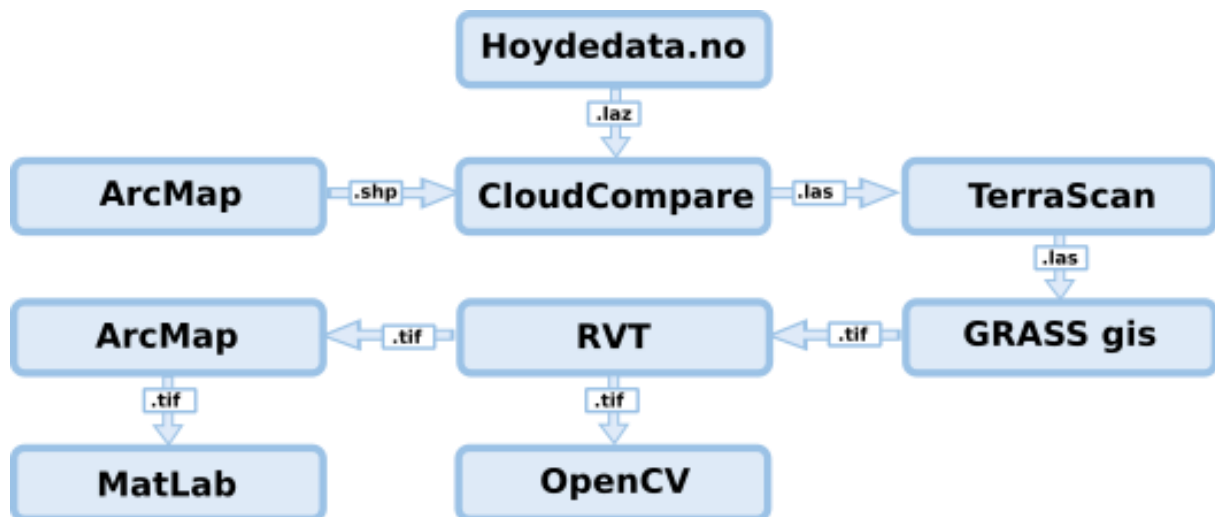
Template matching er en automatisk metode som kan benyttes for gjenkjenning av objekter. Man plukker ut og definerer en mal (Template) som beskriver objektet, i vårt tilfelle en kullgrop, som skal gjenkjennes i et større bilde (OpenCV, 2018). En algoritme beregner en korrelasjonsverdi (intervall 0-1) for alle pikslene i høydemodellen. For hver piksel i datasettet blir det definert et naboombråde som er nøyaktig like stort som malen. Det blir så beregnet en korrelasjon på alle pikselverdiene i malen samt i naboombrådet. Slik får alle pikslene i datasettet beregnet en korrelasjonsverdi (Risbøl, Gjertsen og Skare, 2008, s. 34).

Andre programvarer bruker andre navn på automatisk gjenkjenning av bilder og/ eller formasjoner, også kalt morfologi.

2.3 Gjennomføring

2.3.1 Dataflyt

Arbeidsprosessen innebærer mange valg. Dette gjelder både dataprogrammer og dataformat. Figuren under viser hvilke valg som er tatt.



Figur 2: Dataflyt i prosjektet

Et polygon i en shape-fil fra ArcMap (ArcMAP, 2017) ble brukt til å beskjære laz-fila fra kartverket i CloudCompare (CloudCompare, 2017). Relevant område ble så lagret på las-format og reklassifisert i TerraScan. Deretter ble GRASS GIS brukt til å generere en terrengmodell i form av en GeoTIFF. ArcMap og Relief Visualization Toolbox (Zakšek, Klemen *et al.*, 2013) ble så brukt for riktig visualisering av modellen før deteksjonen av kulturminner ble utført i MatLab. Det ble også utført deteksjon ved hjelp av OpenCV.

2.3.2 Forarbeid

Data bestilt fra hoydedata.no blir levert som filer (.laz) som dekker et rektangulært område. Kartet over bakkeevaluerte kulturminner som her blir brukt som fasit har derimot en form det er vanskelig å definere. For å unngå unødvendig store datamengder og prosessering av data utenfor det aktuelle området var det derfor behov for å beskjære punktskyen. Dette ble gjort ved først å tegne et polygon i en shape-fil (.shp) i ArcMap for deretter å importere shape-fila og punktskyen i CloudCompare. CloudCompare har en funksjon som lar brukeren segmentere punktskyer i polygoner og lagre segmentet av interesse som en egen punktsky.

2.3.3 Reklassifisering

Ved generering av en terrengmodell er det kun bakkepunkter som er av interesse. I punktskyen hentet fra hoydedata.no er punktene allerede klassifisert, men det er ikke dermed sagt at denne klassifiseringen gir en terrengmodell best egnet for deteksjon av kulturminner. For å se på forbedringspotensialet av en korrekt visning av bakken, ble punktene reklassifisert.

Reklassifiseringen ble gjort i TerraScan (Terrasolid, 2016) med Microstation (Bentley, 2018) som plattform. For å sikre en total reklassifisering av bakken ble alle punkter gitt klasse 1 (uklassifisert) mellom hver klassifikasjon. For hvert resultat ble tverrsnittet av to kullgroper analysert i et forsøk på å fastsette parametere for neste klassifikasjon. Ved å studere punktene i tverrsnittet var målet å komme frem til en bakkeklassifisering som inkluderte vollen rundt kullgroperne, men som likevel minimerte støy på flat mark. Maksimal terrengvinkel er satt til 88°, og maksimal bygningsstørrelse 20 m i alle tilfeller.

*Tabell 1:
Parametere ved reklassifisering i TerraScan*

	Iterasjonsvinkel (Grader)	Iterasjonsavstand (m)	Reduser iterasjonsvinkel når triangelside < (m)	Stopp triangulering når triangelside < (m)
Forsøk 1	8	1		
Forsøk 2	10	1		
Forsøk 3	12	1	1	
Forsøk 4	12	1	1,5	1

Det ble også gjort et forsøk på reklassifisering i lasground (Rapidlasso, 2018). Det viste seg i midlertid at parameterne var vanskelig å kombinere for å komme frem til ønsket resultat. Løsningen på dette var å ta utgangspunkt i parametere foreslått i LBI Project (Ludwig Boltzmann Institute, 2013-2018). Størrelsene som var brukt der var $\text{step}=0,8$ $\text{stddev}=1$ $\text{offset}=0,02$ $\text{spike}=0,35$. En utfordring var at gratisversjonen av lasground legger til litt såkalt hvit støy som gjør at koordinatene blir litt forandret. Det ble derfor ikke jobbet videre med lasground i dette prosjektet.

2.3.4 Digital terrengmodell (DTM)

Metoden for interpolering som ble utført var splines. Dette ble gjort i GRASS GIS (GRASS, 2018) ved hjelp av funksjonen «regularized spline with tension». Formatet som ble brukt var .tif. Oppløsningen på produktet var satt til 25cm, og korteste tillatte avstand mellom punkter var satt til 0 for å få med alle bakkepunkter i interpoleringen. I tillegg til å generere en DTM som fulgte punktene nøyaktig ble det testet to forskjellige grader av glatting på terrengmodellen. Her ble smooth satt til 0,5 og 1. Det ble kjørt samme opplegg for alle klassifiseringene av punktskyen.

2.3.5 Kullgropdeteksjon i MatLab

I Vaidutis Žutautas sin masteroppgave foretas det en delvis automatisk gjenkjenning av kullgroper i MatLab og vi ville bruke samme metode. Han gav oss tillatelse (*vedlegg 1*) til å bruke hans kode, men denne måte endres til å passe til våre data (Žutautas, 2017).

MatLab er i stand til å gjenkjenne sirkler i bilder og funksjonen brukes i koden når man leter etter kullgroper som ofte har runde former. For å kunne gjenkjenne formasjoner i landskapet måtte terrengmodellene gjennom en morfologisk klassifisering. Dette ble gjort i RVT.

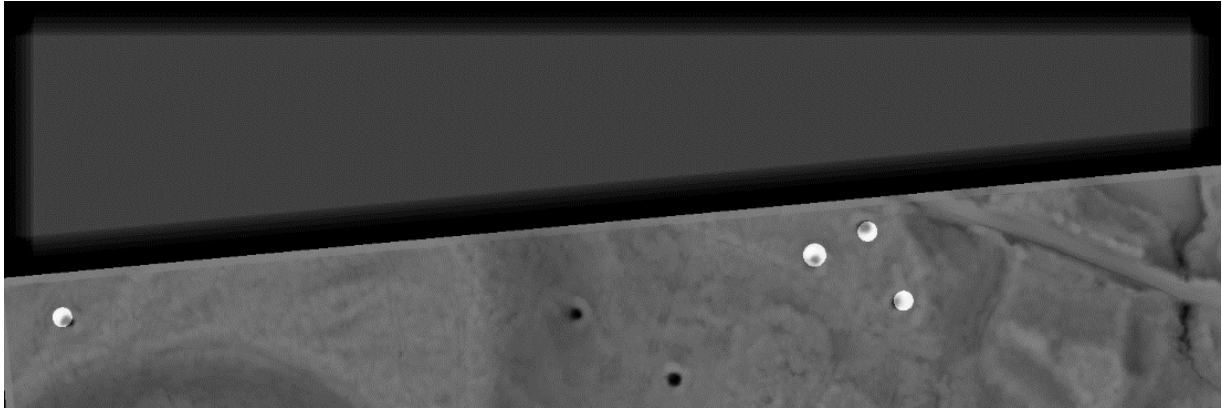
Hvilken type klassifisering man bør bruke kan variere fra datasett til datasett, derfor måtte forskjellige løsninger prøves ut.

Det som sto frem som den beste løsningen etter å ha testet forskjellige metoder var å skape et geotif-bilde med sky-view faktor og et med Openness positiv i RVT fra det samme geotif-bildet. Begge bildene ble laget med 32 søkeretninger og 48 piksler som søkeradius, som er stort nok til å dekke våre største kullgroper med en diameter på 12 meter når pikselstørrelsen

er 0,25 m. RVT produserer to bilder, et 16bits bilde og et 8bits bilde. I Vaidutis Žutautas sin oppgave jobbes det med 8bits bilde i analysen derfor er dette brukt i denne oppgaven også (Žutautas, 2017, s. 14).

Disse ble så summert i ArcMap sin rasterkalkulator til et geotif-bilde som viste summen av de to bildene. Dette bildet brukte vi så i algoritmen utformet av Vaidutis Žutautas i MatLab. Koden terskler bildet for å skape hvite og svarte områder som gjør sirklene enklere å oppdage. En høy terskel gir lite hvitt og mye svart. Med en lav terskel blir det mer hvitt og mindre svart. For å sile ut de hvite områdene i bildet som ikke er relevante for kulturminnene er det satt en øvre og en nedre grense for hvor mange piksler de hvite områdene kan bestå av. Er det for mange eller for få hvite sammenhengende piksler blir de gjort om til svarte piksler. Målet var å ende opp med et bilde som viser toppen av kullgropen som hvitt mens resten av bildet er svart. Hvor høy terskel som trengs og hvor høye grensene skal være vil variere fra bilde til bilde og vi måtte derfor prøve oss fram. Algoritmen bruker så Hough Circle som er en funksjon i MatLab sin Image Processing Toolbox, til å søke etter sirkelformer i bildet. Den leter etter to forskjellige sirkler med to forskjellige radius. En med radius som skal samsvare med den ytre kanten til en kullgrop og en som samsvarer med den indre kanten (Žutautas, 2017, s. 14). Radius ble endret til 7 - 12 for de hvite og til 3 - 7 for de svarte sirklene for at det skulle samsvare med kullgropene i datasettet. Funksjonens sensitivitet ble også justert opp, dette senket kravet for hvor rund en form må være for å bli oppdaget. Når algoritmen har funnet sirkler filtreres de slik at man til slutt står igjen med de sirklene som består av en lys sirkel med en mørk sirkel inni. Disse blir markert som kullgroper (Žutautas, 2017, s. 15).

Med denne fremgangsmåten greide vi å finne 4 av 6 kullgroper i et tilfeldig valgt utprøvningsområde som vi brukte til å prøve oss frem. Den samme metoden ble så prøvd på området som er fokuset i oppgaven, men det var ikke like vellykket der. Vi greide å tilpasse tersklingen av bildet slik at koden kunne gjenkjenne noen kulturminner, men fant ingen terskel som gjorde flertallet synlige. Det var også et problem at vi ikke greide å sile vekk nok hvite piksler som ikke var kullgroper. Disse sirklene som ikke var kullgroper gav falske treff. Det høye antallet med sirkler som måtte filtreres gjorde også at prosessen tok lang tid.



Figur 3: Oversikt over funn av kullgroper fra utprøvningsområdet

2.3.6 Template matching

Deteksjon av kullgroperne ble også gjort ved hjelp av template matching i OpenCv. I og med at template matching bruker et lite bilde for å finne lignende områder i et større bilde har det stor betydning hvordan høydeforskjeller i modellen visualiseres. For å tydelig få frem kullgroperne ble det her benyttet sky view factor. De fleste kullgroperne i området har en nedskjæring på 3-4 meter, så det ble her brukt radius 16 piksler. Antall retninger var også satt til 16. For at ikke de aller minste endringene i terrengmodellene skulle få store utslag ble det brukt støyreduksjon ved beregning av SVF. Dette gjorde at de aller nærmeste pikslene ikke ble tatt med i beregningen.

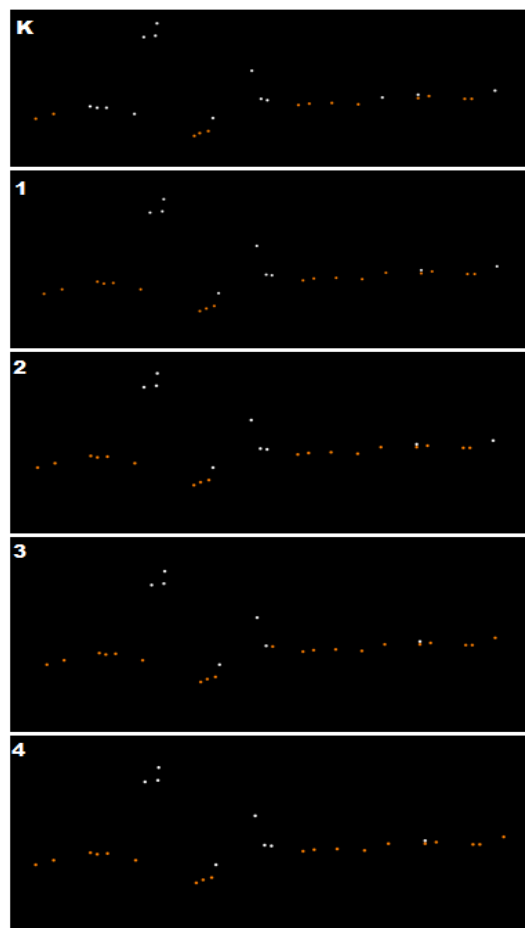
For å få en mest mulig uniform mal ble det brukt utklipp av en middels stor kullgrop med nedskjæring som er 4 meter lang og med tydelig voll rundt. Forsøk viste at det hadde lite å si hvilken terrengmodell malen var hentet fra, så det ble brukt samme mal i alle terrengmodellene.

Det viste seg at det ved samme korrelasjons-terskel ble angitt langt flere treff i terrengmodeller med glatting enn uten. Forskjellen var så stor at korrelasjonsverdiene måtte endres. Det ble derfor etter noen forsøk besluttet å bruke korrelasjon 0.75 for terrengmodellene uten glatting, 0.80 for glatting 0.5 og 0.82 for glatting 1.

3 Analyse og resultater

3.1 Reklassifisering i TerraScan

Figur 3 viser et tverrsnitt over en av kullgropene i området. Oransje prikker er klassifisert som bakkepunkter mens hvite prikker er uklassifiserte punkter. Det øverste bildet (K) illustrerer den originale klassifiseringen på punktskyen fra kartverket. Mange av kullgropene har en tydelig kant rundt selve gropa, og målet her var å klassifisere punktskyen på en måte som inkluderer denne. Som vi kan se fra klassifiseringen på den originale punktskyen kan det virke som at denne vollen ikke blir tydelig nok fremstilt. I reklassifiseringsforsøk 1 og 2 ser vi at flere punkter er klassifisert som bakke, dette er særlig tydelig på venstre side av gropa. Det at flere punkter blir tatt med betyr gjerne at det også blir mer støy og små variasjoner med i bakkeklassifiseringen. I et forsøk på å minimere dette er det i klassifisering 3 redusert iterasjonsvinkel ved korte avstander, mens i klassifisering 4 stoppes søket etter nye punkter helt der punktene ligger tett. Som bilde 3 og 4 viser gir ikke parameterendringene det helt store utslaget for dette tverrsnittet.



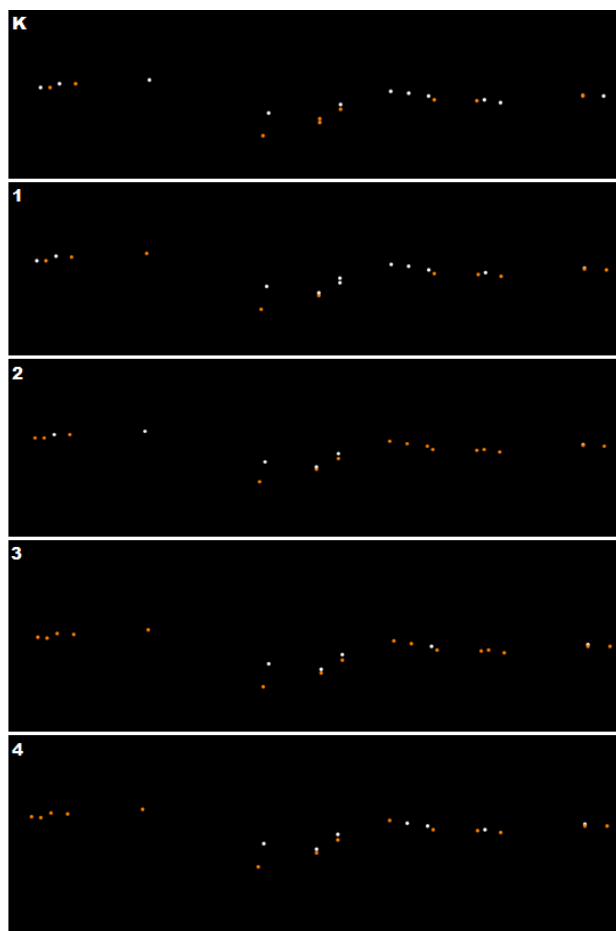
Figur 4: Tverrsnitt kullgrop 1

For å se på hvordan klassifiseringen passer for andre områder er det sett på en annen kullgrop. Figur 4 viser en kullgrop med tydelig voll rundt. Avstanden fra det høyeste punktet på den ene siden av gropa til det høyeste punktet på den andre siden stemmer godt med den registrerte størrelsen i Askeladden, så det er dermed rimelig å anta at dette er bakkepunkter. Som det øverste bildet (K) viser blir vollen flatet ut ved den originale klassifiseringen. Forsøk 1 viser lite forskjell, mens forsøk 2 har klassifisert flere punkter som bakke. Noe som kan

være verdt å merke seg er at det isolerte punktet på venstre side av gropa er klassifisert som bakke i forsøk 1, men ikke i forsøk 2. Dette til tross for at den eneste forskjellen i parameterne er at forsøk 2 har 2 grader større iterasjonsvinkel. I forsøk 3 ser vi at flere punkter er tatt med i bakkeklassifiseringen. Forsøk 4 viser at formen på gropa er godt bevart ved denne klassifiseringen, men det er likevel fjernet en del støy ved å ignorere punkter som ligger svært nær hverandre.

Tabell 2 viser antall bakkepunkter for hver klassifisering. Her kommer det tydelig frem at reklassifiseringene har angitt langt flere punkter som bakke enn den originale klassifiseringen. I og med at analyse av forskjellige tverrsnitt viser at punkter høyt

over resten av bakkepunktene ikke blir inkludert ser vi ikke på det som noe negativt. Ikke overraskende er det en markant økning i antall bakkepunkter fra forsøk 1 til 3. I Forsøk 4 ser vi at antallet er kraftig redusert igjen. Dette viser at å redusere iterasjonsvinkel og stoppe iterasjonen helt ved korte avstander har tynnet ut bakkepunktene betraktelig.



Figur 5: Tverrsnitt kullgrop 2

Tabell 2:
Antall bakkeklassifiserte punkt

	Antall punkter totalt	Antall bakkepunkter	Prosentandel bakke
Kartverket	6 900 380	1 867 139	27,06
Forsøk 1	6 900 380	2 486 753	36,04
Forsøk 2	6 900 380	2 735 048	39,64
Forsøk 3	6 900 380	2 845 396	41,24
Forsøk 4	6 900 380	2 503 963	36,29

3.2 Terrengmodell

Figur 5 viser et utsnitt av de forskjellige resultatene fra generering av DTM. Her er det brukt hillshade for visualisering. Figuren viser også den gjennomsnittlige punkttettheten av bakkepunkter modellen er generert fra. Tettheten av bakkepunkter i den originale klassifisering fra kartverket var 1,60. Det vil på grunn av forskjellig vegetasjon og overlapp av flylinjer være store lokale forskjeller i tettheten.

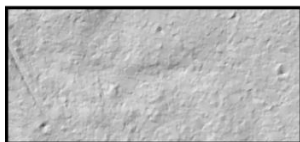
Den øverste raden med bilder viser terrengmodellene som nøyaktig følger punktenes høyde. I rad 2 og 3 vises to nivåer av glatting. Ved første øyekast ser bildene like ut, men ved å studere dem nøyer kan man se at modellene generert ved hjelp av flere punkter har flere små detaljer. Resultatet av glattingen er kanskje enda bedre illustrert her. Hvis en for eksempel ser på klassifiseringsforsøk 3, kan man se en betydelig forskjell fra det første til det siste bildet. Forsøk 3 er klassifiseringen med flest bakkepunkter, så det er naturlig at glattingen vil være best synlig her.

Skyggene som er synlige nederst til venstre, i midten til høyre og midt på oppe kommer fra kullgroper. De er relativt godt synlig på alle bildene, men det kan virke som de blir litt utvasket ved den høyeste graden av glatting.

Forsøk 1 2,14 p/m ²	Forsøk 2 2,35 p/m ²	Forsøk 3 2,44 p/m ²	Forsøk 4 2,15 p/m ²

Figur 6: Utsnitt av egengenererte terrengmodeller

Til sammenligning viser figur 6 det samme utsnittet fra terrenngmodellen fra hoydedata.no. Også her er alle tre kullgropene synlige selv om det er en glattere modell. her er alle tre kullgropene synlige selv om det er en glattere modell.



Figur 7: Utklipp av DTM fra kartverket. © Kartverket

3.3 Template Matching

Tabell 3:
Resultater fra template matching på egne modeller

	Glatting 0				Glatting 0.5				Glatting 1			
	Funnet	Ikke funnet	%	Feil funn	Funnet	Ikke funnet	%	Feil funn	Funnet	Ikke funnet	%	Feil funn
Førsøk 1	29	22	56,9	43	31	20	60,8	38	30	21	58,8	43
Førsøk 2	27	24	52,9	21	28	23	54,9	22	28	23	54,9	23
Førsøk 3	26	25	51,0	14	26	25	51,0	16	26	25	51,0	17
Førsøk 4	27	24	52,9	24	28	23	54,9	22	28	23	54,9	26

Tabell 3 viser resultatene fra template matching i OpenCV. For å få mest mulig sammenlignbare resultater er det brukt forskjellig korrelasjons-terstel for hvert glattingsnivå. Her er det brukt korrelasjon 0.75, 0.80 og 0.82 for henholdsvis glatting 0, 0.5 og 1. Dette viser at større grad av glatting krever en høyere korrelasjonsverdi for ikke å klassifisere naturlige formasjoner som kullgroper. Med andre ord kan en si at de glattede terrenngmodellene er mer følsomme ved bruk av template matching.

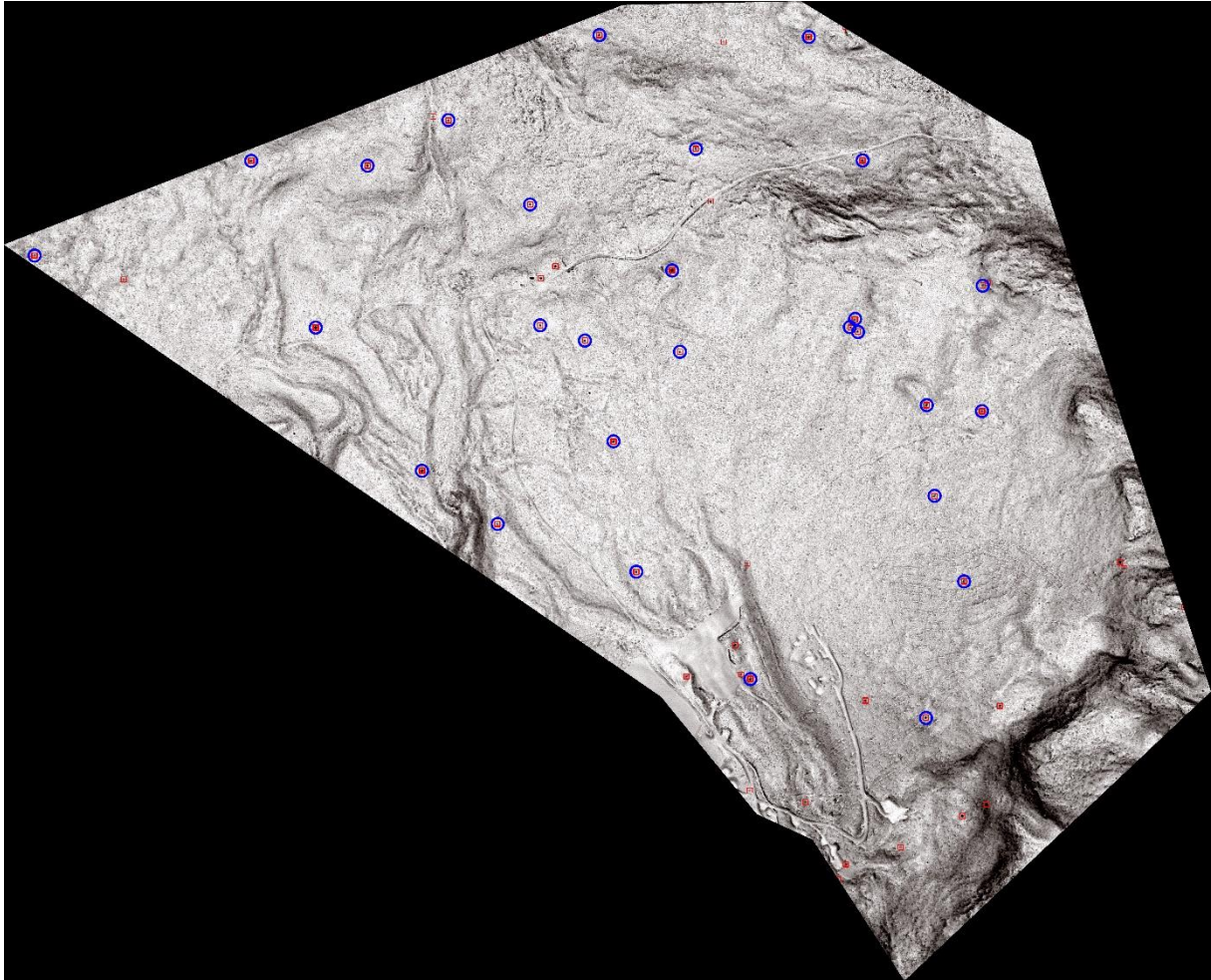
Tabellen viser også tydelig at klassifiseringsforsøk 1 er mest følsom, mens forsøk 3 er minst følsom uavhengig av glatting. Forsøk 3 er som tidligere nevnt klassifiseringen med flest bakkepunkter, mens forsøk 1 er den med færrest. Dette betyr nødvendigvis at klassifiseringsforsøk 1 i utgangspunktet gir en glattere terrenngmodell, noe som stemmer godt overens med observasjonen om at en glattere terrenngmodell er mer følsom ved template matching.

Uten nærmere undersøkelser med flere korrelasjonsnivåer for hver enkelt terrengmodell er det vanskelig å peke ut en enkelt modell som er best egnet for deteksjon av kulturminner, men ved å sammenligne treffprosent og feilfunn kan det virke som om glatting 0.5 jevnt over gir noe bedre resultater. Unntaket er derimot forsøk 3 der treffprosenten er den samme for alle glattingsnivåene, men modellen uten glatting har hakket færre feil.

*Tabell 4:
Resultater fra template matching på kartverkets DTM*

Korrelasjon	Funnet	Ikke funnet	%	Feil funn
0.80	30	21	58,8	23
0.82	26	25	51,0	13

Til sammenligning er deteksjon i kartverkets terrengmodell med to forskjellige korrelasjonsnivåer vist i Tabell 4. Ved å sammenligne resultatene her med resultatene fra egne terrengmodeller viser det seg at DTM fra kartverket gir færre feiltolkninger. For de egengenererte terrengmodellene der det ble funnet 29, 30 eller 31 kullgroper ble det angitt funn omtrent 40 punkter som ikke var kullgroper, mens det i kartverkets modell kun var 23 feil ved 30 riktige funn. En kan også se at kartverkets modell har gjort det bedre ved korrelasjon 0.82. Her er det kun 13 feil, noe som er lavere enn alle andre modeller.



Figur 8: Oversikt over funn av kullgroper og falske funn

Figur 7 viser hvordan resultatet fra template matchingen visualiseres. De røde kvadratene viser områder der korrelasjonen er høyere enn angitt terskel. De blå sirklene kommer ikke fra selve deteksjonen, men er tegnet på i ettertid for å illustrere hvilke funn som faktisk er kullgroper. Som en ser på bildet er flere av de falske funnene i umiddelbar nærhet til vei, bebyggelse eller dyrket mark, og kommer mest sannsynlig av menneskelig aktivitet i nyere tid. Man ser også at det er høyere konsentrasjon av feiltreff i bratt terreng. På flatt terreng uten nyere menneskelige inngrep er det få feiltreff med mindre korrelasjonsverdien er satt for lavt.

4 Diskusjon

Bedre teknologi, både i skanningen og i etterprosesseringen, gjør at det er lett å visualisere terrenget. De som ikke har sett en terrengmodell tidligere blir ofte forbløffet og begeistret over hva man faktisk kan se. Områder en har vandret ofte i og hvor man er godt kjent, trer frem på en helt ny måte. Plutselig dukker formasjoner opp som en ikke har oppdaget, selv om en antageligvis har snublet i de under vandringer en har foretatt. Dette er bra for å øke interessen for historien til sitt eget nærområde.

Dette er også bra for manuell deteksjon av kulturminner på bakken, utført av trenede arkeolog-øyne. Det synes likevel å være et nokså langt steg frem før en kan utføre et helautomatisk søk etter fornminner på bakken i skog.

4.1 Feilkilder

Vi forutsetter at flyskanningen har blitt utført etter de spesifikasjonene som oppfyller kravene til Kartverket og deres kunder.

Vi har prøvd ut mange forskjellige programvarer for å utføre testene våre. Til tross for dette kan det selvsagt finnes en programvare der ute som er bedre egnet enn de vi har valgt. En hindring dukket opp i Lasground fra Rapidlasso, som var gitt til oss som gratisversjon for akademisk arbeid. Da vi fant ut at det var innlagt støy som gjorde at koordinatene ble feil kunne vi ikke fortsette å bruke den. Noen programvarer måtte vi velge bort da de ikke var mulig å få tak i med vårt tidsperspektiv og økonomiske ressurser. Vi tror likevel at det ikke har påvirket resultatet vårt i nevneverdig grad.

Mye litteratur finnes også om det temaet som vi skal undersøke nærmere. En tar valg etterhvert som en leter, finner frem og leser forskning og teori. Noe må man velge å bruke og noe må man velge å ikke ta med. Dette betyr selvsagt at nyttig forskning kan ha unnsiluppet våre argusøyne og dermed svekket grunnlaget for å komme til en konklusjon basert på det mest riktige grunnlaget. Vi erkjenner at valget vi tok om å velge bort forskning, eldre enn 2008, kan ha ført til at vi har gått glipp av undersøkelser og resultater som kunne vært relevant og nyttig for oss.

4.2 Betraktninger

Hovedmålet i vår oppgave var å se om vi greide å utarbeide en terrengmodell som egnet seg bedre til deteksjon av kulturminner enn kartverket sin. For å kunne sammenligne metodene modellene var laget fra, så vi det som nødvendig at de var konstruert fra samme punkttsky. Vi lastet derfor ned både punkttsky og terrengmodell fra `hoydedata.no`. Det valgte området er stort sett dekket av skog med varierende tetthet. Feltet er også tidligere bakke-evaluert, og kan derfor sies å samsvare godt med det som var målet i starten av prosjektet. Området inneholder derimot også veier, bygninger og andre menneskeskapt objekter, og det viser seg at mange formasjoner rundt disse feilaktig blir detektert som kulturminner i OpenCV.

Et av målene med prosjektet var å reklassifisere punktskyen for å skreddersy bakken for deteksjon av kulturminner. Det viste seg at Terrascan var godt egnet for klassifisering og visualisering av punktskyer. Etter å ha analysert tverrsnittet av kullgroper hadde vi stor tro på at de reklassifiserte versjonene av punktskyen ville gi en terrengmodell der kullgropene kom ekstra godt frem. Dette viste seg imidlertid å være feil, men det er usikkert om dette kommer av punktskyen eller metode for generering av DTM. Både terrengmodellene vi genererte og modellen vi lastet ned fra Kartverket hadde småskala variasjoner som fremsto som små groper i bakken til forveksling lik kullgropene men de fleste var mindre i omfang. Vi undersøkte et flybilde fra Norge i bilder fra 2010. På dette bildet så vegetasjonen ut til å hovedsakelig bestå av eviggrønne trær. Vi mistenker derfor at variasjonen skyldtes disse trærne som har vært vanskelige å penetrere for laserpulsene. Når vi sammenligner flyfotoet fra 2010 ser vi at mange trær ser ut til å samsvare med variasjonene sin plassering. Vi tror derfor det ganske sikkert er trærne som skaper problemene. Vi så i analysen i MatLab at det var stor forskjell fra et utpøvsingsområde til forskningsområdet. Dette skyldes trolig mye disse variasjonene i forskningsområdet vårt. Dette er en påminnelse om at kvaliteten på rådata kan være minst like viktig som måten den blir behandlet på.

For å se på betydningen av hvilken metode som er brukt til generering av punkttsky kunne det vært produsert flere terrengmodeller for hver punkttsky. Dette viste seg derimot å være for tidkrevende for vårt prosjekt.

Å finne vitenskapelige deteksjonsmetoder som kunne vurdere modellene våre opp mot hverandre viste seg å være mer utfordrende enn først antatt. Det ble sett på som en klar fordel

å kunne teste modellene med flere forskjellige metoder. Det er ikke nødvendigvis slik at den terrengmodellen som gjør det best med en metode er den som vil gjøre det best i en annen metode. Derfor mente vi at resultatene ville bli mer pålitelige hvis de kom fra forskjellige deteksjonsmetoder.

Den første deteksjonsmetoden vi vurderte for å finne kullgroper var visuell deteksjon. Lars H. Pilø fortalte om denne formen for deteksjon. Visuell deteksjon er den metoden som nå blir brukt av arkeologene i Oppland fylkeskommune. Det fremsto som en fordel å teste modellene med metoder som er i bruk av arkeologer i dag. Da ville resultatene våre bli mest mulig relevante for de som jobber med deteksjon av kulturminner til daglig. Selv om visuell deteksjon fremsto som en av de mest relevante deteksjonsmetodene virket den også som en av de mest utfordrende i forhold til gruppe-medlemmenes kunnskapsnivå.

I NIKU rapport 45 beskrives det hvordan en visuell deteksjon av kulturminner kan utføres. Terrengmodellene ble visualisert i programmet quick terrain modeler. Deretter ble modellen systematisk tolket eller gransket etter synlige kulturminner (Risbøl, Gjertsen og Skare, 2008, s. 15). Ingen i gruppen hadde erfaring med arkeologi fra tidligere. Det fremsto derfor som utfordrende å skulle lære kjennetegnene til kulturminner godt nok til å utføre visuell deteksjon. Vi ville være sikre på at uoppdagede kulturminner skyldtes terrengmodellen og ikke mangel på kunnskap hos oss. Vi besluttet derfor å ikke benytte oss av visuell deteksjon siden vi mente at med denne metoden ville vi få høy risiko for menneskelige feil. Til tross for dette er visuell deteksjon den metoden vi oppfattet som mest vanlig og dermed mest relevant.

En annen metode som ble vurdert var deep learning. Oppland Fylkeskommune hadde, ifølge Lars H. Pilø, et program som benyttet deep learning. Denne metoden var han godt fornøyd med, men den var ikke lenger i bruk på grunn av mangel på finansiering. Deep learning som er en form for machine learning, er i følge boken Introduction to Deep Learning Using R godt egnet til å behandle big data (Beysolow Ii, 2017, s. 1). Dette anså vi som en stor fordel når man jobber med laserskanninger etter som laser kan produsere store mengder data. Et deep learning program kan med stor nok mengdetrening jobbe selvstendig og systematisk. Dette virket som helt klare fordeler. Mens en deep learning algoritme kan gjennomføre bildesøk uten mye interaksjon fra brukere så framstår det på den andre siden som krevende å sette opp og trene en modell. I Deep Learning Using R snakkes det om å trene modeller med alt fra noen hundre til flere tusen bilder (Beysolow Ii, 2017). Å skaffe minst flere hundre representative bilder av kullgroper ble en for omfattende oppgave, særlig når vi tok med i

betraktning at denne formen for deteksjon kun ville være en liten del av oppgaven. For å forstå Deep Learning bør man også ha en god forståelse for matematikk og statistikk (Beysolow Ii, 2017, s. 3). Vi opplevde ikke å ha tilstrekkelig kunnskap innen disse temaene og det ville nok derfor blitt tidkrevende å benytte seg av metoden. Konklusjonen er derfor at deep learning er godt egnet til deteksjon av kulturminner men for tidkrevende for denne oppgaven.

Kulturminnedeteksjon i MatLab var en metode vi hadde stor tro på. Den ble utviklet av Vaidutis Žutautas som ga oss tillatelse til å bruke hans kode som allerede var tilpasset kullgroper. I utgangspunktet tenkte vi derfor at det ikke ville bli så vanskelig å tilpasse den til vår bruk. Det viste seg allikevel å være mange parametere i koden som måtte endres for å få et bra resultat. Det ble derfor en mye mer tidkrevende prosess enn vi hadde forutsett siden testingen måtte gjøres manuelt. Koden viste seg også å bruke mye tid på å filtrere alle sirkelende som ble funnet. Det gjorde at prosessen med å prøve seg frem ble enda mer tidkrevende. Da koden til slutt var tilpasset testområdet fungerte den. En fordel med metoden er at når parametrene var riktige fikk den forholdsvis få falske treff.

Da vi begynte å jobbe med forskningsområdet som var fokuset i oppgaven måtte parametrene endres. Det ble forsøkt å endre parameterne i koden slik at den skulle gi lignende resultater som de vi hadde fått i utprøvningsområdet. Dette greide vi ikke. Bildet over forskningsområdet fikk for store hvite områder som vi derfor ikke greide å sile vekk når det ble tersklet. Dette på tross av at samme fremgangsmetode fungerte bra på utprøvningsområdet. Vi tror dette skyldtes at laserdataen fra forskningsområdet hadde småskala variasjoner som var forårsaket av vegetasjon. Forskjellen i laserdataen gjør at modellene trenger forskjellige klassifiseringer for å visualisere kullgroper tydelig nok. Det var det ikke tid til og vi måtte avslutte arbeidet. Hadde vi hatt tid til å gå tilbake i prosessen og gjort klassifiseringen på ny er det godt mulig at vi ville fått et bedre resultat.

Et annet potensielt problem med denne metoden kunne være at kullgroperne ikke var runde nok. I rapporten fra Oppland fylkeskommune står det at de fleste kullgroperne er firkantet i formen (Tveiten og Pettersson, 2013). Etter at terrengmodellene er behandlet i RVT og summert i ArcMap så får de fleste kullgroperne runde former. Metoden har også virket på flere kullgroper så vi tror ikke formen til kullgroperne har hatt noen negativ virkning på resultatene.

Vi hadde stor tro på at MatLab skulle greie å analysere de digitale terrengmodellene, men etter prøving og feiling ble det klart at treffprosenten ikke ble høy nok til at analysen kunne gi relevante resultater for oppgavens problemstilling. Siden koden virket på ett område mener vi at det er sannsynlig at den ville virket med det andre området også hvis vi hadde hatt mer tid tilgjengelig.

Deteksjon i OpenCV viste seg å være lettere og mindre tidkrevende enn i MatLab. Her var korrelasjonsverdien den eneste parameteren som kunne endres. Et problem her er at det virker som om relativt små endringer i korrelasjonen kan få store utslag. Det er også store forskjeller i hva som er egnet korrelasjonsverdi for forskjellige terrengmodeller. Dette gjør at det er vanskelig å finne riktig verdi for hver enkelt terrengmodell hvis man ikke har en fasit. Det kan tenkes at noe av problemet med å finne passende korrelasjonsverdi kan unngås ved å visualisere modellen på en annen måte for å få kullgropene til å skille seg enda mer ut enn de gjør ved bruk av sky view factor.

Delmål 4 er et område det tilsynelatende viste seg å være minst komplisert å si noe om, til tross for at vi ikke klarte å gjennomføre alle undersøkelsene vi hadde planlagt. Det er relativt enkelt å resonnerer seg frem til hvilken betydning et gjennombrudd i automatisk deteksjon av fornminner i skog vil ha for samfunnet. Det kan derfor sies at rapporten har mange kommentarer og resonnement som befinner seg utenfor det rent datatekniske ved temaet og problemstillingen. For å finne den eksakte samfunnsnytt holder det ikke med å synse. Det må utføres egne økonomiske analyser for å komme frem til eksakte verdier, som for eksempel penger spart, kompetansekostnad og tidsbruk. For å få en fullstendig analyse om økt samfunnsnytte måtte hvert område blitt analysert, beregnet og beskrevet. Dette ligger utenfor vårt fagfelt og blir derfor noe overflattisk behandlet her.

Er våre undersøkelser ved prøving og feiling bortkastet og intetsigende? På ingen måte. Hvorfor? Vi har lært mye nytt og nyttig, den som leser lærer noe nytt og den som skal skrive en bacheloroppgave om temaet (Ja, for vi tror det vil komme flere) slipper å gjøre de feil vi gjorde.

Det er skapt ny kunnskap, om enn noe mer begrenset enn vi håpet på. Ny kunnskap har en verdi.

Det er avgjørende at myndighetene ser viktigheten med videre forskning på metoder som kan finne og dokumentere kulturminner av alle slag. Med god vilje til å vite mer må det også følge

bevilgninger. Få enkeltpersoner vil tjene på en slik forskning men samfunnsnyttens synes å være stor. Derfor er det liten tvil om at arkeologi og kulturminner er et anliggende hovedsakelig for staten. Håpet er at miljødepartementet med Riksantikvaren som forvalter, igangsetter flere forskningsprosjekt hvor teknologisk arkeologi blir tilgodesett både med kapital og kunnskap. Et godt eksempel på et prosjekt som gav konkrete gevinster er OPPtakt som har arbeidet med å implementere ny teknologi i forvaltningsarbeid (Oppland Fylkeskommune, 2013).

Høydedata.no gjør det mulig å revolusjonere registreringen av fornminner. Høydemodellen åpner for helt nye måter å løse mange samfunnsutfordringer på og deteksjon av fornminner er intet unntak. Høydedata.no vil sannsynligvis ha stor innvirkning på både kartleggings- og analysearbeid i kulturminneforvaltningen.

4.3 Konklusjon

For å konkludere må vi se på hva utgangspunktet for oppgaven var, som er nedfelt i problemstillingen.

Vår problemstilling er:

"Sammenligne kartverkets terrengmodeller med en egengenerert terrengmodell for å finne ut hvilken som egner seg best til automatisk deteksjon av kulturminner. Den egenlagde terrengmodellen skal genereres ved å bruke samme punktsky som terrengmodellen fra kartverket".

Konklusjonen blir: Kartverkets digitale terrengmodell som vi hentet fra høydedata.no gir et bedre resultat i automatisk deteksjon av fornminner på bakken i skogsterreng enn den terrengmodellen vi laget selv.

Er konklusjonen entydig og klar? Svaret på det er nei. Det er vanskelig å se store utslag på de undersøkelsene vi har utført. Vi tror likevel at vi er inne på noe. Vi tror at videre forskning, i tillegg til forskning som allerede er foretatt, vil lede til en høyere deteksjonsprosent og færre feil- funn. Ny teknologi satt i ny kontekst vil bringe ny kunnskap inn i forskningen.

Det er hevet over enhver tvil at fremskritt i automasjon av deteksjon av fornminner i skog i aller høyeste grad vil bidra med stor gevinst for samfunnet. Til tross for dette vil det fremdeles være behov for arkeologisk feltarbeid og manuell deteksjon. Lidargenererte høydemodeller gir gode forutsetninger for planlegging av feltarbeid. Feltarbeidet kan, på grunn av den høye nøyaktigheten i georefereringen, planlegges mer effektivt og med mer forutsigbarhet.

Bollandsås har utført en studie som så på sammenhengen mellom punkttetthet og graden av deteksjonssuksess. Her viste det seg at gjennomsnittlig deteksjon (manuell) for alle fornminner var 24% ved en punkttetthet på 1 m², ved 5 punkt var det 56% og ved 10 punkt pr m² 62%. Det som ikke ble undersøkt ved dette forskningsprosjektet var hvilke forskjeller en kunne finne på deteksjonsraten når en så på ulike typer fornminner, både i form og størrelse, opp mot punkttettheten (Bollandsås *et al.*, 2012). I en nyere norsk studie påpekes det at kunnskapen om denne sammenhengen er viktig (Risbøl *et al.*, 2013). En slik analyse er også svært viktig i og med at klassifisering og navngiving av de ulike fornminnetypene er nødvendig for å få gjennomført en grundig og hensiktsmessig forvaltning. Videre sier Risbøl at slike analyser blir svært viktig for forskningen fremover særlig for studier på automatisk deteksjon av fornminner på bakken (Risbøl *et al.*, 2013).

4.4 Videre forskning

Hva driver forskningen videre?

Utbyggere av vei, infrastruktur, bolig- og hyttefelt har krav til effektivisering og inntjening. Dette setter press på forvaltningen. Finnes det teknologi som kan lede til effektivisering må den tas i bruk. Ved et utvidet samarbeid om å ta i bruk teknologien vil det føre til en vinn-vinn situasjon.

Staten, ved Kartverket og Geovekst har gitt et solid bidrag gjennom å utføre omløpsskanningen og gjøre den tilgjengelig for alle i høydedata.no. En mer systematisk bruk av høydedata.no vil antageligvis gjøre nytte i flere sammenhenger for både privat, statlig og kommunal sektor. Dette vil igjen kreve at det blir utdannet nok personer med riktig kompetanse.

I tillegg til vedtatte nasjonale lover og retningslinjer om bevaring av fornminner, kommer internasjonale krav, anbefalinger og målsetninger som fordrer til samarbeid på tvers av landegrensene (Valetta konvensjonen fra 1992 og ICOMOS- charteret fra 1990).

I denne oppgaven har vi fokusert på punktskyer som er innhentet ved hjelp av fly eller helikopter. Vi ser i dag en stor interesse for droner til bruk i flere bransjer. Det har så smått begynt å bli tatt i bruk droner utstyrt med laserskanner. Laserskanning fra fly i tett granskog byr på utfordringer. Det kan være vanskelig å få mange nok laserpulser til å nå ned til bakken per kvadratmeter. Dette vil gi noen utslag som kan være uheldig, slik vi nevnte i kapitell 4 om at mangel av bakkepunkter kommer til syne som groper på en terrengmodell. Drone med laser kan muligens brukes inne i skogen, under kronene på trærne. Det er uvisst om det er mulig i tett skog.

Disse dronene må være kraftigere for å klare holde kontroll på den relativt tunge laserskanneren og har blant annet av den grunn vært veldig kostbare, men som all ny teknologi vil prisen etter hvert tilpasses markedet slik at flere får en reell tilgang til teknologien.

Vi har påpekt viktigheten av å finne en metode som vil forbedre en automatisk gjenkjenning av kulturminner i skog. Samtidig ser vi at dette likevel ikke vil si at feltarbeid i arkeologien blir overflødig. En kombinasjon med teknologisk arkeologi ved hjelp av automatisk deteksjon og feltarbeid med droner vil kunne gi en bedre forutsetning for forvaltning av kulturminner i sin helhet. Droner gir informasjon i real- time. Terrenginformasjon kan en kanskje si er ferskvare da det stadig er i endring, både gjennom vær og vind og det menneskeskapte.

Samarbeid på tvers av faggrupper vil fremdeles være mest hensiktsmessig bruk av tid, penger og kompetanse. Det er kanskje til og med for svakt å si at det er hensiktsmessig, det synes å være nødvendig å involvere flere faggrupper som er eksperter på hvert sitt felt.

Etterprosesseringen av datafangsten, uansett om det er benyttet fly eller drone, er ressurskrevende både med hensyn til penger, tid og kompetanse. Det trengs et slags internasjonalt spleiselag for å utnytte ressursene best mulig. Dette ser en til for eksempel bli gjort i prosjektene beskrevet tidligere hos Boltzman Institute i Østerrike. Det at vi har fått data lagt ut fritt tilgjengelig gjennom såkalte "open Source" viser vilje til et delingsfunn for "The greater good". Her i landet har Geovekst, siden i begynnelsen av 1990- tallet, spleiset for å få innhentet geografisk data.

Dagens muligheter til å dele informasjon og kunnskap er enormt forbedret de siste årene. En kan samarbeide på tvers av landegrensene og raskt dele data. Datamengden som blir produsert er enorm og gir utfordringer som det jobbes mye med. En kan ikke nevne datamengde uten å nevne dataformat. Det er en jungel av dataprogram som bruker ulike dataformat. Det synes å være et stort behov for å få standardiserte formater som kan forenkle dataflyten og dermed gjøre det enklere å samarbeide, både på kryss av fagfelt og landegrenser.

Vi håper og tror at vårt lille bidrag kan være en slags "fødselshjelp" for andre studenter som har interesse for faget og temaet. Ny teknologi og ny kunnskap kommer stadig til. Det må forskes videre!

Referanseliste

- ArcMAP (2017) Manual (10.5. utg.): ESRI,. Tilgjengelig fra: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.5/get-started/introduction/arcgis-tutorial> (Hentet: 24. april 2018).
- Bentley (2018) Microstation, (V8i (SELECT series 3) version 8.11.09.459. utg., b. 2018, s. informasjon om software). Tilgjengelig fra: <https://www.bentley.com/en/products/brands/microstation> (Hentet: 24. april 2018).
- Beysolow Ii, T. (2017) *Introduction to Deep Learning Using R: A Step-by-Step Guide to Learning and Implementing Deep Learning Models Using R*. Berkeley, CA: Apress: Berkeley, CA.
- Bollandsås, O. M. *et al.* (2012) *Using airborne small-footprint laser scanner data for detection of cultural remains in forests: an experimental study of the effects of pulse density and DTM smoothing*. Tilgjengelig fra: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030544031200146X> (Hentet: 20. mars 2018).
- CloudCompare (2017) Manual (2.8.1. utg.). Tilgjengelig fra: <http://www.cloudcompare.org/> (Hentet: 24. april 2018).
- Den store norske bokmålsordboka (2014) *Ordbok*. Kagge forlag.
- Det norske akademis ordbok (2017) *Georeferere*. Tilgjengelig fra: <https://www.naob.no/ordbok/georeferere> (Hentet: 4. april 2018).
- Flognfeldt, T. (1995) *Areal, sted og reiserute*. Bergen: Fagbokforl.
- GRASS (2018) GRASS GIS, (7.4. utg.). Tilgjengelig fra: <https://grass.osgeo.org/grass74/manuals/v.surf.rst.html> (Hentet: 24. april 2018).
- Gustavsen, L., Paasche, K. og Risbøl, O. (2013) *En vurdering av nyere avanserte arkeologiske registreringsmetoder i forbindelse med vegbyggingsprosjekter. Rapport nr. 192*. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/Publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/attachment/441469?ts=13d1b9e44f0&fast_title=SVV+rapport+192+Arkeologisk+unders.pdf (Hentet: 3. april 2018).
- Kartverket (2018a) *Høydedata*. Tilgjengelig fra: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/> (Hentet: 6. april 2018).
- Kartverket (2018b) *Omløpsskanning*. Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/data/Laserskanning/> (Hentet: 22. mars 2018).
- Kokalj, Ž., Zakšek, K. og Oštir, K. (2011) *Application of sky-view factor for the visualisation of historic landscape features in lidar-derived relief models*. Tilgjengelig fra: https://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&volume=85&publication_year=2011&pages=263-273&journal=Antiquity&author=%C5%BD+Kokalj&author=K+Zak%C5%A1&author=K+O%C5%A1tir&title=Application+of+sky%E2%80%90view+factor+for+the+visualisation+of+historic+landscape+features+in+lidar%E2%80%90derived+relief+models (Hentet: 20. mars 2018).
- Kulturdepartementet (1979) *Lov om kulturminner*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1978-06-09-50> (Hentet: 23. mars 2018).
- Ludwig Boltzmann Institute (2013-2018) *ALS filtering*. Tilgjengelig fra: <http://lbi-archpro.org/als-filtering/> (Hentet: 3. April 2018).
- Maas, H.-G. og Vosselmann, G. (2010) *Airborne and terrestrial laser scanning*. Boca Raton, Fla.,Dunbeath: CRC Press Whittles Publ.

- MathWorks (2018) Matlab, . Tilgjengelig fra: <https://se.mathworks.com/products/matlab.html> (Hentet: 25. april).
- OpenCV (2018) TutorialTemplateMatching. Tilgjengelig fra: http://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials/py_imgpro (Hentet: 8. mai 2018).
- Oppland Fylkeskommune (2013) *FoU delprosjekt: Utredning av egnethet av HD-lidarkartlegging som arbeidsverktøy i kulturminneforvaltningen*,. Tilgjengelig fra: <https://www.oppland.no/Handlers/fh.ashx?Mid1=269&FilId=6> (Hentet: 30. april 2018).
- Rapidlasso (2018) Lasground, . Tilgjengelig fra: http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/download/lasground_README.txt (Hentet: 24. april 2018).
- Riksantikvaren (2004) *Askeladden*,. Tilgjengelig fra: <https://www.riksantikvaren.no/Veiledning/Data-og-tjenester/Askeladden> (Hentet: 4. april 2018).
- Riksantikvaren (2017) *Strategi 2017- 2021*. Tilgjengelig fra: https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2419142/1/RA_strategi_2017_2021.pdf (Hentet: 30. april 2018).
- Risbøl, O., Gjertsen, A. K. og Skare, K. (2008) *Flybåren laserskanning og registrering av kulturminner i skog, Fase 3*. Tilgjengelig fra: www.niku.no (Hentet: 4. april 2018).
- Risbøl, O. et al. (2011) *Flybåren laserskanning til bruk i forskning og til forvaltning av kulturminner og kulturmiljøer*. (NIKU Rapport, 45). Oslo: Stiftelsen Norsk institutt for kulturminneforskning. Tilgjengelig fra: https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/175814/hoeyteknologi_flybaaren_laserskanning.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Hentet: 20.03.2018).
- Risbøl, O. et al. (2013) Interpreting cultural remains in airborne laser scanning generated digital terrain models: effects of size and shape on detection success rates, *Journal of Archaeological Science*, 40(12), s. 4688-4700. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.07.002>.
- Risbøl, O. og Gustavsen, L. (2016) *Bruk av luftbåren laserskanning (lidar) i arkeologien (håndbok)*. Tilgjengelig fra: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2404006> (Hentet: 23. mars 2018).
- Schneider, A. et al. (2015) A Template - matching Approach Combining Morphometric Variables for Automated Mapping of Charcoal Kiln Sites, *Archaeological Prospection*, 22(1), s. 45-62.
- Solheim, E., Sørensen, H. og Langseth, Ø. (2012) *Utvikling av metode for deformasjonskontroll ved bruk av bakkebasert laserskanner*.
- Steyn, D. G. (1980) *The calculation of view factors from fisheye- lense photographs*. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.1080/07055900.1980.9649091> (Hentet: 10. april 2018).
- Store norske leksikon (2014) *Kulturminner*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/kulturminner> (Hentet: 4. april 2018).
- Store norske leksikon (2018a) *Spline*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/spline> (Hentet: 26. april 2018).
- Store norske leksikon (2018b) *Anomali: vitenskapsfilosofi*. . Tilgjengelig fra: https://snl.no/anomali_-_vitenskapsfilosofi (Hentet: 4. april 2018).
- Sætren, A. et al. (2012) *Kulturarv, kulturminner og kulturmiljøer*. Tilgjengelig fra: <http://www.niku.no/> (Hentet: 3. april 2018).
- Terrasolid (2016) Manual iSoininene, A. (red.) (version 018.001. utg.). Tilgjengelig fra: <https://www.terrasolid.com/download/tscan.pdf> (Hentet: 24. april 2018).

- TerraTec (2011) *Øystre Slidre Laser 2011*,. (Rapport for laserskanning,). Kartverket,(Hentet: 27. mars 2018).
- Tveiten, O. og Pettersson, S. (2013) *Kulturminne i Gravfjellet. Kulturhistoriske registreringer i Gravfjellområdet, Øystre Slidre kommune i Oppland*,. (Kulturhistoriske rapporter). Oppland fylkeskommune: Kulturarveininga i Oppland fylkeskommune, Øystre Slidre kommune(Hentet: 23. mars 2018).
- Zakšek, K., Oštir, K. og Kokalj, Ž. (2011) Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique, *Remote Sensing*, 3(2), s. 398. Tilgjengelig fra: <http://www.mdpi.com/2072-4292/3/2/398>.
- Zakšek, Klemen *et al.* (2013) *Relief visualization toolbox*,. Tilgjengelig fra: <https://iaps.zrc-sazu.si/en/rvt#v> (Hentet: 3. mai 2018).
- Žutautas, V. (2017) *Charcoal Kiln Detection from LiDAR-derived Digital Elevation Models Combining Morphometric Classification and Image Processing Techniques*. Tilgjengelig fra: <http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1111940/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 6. mars 2018).

Vedlegg

Vedlegg 1. Korrespondanse om å få tillatelse til å bruke koden i masteroppgave

Vedlegg 2. MATLAB kodet tilpaset vårt utprøvnings området

Vedlegg 1. Korrespondanse vedrørende tillatelse av kildebruk.

The screenshot shows a WhatsApp chat interface. At the top, the contact name is "Vaidutis Žutautas" with a green status indicator and the text "Mobil • for 5 t siden". The date "22. MAR." is centered above the messages. The first message is from "amalie tjomsland" at 19:06, asking for permission to use code in a master's thesis. The second message is from "Vaidutis Žutautas" at 19:16, responding positively and offering assistance.

Vaidutis Žutautas
Mobil • for 5 t siden

22. MAR.

amalie tjomsland • 19.06
Hei. Min gruppes Geomatikk bacheloroppgave ved NTNU Gjøvik, Norge omhandler kulturminnegjenkjenning med lidar. Vi har lest din master oppgave og lurert på om vi kan få tillatelse til å bruke din kode i vår oppgave? Vi vil selvfølgelig oppgi din oppgave som referanse.
Hilsen Ammalie K. Tjomsland

Vaidutis Žutautas er nå en forbindelse

Vaidutis Žutautas • 19.16
Hi,

It sounds great, please let me know what kind of study is that you are doing and I would also be interested in the results you get. The code is not optimized and it might need to change quite a few settings/variables for different terrain or objects. Let me know if you encounter issues, I would gladly share my knowledge. You are allowed to implement the code with adequate referencing.

Good luck!
Vaidutis

Vedlegg 2. MATLAB kode tilpaset vårt utprøvnings området

```
tic
clc
clear all
format longg

% Import morphometric map and adjust the contrast
[A, R, d] = geotiffread(['so2.tif']);
info = geotiffinfo(['so2.tif']);
con_adjust = imadjust (A); % Contrast stretch

% Image segmentation
binary_split = im2bw(con_adjust, 0.90); % Binarize with a set thresholdvalue

% Set segmented object size variables
LB = 70; %lower limit
UB = 10000; %upper limit

morphology_open = xor (bwareaopen(binary_split, LB), bwareaopen(binary_split, UB));

% Display the result
figure,
imshowpair (con_adjust, binary_split, 'blend'), impixelinfo;

% Set variables for outer and inner circle radii range
Rb_min = 7;
Rb_max = 12;
Rm_min = 3;
Rm_max = 7;

% Hough Circle transform for bright and dark circles
[centersBright, radiiBright] = imfindcircles(binary_split, [Rb_min Rb_max], ...
    'ObjectPolarity', 'bright', 'Method', 'TwoStage', 'Sensitivity', 1, ...
    'EdgeThreshold', 0.7);
[centersDark, radiiDark] = imfindcircles(binary_split, [Rm_min Rm_max], ...
    'ObjectPolarity', 'dark', 'Method', 'TwoStage', 'Sensitivity', 1, ...
    'EdgeThreshold', 0.7);

% Drawing circles on the paired segmented image
outer = viscircles(centersBright, radiiBright, 'Color', 'b');
inner = viscircles(centersDark, radiiDark, 'Color', 'r');

% Condition 1.
% Setting and storing coordinates in array variables
xSm=centersDark(:,1);
ySm=centersDark(:,2);
xBig=centersBright(:,1);
yBig=centersBright(:,2);
counter=0;

for i=1:length(xBig)
    for j=1:length(xSm)
        if(xSm(j) -xBig(i)).^2 + (ySm(j) -yBig(i)).^2 < radiiBright(i).^2;
            counter=counter+1; %counts amount of circles inside the big circles
            xyS(counter,:)=[xSm(j),ySm(j)]; %stores the coordinates in x and y
            xyB(counter,:)=[xBig(i) , yBig(i)];
            rB(counter,:)=[radiiBright(i)];
            rS(counter,:)=[radiiDark(j)];
        end
    end
end

% Transforms x and y to lon/lat
[latRS, lonRS] = pix2latlon(R,xyS(:,2), xyS(:,1));
[latRB, lonRB] = pix2latlon(R,xyB(:,2), xyB(:,1));
```

```

%Condition 2
% Setting the array size of A
[m, n]=size(A);

% Creates "small circles" binary image by calculating a distance to the center
% of big circle from each pixel and compare this distance to radius

wS=zeros(m,n);
for h = 1 : length(xyS)
    for i = 1 : m
        for j = 1 : n
            if ((i - xyS(h,2)).^2 + (j - xyS(h,1)).^2) < rS(h).^2
                wS(i, j) = 1;
            end
        end
    end
end

% Displaying the result
figure,
imshow (wS), impixelinfo;

% Creates "big circles" binary image by calculating a distance to the center
% of big circle from each pixel and compare this distance to radius

wB=zeros(m,n);
for h = 1 : length(xyB)
    for i = 1 : m
        for j = 1 : n
            if ((i - xyB(h,2)).^2 + (j - xyB(h,1)).^2) < rB(h).^2
                wB(i, j) = 1;
            end
        end
    end
end

% Displaying the result
figure,
imshowpair (A,wB, 'blend'), impixelinfo;

% Finds only those circles that are fully inside the big circles by
% firstly subtracting and filling circles that contain a closed hole,
% then extracts hole segments, which represent centers of coinciding circles.

only_minus = imsubtract(wB, wS);
only_fill = imfill(only_minus);
only_gand = only_fill==1&wS==1;
only_gandd = only_gand*1;
only_subt = imsubtract(wB, only_gandd);
only_pand = only_subt==0&wS==1;
colc = im2bw (only_pand); %makes sure it is binary
only_clean = bwareaopen (colc, 25);

% Displaying the result
figure,
imshowpair(A, only_subt, 'blend'), impixelinfo;

% Hough Circle transfer finding the extracted circles

[F_centers, F_radii] = imfindcircles(only_clean,[2 4],...
    'ObjectPolarity','bright', 'Method', 'TwoStage',...
    'Sensitivity', 0.91,'EdgeThreshold', 0.55);

% Counts the number of identified circles

F_counter = numel(F_centers)/2;

% Drawing circles on the image of filtered circles

```



```

figure,
imshowpair (A, only_clean, 'blend'), impixelinfo;
viscircles(F_centers, F_radii,'EdgeColor','b');

% Transforms identified circle centers to lat/lon

[latAnd, lonAnd] = pix2latlon(R,F_centers(:,2), F_centers(:,1));

% Condition 3
% Distance measuring by buffer masking and alerting.
% Create a mask with circles (r=50px) over the knownfiltered locations

% Setting the variable for the mask
radius = 50;
xy_circles = [F_centers(:,1), F_centers(:,2)];

wmask=zeros (m,n);
for k = 1 : length (xy_circles)
    for e = 1 : m
        for d= 1 : n
            if (e - F_centers(k,2)).^2 + (d - F_centers(k,1)).^2 <= radius.^2;
                wmask(e, d) = 1;
            end
        end
    end
end

% Find and extract areas which exceed the amount of pixels
% contained within one circle and returns result with viscircles().
cmask = im2bw (wmask);area = bwareafilt(cmask, [ 7870 200000 ]); % Extracts circles with 1 circle r=50<pxs

% Finds overlapping circles

[A_centers, A_radii] = imfindcircles(area,[49 51],...
    'ObjectPolarity','bright', 'Method', 'TwoStage',...
    'Sensitivity', 0.92,'EdgeThreshold', 0.75);

% Counts the number of overlapping circles

A_counter = numel (A_centers)/2;

% Transformsx and y of circle centers to lat/lon

[latA, lonA] = pix2latlon(R,A_centers(:,2), A_centers(:,1));

% Writes the identified circle center coordinates to a text file

dlmwrite(t_coordinates.txt,[lonAnd latAnd],'newline','pc');

%Display the results
figure;
axis image
mapshow(A,R), impixelinfo;
hold on
plot(lonA,latA,'Marker', 'o', 'MarkerFaceColor', 'green', 'MarkerSize', 8, ...
'LineStyle','none');
hold on
plot(lonRB,latRB,'Marker', 'o', 'MarkerFaceColor', 'blue', 'MarkerSize', 5,...
'LineStyle','none');
hold on
plot(lonRS,latRS,'Marker', 'o', 'MarkerFaceColor', 'red', 'MarkerSize', 5,...
'LineStyle','none');
hold on
plot(lonAnd, latAnd,'Marker', 'o', 'MarkerFaceColor', 'yellow', 'MarkerSize', 6,...
'LineStyle','none');
hold on

toc

```