

FRA NATUR TIL KART

-Veien til 3D-modellering av en isfonn ved hjelp av GIS og geofysiske metoder

Abstract

A 3D-model of different geomorphological objects has become a more common way of portraying nature in recent years. Generating 3D-models of objects of this kind reveals different attributes such as spatial orientation, internal structures, and volume. The model gives its observer a unique opportunity to navigate around the spatial range, and even highlight certain areas of the case study for further scrutiny. The user is able to “peel” away the different layers and thereby be left with individual elements which would be otherwise difficult to obtain. This thesis shows how a model of this kind can be made using geophysical instruments as GPR (ground penetrating radar) and RTK (real time kinematic) GPS to perform different surveys for both the external and internal structures of the ice patch. This data will then be used for processing in ESRI's geographic information systems. The aim of this thesis is to focus attention on the workflow needed to develop a 3D-model; from fieldwork and processing, to results and visualization of the ice patch and its different layers in 3D.

Sammendrag

3D-modellering av ulike geomorfologiske objekter er i nyere tid blitt en mer vanlig måte å visualisere naturen på. Ved å generere 3D-modeller av slike objekter er det flere essensielle egenskaper ved objektet som avdekkes, for eksempel; dens romlige orientering, interne strukturer og dens volum. Brukere av modellen har en helt unik mulighet til å navigere seg rundt i rommet for så å rette søkelyset mot enkelte elementer ved studieobjektet. Brukeren kan "skrelle" av andre lag og dermed kun sitte igjen med enkeltelementer, som kan avdekke vanskelig tilgjengelig informasjon. Denne oppgaven viser hvordan en slik modell kan lages ved å kombinere RTK GPS undersøkelser med et nettverk av GPR (ground penetrating radar)-profiler, for så å etterprosessere datafangsten i ESRI's geografiske informasjonssystem. I samarbeid med forskningsprosjektet SPARC er studieobjektet satt til Kringsollfonna, en isfonn lokalisert i Oppdal kommune i Sør-Trøndelag fylke, Norge. Målet med oppgaven er å rette søkelyset mot arbeidsstrømmen for utvikling av en slik 3D-modell; fra feltarbeid, etterprosessering og til resultat og visualisering av fonnens snø- og islag i 3D.

Forord

Denne oppgaven markerer slutten på en fantastisk studietid på NTNU. Det er flere personer jeg ønsker å takke for god hjelp og motivasjon, uten dere hadde denne prosessen vært både vanskeligere og kjedeligere.

Først vil jeg rette en stor takk til min veileder, Dr. Scient. Ivar Berthling, for en fantastisk innsats, både med tanke på: gode råd, faglig kunnskap og ellers god veiledning. Jeg kommer til å savne Skype-samtalene med deg. Jeg vil også takke deg for stor faglig entusiasme og et brennende engasjement, som har påvirket meg gjennom studietiden. Din kompetanse og faglige innsats har gjort studenttilværelsen på NTNU både spennende og lærerik.

En spesiell takk til Dr. Scient Geir Vatne som inviterte meg til å delta i forskningsprosjektet SPARC. Jeg vil også takke deg for gode råd, trivelige samtaler, god motivasjon, samt flotte feltarbeid. En takk for økonomisk støtte til utstyr og transport til og fra forskningsområdet, rettes også til SPARC.

Jeg vil også takke Dr. Polit. Jan Ketil Rød for stor faglig GIS-kunnskap. Dine motiverende forelesninger og kurs har bidratt sterkt til min interesse for GIS.

Takk til alle medstudenter på geografisk institutt for et godt miljø. En takk til mine venner på lesesal 7357: Magnus, Tor-Inge, Fredrik, Morten, Ingrid, Johanne og Benno. En spesiell takk til Johanne, Linda, Lars og Kjetil for flott innsats under feltarbeid. Takk til Eivind for motiverende samtaler.

Stor takk til korrekturlesere.

Til slutt vil jeg også takke min kjære Karoline som har vært motiverende, støttende og forståelsesfull gjennom en hektisk periode.

Trondheim, 05.05.2013

Jørn Kristiansen



Innholdsfortegnelse

Abstract	ii
Sammendrag	ii
Forord	iv
Figurliste	x
Tabelliste	xiii
1. Innledning og presentasjon av studieområdet	1
1.1 Innledning	1
1.2 Problemstilling.....	3
1.2.1 Hovedproblemstilling.....	3
1.2.2 Underproblemstilling	3
1.3 Områdebeskrivelse	4
1.4 Tidligere arbeid	8
2. Metode og teori	11
2.1 Ground Penetrating Radar (GPR)	11
2.1.1 Metodens oppbygning	12
2.1.2 Metodens prinsipper.....	15
2.2 Geografisk informasjonssystem (GIS).....	19
2.2.1 Digital kartografisk data.....	20
2.2.2 Geografisk datamodellering	22
2.2.3 Romlig dataanalyse	24
3. Datainnsamling og prosessering	27
3.1 Planlegging av feltarbeid.....	27
3.1.1 Planlegging av GPR	27
3.1.2 Planlegging av GPS.....	28
3.2 Arbeid i felt	29
3.2.1 GPR-undersøkelser.....	30

3.2.2 RTK GPS-undersøkelser	31
3.3 Etterprosessering og forberedelser til arbeid i ArcGIS	31
3.3.1 Reflex	32
3.3.2 Excel.....	35
3.4 ArcGIS	35
3.4.1 Import av GPR-data i ArcMap	36
3.4.2 Dybdekalibreing av GPR-profiler	38
3.4 ArcScene	40
3.4.1 Utforming av 3D-modellen	40
4. Resultat og tolkning	45
4.1 Det 3D-modellerte området.....	45
4.2 3D-fundament.....	48
4.3 TIN-Modellene og dens funksjoner	49
4.4 3D-modell av snølaget	51
4.4.1 3D-modell av islaget	52
4.4.2 Total 3D-modell	53
4.5 Snødybde.....	54
4.5.1 Isdybde	56
4.6 3D-modell av Kringsollfonnens stratigrafi	57
5. Diskusjon.....	61
5.1 Hvorvidt GPR- og GPS-målinger egnes som metode for å generere 3D-modeller	61
5.1.1 Datainnsamlingsfasen.....	61
5.1.2 Etterprosesseringsfasen	63
5.1.3 Egnethet for å generere 3D-modeller	67
5.2 Vurdering av ESRI's ArcGIS som et etterprosesseringsverktøy av 3D-data.....	68
5.2.1 Viktigheten av å 3D-modellere naturen	69
5.2.2 Fordeler ved å bruke ESRI's programvare	69

5.2.3 Utfordringer ved å bruke ESRI's programvare	70
5.3 3D-modellering av andre geomorfologiske elementer	71
6. Oppsummering og konklusjon.....	73
Etterord	77
Litteraturliste.....	79
Appendiks	85

Figurliste

FIGUR 1: KARTET VISER FELTOMRÅDET OG ER LAGET I ARCMAP, BASERT PÅ EN DTM, SAMT EN HILLSHADE AV OMRÅDET. INNSETT KARTENE ORIENTERER HVOR I NORGE FONNEN ER LOKALISERT, SAMT EN TIN-MODELL MED ET DRAPER ORTOFOTO AV FONNEN. HØYDEVERDIENE ER HENTET FRA KARTVERKETS N50 KARTDATA OG ORTOFOTO FRA (NORGEIBILDER 2010).	5
FIGUR 2: ET KART OVER STUDIEOMRÅDET LAGET I ARCSCE, HVOR OMRÅDETS HELLINGSGRAD ER VISUALISERT.	6
FIGUR 3: ILLUSTRASJONENE VISER UTBREDELSEN AV SNØSKAVLEN PÅ KRINGSOLLFONNA. FOTOGRAFIET (NEDERST TIL HØYRE) ER TATT AV GEIR VATNE DEN 15.08.2013. ØVERST I FIGUREN ER DET LAGT VED EN TIN-MODELL AV FONNENS TOPOGRAFI, DRAPERT MED ET ORTOFOTO. DEN RØDE SIKRELEN REPRERENTERER SKAVLENS UTBREDELSE.	6
FIGUR 4: KARTET VISE ET UTVALG AV SNØ- OG ISFONNER HVOR DET ER GJORT ARKEOLOGISKE FUNN I OPPDALSONRÅDET. KARTET ER LAGET I ARCMAP OG ER BASERT PÅ EN DTM OG EN HILLSHADE AV OMRÅDET. HØYDEDATA ER HENTET FRA KARTVERKETS N50 KARTDATA.	7
FIGUR 5: EN SKISSE OVER HVORDAN ET GPR-SYSTEM ER SATT SAMMEN AV ULIKE KOMPONENTER. FIGUREN ER MODIFISERT FRA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION GEOLOGICAL AND WATER SURVEY (NJGWS 2013).	12
FIGUR 6: ULIKE ANTENNER SOM KAN KOBLES TIL GPR-SYSTEMET. ØVERST T.V.: 100 MHz OG 250 MHz. NEDERST T.V.: 500 MHz OG 250 MHz. FOTO FRA MALÅ (MALÅ 2011B).	13
FIGUR 7: BILDE AV GPR-SYSTEMETS KONTROLLENHET (MALÅ 2011B).	14
FIGUR 8: BILDE AV GPR-SYSTEMETS MONITOR (MALÅ 2011A).	14
FIGUR 9: ILLUSTRASJONEN VISER HVORDAN EM-FELTETS FORM FORANDRES I ULIKE MATERIALER MED ULIKE DIELEKTRISKE EGENSKAPER, ETTER RELATIV PERMITIVITET. VI SER BLANT ANNET VANN MED RELATIV PERMITIVITET LIK 81 OG IS MED 3.2. (ANNAN 2009)18	
FIGUR 10: ET EKSEMPEL PÅ HVORDAN RASTERDATA KAN VISUALISERES (LONGLEY ET AL. 2011B).	21
FIGUR 11: EN OVERSIKT OVER HVORDAN VIRKELIGHETEN REPRESENTERES BÅDE VIA VEKTORDATA OG RASTERDATA (SEOS 2012). ..	21
FIGUR 12: STRUKTUREN TIL EN TIN-MODELL, HVORDAN DEN ER BYGGET OPP AV TRIANGLER (ESRI 2010).	22
FIGUR 13: EN TIN-MODELL ER EN TOPOLOGISK DATASTRUKTUR, SOM GIR INFORMASJON OM PUNKTENE SOM UTGJØR HVERT TRIANGEL OG DENS NABOTRIANGEL. TABELLEN TIL HØYRE VISER HVORDAN HVERT TRIANGEL ALLTID ER KOBBET MELLOM TRE PUNKTER OG AT DE SOMREGEL OGSÅ HAR TRE NABOTRIANGLER, HVIS DE IKKE LIGGER VED TIN-MODELLENS YTERGRENSE (LONGLEY ET AL. 2011A).	23
FIGUR 14: KARTET ER LAGET I ARCMAP OG VISER DE PLANLAGTE PROFILENE UNDER DATAINNSAMLINGEN.	28
FIGUR 15: ET KART OVER DE OPPMÅLTE PROFILENE, SAMT POSISJONEN TIL GPS-BASESTASJONEN. HVERT PUNKT REPRESENTERER ETT GEOREFERERT GPS-MÅLEPUNKT. PROFILENE ER KLASSIFISERT FRA X1 TIL Y1-Y7. KARTET ER LAGET I ARCMAP.	29
FIGUR 16: UTFØRING AV GPR-UNDERSØKELSE I BRATT TERRENG. FOTOGRAFI AV LINDA KRISTIANSEN, DATERT 15.08.2012.	31
FIGUR 17: GRAFEN VISER HVORFOR DET VAR VIKTIG Å GJØRE EKSPORTERINGEN AV ASCII FILER FRA REFLEX I TO OMGANGER. HER ILLUSTRERT MED PROFIL Y 2. GRAF A) VISER HVORDAN DEN TOTALE DYBDEN ER TILNÆRMET 6 METER HVIS DET BLE GJORT EN EKSPORTERING AV BEGGE REFLEKTORER I ÈN OMGANG. RESULTATET AV 3D-MODELLEN VILLE DA HA VIST FEIL DYBDE. GRAF B) VISER EN EKSPORTERING GJORT I TO OMGANGER, HVOR RESULTATET KAN SETTES PROSESSERES I MIN VALGTE ARBEIDSSTRØM, SLIK AT DYBDEN TIL IS-3D-OBJEKTET VIL VÆRE RIKTIG. GRAFEN ER LAGET I EXCEL, BASSERT PÅ GPR-DATA.	33

FIGUR 18: ARBIDSPROSESSEN I REFLEX ER ILLUSTRERT I DENNE FIGUREN (SKJERMDUMP FRA REFLEX). ØVERST (A) VISES HVORDAN RADARPROFILER SER UT FØR PROSESSERING, HER ILLUSTRERT MED PROFIL Y1. Y-AKSEN VISER HVOR LANG PROFILEN ER I METER (NB. DISSE VERDIENE ER IKKE KOREKTE, DA FAKTORER SOM VELTING AV ANTENNE, AT HJULET MISTET FRIKSJON MED UNDERLAGET OG SKLED OVER UNDERLAGET GJØR AT DISSE VERDIENE IKKE ER REELLE. DE KRAFTIGE VANNRETTE LINJENE ER DIREKTEBØLGER, MEN DE KURVEDE LINJENE ER SIGNALER FRA REFLEKTORER UNDER BAKKEN. RADARGRAM B) VISER HVORDAN PROFILEN BLIR SEENDE UT ETTER DEN HAR BLITT PROSESSERT, MAN SER HVORDAN DE TYDELIGE REFLEKTORER TREER FREM NÅR DATAEN BLIR UTSATT FOR ULIKE FILTRERINGER O.L. UTVELGELSESPROSESSEN SKJER I RADARGRAM C) OG DYBDEKLARERENGEN, SAMT Fyll av reflektorene skjer i radargram d)	34
FIGUR 19: VISER FONNENS AVGRENSEDE PERIMETER OG POLYGON. LAGET I ARCMAP.	35
FIGUR 20: KARTET VISER DEN VISUELLE FORANDRINGEN FOR HVORDAN RESULTATET AV "INTERPOLERING" MELLOM GPS-PUNKTENE FOREGIKK. LAGET I ARCMAP.	36
FIGUR 21: KARTET VISER DE OPPMÅLTE PROFILENES POSISJON, I FORHOLD TIL FONNENS PERIMETER OG POLYGON. KARTET ER LAGET I ARCMAP.	37
FIGUR 22: EN ILLUSTRASJON FOR HVORDAN BÅDE IS- OG SNØHORISONTNE BLE TILDELT DET SAMME "NULLPUNKTET", SLIK AT DYBDEVERDIENE SENERE KUNNE TREKES FRA FOR Å GJENGI KORREKT UTBREDELSE AV 3D-OBJEKTET LANGS Z-AKSEN. DENNE FUNKSJONENE ER AVHENGIG AV AT HVERT LAGS TOTALE DYBEDE ER KORREKT (SE AVSNITT 3.3.1 "KLASSIFISERING OG EKSPORTERING AV REFLEKTORER"). FIGUREN ER HENTET FRA (ESRI 2011b).....	38
FIGUR 23: FIGUREN VISER HVORDAN PUNKDATEN BLE TILDELT X, Y OG Z VERDIER. I MITT TILFELLET ER DET Z-VERDIENE (HØYDE OVER HAVET) SOM VAR VIKTIGE. HENTET FRA (ESRI 2012b).	38
FIGUR 24: MODELLEN VISER ARBEIDSPROSESSEN FOR Å GEOREFERERE GPR-DATAEN MED GPS-DATAEN, SLIK AT HVERT PUNKT HADDE EN VERDI FOR ISDYBDE, SNØDYBDE OG OVERFLATE. DE BLÅ SIRKLENE ØVERST T.H. ER INNPUTT DATAEN, DE GULE REKTANGLENE SYMBOLISERER HVLKET PROSESSERINGSVERKTØY SOM BRUKES OG DE GRØNNE SIRKLENE VISER RESULTATET ETTER AT PROSESSERINGEN ER FERDIG. MODELLEN ER LAGET I ARCMAP.	39
FIGUR 25: PUNKTVERDIER FOR SNØHORISONTENE VISES I SKJELETTET MED RØD FARGE, MENS ISHORISONTEN ER SYMBOLISERT MED BLÅTT. VI KAN ALLEREDE HER SKIMTE STATUS PÅ HVORDAN FONNENS IS- OG SNØLAG ER UNDER OVERFLATEN. MODELLEN ER LAGET I ARCSCE.	40
FIGUR 26: SKJELETTET AV 3D-MODELLEN KORRELERER MED SINE RESPECTIVE TIN-MODELLER. VI SER HER SNØHORISONTEN I RØDT OG ISHORISONTEN I BLÅTT. MODELLEN ER LAGET I ARCSCE.	40
FIGUR 27: VISES HVORDAN EXTRUDE BETWEEN-VERKTØYET LAGER 3D-OBJEKTER (MULTIPATCH) AV ET AVGRENSET OMRÅDET (POLYGON) OG TO TIN-MODELLER (FOR 3D-OBJEKTET AV IS, BLE DET BRUKT TIN-MODELL AV SNØHORISONT MED TIN-MODELL AV ISHORISONT). RESULTATET ER ET SOLID 3D-OBJEKT, HVOR VOLUMBEREGNINGER KAN GJØRES. ILLUSTRASJONEN ER HENTET FRA (ESRI 2013).	41
FIGUR 28: 3D-MODELLERINGSVERKTØY, HVOR BRUKEREN KUN TRENGER Å LEGGE TIL ET OMRISSE AV FORSKNINGSOMRÅDET, GPS-DATA FOR TOPOGRAFIEN, SAMT DYBDEDATA I FORM FOR EKSEMPEL GPR-DATA.	43
FIGUR 29: FIGUREN VISER KRINGSOLLFONNENS OVERFLATE, SAMT DET AVGRENSEDE OMRÅDET 3D-MODELLEN DEKKER. FIGUREN ER LAGET I ARCSCE.	45
FIGUR 30: ETTER AT ASCII FILENE VAR EKSPORTERT FRA REFLEX, KUNNE DE ENKELT IMPORTERES I EXCEL. GRAFENE VISES DYBDEN TIL BÅDE SNØ- OG ISLAGENE.	47

FIGUR 31: FIGUREN VISER 3D-MODELLENS "SKJELETT", MED BÅDE SNØDYBDE (ØVERST) OG ISDYBDE (NEDERST). BILDENE MED ORTOFOTO T.H. ER TATT FRA UNDERSIDEN AV FONNEN, MENS T.V. ER FONNEN SETT OVENFRA. FIGUREN ER LAGET I ARCSCE.	48
FIGUR 32: HER ILLUSTRERES "STØPEFORMEN" TIL 3D-MODELLEN. DEN BESTÅR AV TIN-MODELLER, EN FOR BUNNREFLEKTOREN TIL SNØ OG EN FOR BUNNREFLEKTOREN TIL IS. DEN LUKKEDE 3D-MODELLEN FOR IS VIL BESTÅ AV TOMROMMET MELLOM SNØ-TIN-MODELLEN OG IS-TIN-MODELLEN OG SNØLAGET AV TOMROMMET MELLOM SNØ-TIN-MODELLEN OG TIN-MODELLEN AV OVERFLATEN (IKKE ILLUSTRERT HER). LAGET I ARCSCE.	50
FIGUR 33: SNØLAGET ER FERDIGMODELLERT OG KAN SEES I DENNE FIGUREN SOM EN LUKKET 3D-MODELL (MULTIPATCH). LEGG MERKE TIL DE SKARPE LINJENE SOM ER ET RESULTAT AV TRINGULERINGENS INTERPOLERING. LAGET I ARCSCE.	51
FIGUR 34: DEN LUKKEDE 3D-MODELLEN AV ISLAGET VISES I DENNE FIGUREN. LAGET I ARCSCE.	52
FIGUR 35: NÅR VI LEGGER SAMMEN MULTIPATCHENE FRA BÅDE SNØ- OG ISLAGET ER EN GENERALISERT 3D-MODELL AV KRINGSOLLFONNENS STRATIGRAFI FERDIGLAGET. GRUNNEN TIL AT JEG VELGER BETEGNE DEN SOM EN GENERALISERT 3D-MODELL, ER AT STRATIGRAFIEN I FONNEN BESTÅR AV MER ENN KUN IS OG SNØ. DEN VIL MEST SANNSYNLIG INNEHOLDE BÅDE ORGANSIKE LAG, FIRN OSV. FIGUREN ER LAGET I ARCSCE.	53
FIGUR 36: FIGUREN VISER ET INTERPOLERT RASTERLAG SOM INNEHOLDER HØYDEINFORMASJON SOM ER DRAPERT OVER 3D-MODELLEN AV SNØLAGET. LAGET I ARCSCE OG ARCMAP.	54
FIGUR 37: FIGUREN VISER ET INTERPOLERT RASTERLAG SOM INNEHOLDER HØYDEINFORMASJON SOM ER DRAPERT OVER 3D-MODELLEN AV ISLAGET. LAGET I ARCSCE OG ARCMAP.	56
FIGUR 38: HER VISUALISERES 3D-MODELLEN PÅ UNDERSIDEN AV KRINGSOLLFONNEN. ET AV PROBLEMENE VED Å VISUALISERE 3D-FIGURER PÅ PAPIR ER AT VINKLINGEN PÅ BILDET KAN GJØRE AT LESEREN DESORIENTERES. BÅDE SNØ OG IS-MODELLEN ER HER LOKALISERT PÅ UNDERSIDEN AV TIN-MODELLEN FOR TOPOGRAFIEN, SOM ER IGJEN DRAPERT MED ET ORTOFOTO FRA OMRÅDET. FIGUREN ER LAGET I ARCSCE.	58
FIGUR 39: VISER HVORDAN GEOPROSESSERINGSVERKTØYET "TINDIFFERENCE" KAN GJØRES VIA ET PYTHONSCRIPT.	59
FIGUR 40: BILDER VISER ET UKJENT MATERIALE SOM LIGGER PÅ FONNENS OVERFLATE, DET ER NÆRLIGGENDE Å TRO AT DETTE ER ORGANISK MATERIALE. FOTOGRAF ER INGOLF RØTVEI OG BILDET ER DATERT 15.09.2003.	63
FIGUR 41: VISER ET UTSNITT AV 3D-MODELLENS "SKJELETT". MAN SER TYDELIG HVORDAN TOLKNINGEN I REFLEX ER GJORT FEIL. DETTE ER EN AV FORDELENE VED Å SETTE GPR-DATA INN I ET GIS, FOR PÅ DEN MÅTEN Å KUNNE GÅ TILBAKE I ARBEIDSSTRØMMEN Å KORRIGERE FEILENE. FIGUREN ER LAGET I ARCSCE.	64
FIGUR 42: FIGUREN ER ET EKSEMPEL PÅ HVORDAN VI KAN KVALITETSISIKRE TOLKNINGEN AV GPR-DATAEN VED HJELP AV ET GIS OG ORTOFOTO. VI SER TYDELIG EN KORRELASJON MELLOM DEN TOLKEDE ISHORISONTEN OG DET OMLIGGENDE LANDSKAPET. FIGUREN ER LAGET I ARCSCE.	66

Tabelliste

TABELL 1: TABELLEN VISER ULIKE MATERIALERS DIELEKTRISITETSKONSTANT, SAMT RADIOBØLGENS HASTIGHET. DATA ER HENTET FRA (REYNOLDS 2011).....	16
TABELL 2: RELATIVE FORDELER VED Å ENTEN BRUKE RASTER- ELLER VEKTORREPRESENTASJONER. DATA ER HENTET FRA (LONGLY ET AL. 2011B).....	22
TABELL 3: ATTRIBUTTABELL OVER DE ULIKE LAGENES VOLUMBERGENINGER.	59

1. Innledning og presentasjon av studieområdet

1.1 Innledning

Over en lang tidsperiode har vi mennesker forsøkt å forstå naturen, blant annet gjennom teorier, modelleringer eller empiriske undersøkelser. Vi utvikler stadig instrumenter som gjør oss i stand til å forstå mer av naturens kompleksitet, men oppdager ofte at denne kompleksiteten er svært vanskelig å modellere. Denne oppgaven vil bygge videre på noen av geofysiske verktøy vi i dag har for å forstå geomorfologiske elementer i naturen. På det mest grunnleggende nivået består disse elementene både av en overflate (topografi) og strukturer og prosesser under overflaten. For å ha en forståelse av geomorfologien er vi avhengig av å opparbeide kunnskap om prosessene som både virker direkte på det geomorfologiske elementet, men også hvilke prosesser som foregår inne i selve elementet. Også overflateprosessene spiller en sentral rolle for utviklingen av de interne strukturene over tid, som for eksempel snøakkumulasjon. Det er nettopp dette denne oppgaven vil omhandle; hvordan vi digitaliserer naturen (projiserer naturen ved hjelp av digitale hjelpemidler) både topografisk, men også på innsiden av elementene (interne strukturer). Slik kan vi også forstå elementenes gjensidige avhengighetsnivå. For å kunne gjøre dette har jeg valgt å digitalisere en isfonn, både på grunn av dens dynamiske oppførsel, som gjør det enkelt å registrere endringer over korte tidsintervaller, men også på grunn av et samarbeid med forskningsprosjektet SPARC (Snow Patch Archaeology Research Cooperation - The effects of climate change on vulnerable high mountain heritage environments). Fenomenet isfonn og snøfonn er elementer i naturen det er gjort svært lite forskning på. Gjennom forskningsprosjektet SPARC vil søkelyset rettes mot disse glasielle elementene. En av isfonnene SPARC konsentrerer seg om er Kringsollfonna i Oppdal kommune i Sør-Trøndelag. Det er denne fonnen min oppgave vil omhandle.

SPARC er i hovedsak et arkeologisk prosjekt, hvor man blant annet ser på artefakter funnet i is- og snøfonner. Det er med andre ord gjort mange funn på disse fonnene. Dette tror arkeologene skyldes villreinenes strategiske plassering på fonnene om sommeren. Reinen flykter til disse kalde områdene for å søke ly for insekter. Villreinen var da et enkelt bytte for jegere som jaktet i fjellene for over tusen år siden. Noen av våpnene som ble brukt under jakten har blitt akkumulert inne i snøen og isen, og på denne måten blitt bevart internt i isfonnen over en lengere tidsperiode. Med et mildere klima, slik vi observerer i nyere tid, vil

disse bevarte artefaktene komme til syne og tilgjengeliggjøres. Dette er også gjeldene for Kringsollfonna, noe som gjør fonnen til et svært interessant studieområde, hvor det er blitt gjort nærmere 50 funn i løpet av en 80-års periode (Callanan 2012).

For å kunne forstå de geomorfologiske og glasiale prosessene både på og internt i fonnen, har Geografisk institutt ved NTNU blitt med som partner i forskningsprosjektet. Instituttet har som oppgave å kartlegge den temporale utbredelsen av fonnen, som er med på å gi kunnskap om sannsynlige perioder hvor artefakter er akkumulert i fonnen (positiv netto pålagring), samt hvilke perioder artefaktene smelter frem (negativ netto pålagring). Instituttet har også i oppgave å se på den romlige utbredelsen av fonnen, i form av massebalanse, stratigrafi og intern dynamikk.

Min oppgave vil blant annet være å se på de interne strukturene i isfonnen. Dette gjøres ved å bruke georadar (GPR) som den primære metoden for datafangst. Oppgaven vil være metodeutvikling knyttet til verktøy for å visualisere topografi og interne strukturer i geomorfologiske elementer. Målet med oppgaven er å konstruere en 3D-modell av de interne strukturene i isfonnen, samt lage et forskningsdesign hvor jeg diskuterer og illustrerer min arbeidsstrøm. I tillegg ønsker jeg å utvikle et analyseverktøy i ArcGIS for å kunne 3D-visualisere geomorfologiske elementer i naturen. Dette skal gjøres ved å bruke data fra GPR og RTK GPS, og sette denne dataen inn i et GIS. Både GPR og RTK GPS er såkalte "state of the art" instrumenter for å måle naturobjekter, men de etterprosesserer ofte i skreddersydde programvarer som følger med instrumentene. I denne oppgaven vil jeg bruke ESRI's programvare til både det kartografiske arbeidet og modelleringsarbeidet. Ved å angripe oppgaven fra denne vinkelen, vil etterprosesseringen av data være "mer tilgjengelig for alle". Oppgaven søker dermed å følge hele arbeidsstrømmen fra innsamling av felldata til visualisering av resultatene.

Med denne oppgaven vil jeg vise arbeidsstrømmen fra planleggingsfasen via innsamlingsfasen til etterprosessering og tolkning av resultatene. Jeg vil få dypere kjennskap til hvordan manipulasjon og problematikk knyttet til innsamling av data kan påvirke resultatene og det endelige produktet.

1.2 Problemstilling

1.2.1 Hovedproblemstilling

Hvordan kan man geovisualisere Kringsollfonnens snø- og islag i 3D ved å geoprosessere GPR- og RTK GPS-data ved hjelp av ESRI's geografiske informasjonssystem?

1.2.2 Underproblemstilling

- 1. Er GPR- og RTK GPS-data egnet for etterprosessering i ESRI's geografiske informasjonssystem?*
- 2. Vil arbeidsstrømmen som brukes for å modellere snø- og islaget i 3D også kunne brukes på andre geomorfologiske objekter?*
- 3. Hva er fordelene ved å lage en 3D-modell av stratigrafien til isfonnen?*
- 4. Hva er samlet is- og snøvolum for Kringsollfonna?*
- 5. Hva er fonnens snø- og isdybde, samt den totale dybden?*

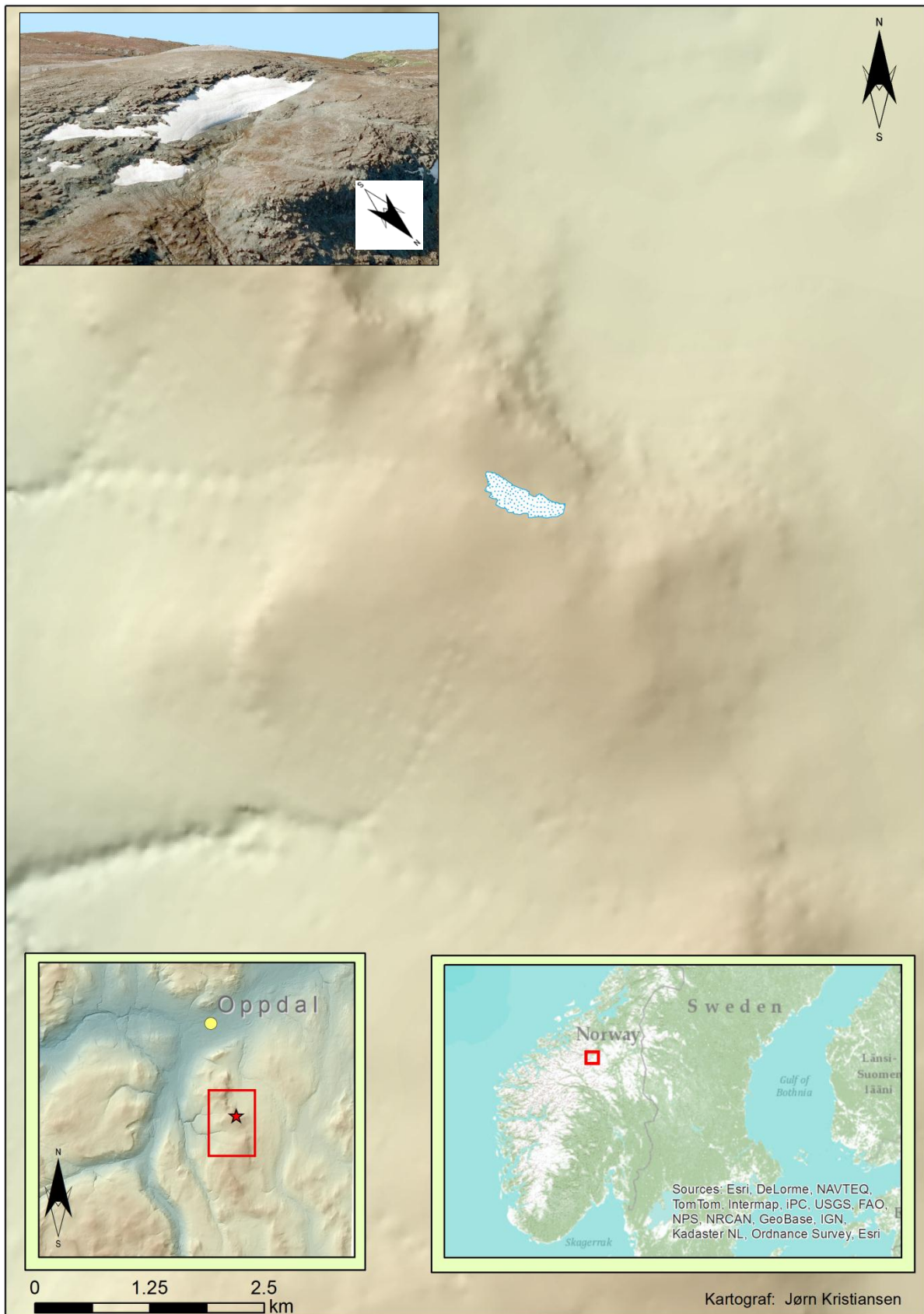
1.3 Områdebeskrivelse

Felt- og fokusområdet i denne oppgaven ligger i Oppdal kommune i Sør-Trøndelag fylke. Forskningsobjektet er isfonnen med navn Kringsollfonna og den er lokalisert på koordinatene Euref 89, UTM 32, 6931604, 538233 Ø, 1520 m.o.h. Nærmere bestemt ca. 9,5 km sør-øst fra Oppdal sentrum og 6,5 km vest for Orkelsjøen. Fonna ligger orientert nord-vest, sør-øst i landskapet og har en vertikal utstrekning fra 1520 m.o.h til 1560 m.o.h. Selve fonnen er ikke større en ca. 500 m lang og 150 m bred på det lengste. Per 19.06.2012 dekker isfonnen et areal på ca. 63 475 m² og har en omkrets på ca. 2044 m (se figur 1). Helningsprosenten til fonna er i gjennomsnitt om lag 27 %. Helningsgraden er også vist i figur 3, hvor vi ser at analysen som er gjort i ArcMap korrelerer godt med helningsprosenten som er regnet ut fra RTK GPS målepunkter. Denne gjennomsnittlige utregningen kan være noe upresis, da sesonger med høy snøakkumulasjon gjør at det danner seg en fremtredende snøskavl i lengderetningen av fonna (se figur 2). Helningsgraden til topografien under fonnen er vanskelig å si noe konkret om før analysen av GPR data er gjort.

Selve fenomenet blir som oftest kalt på folkemunne for en snøfonn, men på grunn av dens massive isinnhold vil det være mer korrekt å kalle den for en isfonn. Det er flere spesielle faktorer ved denne isfonnen som gjør at den er et svært interessant forskningsobjekt:

- Den ligger ca. 300-400 meter under høyden for den glasiale likevektslinjen (ELA), som er en teoretisk linje/sone med hovedfaktorer som klimatiske data (Lie et al. 2003)
- Den har en liten horisontal bevegelse selv om den er lokalisert i en bratt skråning, noe som tilsier at den eroderer og transporterer svært lite materiale. Denne faktoren er også avgjørende for at vi kaller fenomenet for isfonn og ikke isbre.

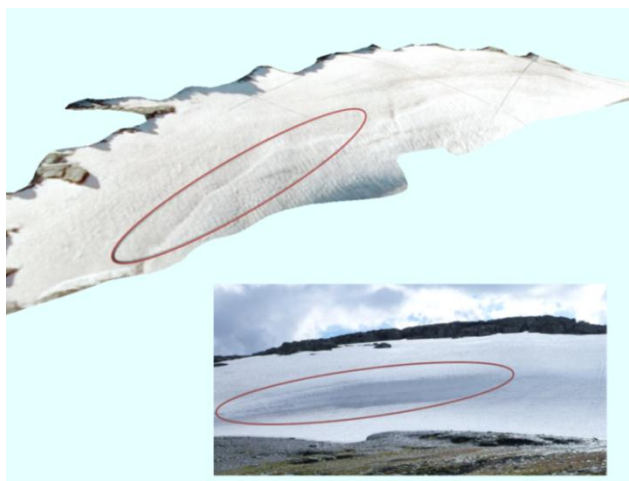
Kringsollfonna ble valgt som studieområde i denne oppgaven både på grunn av bestemmelser i samarbeidet med forskningsprosjektet SPARC, men også på grunn av dens beliggenhet. Det er relativt lett tilgang til fonnen både vinterstid og sommerstid. I forskningsprosjektet SPARC ligger fokusområdet på flere snø-/isfonner, men i denne oppgaven er det kun en av disse fonnene som er av interesse (se figur 4 for en oversikt over viktige fonner i Oppdalsområdet). Fonnen er relativt liten og "enkel" å gjøre ulike målinger på. Den er også svært dynamisk, med det mener jeg hvordan dens romlige form



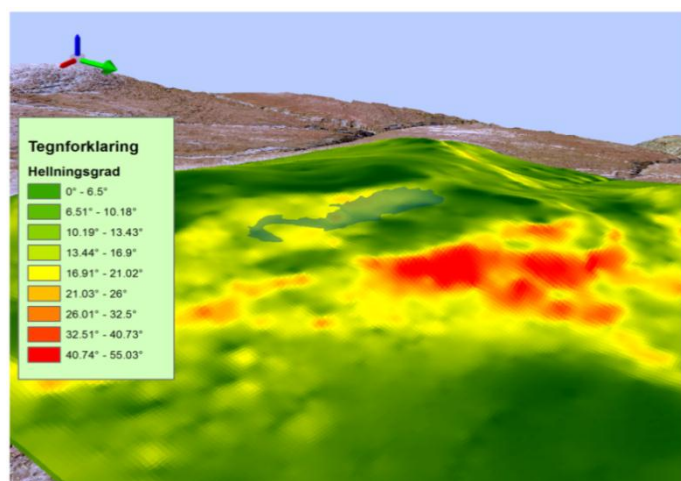
Figur 1: Kartet viser feltområdet og er laget i ArcMap, basert på en DTM, samt en hillshade av området. Innsett kartene orienterer hvor i Norge fonnen er lokalisert, samt en TIN-modell med et draper ortofoto av fonnen. Høydeverdiene er hentet fra kartverkets N50 kartdata og ortofoto fra (Norgebilder 2010).

og utseende varierer fra år til år, fra ablasjonsmaksimum til akkumulasjonsmaksimum. Fonnens overflate varierer fra å være fullstendig dekket av snø til utelukkende å bestå av is ved ablasjonsmaksimum. Ved å ta utgangspunkt i topografien rundt fonnen ser det ut til at fonnen er relativt grunn. Uten resultater fra radarmålingene blir dette kun spekulasjoner basert på kunnskap og erfaring med å tolke landskapet.

Klimatiske data som nedbør, temperatur og vindretning er viktige faktorer for fonnens massebalanse. Det finnes ingen klimatisk målestasjon i umiddelbar nærhet av studieområdets lokalisering der man finner verdier som korrelerer med den klimatiske situasjonen ved fonnen. Det hadde vært mulig å gjøre en modellering av de nærmeste målestasjonene, men dette er ikke satt fokus på i denne oppgaven.

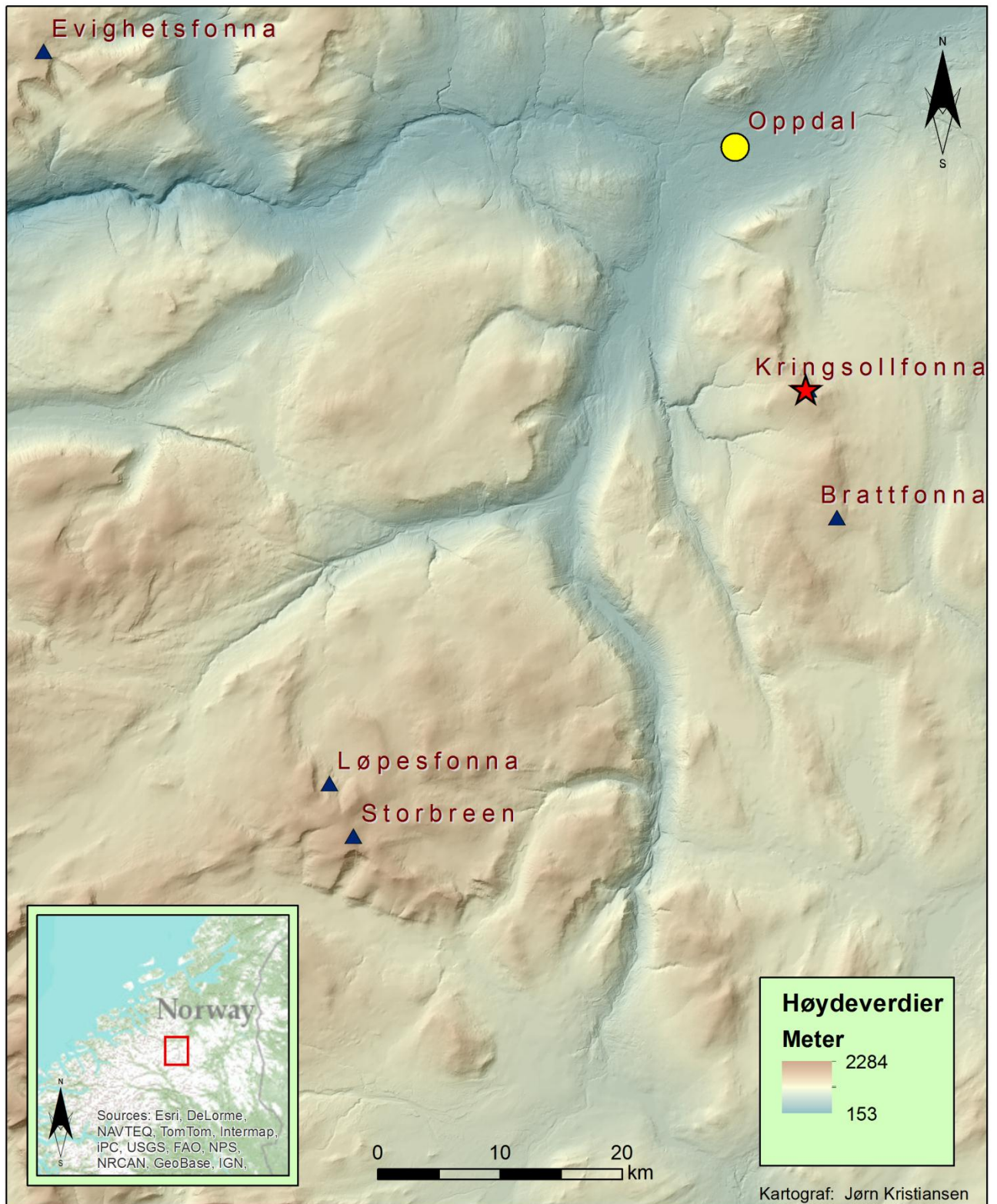


Figur 3: Illustrasjonene viser utbredelsen av snøskavlen på Kringsollfonna. Fotografiet (nederst til høyre) er tatt av Geir Vatne den 15.08.2013. Øverst i figuren er det lagt ved en TIN-modell av fonnens topografi, drapert med et ortofoto. Den røde sikrelen representerer



Figur 2: Et kart over studieområdet laget i ArcScene, hvor områdets hellingsgrad er visualisert.

Viktige is- og snøfonner i Oppdalsområdet



Figur 4: Kartet viser et utvalg av snø- og isfonner hvor det er gjort arkeologiske funn i Oppdalsområdet. Kartet er laget i ArcMap og er basert på en DTM og en hillshade av området. Høydedata er hentet fra kartverkets N50 kartdata.

1.4 Tidligere arbeid

Denne oppgaven er svært styrt av metodens egenskaper og prosesseringen av feltdata. For at oppgaven skal kunne belyse disse temaene, er jeg sterkt avhengig av litteratur og tidligere arbeid knyttet til de relevante temaene. Jeg har finkjemmet søkemotorer på internett, samt andre medier for litteratur, som omhandler etterprosessering av GPR-data i ArcGIS, men med svært få resultater. Det er med andre ord skrevet og gjort lite på dette området. Det er selvfølgelig gjort mye vitenskapelig arbeid rundt GPR og ArcGIS alene, men når det kommer til bruken av ArcGIS i analyse- og visualiseringsdelen av GPR data, er det gjort overraskende lite. Ofte brukes det skreddersydde programvarer, direkte levert fra leverandører av utstyret til etterprosesseringsarbeidet (Sensors and Software, (Sensoft 2012), GPR-Slice (GPR-SLICE 2010), Geophysical Survey Systems, Inc (GSSI 2012) osv.). Søkeordene ArcGIS og GPR nevnes ofte i publiserte vitenskapelige artikler, men programvaren brukes oftest som et verktøy for å visualisere og georeferere GPS punkter (LEACH 2009). Andre bruker ArcGIS som et 2D-verktøy for å visualisere profiler som er målt i felt, samt målt GPR-data som draperte 2D-verdier på 3D-modeller (TIN- og DTM-modeller) (Villa et al. 2008)

Selv om det er gjort få koblinger mellom visualisering av GPR-data som 3D-modeller i ArcGIS, er det skrevet *noe* som kan være til nytte for denne oppgaven. Henry Chapman et al. (2009) skriver blant annet om hvordan man manuelt plukker reflektorene fra GPR radargrammer for så å generere DTMer i ArcMap (digital terrengmodell), som visualiserer høydeverdier for topografien til strukturer under bakkenivå. (Chapman et al. 2009). Tischler et al. (2002) beskriver hvordan man genererer ASCII filer fra radargrammene, for så å tilpasse disse til bruk i ArcGIS (Tischler et al. 2002). Felles for de alle er at visualiseringsbiten i ArcGIS er gjort i ArcMap og ikke i ArcScene. Dette medfører at det blir lagd "2D-modeller" som viser høydeforskjeller av de ulike reflektorene under bakken (ofte som DTM), men man får ikke fremstilt lagdelingen i 3D.

Hvis vi også tar med elementene isfonn og snøfonn inn i bildet, har jeg ikke klart å finne noen publikasjoner som bruker ArcGIS som et visualiseringsverktøy for å lage 3D-modeller av GPR-data. Det er skrevet noe om bruken av GPR på isfonn og snøfonn for å kartlegge fonnens interne strukturer. Thomas Meulendyk leverte i 2010 en masteroppgave i naturgeografi ved universitetet i Calgary, hvor han tar for seg de interne lagdelinger i fonnens og ser på hvordan GPR vil være et viktig verktøy for å kartlegge fonnens interne strukturer (Meulendyk 2010)

Jeg nevner innledningsvis at tidligere arbeid er viktige ressurser for denne oppgaven, men som forklart er det gjort svært lite arbeid i ArcScene og 3D-modellering av glasiiale elementer. Dette sier meg at det er et sterkt behov for en oppgave som forsøker å sette GPR-data inn i et GIS og spesielt et GIS som er levert av ESRI, da ESRI har vært ledende på utvikling av GIS-programvare i over 30 år.

2. Metode og teori

For å kunne kartlegge de interne strukturene i isfonnen ble det gjort flere innsamlingsrunder med en Ground Penetrating Radar (GPR). Ettersom den antatte dybden av de ulike lagene i isfonnen er lav, ble det i hovedsak brukt en skjermet 500 MHz antenne. Hele GPR-systemet er levert av Malå. For å kunne georeferere målepunktene ble det også brukt en Real Time Kinematic (RTK) GPS samkjørt med GPR systemet. Etterprosesseringen og visualiseringen av resultatene gjordes i ESRI's programvare, henholdsvis ArcMap, ArcScene og Reflex-Win.

2.1 Ground Penetrating Radar (GPR)

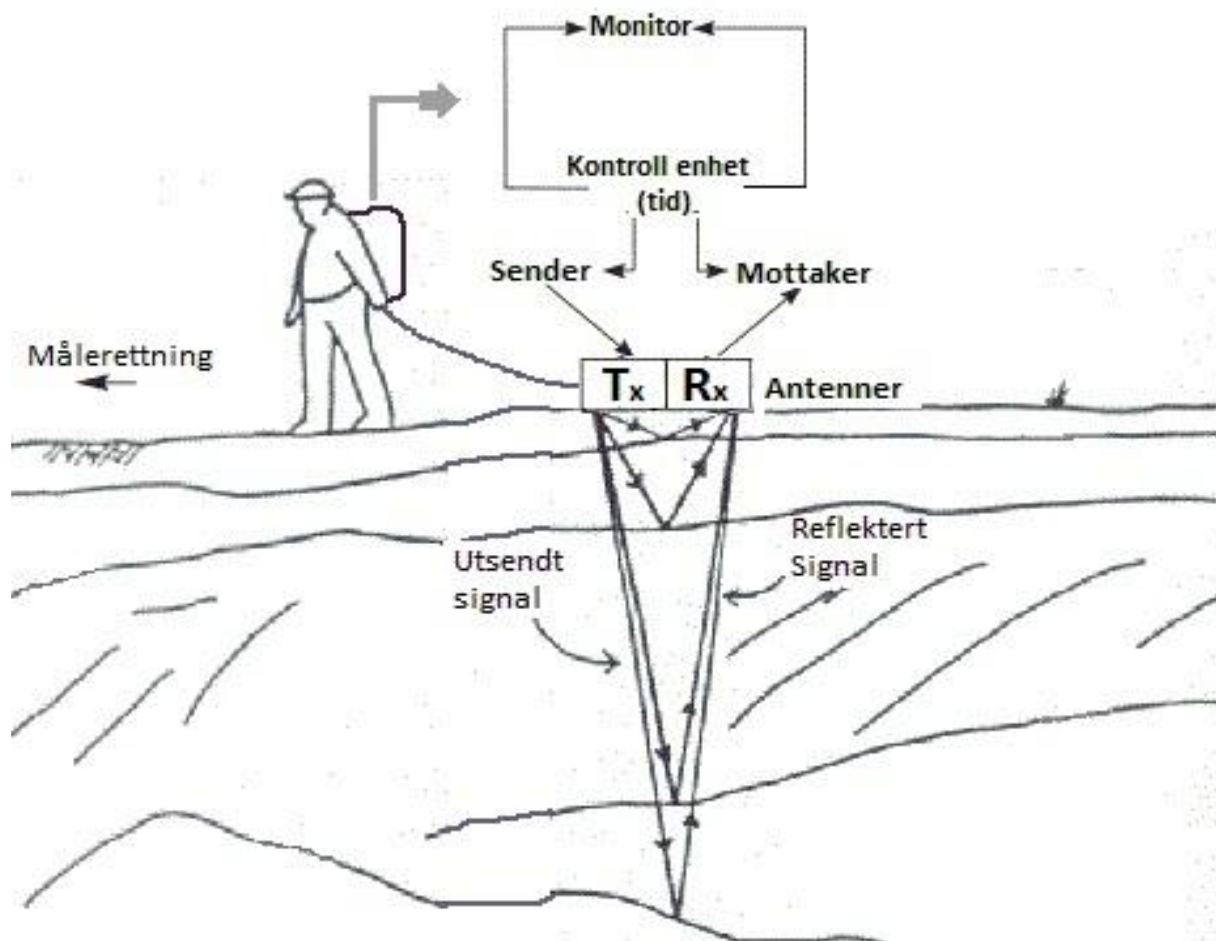
For å kunne kartlegge og forstå hva som befinner seg under overflatelaget på isfonnen, vil GPR være metoden jeg benytter meg av i denne oppgaven. Moderne GPR-systemer er svært mobile og kan lett opereres av 1-2 personer, samt alle resultatene vil være digitale, noe som gjør etterprosessering enklere. Den største utfordringen ved å gjøre GPR-undersøkelser på glasiologisk materiale vil være mengden vann i materie. Vanninnholdet vil gjøre slik at radarbølgens penetreringsdybde vil minke, da energien i EM-bølgene blir "absorbert" av vannet.

Siden midten av 1980-tallet har bruken av GPR som et geofysisk verktøy ekspandert kraftig. Det var ofte i ingeniør- og arkeologikretser bruken av GPR var størst utbredt, men det har også vært et svært viktig verktøy blant geologer, glasiologer og hydrologer. Metoden har vært kjent siden 1960-tallet, men det er i de senere årene teknologien har utviklet seg til å dra full nytte av de elektromagnetiske prinsippene som spiller en sentral rolle i et GPR system (Reynolds 2011).

2.1.1 Metodens oppbygning

GPR-systemet jeg har brukt i denne oppgaven er produsert av Malå og er det man kaller for et kommersielt system, det vil si, et system som ikke er spesiallaget for én spesifikk oppgave, og er godt egnet til studier av både geologisk og glasiologisk materiale. Utstyrets sammensetning avhenger av radartype og hva som skal kartlegges. Oppsettet jeg brukte kan på mange måter beskrives som en standard konfigurering, hvor de fysiske komponentene er som følger (se figur 5):

- Antenner:
- Kontrollenhet
- Monitor



Figur 5: En skisse over hvordan et GPR-system er satt sammen av ulike komponenter. Figuren er modifisert fra Department of Environmental Protection Geological and Water Survey (NJGWS 2013).

Antenne

Alle GPR-systemer består av to antenner; en sender- og en mottakerantenne (Tx og Rx). Antennenes hovedfunksjon er å skyte elektromagnetiske (EM) bølger ned i underlaget. Det er altså en enhet som har i oppgave å koble energi fra en antenne og nedover i underlaget. En generell regel vil i de fleste tilfeller være: jo høyere frekvens man bruker på antennen fører til bedre vertikal oppløsning, mens bølgens penetreringsdybde vil hurtig avta, da signalets energi omformes tidlig i fasen (Daniels 2005). Dette skyldes EM-bølgens struktur; høyere frekvens betyr mindre avstand mellom bølgene og mer interaksjon med det geologiske materialet (Mauring et al. 1995). På motsatt side, vil en lavere antennefrekvens føre til en svakere vertikal oppløsning, men til gjengjeld et dypere penetreringspotensiale, da avstanden mellom bølgetopp og bølgebunn er større.



Figur 6: Ulike antenner som kan kobles til GPR-systemet. Øverst t.v.: 100 MHz og 250 MHz. Nederst t.v.: 500 MHz og 250 MHz. Foto fra Malå (Malå 2011b).

I denne oppgaven ble det brukt en skjermet 500 MHz antenne for å kartlegge stratigrafien i isfonnen. En antenntype som er beskrevet som skjermet er konstruert slik at mesteparten av energien som overføres fra senderen blir kun sendt i en retning (på undersiden av antennen). En annen fordel med skjermede antenner, er at den ikke lar seg påvirke i like stor grad av eksterne strålingskilder. Unntaket her er undersiden av antennen hvor mottakeren sitter. På eldre antenner opereres det ofte med to separate antenner, hvor man har et mottakerelement (Tx) og et senderelement (Rx). Dette er ikke tilfellet på skjermede antenner, de har selvfølgelig både en mottaker og en sender, men de er begge plassert i samme enhet, som vist i figur 6 (Malå 2011b). Konstruksjonen er basert på "bow-tie" prinsippet¹, med mottakerelementet i fronten og senderelementet bak på antennen (Nishioka et al. 1999).

¹ En bow-tie antenne, er en balansert antenne, hvor man sjelden opplever krysspolarisering. Noe som gjør at båndbredden vil være bredere ((Congedo et al. 2010)).

Kontrollenhet

Alle GPR-systemer er i en eller annen form utstyrt med en kontrollenhet (se figur 7). Man kan på mange måter forklare dette som "hjernen" til selve GPRen. Hovedoppgavene til kontrollenheten er å styre utsendelse av EM-bølgene gjennom antennes senderenhet (Tx) og de mottatte signalene gjennom antennes mottakerenhet (Rx). Den administrerer pulseringene som blir skutt via antennene og dataen som blir samlet inn i løpet av en undersøkelse. De fysiske komponentene på kontrollenheten er; en strømforsyning, en analog seksjon som genererer viktige kontrollsignal, samt en intern datamaskin. Tre parallelle 32-bit prosessorer kontrollerer presisjonen for både de utsendte og mottatte signalene, og intervallene mellom hvert sample og hvert trace. Den fungerer også som en mellomlagringsstasjon, hvor den midlertidige dataen blir lagret før den sendes videre til GPRens monitor (Malå 2011b).



Figur 7: Bilde av GPR-systemets kontrollenhet (Malå 2011b)

Monitor

Via monitoren (figur 8) kan man konfigurere ulike parametere som skal gjelde for undersøkelsen, som for eksempel; hvilken type antenne som brukes i undersøkelsen, hvilket tidsvindu brukes og hastigheten til mediet som skal undersøkes. Monitoren visualiserer undersøkelsens resultater i sanntid, slik at brukeren hele tiden kan holde seg oppdatert på hvilke resultater som avdekkes. På denne måten kan undersøkelsen stoppes og parametere kan rekonfigureres, for å tilfredsstille kravene til undersøkelsen (Malå 2011a).



Figur 8: Bilde av GPR-systemets monitor (Malå 2011a).

2.1.2 Metodens prinsipper

Hovedprinsippet ved GPR-teknologien kan i stor grad sammenlignes med refleksjonsseismikk og ulike sonar teknikker, hvor det benyttes EM-bølger i stedet for lydbølger (Mauring et al. 1995). Radaren produserer korte pulser med høyfrekvent elektromagnetisk energi som penetrerer materie nedover i bakken, og med det dets dielektriske egenskaper (Davis & Annan 1989). Når et elektrisk felt skytes ut fra GPRens antenne og treffer en materie, forårsaker dette en strøm av elektriske ladninger i materien. Det kan da oppstå to typer elektriske ladninger; ledningsstrøm og forskyvningsstrøm (Annan 1992). De elektriske egenskapene til materialet er i hovedsak styrt av materialets vanninnhold og ioneinnhold, da den dielektriskekonstanten øker med materialets vanninnhold og den elektriske ledningsevnen øker med materialets ioneinnhold (Mauring et al. 1995). Dette vil føre til at man oppdager ulike strukturer, samt interne forandringer i materiens egenskaper. Og på den måten vil forandringene/overgangene mellom materiens interne strukturer si noe om hva slags materiale det elektromagnetiske feltet treffer på sin ferd nedover i underlaget (Annan 2002). Dette gjør at man kan skille mellom den ulike stratigrafien i mediet som undersøkes. Dersom man kjenner hastigheten til de elektromagnetiske bølgene i det mediet det penetrerer, kan tidsintervallet det bruker fra det blir skutt ut av antennen (Tx) til signalet reflekterer tilbake til antennen og oppfattes av mottakerantennen (Rx) kalkuleres, slik at man kan angi dybdeverdier. Den store kontrasten mellom de elektromagnetiske egenskapene mellom stein, is og vann, gjør GPR til en svært godt egnet metode for å kartlegge glasialt materiale (Galina Ragulina et al. 2011).

For å kunne utføre en GPR-undersøkelse, er det viktige spørsmål man må rette fokuset mot, spørsmål som kan være en avgjørende faktor om GPR er den rette metoden å bruke. Ved å forklare disse spørsmålene vil også mange av GPRens prinsipper avdekkes (Annan & Cosway 1992):

1. Hva er dybden ned til den nederste reflektoren som skal undersøkes?

For å kunne svare på dette spørsmålet er man avhengig av å kunne tolke landskapet som ligger rundt forskningsobjektet, for på den måten kunne estimere et anslag for hvor dypt EM-bølgene må nå. Det er også viktig å forstå at når en bølge penetrerer underlaget, vil den alltid bli utsatt for en såkalt demping. Denne dempingen styres av blant annet mediets relative permittivitet (dielektrisitetetskonstanten), hvilken antennefrekvens som brukes og mediets elektriske ledningsevne (Mauring et al.

1995). Ser vi på tabell 1, gir denne oss en indikasjon på hvilke parametere som må tas hensyn til når man kalibrerer dybden EM-bølgene skal nå. Når dybden ned til den nederste reflektoren skal beregnes,

Materiale	Dielektrisitetskonstanten	Hastighet
	ϵ_r	V (m/ns)
Luft	1.0	0.3
Vann (fersk og salt)	81.0	0.033
Polar snø	1.4 - 3.0	0.194 - 0.252
Polar is	3.0 - 3.15	0.168
Temperert is	3.2	0.1677
Ren is	3.2	0.1677
Permafrost	1.0 - 8.0	0.106 - 0.300

Tabell 1: Tabellen viser ulike materialers dielektrisitetskonstant, samt radiobølgens hastighet. Data er hentet fra (Reynolds 2011).

er det viktig å overestimere. En "konservativ" tommelfingerregel er at valgt antenne er uegnet hvis den aktuelle dybden er større enn 50 % av antennens maksimale penetreringsdybde. For å finne denne dybden kan man bruke følgende ligning (grovt estimat (Mauring et al. 1995)):

$$d_{maks} < \frac{30}{\alpha} \text{ eller } d_{maks} < \frac{35}{\sigma}$$

Her er α graden av demping og σ er materies elektriske ledningsevne. Viktig er det å merke at dette ikke er en universal formel, men kan brukes dersom dempingen klassifiseres som moderat til høy (< 0.1 dB/m), noe som er typisk for de fleste geologiske elementer (Annan & Cosway 1992).

2. *Hvordan er geometrien til objektet som skal undersøkes?*

Det er viktig å gjøre et estimat på hvilken geometrisk form forskningsobjektet har; hvilken størrelse har den (for eksempel, høyde, lengde og bredde). Hvis objektet ikke er nær sfærisk, må man også ta hensyn til dens orientering i landskapet (Annan & Cosway 1992). Dette kan si noe om hvor egnet objektet er for en GPR-undersøkelse. Er kontrasten i dielektriske egenskaper mellom objektene og omgivelsene stor nok, og er objektet fysisk stort nok til å reflektere en identifiserbar

mengde energi (Mauring et al. 1995)? For å kunne finne ut om objektet som skal undersøkes reflekterer en detekterbar mengde energi, er en tommelfingerregel gitt ved modulen til refleksivitetskoeffisienten (Annan & Cosway 1992):

$$P_r = \left| \frac{\sqrt{\epsilon_{rv}} - \sqrt{\epsilon_{ro}}}{\sqrt{\epsilon_{rv}} + \sqrt{\epsilon_{ro}}} \right|^2 > 0.01$$

Hvor ϵ_{rv} er dielektrisitetskonstanten til det omliggende materialet (vertsmaterialet) og ϵ_{ro} er dielektrisitetskonstanten for objektet som skal undersøkes. Det bør også nevnes at forskningsobjektets minste laterale utbredelse ikke kan være mindre enn en tiendedel av avstanden ned til objektet (Mauring et al. 1995).

3. Hva er objektets elektriske egenskaper?

Et GPR-system er avhengig av at forskningsobjektet må besitte en kontrast i materialets elektriske egenskaper mellom objektet og den omliggende omgivelsen, slik at EM-signalene kan omformes, reflektert eller spredd. Det er derfor viktig å ha kunnskap om objektets elektriske egenskaper (Annan & Cosway 1992). Også for å kunne sette en dybdeverdi til de ulike reflektorene under bakkenivået, er en kunnskap om forskningsobjektets elektriske egenskaper essensiell. De elektriske egenskapene til materien er med på å avgjøre hastigheten til EM-bølgens forplantning nedover i underlaget og som nevnt tidligere kan man beregne dybden til reflektoren i en materie som en funksjon av tid og hastighet. Dersom en er klar over materiens dielektrisitetskonstant, kan hastigheten til EM-bølgen i det gitte materies kalkuleres ved å benytte følgende formel (Annan 1992):

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Hvor c er EM-bølgens hastighet i vakuum (0,3 m/ns) og ϵ_r er materiens dielektrisitetskonstant.

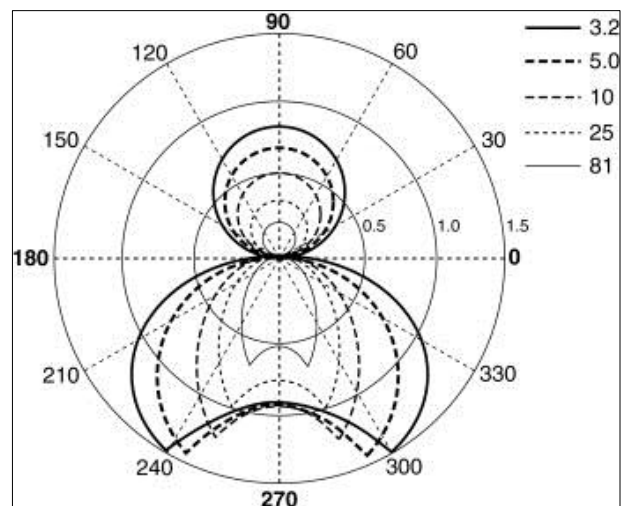
Hvis materialets dielektriske egenskaper ikke er kjent, kan hastigheten finnes ved å (Annan 1992):

- Benytte seg av tabellverdier, som for eksempel tabell 1
- Hvis man kjenner dybden til et punkt under overflaten, kan den gjennomsnittlige hastigheten kalkuleres på basis av dette.
- Ved empirisk testing av materialets dielektriske egenskaper i et laboratorium.
- Bruke radarprosesseringsprogramvare for å finne hastigheten, hvis datasettet inneholder en eller flere hyperboler².
- Gjøre en Common Mid-point (CMP) analyse, hvor antenneseparasjonen endres stegvis. En kobling mellom dybde- tids- og antenneseparasjonsdata, kan hastigheten kalkuleres (Mauring et al. 1995).

4. Hvordan oppfører spredningen av EM-bølger seg i materialet?

Når EM-bølgene forlater antennen (Tx), er det et mål å få sentrert denne energien nedover i underlaget. Det krever en viss forståelse av EM-bølgenes spredning i rommet for å utelukke feil som kan oppstå hvis antennen brukes på "feil" måte. Hvis antennen er plassert over bakkenivået vil EM-feltet spres utover i luften, samt noe trengende nedover i grunnen. Plasseres antennen derimot i kontakt med bakken vil det elektromagnetiske feltet trengende dypere ned i underlaget

(Annan 2009). Bakkens elektriske og magnetiske egenskaper vil også være en faktor for spredningen av EM-feltet. Ser vi på figur 9, illustreres det en modell for hvordan EM-bølger oppfører seg i materialer med ulik relativ permittivitet. Rangeringen er fra lav relativ permittivitet (3.2 som er is) til høy relativ permittivitet (81, som er



Figur 9: Illustrasjonen viser hvordan EM-feltets form forandres i ulike materialer med ulike dielektriske egenskaper, etter relativ permittivitet. Vi ser blant annet Vann med relativ permittivitet lik 81 og is med 3.2. (Annan 2009)

² En hyperbol er en diffraktert bølge, som oppstår når et signal treffer en punktreфлектор som står i stor kontrast til det omliggende materialet (Mauring et al. 1995).

vann). Dette sier noe om hvor lang rekkevidde EM-bølgene har i et gitt materiale, hvor signalet gjennom is går dypere og bredere enn signalet gjennom vann i dette tilfellet.

5. *Hvordan er forskningsområdets miljø?*

Siden GPR-metoden er sensitiv for påvirkninger fra det omliggende området undersøkelsen finner sted, må man ta hensyn til to viktige faktorer; tilstedeværelsen av betydelige metallkonstruksjoner og sendere av elektromagnetiske radiofrekvenssignaler. Begge disse faktorene kan forstyrre signalene som sendes og mottas fra GPR-antennen. For å minimere de eksterne påvirkningene, kan det vurderes å bruke en skjermet antenne (se avsnitt 2.1.1) Selv om en skjermet antenne vil minske eksterne påvirkninger, er det viktig å påpeke at alle former for antenner, skjermet eller ikke, utsettes for en signallekkasje. Annan A. P. forklarer at "*Shielding is never perfect no matter what claims are made*" (Annan 2009 s. 29). I tillegg er det også klimatiskefaktorer (kulde, varme osv.), samt sikkerhetsfaktorer (skredfare, strålingsfarer osv.), som kan gjøre at en GPR-undersøkelse ikke vil være gjennomførbart.

2.2 Geografisk informasjonssystem (GIS)

Et geografisk informasjonssystem (GIS) består av maskinvare, programvare og hvor data for sanking, administrering, analysering og visualisering av alle former for geografisk informasjon, er dens hovedegenskaper (Heywood et al. 2010). Det finnes mange forklaringer for hva et GIS er, en av definisjonene kan være: "Et GIS involverer en forståelse av romlige former og dets oppførsel i en geografisk kontekst, samt hvordan den behandler, lagrer manipulerer og visualiserer geografisk data" (Karimi & Akinci 2010). I denne oppgaven er et GIS brukt for å 3D-visualisere GPR resultatene. Dette er gjort via Environmental Systems Research Institutes (ESRI) programvarer ArcMap og ArcScene. For visualisering av GPR-dataen er ArcGIS Desktop (versjon 10.1), med advanced lisensieringsnivå, brukt som et hovedverktøy for etterprosesseringen. ArcGIS Desktop er tilgjengelig i tre ulike lisensnivåer (Basic, Standard og Advanced), altså en familie med skalerbare produkter hvor GIS-funksjonaliteten øker fra Basic via Standard til Advanced. ArcMap og ArcScene er en del av programvarepakken ArcGIS og er et viktig verktøy for å digitalisere, i mitt tilfelle, naturen.

2.2.1 Digital kartografisk data

Digital data er fundamentet for et GIS. Alle strukturer vi ser i et kart er bygd opp av digital data, og på den måten kan informasjonen lettere visualiseres og editeres (Kimerling et al. 2009). Vi kan dele opp måten man representerer geografisk informasjon i to bolker (romlige assosiasjoner) (Longley et al. 2011b):

- **Diskré objekter**

Dette er en simplifisering av omgivelsen rundt oss, hvordan vi kan dele omgivelsene inn i en svart-hvit verden. Verden er et tomrom, utenom der hvor den består av objekter med veldefinerte grenser. I denne formen for representering, vil den geografiske verden være fylt med for eksempel bygninger, trær, biler osv. Diskré objekter er en form for generalisering av naturen, hvor man ikke kan skille et fjell fra en ås. Objektene er klassifisert etter dens dimensjoner; punkt, linje og flate (polygon) (Longley et al. 2011b).

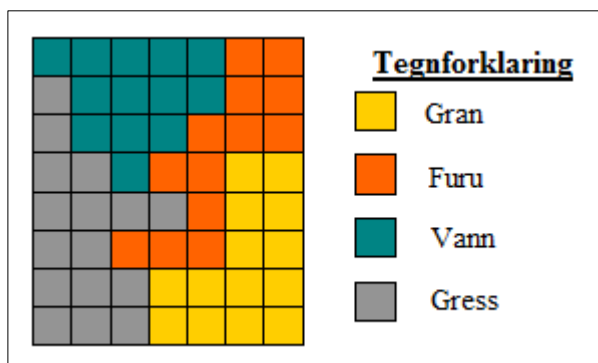
- **Sammenhengende felt**

Denne formen for romlige assosiasjoner, representerer den virkelige verden som et område med begrenset antall variabler, hvor hver enkelt variabel har kvantifiserbare egenskaper. Man kan skille de sammenhengende feltene med hvordan de varierer i landskapet. For eksempel hvordan et sammenhengende felt av høydedata, varierer mer jevnt i et glasialt landskap enn i et vulkansk landskap (Shekhar & Xiong 2008).

Det er viktig å ha kunnskap om slike persepsjoner av naturen når vi snakker om hvordan vi kan digitalisere den. Begge måtene å se landskapet på inneholder mangler, som kan gjøre det til en umulig oppgave å digitalisere verden. Disse manglene går på hvordan objektene og feltenes detaljnivå aldri kan fullt representere naturen og dens kompleksitet. I tillegg er dette kun representasjoner som ikke er egnet for digitalisering og prosessering via en pc. Derfor finnes det to metoder som reduserer geografiens kompleksitet ned til et nivå som lar seg prosesseres via IT-baserte plattformer. Disse metodene kaller vi raster og vektor:

- **Raster**

Et rasterdata representerer rommet som en matrise (grid) av rektangler eller celler (piksler). All geografisk informasjon som skal prosesseres settes i dette systemet og hver av cellene blir tildelt egenskaper i kontekst av hva og hvordan de skal representere naturen. Figur 10 viser et typisk raster, hvor hver celle representerer romlige egenskaper. I teorien kan både raster og vektor brukes til å prosessere diskrete objekter og sammenhengende felt, men

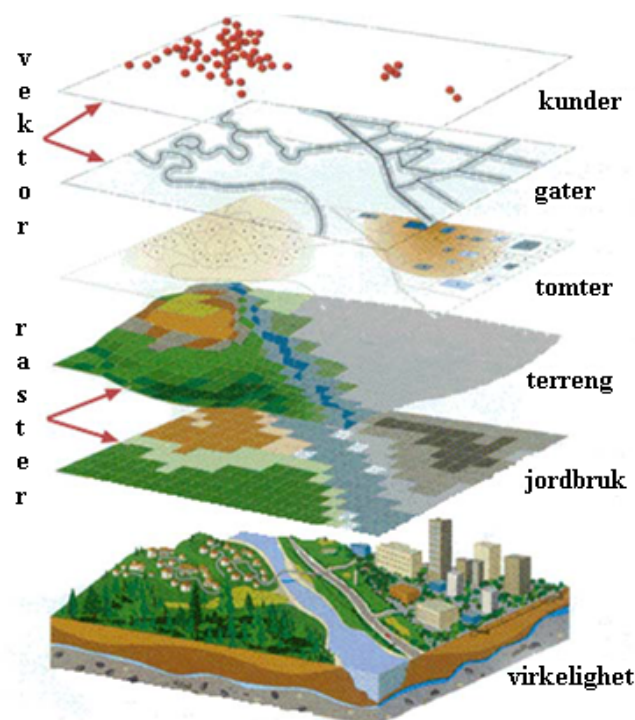


Figur 10: Et eksempel på hvordan rasterdata kan visualiseres (Longley et al. 2011b).

rasterdata har helt klart en sterkere assosiasjon med sammenhengende felt. Når data representeres som rasterdata, vil det ikke være rom for variasjoner innad i rastercellen, hver celle kan kun inneholde én verdi (Brimicombe 2010). Typiske eksempler på rasterdata er DTM (digitale terrengmodeller), fjernanalyse i form av satellittbilder og digitale bilder (Kimerling et al. 2009).

- **Vektor**

Det er nærliggende å tenke vektordata når vi snakker om diskrete objekter. Vektordata består av punkt (0-D), linje (1-D) og polygon (2-D). For å representere en flate ved å bruke vektordata, er man avhengig av å vite punktenes plassering som flaten er bygget opp av, langs x- y- og z-aksen. Dette forteller oss også at et vektordata er bygget opp av punkter og linjer som skjærer disse punktene. Ser vi på figur 11, ser vi hvordan både vektor- og rasterdata



Figur 11: En oversikt over hvordan virkeligheten representeres både via vektordata og rasterdata (SEOS 2012).

brukes til å digitalisere naturen. Valget om man skal bruke raster eller vektor er komplekst, se tabell 2 for en kort gjennomgang av hva de forskjellige brukes til (Longley et al. 2011b).

Arbeid	Raster	Vektor
Datastørrelse	Avhenger av cellestørrelse	Avhenger av antall punkter
Datakilder	Fjernanalyse og bilder	Samfunn- og miljømessig-data
Bruksområder	Resurser og miljø	Samfunn, økonomi og administrasjon
Programvare	Raster GIS og bildeprosessering	Vektor GIS og automatisert kartografi
Oppløsning	Bestemt	Variabel

Tabell 2: Relative fordelinger ved å enten bruke raster- eller vektorrepresentasjoner. Data er hentet fra (Longley et al. 2011b)

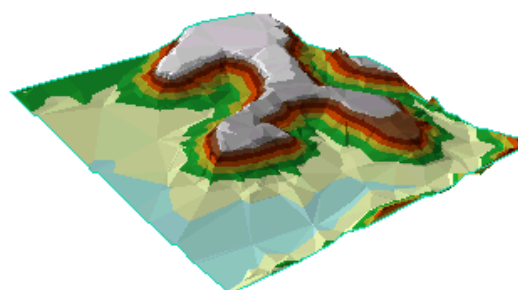
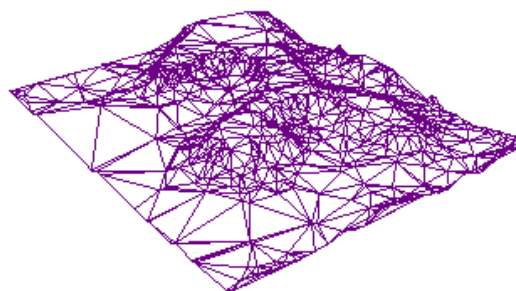
2.2.2 Geografisk datamodellering

Hovedfaktoren bak et GIS kan sies å være dens evne til å modellere og digitalisere geografiske data. Geografisk datamodellering er et sett med begreper for hvordan man representerer objekter og prosesserer disse i et digitalt miljø (Longley et al. 2011a). Det finnes flere typer former for geografisk datamodellering; Computer-aided design (CAD), grafisk (ikke-topografisk), bilder, raster, vektor, nettverk, triangulert irregulært nettverk (TIN) og objekt.

Denne oppgaven er i stor grad avhengig av å gjøre forskjellige geografiske datamodelleringer, hvor de mest betydelige er av såkalte TIN-modeller. Sammen med multipatch³, er TIN-modeller den viktigste kilden for 3D-objekter i denne oppgaven.

Triangulert irregulært nettverk (TIN)

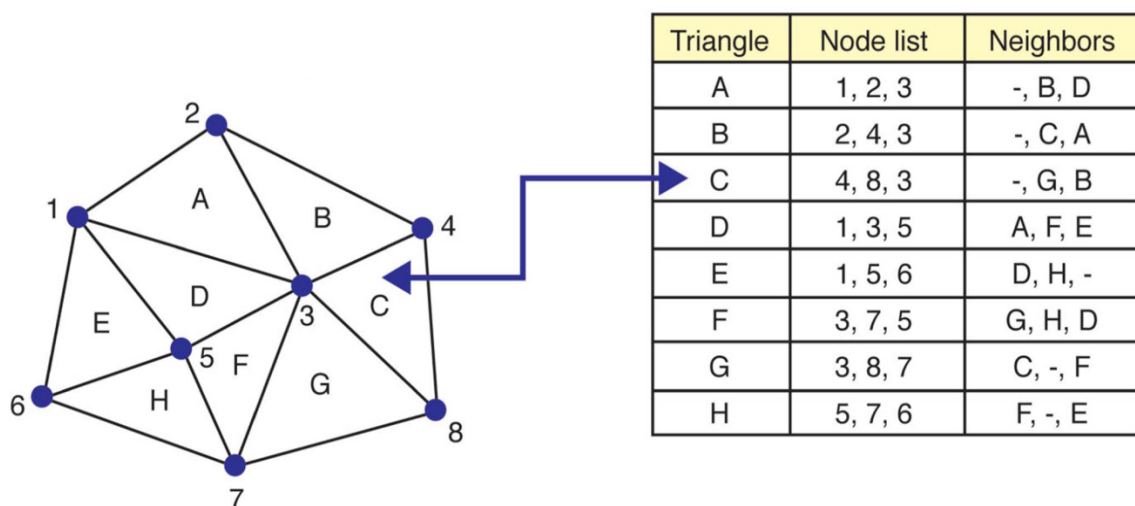
En TIN-modell er en form for representasjon av en overflate, bygd opp av irregulære punktplasseringer med tredimensjonale koordinater (x, y og z) hvor hvert punkt er koblet sammen av linjer, som utgjør et nettverk



Figur 12: Strukturen til en TIN-modell, hvordan den er bygget opp av triangler (ESRI 2010).

³ Multipatch er et GIS-objekt som er bygget opp av flere patcher eller "lapper", slik at de til sammen utgjør et 3D-objekt. Patchene har egenskaper som gjør at brukeren kan editere dens teksturer, fargespekter, geometri osv. (ESRI 2012c).

av ikke-overlappende triangler (Kimerling et al. 2009) I et terreng vil det være mange tilfeldige og brå variasjoner. Det er derfor viktig at trekantsidene i en TIN ikke krysser disse linjene, slik at modelleringen følger naturens konturer. Derfor ønsker vi så "små" trekanter som mulig. Den mest vanlige formen for triangulering er ved å bruke en automatisert prosess som kalles *delaunay triangulering*. Denne formen for triangulering er nært beslektet med et *voronoi diagram*⁴. Et *konveks hull* lages for et datasett, hvor det minste konvekse polygonet som inneholder punkter vektlegges. Deretter lages det rette linjer som ikke krysser hverandre fra de sentrale punktene i det konvekse hull til dens punkter langs polygongrensen. Dette gjør slik at området deles inn i polygoner, som igjen blir til triangler ved å strekke ytterligere nye linjer mellom de nye punktene (Longley et al. 2011a). Se figur 12 og 13 for en illustrasjon for hvordan TIN-modellens form utarter seg i topografi og egenskaper.



Figur 13: En TIN-modell er en topologisk datastruktur, som gir informasjon om punktene som utgjør hvert triangel og dens nabotriangel. Tabellen til høyre viser hvordan hvert triangel alltid er koblet mellom tre punkter og at de somregel også har tre nabotriangler, hvis de ikke ligger ved TIN-modellens yttergrense (Longley et al. 2011a).

⁴ Et Voronoi diagram, er en måte for å dele inn et plan i flere områder. Dette blir gjort ved å angi nye verdier til et område, basert på vektningen av punktenes verdier og egenskaper (ESRI 2012c).

2.2.3 Romlig dataanalyse

For å kunne transformere, manipulere, legge til verdier og avsløre romlige mønstre, er en romlig dataanalyse helt essensiell for GIS-brukere. Det er under en slik dataanalyse vi finner "akilleshælen" til denne oppgaven og ellers andre som vil modellere naturen, nemlig den romlige interpoleringen.

Interpolering

For å kunne si noe om hva som befinner seg utenfor måleseriene er man avhengig av å bruke en eller annen form for romlig interpolering. Man kan på mange måter si at dette en form for kvalifisert gjetning. Det finnes mange former for romlig interpolering, hvor *kriging* og *inverse-distance weighting (IDW)* er de mest brukte (Longley et al. 2011c). I denne oppgaven er det gjort romlige interpoleringer basert på en IDW.

IDW

IDW er den interpoleringsmetoden som er hyppigest brukt når man skal gjøre en GIS analyse. Dens måte å generere nye verdier til et område, kan på mange måter settes i sterk korrelasjon med Toblers første lov om geografi (se kapittel 5, avsnitt 5.1.2). Det vil si at en IDW interpolering lager nye punkter ut fra en bestemt vektning. Denne vektningen er hvor sterk relasjon punktene har til hverandre, også uttrykt som:

$$w_i = \frac{1}{d_i^2}$$

Hvor w_i er vektningen gitt til et punkt og d_i er avstanden til punktet. De nye punktene IDW interpoleringen lager, er basert på følgende punkter (ESRI 2011a):

- De målte punktene med kjente verdier nærmest til det interpolerte punktet, vil ha en større grad av innflytelse (vektning) på det interpolerte punktet enn de som ligger lengere fra punktet.
- IDW interpoleringen antar at hvert målte punkt har en lokal innflytelse som avtar med avstanden fra punktet.
- Den veker punkter nærmere det interpolerte punktet, enn de lenger unna. Derav navnet inverse distance weighting.

De interpolerte punktene er med andre ord et gjennomsnitt av de målte/observerte punktene, med en vektning av disse. Den gjennomsnittlige verdien til det interpolerte punktet kan derfor bestemmes med denne likningen:

$$z(x) = \frac{\sum w_i z_i}{\sum w_i}$$

Hvor x er det interpolerte punktet, w_i er vektningen og z_i er verdien til det kjente punktet (Longley et al. 2011c).

Det skal også nevnes at de fleste interpoleringsbegrepene som er brukt i denne oppgaven er forklart i kapittel 5, avsnitt 5.1.2.

I tillegg er det brukt en rekke andre funksjoner i denne oppgaven, noen av disse funksjonene er grundigere beskrevet i kapittel 4 og 5. Det er også lagt ved et arbeidsstrømdiagram, hvor funksjonene som er brukt står beskrevet.

3. Datainnsamling og prosessering

For å kunne lage en 3D-fremstilling av de interne strukturene på Kringsollfonna, har det vært meget viktig å lage en god plan for hvor målepunktene på fonnen skulle være, både med tanke på feltarbeid, men også for etterprosesseringens skyld. Kringsollfonna er et relativt lite element i naturen, noe som gjør den i utgangspunktet svært enkel å utføre målinger på. Måling av GPR og RTK GPS ble utført høsten 2012 i to perioder på fonna, 15.08.2012 og 01.10.2012. Målinger gjort i august var testmålinger, slik at grunnlaget for antennevalg og opptaksparametere ble lagt. Det ble tatt en beslutning å utføre målingene på sensommeren og høsten, selv om dette er i en ablasjonssesong. Målingene ble utført i denne perioden, da en modell av fonnens innhold for ablasjonssesongen 2011-2012 er svært viktige data for å kunne sammenligne med målinger som gjøres for ablasjonssesongen i 2012-2013 og tiden fremover. En sammenligning av disse dataene vil være avgjørende for å si noe om smelte- og frysesykluser på fonnen. Ved å utføre målinger under en ablasjonssesong kan man risikere å få dårlige radardata, da vanninnholdet i fonna vil være høyere enn ved en akkumulasjonssesong. Vann og GPR-målinger er en dårlig kombinasjon, da man kan oppleve en økt demping av EM-bøgene. Beslutningen ble tatt på grunnlag av at fonnens dybde estimeres til relativt lav og at vår skjermede 500MHz antenne ville takle disse forholdne bra. Arbeidsprosessen kan deles opp i ulike steg; planlegging av feltarbeid, arbeid i felt og etterprosessering av data.

3.1 Planlegging av feltarbeid

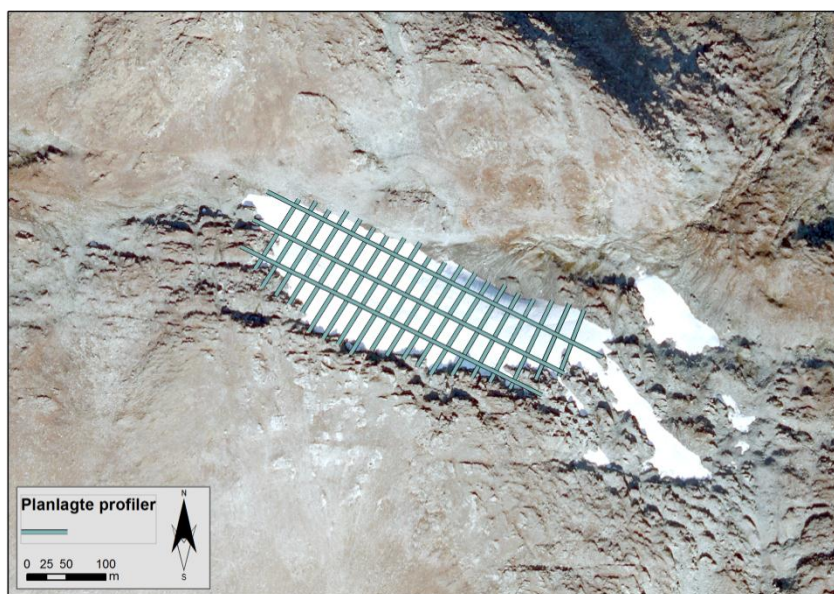
For å kunne samle inn datamateriale til denne oppgaven har jeg vært svært avhengig av en god planleggingsfase for feltarbeidet. Planleggingen startet allerede våren 2012, hvor det ble bestemt hvilke lokaliteter som skulle undersøkes, hvilke instrumenter som burde brukes og hvor på fonnen det ville være mest gunstig å utføre undersøkelsene.

3.1.1 Planlegging av GPR

Det ble som nevnt besluttet å utføre GPR-undersøkelser på Kringsollfonna, både på grunn av fonnens dynamiske egenskaper, men også på grunn av SPARCs interesse for fonnens interne strukturer. Vi startet planleggingen av et gridsystem på fonnen, hvor vi skulle gå GPR-profiler i intervaller på 20m i lengderetningen av fonnen og 40 meter av fonnens bredderetning, som illustrert i figur 14. Denne planen ble laget ved å studere ortofotobilder av fonnen, tidligere

erfaringer og å tenke ut hva som var oppnåelig innenfor de tidsrammene vi var gitt. Det var også viktig å gå profiler med minst mulig intervall, både med tanke på muligheter for feil i datasettet ved noen av målepunktene, men også for etterprosesseringen og interpoleringen av dataen. Start- og slutt punkt for hver måleserie ble også nøye planlagt slik at vi alltid skulle starte og slutte utenfor det glasielle materialet. Dette gjordes for å enklere kunne tolke radargrammene, ved for eksempel å kunne tydelig skille berggrunnsreflektorer og andre ikke-glasielle reflektorer fra fonnens glasielle materiale.

Geografisk institutt ved NTNU gikk til innkjøp av et GPR-system levert av Malå og det er dette systemet jeg bruker i denne oppgaven. Systemet er et såkalt standard GPR-oppsett og i denne oppgaven ble det brukt en skjermet 500 MHz antenne. Instituttet er også i besittelse av en 800 MHz antenne, samt en 250 MHz



Figur 14: Kartet er laget i ArcMap og viser de planlagte profilene under datainnsamlingen.

antenne, men gjennom en kalkuleringsprosess ble det tatt en beslutning på at en skjermet 500 MHz antenne ville være den mest optimale frekvensen både med tanke på penetreringsdybde, men også i hvilket materiale undersøkelsen skal gjøres.

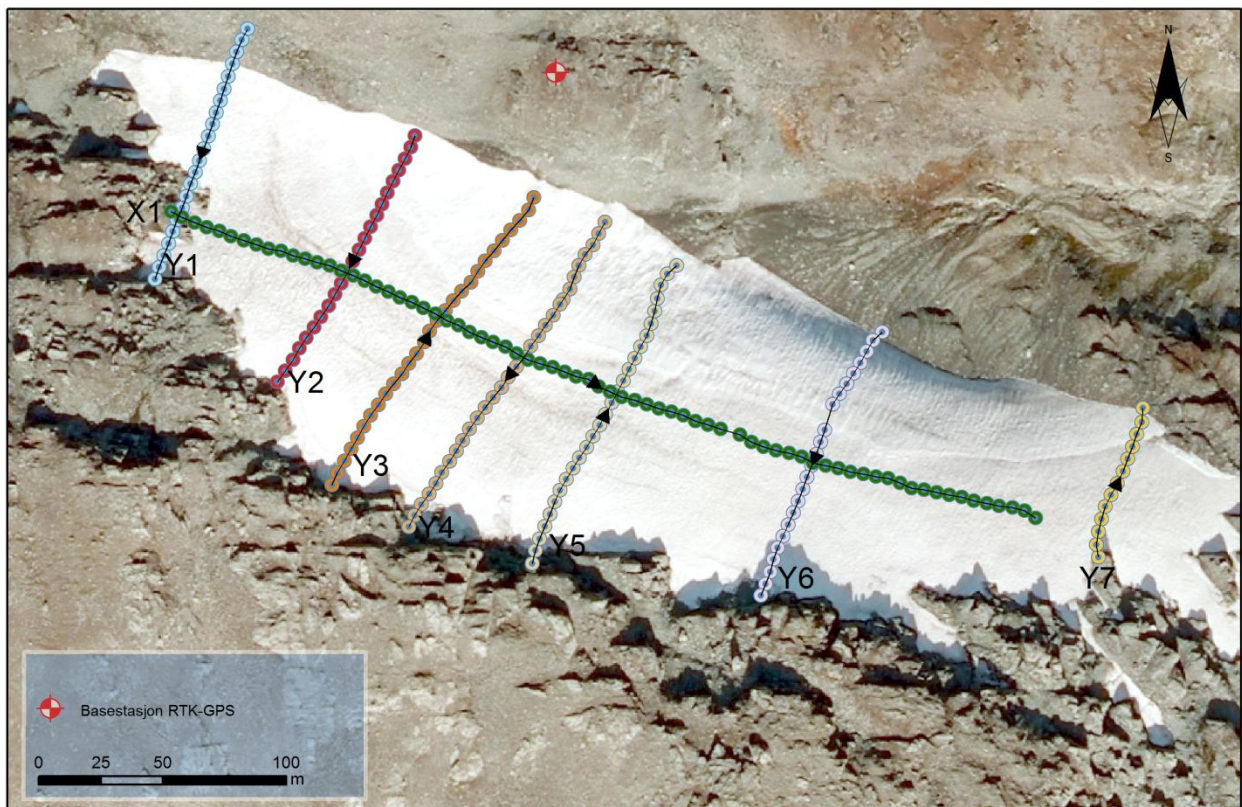
3.1.2 Planlegging av GPS

For å dekke topografien på fonna har vi hele tiden hatt som hovedplan å utføre en lasrescanning av fonnens overflate. I og med at dette utstyret ble for sent levert til instituttet og av værmessige årsaker, fikk vi ikke kjørt LiDAR målinger på fonna. Plan-B ble derfor iverksatt. Plan-B gikk ut på å bruke en RTK GPS til å kartlegge fonnens topografi. Bruk av RTK GPS med GPR har vært en del av planen helt fra start, men nå utvides denne metoden fra å være en sekundær datasamlingsmetode til å bli en primær. Planleggingen gikk i hovedsak ut på opparbeiding av kunnskap om denne metoden, hvordan basestasjon konfigureres og hvilke parametere vi burde forhåndsprogrammere. Planen har vært å koble

georadaren med GPSen, slik at hvert trace ville bli georeferert og enkelt kunne bli satt i et GIS under etterprosesseringen. Denne idéen ble forkastet da det ikke ble rom for å gjøre LiDAR undersøkelser. Vi bestemte oss derimot for å bruke GPSen som en separat metode, hvor personen som utførte GPS-undersøkelsen, målte de samme profilene hvor det var gjort GPR-undersøkelse. På denne måten fikk vi data som både kunne brukes til å kartlegge fonnens topografi, men også data som georefererte GPR-profilene.

3.2 Arbeid i felt

Feltarbeidet ble utført i to perioder, ved begge periodene ble det gjort GPR og GPS undersøkelser. I og med disse typer undersøkelser er krevende å gjøre alene, var vi et team på 5 personer fra geografisk institutt på NTNU som utførte datainnsamlingen. Da arbeidet startet ble det fort klart for oss at den forhåndsbestemte planen ikke var gjennomførbar. I løpet av vintersesongen hadde det akkumulert en fremtredende snøskavl på fonna (se figur 1). I tillegg opplevde vi noen tekniske problemer med utstyret, slik at vårt tidsvindu for effektivt arbeid ble redusert. Dette gjorde det umulig å gjennomføre den planlagte måleserien og vi var



Figur 15: Et kart over de oppmålte profilene, samt posisjonen til GPS-basestasjonen. Hvert punkt representerer ett georeferert GPS-målepunkt. Profilene er klassifisert fra X1 til Y1-Y7. Kartet er laget i ArcMap.

derfor nødt til å gå utenom de vanskeligste partiene, samt gå profiler som vi beregnet til å være mest "datarike". Med det mener jeg fokus på å gå profiler hvor det tilsynelatende lå mest snø, dypest is, samt en lengdeprofil for å skape krysningspunkter med tverrprofilene. Figur 15 viser hvilke profiler som er gått, både med GPR og med GPS.

3.2.1 GPR-undersøkelser

Ved hver GPR undersøkelse er man avhengig av å konfigurere opptaksparameterne slik at de er optimalisert både for den valgte antennefrekvensen, men også for det valgte studiematerialet. I mitt tilfelle ble det kun brukt én modul, det vil si kun én antennetilkobling. I og med at jeg benyttet meg av én skjermet antenne, var jeg ikke avhengig av å konfigurere antenneorienteringen og antenneseparasjonen. Jeg var derimot avhengig av å sette riktig tidsvindu, samplingsfrekvens og triggering.

Tidsvinduet ble konfigurert etter følgende formel (Annan 1992):

$$w = 1,3 * \frac{2d}{v}$$

Hvor d er dybden til reflektor og v er materialets hastighet.

Den ble i utgangspunktet satt til 165 ns, men etter prøving og feiling under testopptakene, ble den manuelt justert til 102 ns.

Samplingsfrekvensen ble satt til ca. 10 ganger antennefrekvensen, altså ca. 5000MHz. Dette er i tråd med hva som er tommelfingerregelen for samplingsfrekvens ($10 * \text{antennefrekvens}$).

Triggering av signalene sattes til å bestemmes av flyttavstanden. For å optimalisere undersøkelsen, ble avstanden satt til 0,3 meter, slik at feil ved noen tracer ikke ville få stor innvirkning på sluttresultatet.

Stabling av signalene ble konfigurert til 1

Selve undersøkelsen ble utført til fots ved å gå profiler på fonnen. En person gikk med radarutstyret og en person gjorde GPS-målinger. Antennen ble montert på en skliplate med en stang festet i fronten. Funksjonen til stangen var at vi kunne bruke denne til å dra antennen etter oss. Det ble også montert et hjul på antennen slik at måleavstanden kartlegges, samt at den gir beskjeder til systemet når det skal skytes EM-bølger ned i underlaget. Deretter kobles antennen med kontrollenheten som er plassert i sekken. Og tilslutt en kobling mellom

kontrollenheten og displayet, som er festet til fremsiden av personen som utfører undersøkelsen. Dette oppsettet er svært mobilt og gjør det lett å observere hva som måles og å gjøre forandringer fortløpende i undersøkelsen (se figur 16). Det ble gått syv tverrprofiler klassifisert som Y1-Y7, samt en lengdeprofil, klassifisert som X1, som vist i figur 15.



Figur 16: Utføring av GPR-undersøkelse i bratt terreng. Fotografi av Linda Kristiansen, datert 15.08.2012.

3.2.2 RTK GPS-undersøkelser

For å kunne georeferere de målte GPR-punktene var det svært viktig å utføre GPS-målinger. I og med at feilmarginen til "vanlige" håndholdte GPSer kan være stor, ble det isteden brukt et Real time kinematic GPS oppsett. RTK GPSen som ble brukt i denne oppgaven er levert fra Altus Positioning Systems. Det ble også opprettet en basestasjon (se kart 15), slik at feilmarginen på opptakene ble $< \sim 1 \text{ cm}$. Målingene forløp seg ved at én person med gikk med GPS-utstyret nøyaktig i fotsporene til GPR-mannskapet og logget posisjonsbestemmelser via basestasjonen. Det var satt et måleintervall på 5 meter, slik at ved hver 5. meter ble det satt av et nytt georeferert punkt, dette kan sees i figur 20 på. Høyden hvor GPS-antennen var montert ble målt, slik at vi fikk kalibrert for dette i innstillingene på måleboken.

3.3 Etterprosessering og forberedelser til arbeid i ArcGIS

Etter at feltarbeidet var utført startet oppgaven med å etterprosesseres dataen. Dette ble gjort i henholdsvis REFLEX 2D Quick, Excel, ArcMap og ArcScene. Tolkningen av de ulike GPR-profilene ble gjort i REFLEX, validering av data ble gjort i Excel og analysering, samt visualisering ble gjort i både ArcMap og ArcScene. I utgangspunktet sitter jeg med to forskjellige datasett; ett datasett (GPS) som gir meg overflatedata og posisjonsbestemmelser av GPR profiler, samt ett datasett (GPR) som gir meg dybden relativt til overflaten for de ulike lagene i isfonnen.

3.3.1 Reflex

Etter å ha importert radardataen startet jeg etterprosesseringsarbeidet av *.RD3-filen i programmet REFLEX 2D Quick (v. 2.0). Dette er en forenklet versjon av Sandmeiers REFLEX-Win. Hovedforskjellen mellom disse programmene er at 2D Quick utgaven i større grad automatiserer de ulike prosesseringsstegene man er avhengig av å gjøre etter en endt GPR-undersøkelse. Målet med å bruke denne programvaren var å lage dybdeprofiler med høydeverdier for både snølaget og islaget. For å få til dette utførte jeg følgende arbeidsstrøm på alle profilene (hele arbeidsstrømmen er visualisert i figur 18):

Behandle rådata, slik at det settes riktige parametere til datasettet:

Static correction flytter nullpunktet på y-aksen til toppen av øverste direktebølge. Dette gjøres for å fjerne refleksjoner mellom antennen og underlagets overflate og slik at y-aksens nullpunkt starter på korrekt posisjon (Sandmeier 2011).

Subtract – mean (Dewow-filter) gjør radargrammet enklere å tyde ved å fjerne lavfrekvent støy, slik at de reflekterte signalene trer tydelig frem (Sandmeier 2011).

Gain function gjør også radargrammet enklere å tyde, dette gjøres ved å forsterke signalene nedover langs z-aksen. Signalene som forsterkes velges manuelt basert på under hvilket tidsintervall filtreringen skal gjelde, men også bølgelengdens utstrekning (Sandmeier 2011).

Background removal fjerner bakgrunnsstøy i radargrammet. Dette gjøres ved å fjerne gjennomsnittsverdier, slik at de markante verdiene blir uthevet (Sandmeier 2011).

Fk Migration (Stolt) brukes for å korrigere refleksjonen og brytningsvinkelen på EM-bølgene. Dette er viktig da lag med bratt helningsvinkel kan bli gitt feil verdier (Sandmeier 2011).

Valg av reflektorer:

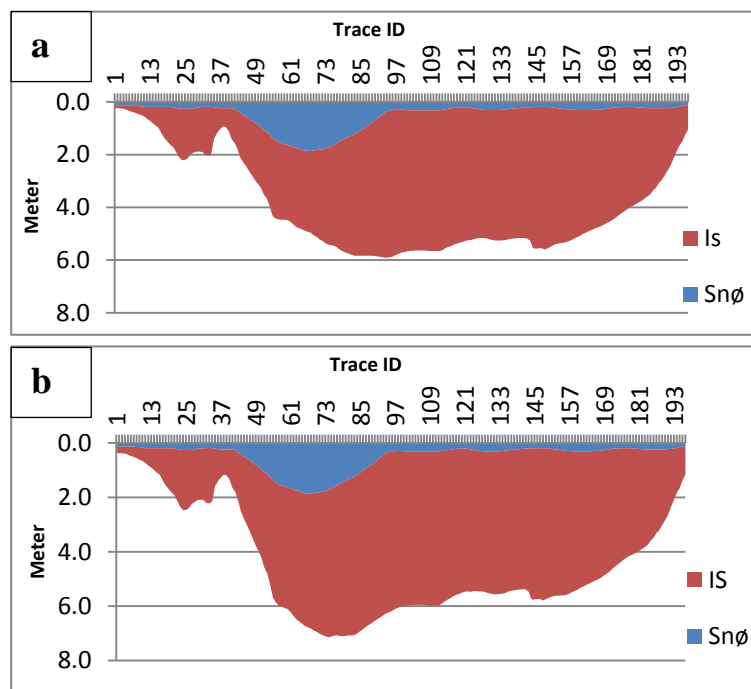
Etter importering og prosessering av GPR-dataen er det viktig å se over alle profilene og forsikre seg om at reflektorene kommer tydelig frem og at for eksempel ingen bunnreflektorer forsvinner bak direktebølger. I mitt tilfelle ble det gått 10 profiler og ved to av disse profilene var kvaliteten til reflektorene for dårlig til at de kan brukes. Profilen er nå dobbeltsjekk og klar for "pick" funksjonen. Dette er et verktøy i REFLEX hvor brukeren kan automatisk eller manuelt plukke ut reflektorene i radargrammet. Jeg brukte "continuous pick" og markerte

punkter langs x- og y-aksen i forhold til hvor det tydelig er et skifte av materies dielektriske egenskaper, hvor reflektorene trer tydelig frem. Ut ifra denne metoden ble det laget to lag, lag nummer en som snø og lag nummer to som is. For å finne dybden til de ulike lagene, ble også EM-bølgenes hastighet bestemt for de respektive lagene. EM-bølgens hastighet i snø ble satt til $V = 0,194 \text{ m/ns}$ og for islaget ble den satt til $V = 0,168 \text{ m/ns}$. Denne inndelingen ble gjort etter tabell 1 på side 14. Dybden til både snø- og islaget var nå funnet og fonnens generelle stratigrafi var klassifisert (se figur 18).

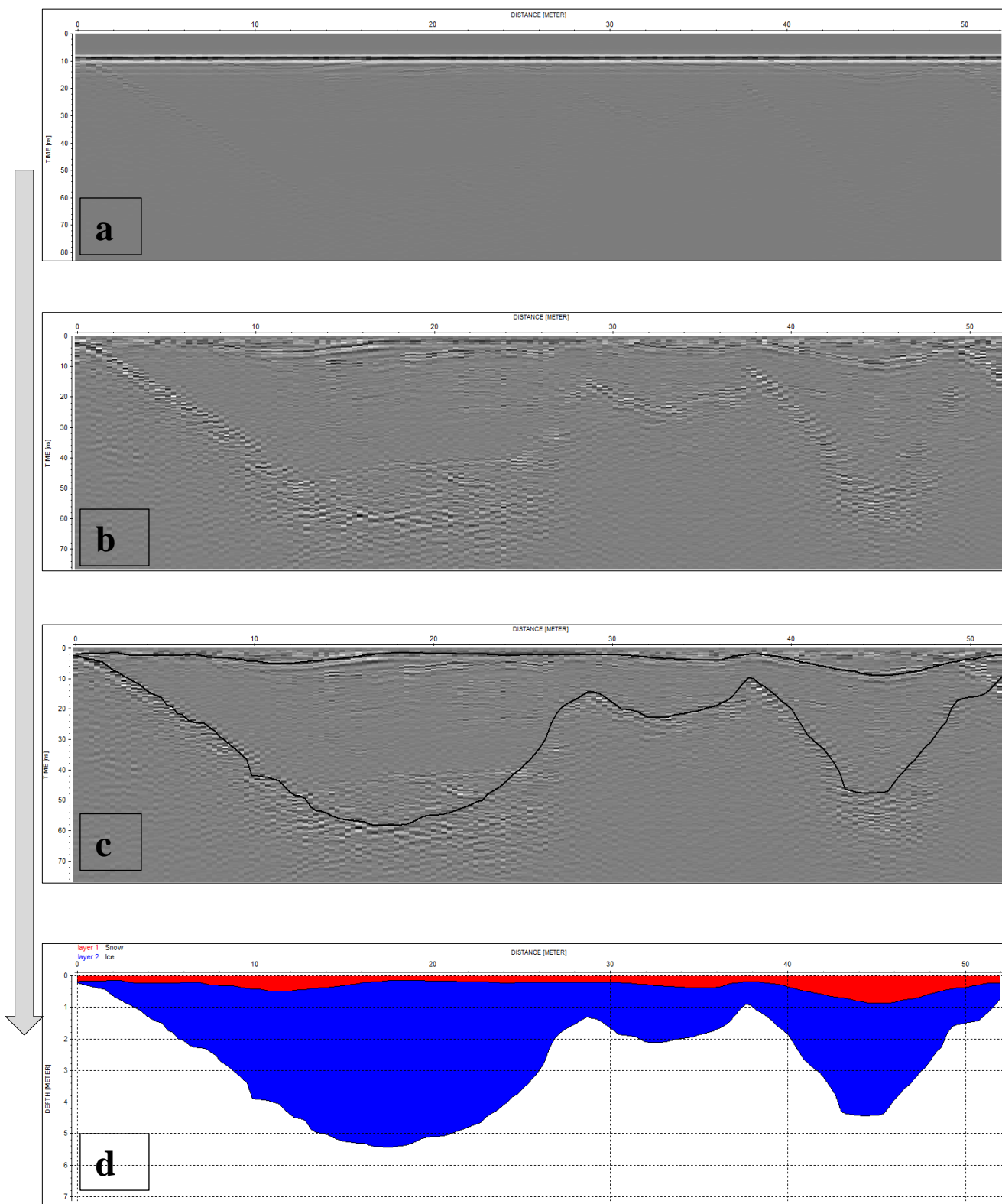
Klassifisering og eksportering av reflektorene:

Før datasettet kan eksporteres genererte jeg et såkalt "fylte lag" hvor hvert av lagene ble tildelt riktig hastighet og visualisert med en valgt fyllfarge. Dette ble gjort for å skape et inntrykk av fonnens lagdeling, samt en sikkerhetskilde til senere arbeid.

Hver profil ble så eksportert til en ASCII fil hvor lagenes dybde ble gitt per trace. Her var det viktig å ikke eksportere begge lagene (is og snø) i samme prosess, da REFLEX beregner dybden på lagene fra den forrige lagdelingen. For eksempel istykkelsen vil være fra snøens bunnreflektor og til isens bunnreflektor, som vist i figur 17 a. Dette er en riktig fremstilling av GPR-resultatene, men for min arbeidsprosess i ArcMap, var jeg avhengig av å ha den totale dybden på begge lagene fra snøoverflate til bunnreflektor, som vist i figur 17 b. Dette på grunn av at 3D-modellens "nullpunkt" eller utgangspunkt langs overflaten startet på samme sted, både for is-3D-objektet og snø-3D-objektet.



Figur 17: Grafen viser hvorfor det var viktig å gjøre eksporteringen av ASCII filer fra REFLEX i to omganger. Her illustrert med profil Y 2. Graf a) viser hvordan den totale dybden er tilnærmet 6 meter hvis det ble gjort en eksportering av begge reflektorene i én omgang. Resultatet av 3D-modellen ville da ha vist feil dybde. Graf b) viser en eksportering gjort i to omganger, hvor resultatet kan settes prosesseres i min valgte arbeidsstrøm, slik at dybden til is-3D-objektet vil være riktig. Grafen er laget i Excel, basert på GPR-data.



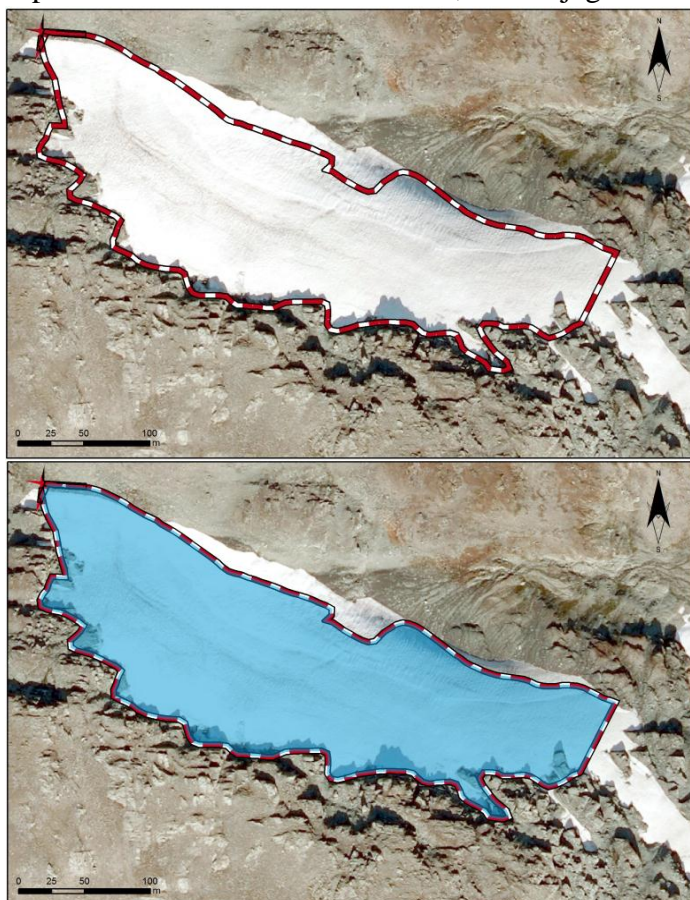
Figur 18: Arbeidsprosessen i REFLEX er illustrert i denne figuren (skjermdump fra REFLEX). Øverst (a) vises hvordan radarprofilen ser ut før prosessering, her illustrert med profil Y1. Y-aksen viser hvor lang profilen er i meter (NB. disse verdiene er ikke korrekte, da faktorer som velting av antenne, at hjulet mistet friksjon med underlaget og skled over underlaget gjør at disse verdiene ikke er reelle. De kraftige vannrette linjene er direktebølger, men de kurvede linjene er signaler fra reflektorer under bakken. Radargram b) viser hvordan profilen blir seende ut etter den har blitt prosessert, man ser hvordan de tydelige reflektorene trer frem når dataen blir utsatt for ulike filtreringer o.l. Utvelgelsesprosessen skjer i radargram c) og dybdeklaireringen, samt fyll av reflektorene skjer i radargram d)

3.3.2 Excel

Av de eksporterte ASCII filene fra REFLEX, ble det laget tabeller og grafer i Microsoft Excel (v.14). Dette gjorde at jeg kunne få en bedre oversikt over den ferdigprosesserte dataen, men også for å kunne bruke denne informasjonen i et kvalitetssikringsarbeid av de enkelte profilene i den ferdigstilte 3D-modellen. I tillegg til å fungere som en databaseplattform for GPR-data, er man også avhengig av å bruke Excel i genereringsarbeidet av såkalte *.xls-filer. Dette er svært viktig for det videre arbeidet i ArcMap, da disse filene importeres direkte inn i ArcMap og gir tilgang til å sette GPR-dataen inn i et X-Y koordinatsystem. Denne prosessen åpner også for muligheten til å kunne bruke GPS-dataen til å georeferere hvert enkelt GPR-trace.

3.4 ArcGIS

Før jeg importerer GPR-dataen i ArcMap, er jeg avhengig av å bearbeide GPS-dataen, slik at x-y informasjonen til GPS-punktene vil samsvarer med hvert GPR-trace. For å optimalisere effektiviteten ved georefereringen, importerte jeg et ortofoto av fonnen fra *Norge i bilder* (Norgebilder 2010). Jeg la også inn GPS-punktene for omrisset av fonnen, slik at jeg kunne kontrollere og avgrense fonnen slik dens form var da undersøkelsen ble gjort. Verktøyet "Feature To Polygon" lager et sammenhengende polygon av polylinjen som utgjør fonnens yttergrenser. Dette gjør at jeg får avgrenset innenfor hvilket område de interpolerte verdiene til 3D-modellen vil ligge, dette polygonet brukes altså som en "klipplag". Som man ser av figur 19 er det viktig å gå et slikt område, da fonnen er svært dynamisk og dens romlige utbredelse forandres fra sesong til sesong.

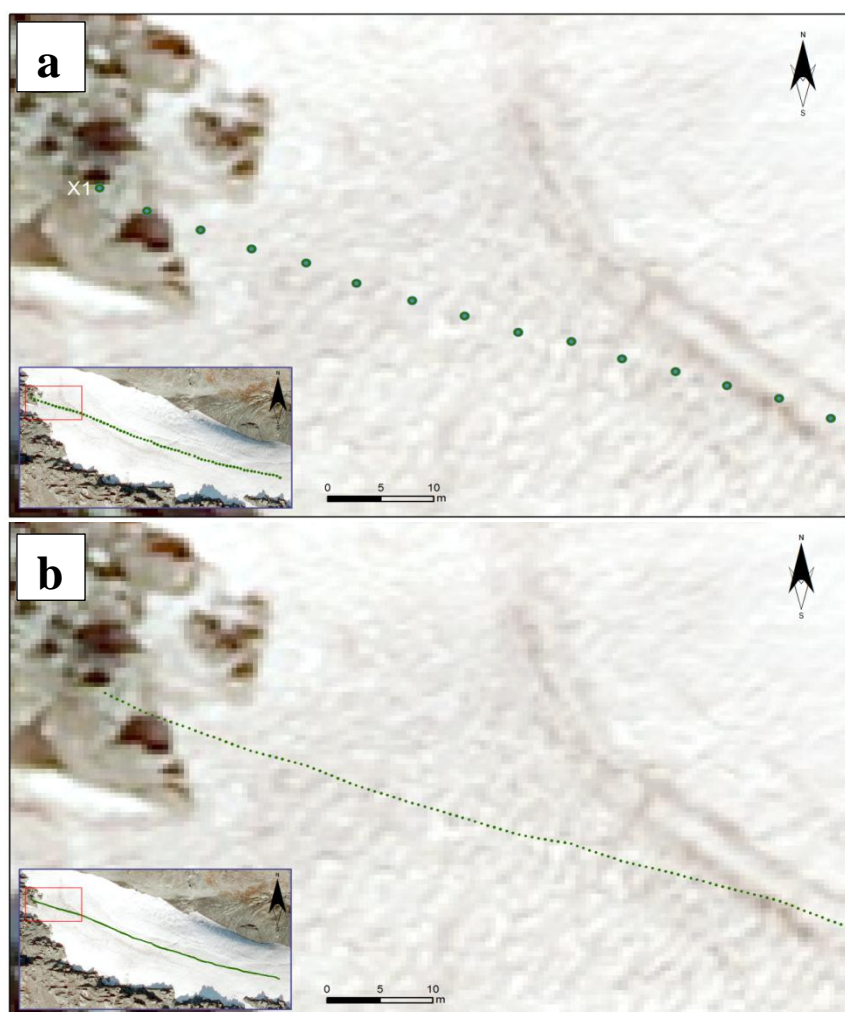


Figur 19: Viser fonnens avgrensede perimeter og polygon. Laget i ArcMap.

3.4.1 Import av GPR-data i ArcMap

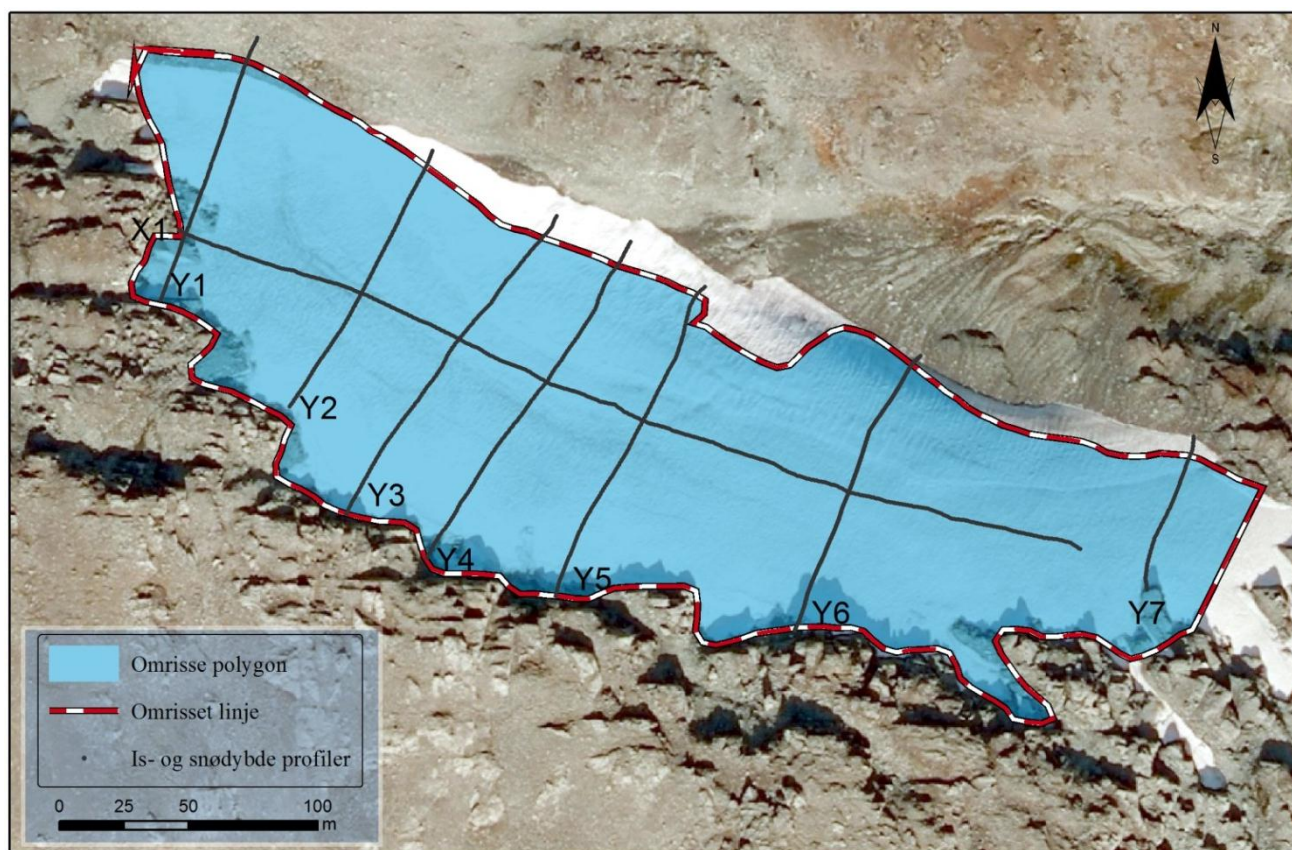
På grunn av tekniske problemer fikk jeg ikke koblet GPSen med GPRen, og derfor har jeg da ikke ett GPS-punkt per GPR-trace, jeg har istedenfor ett punkt per femte meter. Dette gjør at man må utføre en "interpolering" mellom GPS-punktene slik at for hver GPR-trace er det et tilhørende georeferert GPS-punkt. Dette ble gjort via en "edit session". Jeg startet med å importere GPS-punktene i ArcMap og dele de opp i profiler ved å bruke verktøyet "Select by Attribute" og "Export data", deretter brukes tabellen i Excel for å undersøke hvor mange GPR-trace som tilhørte profilen som skulle editeres. For eksempel i profil X1 hadde jeg 72 georefererte GPS-punkter, mens det var blitt gjort 597 GPR-trace for samme profil. Jeg laget derfor en polylinje av punktene i profilen, slik at det ble opprettet en "punktfunksjon (point feature)" for videre editering.

Deretter ble denne "punktfunksjonen" brukt som en mal i verktøyet "construct points". Hva dette verktøyet gjør, er at jeg manuelt kan justere hvor mange punkter basert på den profilen som editeres, som skal plasseres langs polylinjen. For X1 var det altså 597 punkter som skal plasseres. Se figur 20 for en visuell fremstilling av hvordan GPS-profilen utviklet seg fra å være konstant fem meters intervaller mellom punktene (a), til å bli en profil hvor hvert punkt passet til sin respektive GPR-trace (b).



Figur 20: Kartet viser den visuelle forandringen for hvordan resultatet av "interpolering" mellom GPS-punktene foregikk. Laget i ArcMap.

Etter at profilene er georeferert, er det nå mulig å plassere GPR-dataen til sine tilhørende profiler. Her importeres *.xls-filene fra Excel som tabeller i ArcMap. Det utførtes så en "join" mellom den importerte tabellen og den editerte profilen, basert på attributten "Object ID"⁵. Hver profil ble utsatt for en join, både for snølaget og for islaget. Når dette var repetert for alle profilene, satt jeg igjen med 16 punkt-profiler. 8 stykk profiler for islaget og 8 stykk profiler for snølaget. De bestod alle av følgende attributter: Object ID og dybdeverdier til den tilhørende reflektoren fra GPR-undersøkelsen. Nedenfor vises et kart over alle elementene som til sammen utgjør både GPR- og GPS-dataene, med riktig snø- og isdybde for alle profilene (figur 21). Elementene "Is- og snødybde-profiler" er i virkeligheten to punktprofillag som ligger oppå hverandre. Dette kommer ikke frem i kartet da elementene har de eksakt samme X-Y koordinatene, men forskjellige Z-verdier. Det er disse Z-verdiene som senere i prosessen vil visualiseres i ArcScene og utgjør grunnlaget for 3D-modellen.

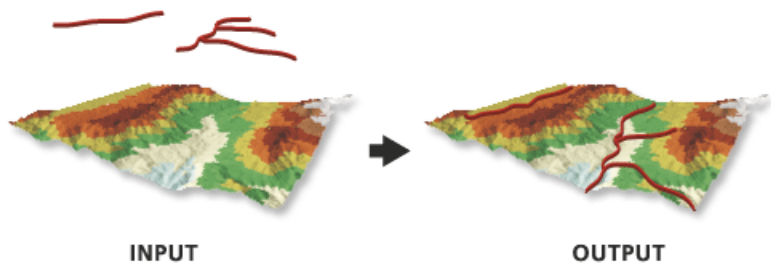


Figur 21: Kartet viser de oppmålte profilenes posisjon, i forhold til fonnens perimeter og polygon. Kartet er laget i ArcMap.

⁵ Object ID er et kolonnenavn i begge datasett. Det er denne attributten join-verktøyet baserer sin sammenslåing av to datasett på. Slik at GPR-tracet med Object ID 1 slås sammen med den editerte profilens Object ID 1.

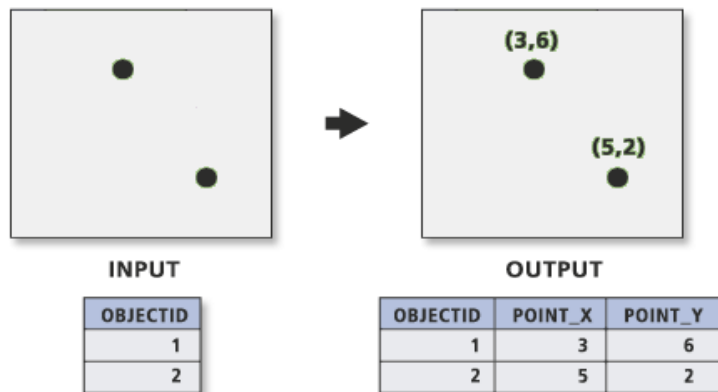
3.4.2 Dybdekalibrering av GPR-profiler

Arbeidet som skal utføres i ArcScene krever at jeg har tre TIN-modeller, én for bunnen av islaget, én for bunnen av snølaget og én for overflaten av fonnen. Prosessen med å generere TIN-modeller for snø- og islaget er den samme. I tillegg hadde jeg nå dybden på hver horisont, var jeg avhengig av å sette verdien for horisontenes høyde over havet. Dette må gjøres for at TIN-modellene skulle plasseres på riktig posisjon langs Z-aksen. Jeg startet arbeidet med å lage en TIN-modell for topografien, altså det som utgjør fonnens overflate. Her brukte jeg GPS-punktene som input verdier i verktøyet *Create TIN*, og baserte trianguleringen på høydefeltet; høyde over havet og overflatestrukturen til "masspoints". Dette ga meg overflatedata for fonnen. For å sette verdiene for høyde over havet til snø- og ishorisontene brukte jeg TIN-modellen til fonnens overflate som en "input surface" i verktøyet *Interpolate Shape* (se figur 23). I tillegg brukte jeg hver av is- og



Figur 22: En illustrasjon for hvordan både is- og snøhorisontne ble tildelt det samme "nullpunktet", slik at dybdeverdiene senere kunne trekkes fra for å gjengi korrekt utbredelse av 3D-objektet langs z-aksen. Denne funksjonene er avhengig av at hvert lags totale dybde er korrekt (se avsnitt 3.3.1 "Klassifisering og eksportering av reflektorene"). Figuren er hentet fra (ESRI 2011b)

snødybdeprofilene som "input feature class" Dette gjorde slik at profilenes X-, Y- og Z-orientering samsvarte med TIN-modellens verdier. Deretter brukte jeg "output" filene fra denne prosessen som inputdata i verktøyet *Add XY Coordinates*.

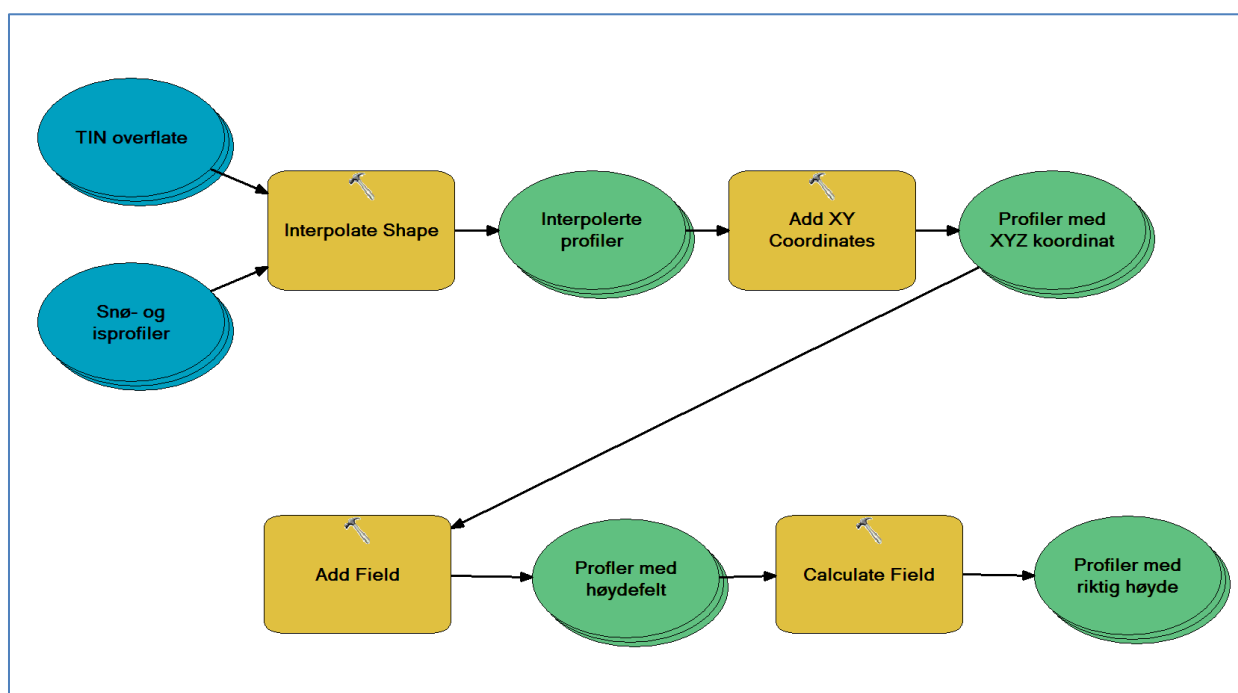


Figur 23: Figuren viser hvordan punktdaten ble tildelt x, y og z verdier. I mitt tilfelle er det z-verdiene (høyde over havet) som var viktige. Hentet fra (ESRI 2012b).

Profilene får da definert en X- og Y verdi, samt en Z-verdi

(figur 22). Denne Z-verdien vil i mitt tilfelle være høyde over havet. Hvert trace sin "høyde over havet"-verdi må nå kalibreres slik at dybdeverdiene til is- og snøprofilene plasseres med korrekt verdi langs Z-aksen. Det ble lagt til en ny kolonne i hver profil med navn "R_dybde". Jeg var deretter avhengig av å gjøre en kalkulering av dette feltet. Uttrykket

"Høyde over havet – dybdeverdier" ble satt inn i verktøyet "Calculate Field". Denne operasjonen gjorde slik at både snø- og ishorisontene nå hadde riktig høyde over havet verdier i forhold til GPR-målingene. Etter at denne prosessen ble kjørt, var dybdekalibreringen av profilene gjennomført. Hele denne prosedyren må gjentas for alle profilene, men for å effektivisere denne prosessen opprettet jeg en modell (figur 24), slik at geoprosesseringen gjordes for alle profilene i samme prosedyre. R_dybde kolonnen vil nå bestå av de endelige høydeverdiene, som senere i prosessen vil utgjøre grunnlaget for arbeidet med å lage 3D-modellen i ArcScene. I og med at dataen fortsatt bestod av 16 punktfiler etter modellen var kjørt, benytte jeg verktøyet "merge" og på den måten laget to nye shapefiler, én med kalibrerte snødybdeverdier og én med kalibrerte isdybdeverdier. De to TIN-modellene for isfonnens stratigrafi ble så laget, én basert på de kalibrerte snødybdeprofilene og én basert på de kalibrerte isdybdeprofilene. De ble begge satt til å "klippes" etter områdepolygonet, siden dette området utgjør det totale volumet for 3D-modellen.



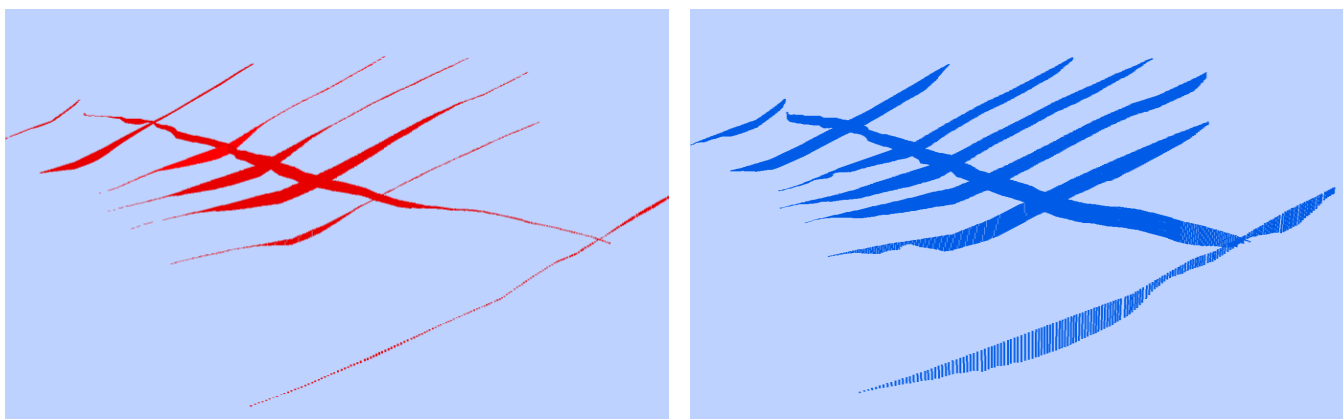
Figur 24: Modellen viser arbeidsprosessen for å georeferere GPR-dataen med GPS-dataen, slik at hvert punkt hadde en verdi for isdybde, snødybde og overflate. De blå sirklene øverst t.h. er inntatt dataen, de gule rektanglene symboliserer hvilket prosesseringsverktøy som brukes og de grønne sirklene viser resultatet etter at prosesseringen er ferdig. Modellen er laget i ArcMap.

3.4 ArcScene

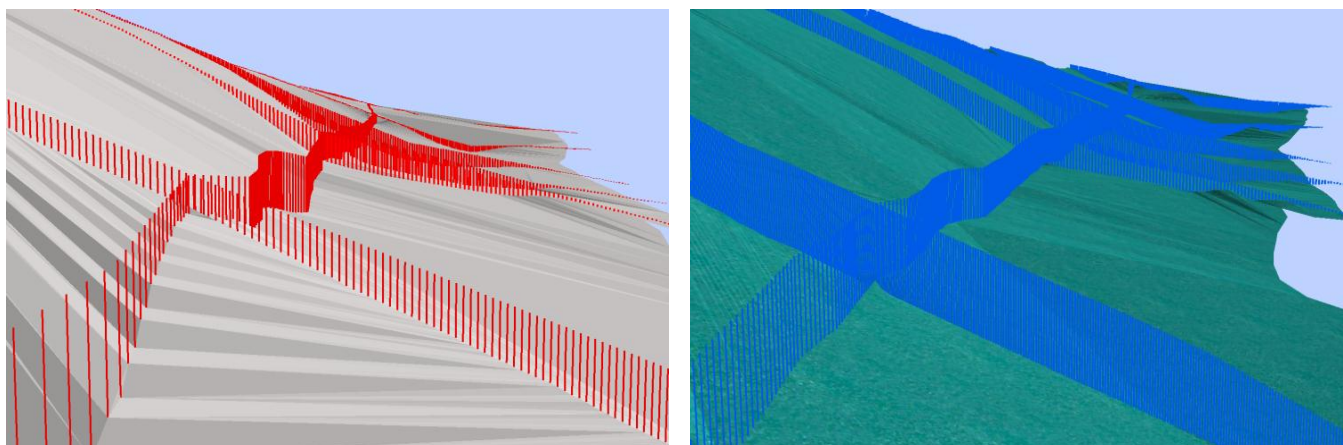
Oppgavens mål; å lage en 3D-modell av de ulike lagene i Kringsollfonna vil ferdigstilles i denne programvaren. I denne oppgavens sammenheng fungerer ArcScene som et visualiseringsverktøy av det forarbeid som er gjort i ArcMap. Det vil være noen geoprosesseringsoperasjoner som også gjøres, men programvarens viktigste egenskap er å fremstille fonnens lagdeling i et 3D-format.

3.4.1 Utforming av 3D-modellen

Jeg startet arbeidet i ArcScene med å importere de ulike TIN-modellene jeg hadde ferdigstilt i ArcMap. Deretter la jeg til de to shapefilene og laget en "Extrusion" av begge filene basert på følgende kalkulering: " $dybdeverdier \times -1$ ". En ekstrudering gjør at hvert punkt blir "dratt" i ønsket retning og vi får en høyde på linjen bestemt etter hvilken kalkulering som benyttes. Jeg har satt de til negative verdier slik at også dybdeverdiene settes til negative verdier, og på den måten bygges "skjelettet" av 3D-modellen (se figur 25 og 26).



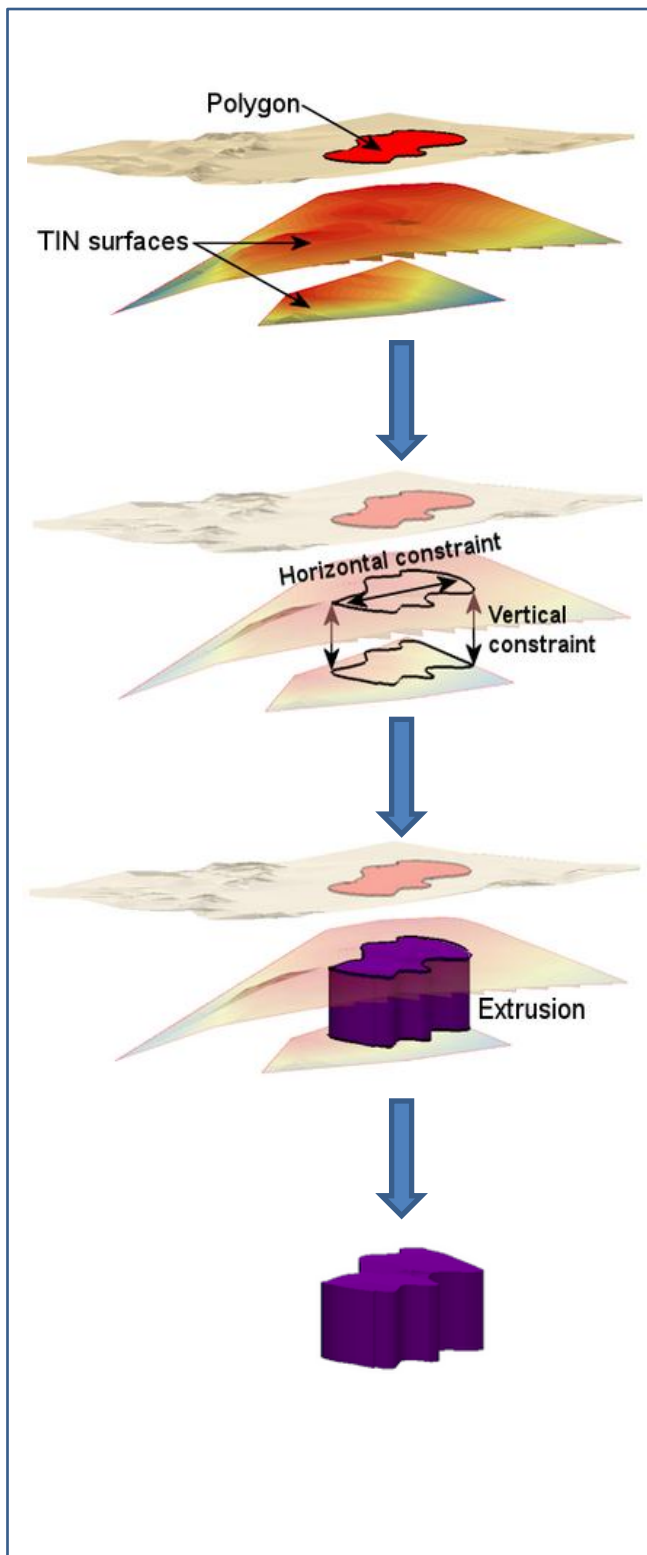
Figur 25: Punktverdier for snøhorisontene vises i skjelettet med rød farge, mens ishorisonten er symbolisert med blått. Vi kan allerede her skimte status på hvordan fonnens is- og snølag er under overflaten. Modellen er laget i ArcScene.



Figur 26: Skjelettet av 3D-modellen korrelerer med sine respektive TIN-modeller. Vi ser her snøhorisonten i rødt og ishorisonten i blått. Modellen er laget i ArcScene.

Dette arbeidet har ingen direkte virkning på selve 3D-modellen, men ved å lage denne type fremstilling har man et fint verktøy for å kvalitetssikre både arbeidet i REFLEX, men også de ulike prosesseringene som ble gjort tidligere i ArcMap. Her ifra satte jeg inn TIN-modellene for is og snø, samt sjekket at trianguleringen og interpoleringen var fornuftig i forhold til "skjelettet". Figuren nedenfor viser hvordan reflektorene valgt fra REFLEX passer perfekt til hver TIN-modell. Snødybden sees til venstre, mens isdybden visualiseres i kartet til høyre. Hvert av de ekstruderte punktene visualiserer dybden til dens respektive lag, det er viktig å merke seg at lengden på isdybdesøylene fremstilles ukorrekt, da dens dybde i virkeligheten strekker seg fra dens TIN-modell og opp til snølagets TIN-modell og ikke til toppen av fonnens overflate, som vist i denne illustrasjonen.

Ferdigstillingen av arbeidet ble gjort ved å bruke verktøyet "Extrude Between" (figur 27). Dette verktøyet lager en såkalt "multipatch" mellom to overflater, som er et solid 3D-objekt. For å generere dette elementet brukte jeg først snø-TIN-overflaten som overflatelag, deretter satt jeg is-TIN-overflaten som bunntopografilag. Jeg satte også omrissopolygonet som "klipplag". Etter å ha kjørt verktøyet var jeg nå i besittelse av



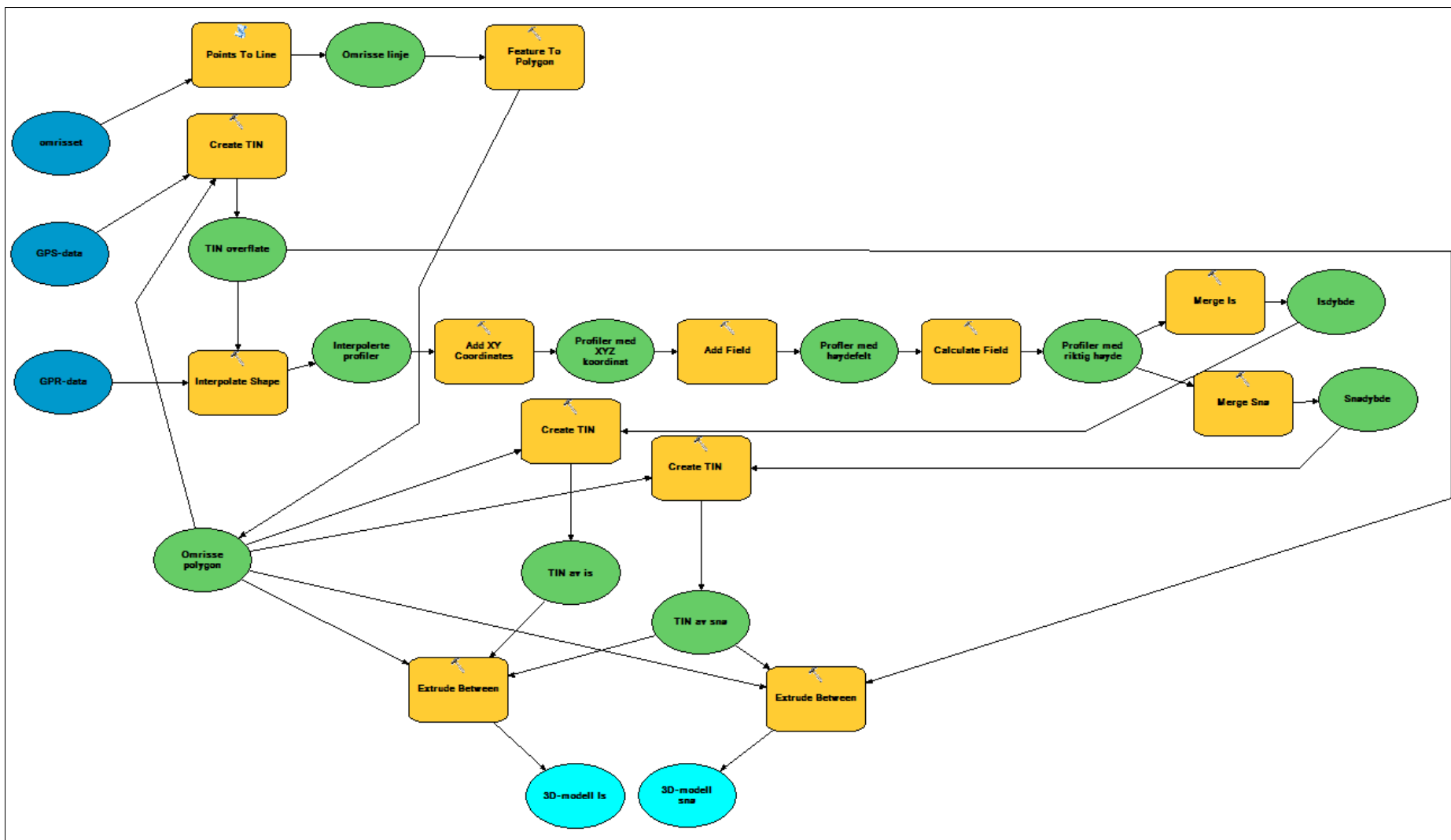
Figur 27: Viser hvordan Extrude between-verktøyet lager 3D-objekter (multipatch) av et avgrenset område (polygon) og to TIN-modeller (for 3D-objektet av is, ble det brukt TIN-modell av snøhorisont med TIN-modell av ishorisont). Resultatet er et solid 3D-objekt, hvor volumberegninger kan gjøres. Illustrasjonen er hentet fra (ESRI 2013).

et fullverdig 3D-ellement som utgjorde islaget av Kringsollfonna. Denne prosessen ble utført to ganger, både for is- og snølaget. Ved generering av snølaget brukte jeg den topografiske TIN-modellen, altså trianguleringen som ble gjort av RTK GPS-punktene, som overflatelag, deretter snø-TIN-modellen som bunntopografilag. I figuren til venstre illustreres arbeidsstrømmen for hvordan de ulike stegene i verktøyet "*Extrude Between*" gjøres.

For å visualisere snø- og isdybden på de to 3D-ellementene, var jeg avhengig av å gjøre en geostatistisk analyse av dybdeverdiene. Jeg laget en interpolert overflate, basert på en IDW (inverse distance weighting) funksjon. Jeg interpolerte dybdeverdiene fra "*merge*"-filen (GPR data) på en overflate. En overflate for isdybden og en for snødybden. Disse overflatene ble så drapert over sine tilhørende 3D-elementer. I og med at det ikke er noen mulighet for såkalt "layout arbeid" i ArcScene var jeg avhengig av å gjøre det på denne måten, slik at en tegnforklaring ble implementert i kartet. På den måten har leseren av kartet et bedre utgangspunkt for å forstå dybdeverdiene av de ulike lagene.

Et av målene med denne oppgaven, er å lage et "verktøy" for 3D-modellering. Dette verktøyet kan sees i figur 28. Her trenger brukeren kun å legge inn et avgrenset område, GPS-data, samt georeferert GPR-data. Etter kjørt modell, vil dette resultere i en 3D-modell (multipatch) av ønsket område. Det bør nevnes at ved verktøyet "interpolate shape", trenger man å gjøre en "*batch*" prosess, da det er vanlig å være i besittelse av flere datasett av GPR-dataen (se figur 24, og legg merke til at innputt består av flere datasett).

Dette arbeidet ferdigstiller 3D-modellen av Kringsollfonnens stratigrafi. Illustrasjoner og kart over det ferdige resultatet vil vises i kapittel 4 (resultater og tolkning).



Figur 28: 3D-modelleringsverktøy, hvor brukeren kun trenger å legge til et omrisset av forskningsområdet, GPS-data for topografien, samt dybdedata i form for eksempel GPR-data.

4. Resultat og tolkning

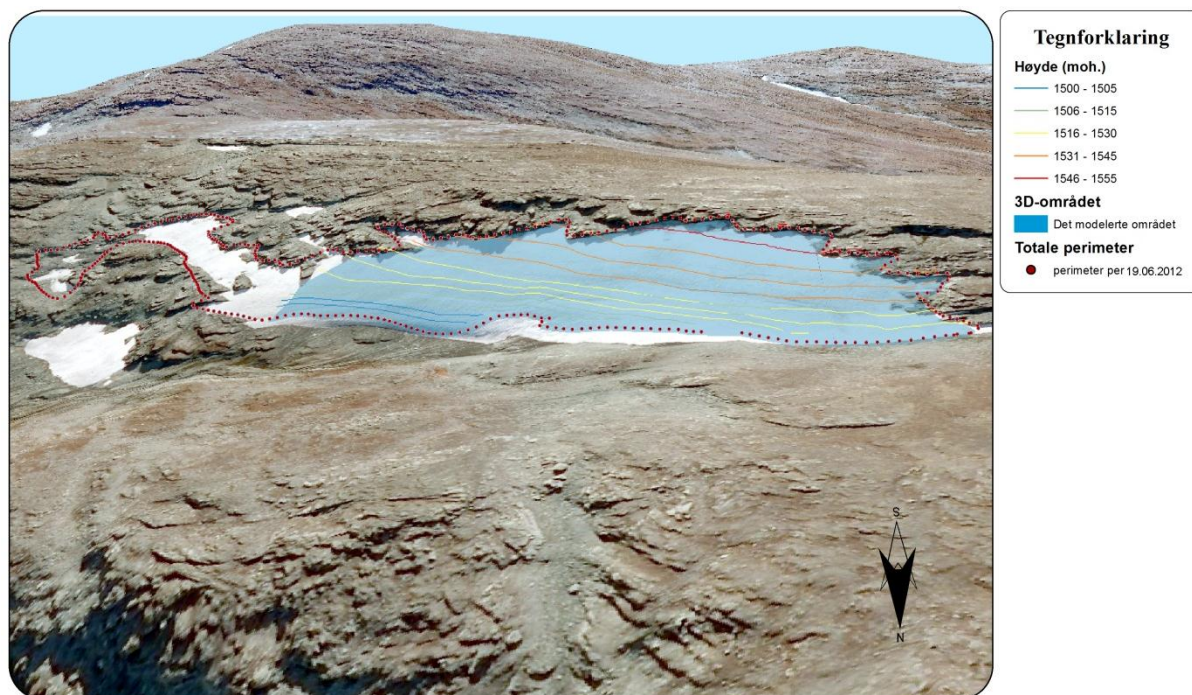
4.1 Det 3D-modellerte området

Et todimensjonalt objekt består av to dimensjoner, hvor objektet består av verdier både horisontalt (x-verdier) og vertikalt (y-verdier), som til sammen utgjør en flate. Når objektet har tre dimensjoner, vil det si at den også inneholder den tredje-dimensjonen, også kjent som volum (z-verdier) (Longley et al. 2011b). Figur 29 er en 2,5D-modell med topografisk informasjon av overflaten (X,Y og Z) per 14.09.2010, av mitt 3D-modellerte objekt. Figuren består av følgende elementer:

Ortofoto fra Norge i bilder datert 14.09.2010 (Norgebilder 2010). Dette bildet er drapert over en TIN-modell og til sammen utgjør dette områdets overflatetopografi.

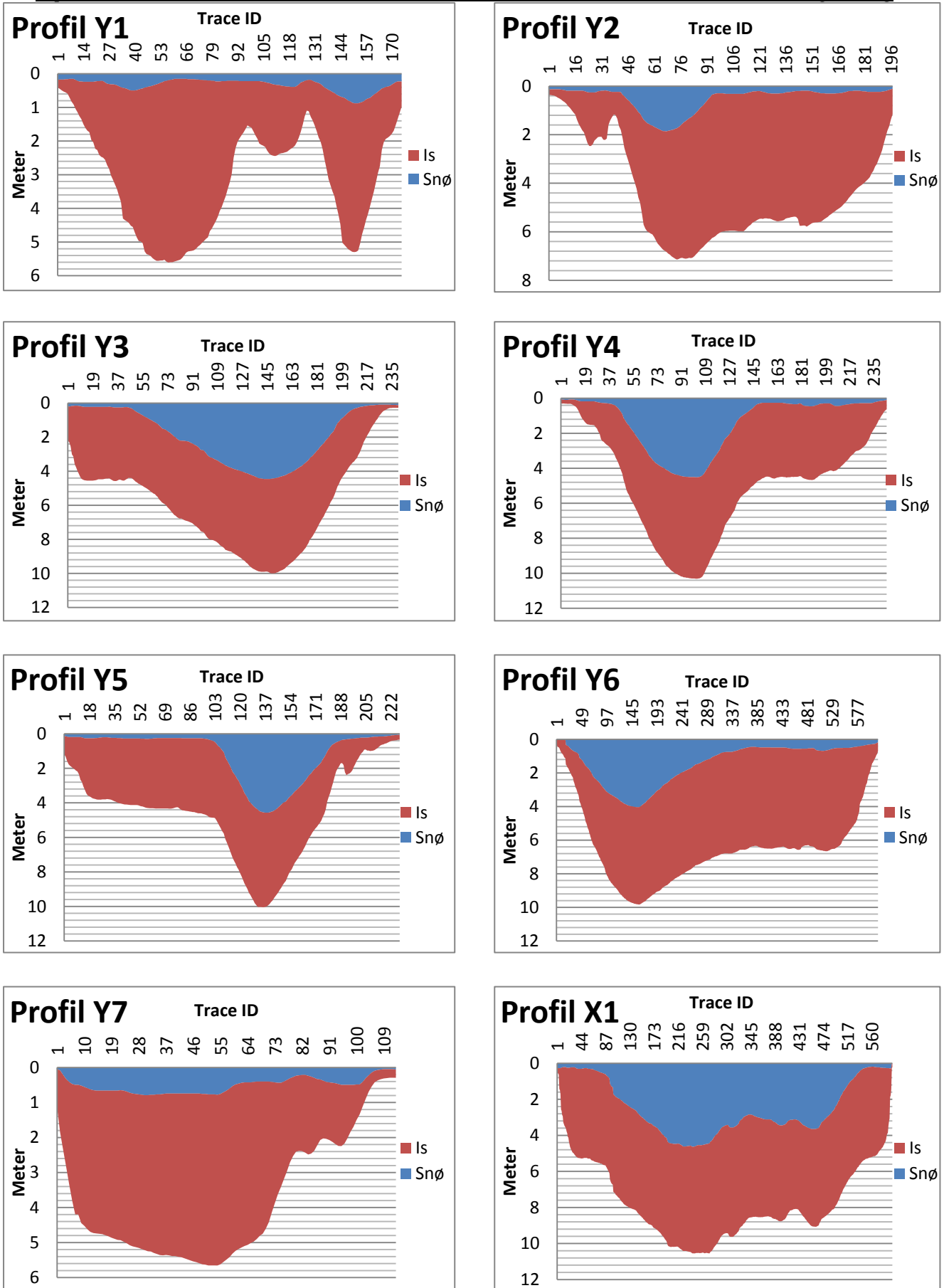
TIN-modell, er laget av høydeinformasjon fra to kilder, både RTK GPS-høydeinformasjon og N50 digital kartdata fra Statens Kartverk, produsert i 2002. Denne modellen utgjør en såkalt 2,5-D av områdets topografi.

Polygonet "3D-området" visualiserer hvilket område av Kringsollfonna det har blitt laget en komplett 3D-modell over. Dette området er mindre enn fonnens oppmålte perimeter per 19.06.2012. Årsaken til dette er at jeg ikke har GPR-data for det resterende området og dermed ville en interpolering av dette området gjøre Z-verdiene svært unøyaktige. Denne



Figur 29: Figuren viser Kringsollfonnens overflate, samt det avgrensede området 3d-modellen dekker. Figuren er laget i ArcScene.

oppgaven konsentrerer seg om hvordan man bruker ESRI's produkter til å fremstille en 3D-modell av data under bakkenivå. Dermed spiller det liten rolle at det totale 3D-modellerte området ikke dekker hele perimeteren.

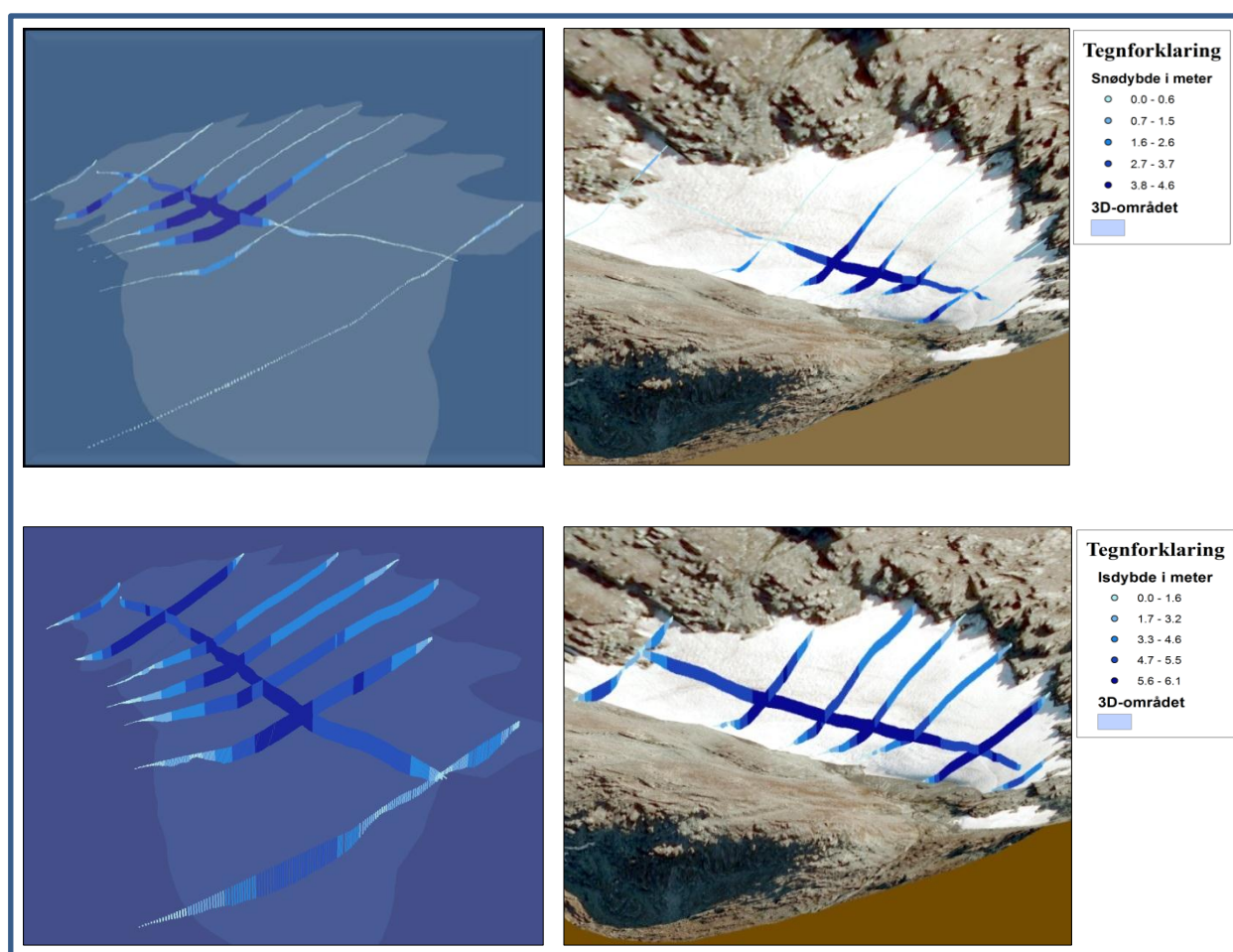


Figur 30: Etter at ASCII filene var eksportert fra REFLEX, kunne de enkelt importeres i Excel. Grafene viser dybden til både snø- og islagene.

4.2 3D-fundament

Z-dimensjonen i oppgaven, altså dybdeverdiene under overflatenivå, kommer til syne når jeg lager "skjelettet" av 3D-modellen. Figur 31 viser hvordan både snø- og ishorisontene fra radargrammene visualiseres på fonnen. Det må merkes at det ikke er noen mulighet for å sette inn målestokk i ArcScene og derfor vil det ikke være målestokk ved figurene i resultatkapittelet. Modellen består av samme polygon, TIN og ortofoto som figur 29, men i tillegg:

GPR-data som er etterprosessert i REFLEX og Excel (se figur 30), samt georeferert i ArcMap. Dataen er ekstrudert i samsvar med verdiene av de målte reflektorene under fonnen. De er også visualisert etter en gradert fargekode, klassifisert ved naturlige brudd. Utgangspunkthøyden (Base heights) til punktene er konfigurert til å starte på samme høydenivå som TIN-modellen, da datasettet ikke har noen form for koordinatsystem langs Z-aksen. På denne måten visualiseres punktene på under TIN-modellen og gir en tredimensjonal effekt.

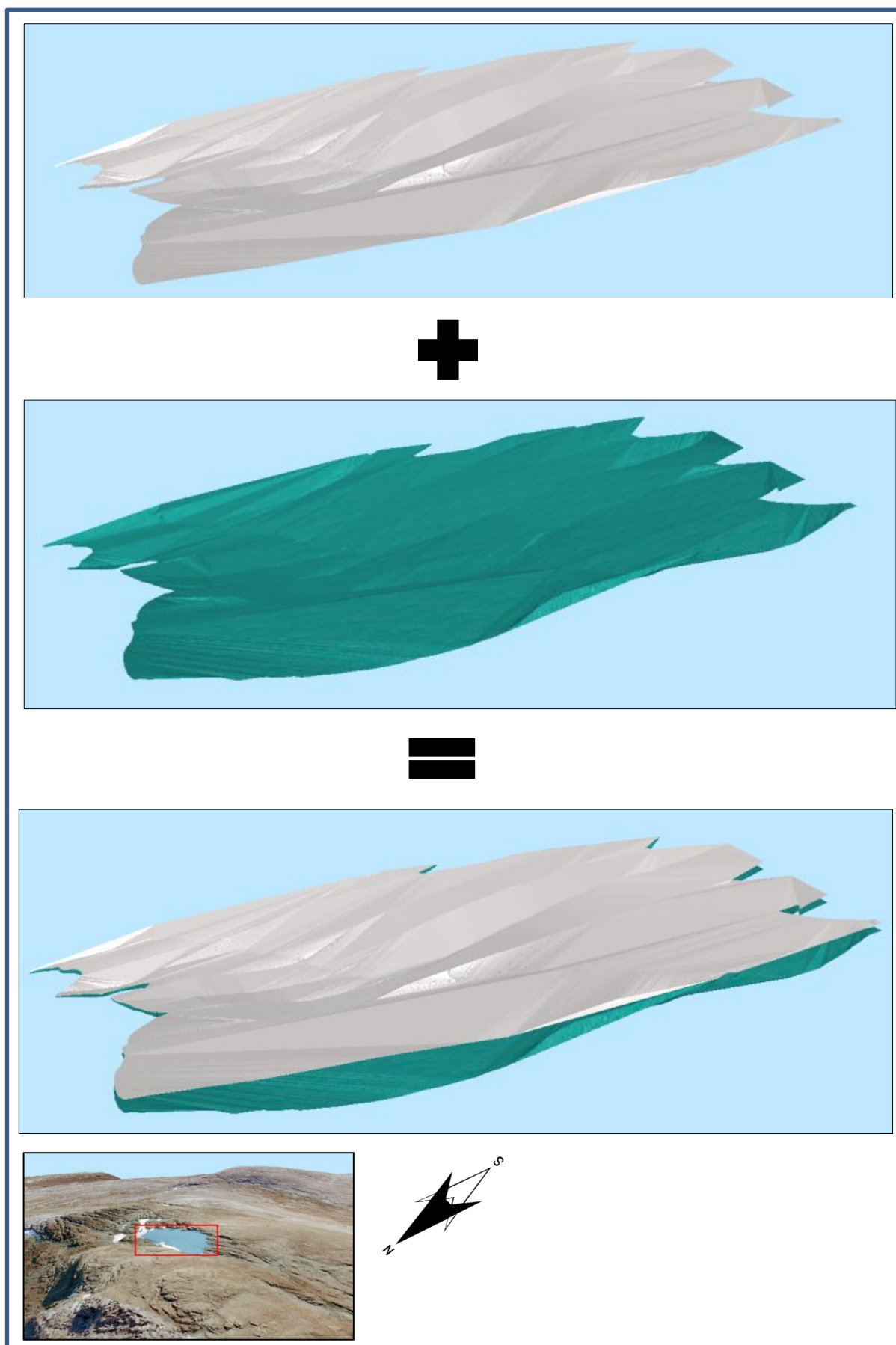


Figur 31: Figuren viser 3D-modellens "skjelett", med både snødybde (øverst) og isdybde (nederst). Bildene med ortofoto t.h. er tatt fra undersiden av fonnen, mens t.v. er fonnen sett ovenfra. Figuren er laget i ArcScene.

Med disse dybdeverdiene ser man tydelig den romlige utbredelsen av de ulike lagene. Som det også kommer frem av modellen senere i oppgaven, ser vi allerede her hvordan snødybden varierer fra 0 meter på de grunneste områdene, til 4,6 meter ved de dypeste områdene. Isdybden varierer fra 0 meter til 6,1. Denne formen for visualisering har 3 akser (altså X-, Y- og Z-akse), men den mangler volumetriske egenskaper. Dermed kan man ikke klassifisere denne modellen som en fullkommen 3D-modell.

4.3 TIN-Modellene og dens funksjoner

Store deler av geoprosesseringsfasen leder frem mot genereringen av TIN-modellene. Det er disse modellen som bygger grunnlaget for hele 3D-modellen. Figur 32 viser resultatet av TIN-modelleringen og hvordan man på mange måter kan si at TIN-modellene tilsammen utgjør "formen" 3D-modellen "støpes" i. Via interpoleringen, som gjøres under trianguleringen av modellene, får jeg tilgang på "ukjente" verdier mellom de målte GPR-punktene. Noe som gjør det mulig å lage en sammenhengende figur med en volum-dimensjon. TIN-modellene er laget av de samme dybdeverdiene som man ser i figur 31 ("skjelettet"), noe som medfører at de triangulerte overflatene plasserer seg i basen av "skjelettet". Det er mange fordeler ved å lage slike TIN-modeller; modelleringen består av få elementer, den lager både en interpolert overflate, samtidig som den danner grunnlaget for "Extrude Between"-verktøyet, som tilslutt vil være det ferdige 3D-modellerte produktet. Selv om det er knyttet mange fordeler til TIN-modelleringen, er det også viktig å se på dens utfordringer. Ser vi på figur 32, ser vi hvordan den interpolerte overflaten består av skarpe "break lines", altså "harde" elementer i kartet. Denne "skarpe" overflaten vil også prege den ferdige 3D-modellen, dermed kan kalkulering av massens volum være problematisk. Dette skyldes i stor grad interpoleringen av områdene mellom punktene, hadde jeg gått tettere profiler under innsamlingen av dataen hadde dette ført til; mindre interpoleringsflater, "mykere" terreng og dermed mere nøyaktige 3D-modeller og geometriske målinger.

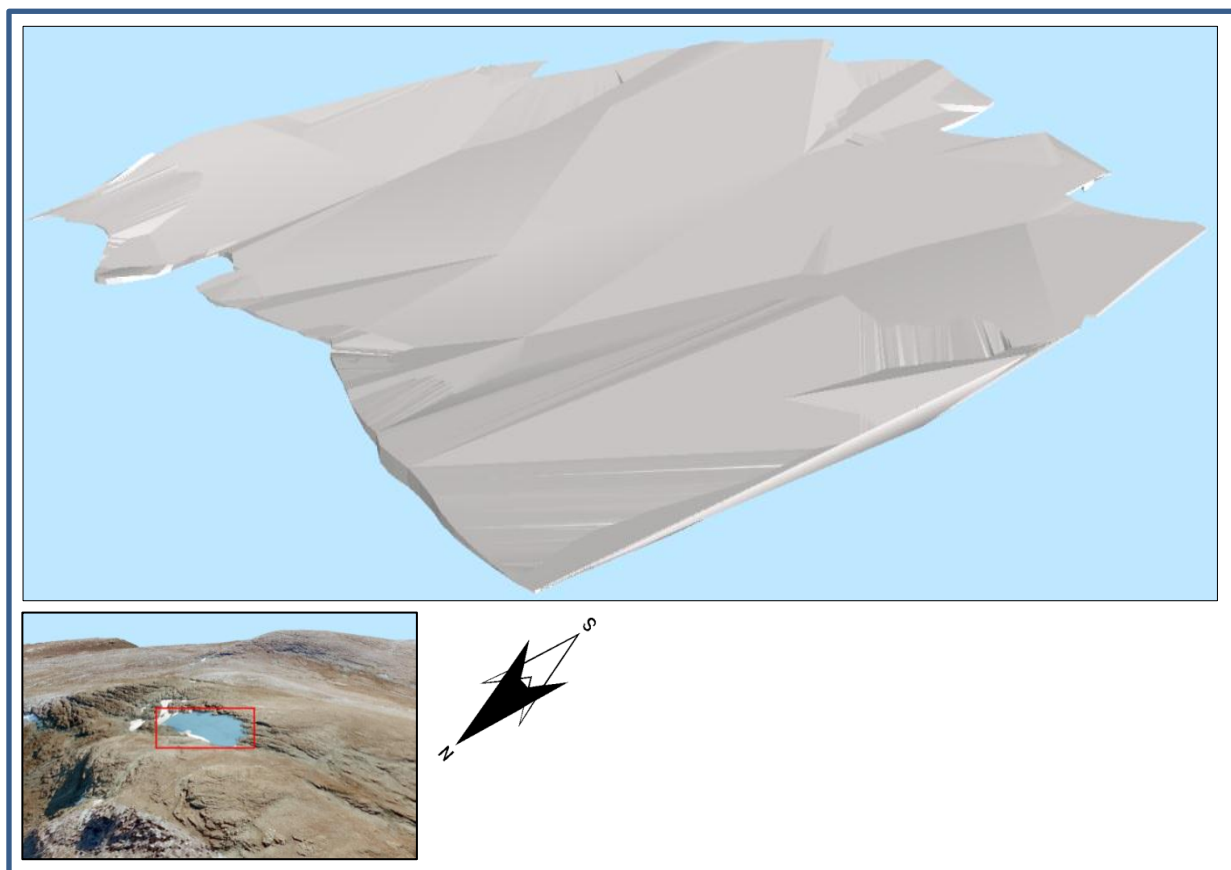


Figur 32: Her illustreres "støpeformen" til 3D-modellen. Den består av TIN-modeller, en for bunnreflektoren til snø og en for bunnreflektoren til is. Den lukkede 3D-modellen for is vil bestå av tomrommet mellom snø-TIN-modellen og is-TIN-modellen og snølaget av tomrommet mellom snø-TIN-modellen og TIN-modellen av overflaten (ikke illustrert her). Laget i ArcScene.

4.4 3D-modell av snølaget

Etter at store deler av prosesseringen er gjennomført, er snølaget ferdigmodulert og resultatet kan sees i figur 32. Modellen er laget ved å omforme tomrommet mellom topografi-TIN-modellen og TIN-modellen av snødybden, med en solid masse, også kalt "*multi patch*". På den måten vil man få et lukket 3D-objekt. Av figuren kommer det også tydelig frem hvordan nøyaktigheten i rommet mellom de oppmålte profilene avtar jo lenger vekk man kommer profilens kjerne. Tolkningen av hvordan snøen er distribuert over fonna gjøres i avsnitt 4.5.1.

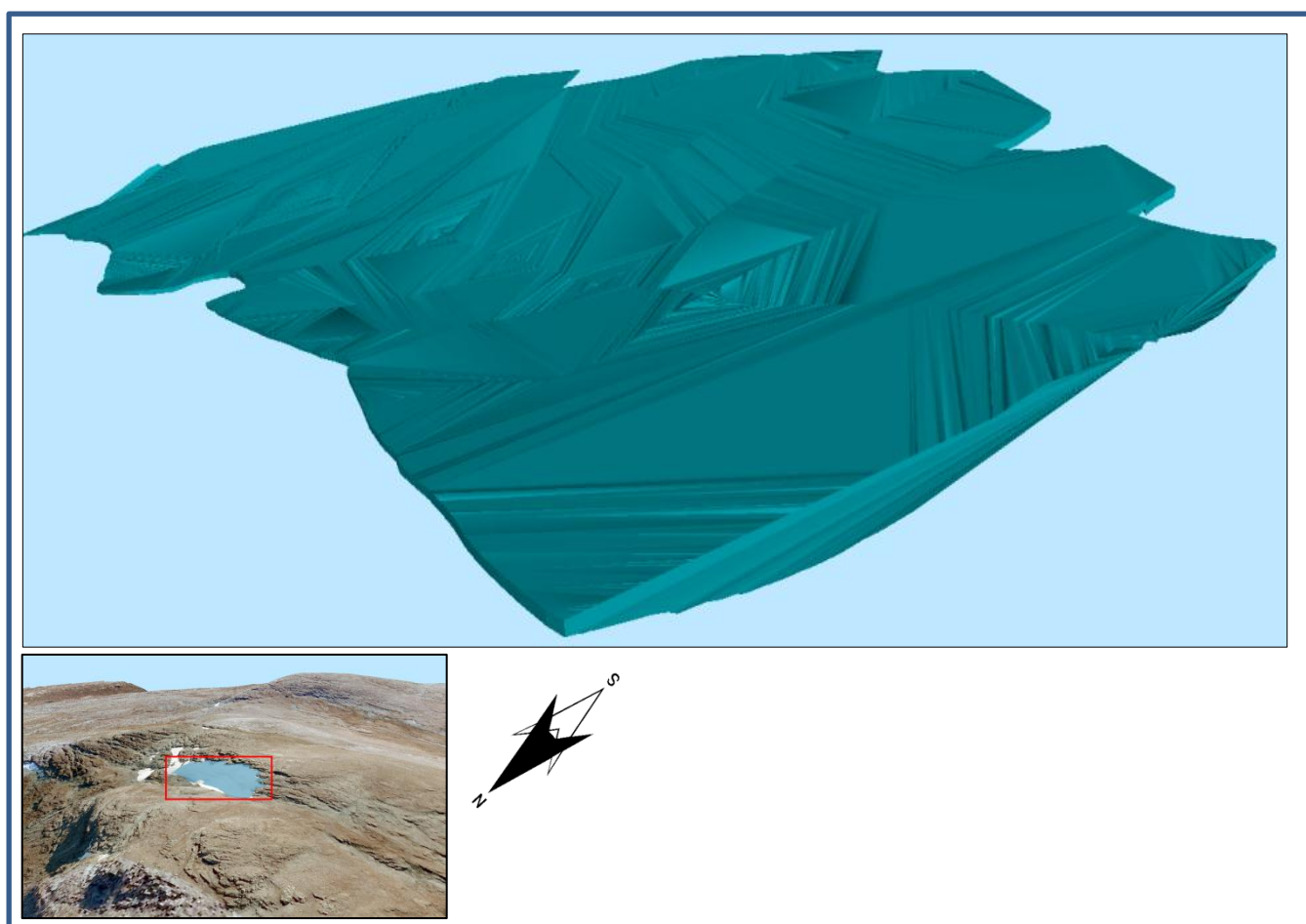
Avstanden fra overflatetopografien til bunnreflektorene av snødybden utgjør det totale volumet av snølaget. Det er gjort et volumestimat av snølaget som kan sees i avsnitt 4.6. Selv om volumberegningen lar seg gjøres på slike lukkede 3D-objekter, er det viktig å ikke miste den logiske sansen. Ser vi på figuren under, ser vi hvordan de interpolerte overflatene vil gjøre volumberegningene svært unøyaktige. På tross av at denne estimeringen ikke vil gjenspeile virkeligheten optimalt, velger jeg likevel å gjøre en slik estimering. Både på grunn av at jeg viser hvordan dette enkelt kan gjøres via ArcScene, men også for å skape en viss forståelse av fonnens interne strukturer.



Figur 33: Snølaget er ferdigmodellert og kan sees i denne figuren som en lukket 3D-modell (multipatch). Legg merke til de skarpe linjene som er et resultat av trianguleringens interpolering. Laget i ArcScene.

4.4.1 3D-modell av islaget

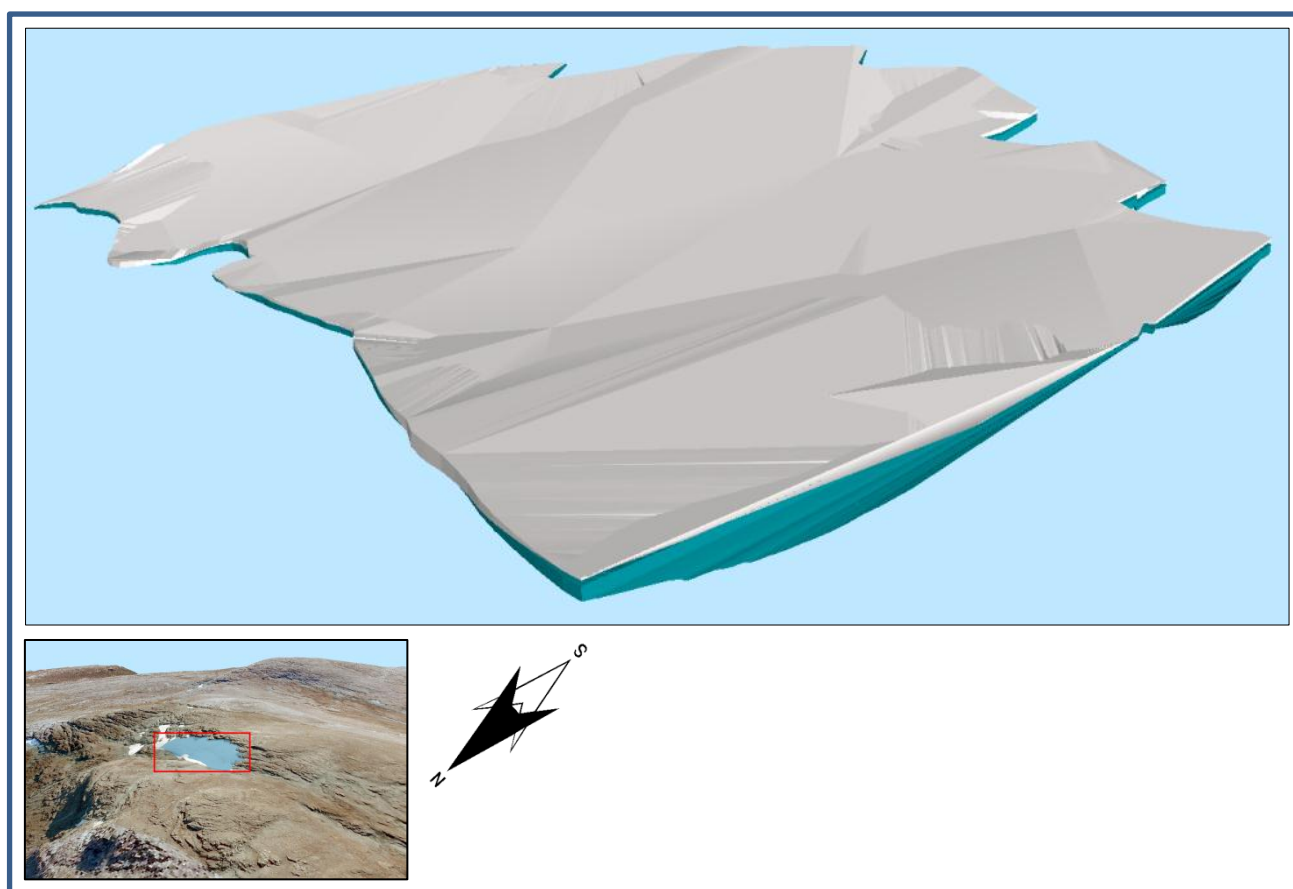
Mye av det samme som sies i det forrige avsnittet gjelder også for 3D-modellen av islaget (figur 34). Den er laget ved å bruke verktøyet "*Extrude Between*", hvor tomrommet mellom Snø-TIN-modellen og TIN-modellen laget ut fra isens bunnreflektorer utgjør den lukkede 3D-modellen. Modellens overflate er også i dette tilfellet preget av "harde elementer", grunnet trianguleringen av modellen. Dens geometriske egenskaper vil jeg se nærmere på i avsnitt 4.5.2 og 4.6.



Figur 34: Den lukkede 3D-modellen av islaget vises i denne figuren. Laget i ArcScene.

4.4.2 Total 3D-modell

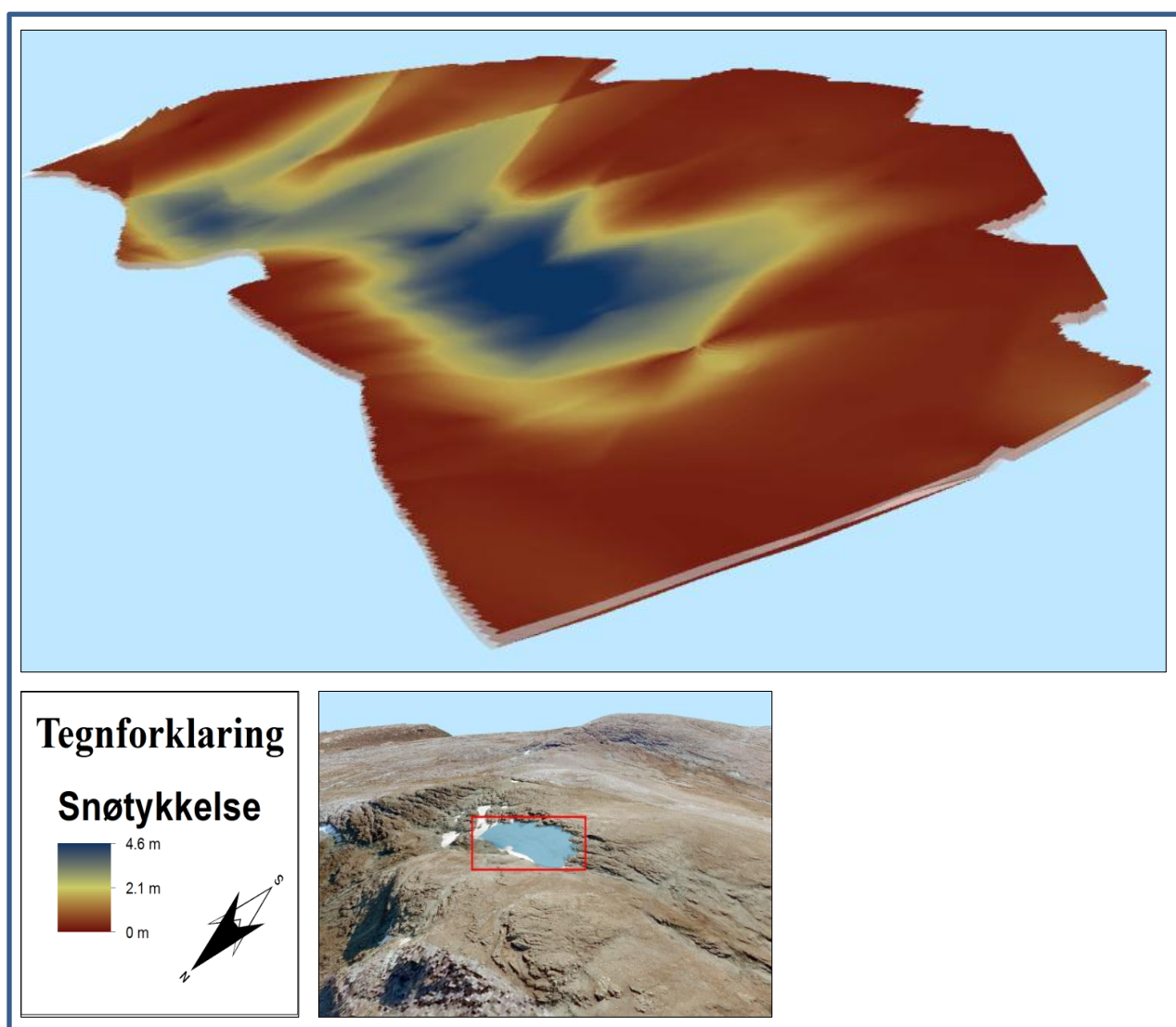
Figur 35 viser 3D-modellen av både snølaget og islaget. Her ser man hvordan begge modellene utarter seg under fonnens overflate. Legg merke til hvordan snølaget og islaget plasseres nøyaktig langs Z-aksen. Dette skyldes bruken av TIN-modellene som "støpeform". Denne modellen kan på mange måter sees på som en generalisering av naturen. Dette på grunn av dens store interpolerte flater. Det er med andre ord de "store" formene som trekkes frem i modellen. Både islaget og snølaget gjenspeiler virkeligheten til en viss grad. GPR-målingene skal være noenlunde presise og det er disse verdiene modellen er bygget på. Dermed kan vi med trygghet stole på modellens fremstilling av fonnens dybdeverdier. Likevel er det viktig å forstå at nøyaktigheten er sterkest langs profilgrensens, og at nøyaktigheten avtar jo lenger bort fra disse grensene man kommer.



Figur 35: Når vi legger sammen multipatchene fra både snø- og islaget er en generalisert 3D-modell av Kringsollfonnens stratigrafi ferdiglaget. Grunnen til at jeg velger betegne den som en generalisert 3D-modell, er at stratigrafien i fonna består av mer enn kun is og snø. Den vil mest sannsynlig inneholde både organsike lag, firn osv. Figuren er laget i ArcScene.

4.5 Snødybde

I og med det ikke er mulig å utføre såkalte "layout-operasjoner" i ArcScene, noe som medfører at man blant annet ikke kan sette inn en målestokk i kartet/modellen, er det vanskelig for leseren av modellen å forstå seg på hvor dype de ulike lagene er. Jeg har derfor laget et interpolert rasterlag for å illustrere dybden av de ulike lagene. Figur 36 viser i dette tilfellet hvordan snødybden er på Kringsollfonna per 01.10.2012. Rasterlaget er laget via en IDW interpoleringsfunksjon og er basert på dybdeverdiene fra GPR-målingen. Laget er så drapert over 3D-modellen, både på oversiden og undersiden. På denne måten kan brukeren av modellen navigere i alle retninger og til enhver tid ha oversikt over dybdeverdiene.

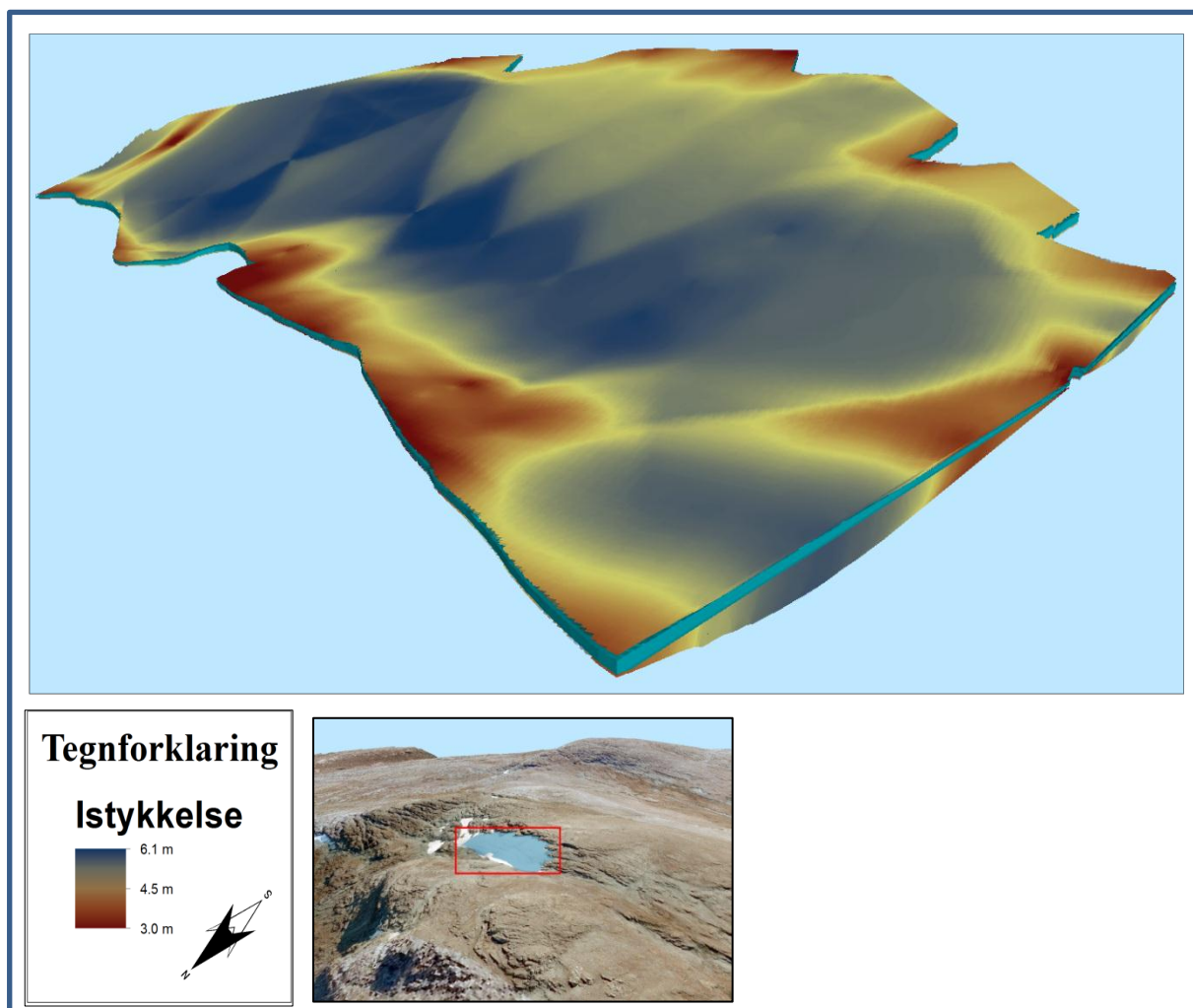


Figur 36: Figuren viser et interpolert rasterlag som inneholder høydeinformasjon som er drapert over 3D-modellen av snølaget. Laget i Arcscene og ArcMap.

Snødybden varierer fra 0 meter i de grunneste områdene, til 4,6 meter i de dypeste. Målingene er gjort nær maksimum ablasjonssesong, slik at snødybden er lav over store deler av fonnen. Man ser også tydelig den romlige fordelingen av snøen. Langs skavlen ca. på midten av fonnen er det tydelig at det er en fremtredende eskalering av snødybden. Dette skyldes blant annet at det i løpet av akkumuleringssesongen akkumuleres så mye snø i dette området, slik at det ikke smelter bort under ablasjonssesongen. Både vindakkumulasjon, fonnens romlige form i topografien og dens romlige orienteringen i topografien kan alle være faktorer for at det nettopp danner seg en slik skavl på fonnen. Ser man i sør-østlig retning på fonnen oppdager man også dype forekomster av snø. Dette tilfellet er nok en feil modellering av naturen og skyldes en kombinasjon av IDW-funksjonens interpolering og hvordan profilene er lokalisert i forhold til denne interpoleringen.

4.5.1 Isdybde

På samme måte som ved snødybde-modellen, laget jeg også et visualiseringsverktøy for isdybden (Figur 37). Her også visualisert med et rasterlag drapert på begge sider av modellen. Den interpolerte dybden på fonnen strekker seg fra < 3 meter i de grunneste områdene til drøye 6 meter i de dypeste målingene. Vi ser også her hvordan den romlige utbredelsen av is samsvarer med fonnens snødybde. De dypeste forekomstene finner vi midt på fonnen og under snøskavlen, noe som i og for seg er logisk da snø akkumulert over en lenger tidsperiode og med trykktilførsel, omformes til is. Den interpolerte overflaten er også preget av feilmodellering av virkeligheten. I likhet med det interpolerte snødybdelaget opptrer feilene i sør-østlig retning av fonnen. Dette skyldes også her at avstanden mellom profil Y6 og Y7 er større enn ved de andre profilene, og dermed øker unøyaktigheten under interpoleringen av områder uten målte verdier.

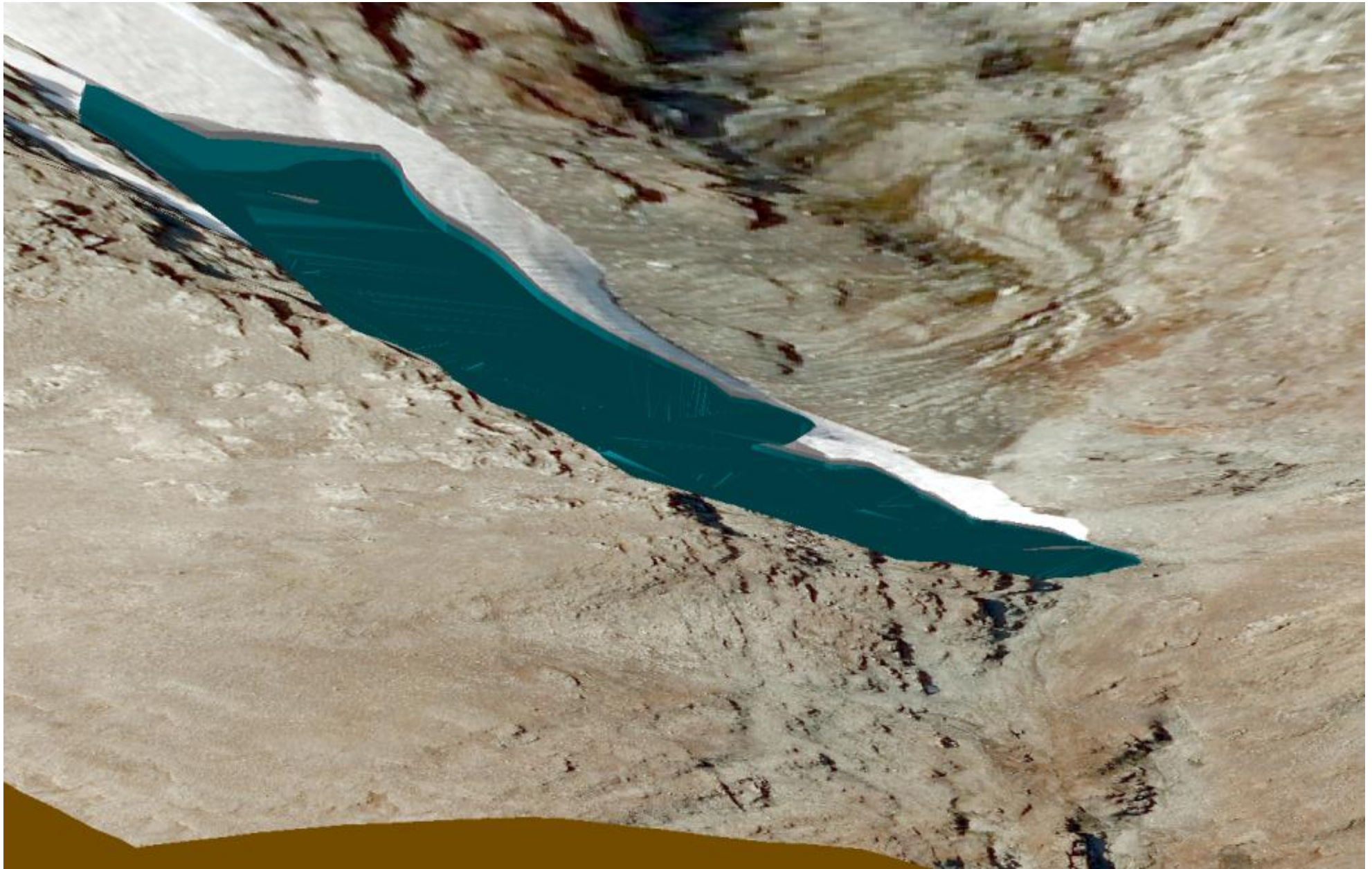


Figur 37: Figuren viser et interpolert rasterlag som inneholder høydeinformasjon som er drapert over 3D-modellen av islaget. Laget i Arcscene og ArcMap.

4.6 3D-modell av Kringsollfonnens stratigrafi

Til slutt i dette kapitlet vises det endelige produktet og hvordan fonnens 3D-modellerte stratigrafi utarter seg på undersiden av fonna. Figur 38 viser både snø- og islagets romlige utbredelse. I denne figuren er det også satt inn et ortofoto av studieområdet som er drapert over overflate-TIN-modellen. Denne figuren viser hvordan TIN-modellen som utgjør overflatetopografien av fonna har korrekte X, Y og Z verdier, slik at den plasseres korrekt i forhold til snø- og islaget. Dette er en indikasjon på at det har vært en suksess å bruke GPS-punktene fra GPR-undersøkelsen som et datagrunnlag for å generere overflatetopografien på fonna. Posisjonen hvor figuren er hentet fra er på undersiden av bakken, slik at vi ser opp på fonna. At man kaller Kringsollfonna en isfonna og ikke en snøfonna, kommer også tydelig fram i modellen, da nærmere 70 % av fonnens volum består av is (se statistikk nedfor). Den ferdige modellen består av to solide 3D-lag; snølaget og islaget. Objektene er visualisert med ESRI's 3D-basic "water" for islaget og "Day white sky 3D" for snølaget. Dette er gjort for å få frem naturlige teksturer på elementene.

En av fordelene med en 3D-modell er dens volumetriske dimensjon. Via scriptet på side 56 (figur 39) (ESRI 2010) har jeg utført en volumkalkulering av både snømassen og ismassen. Det kalkulerte volumet til snømassen er på 48 869 m³, men tatt i betraktning den grove interpoleringen som er gjort kan vi si at volumet er på ca. 50 000 m³. Ser vi på isens volum er den kalkulert gjennom geoprosesseringen til 107 052 m³, denne verdien kan også avrundes til ca. 110 000 m³. Legger vi sammen tallene får vi et totalvolum på 160 000 m³ (avrundet fra geoprosesseringens 154 921 m³) (tabell 3). Disse tallene er på ingen måte en god representasjon av virkeligheten, da kalkuleringen er gjort av store interpolerte overflater. Hensikten med å gjøre denne kalkuleringen er for å vise at dette også enkelt kan gjøres i ESRI's programvare. Kalkuleringen av 3D-elementenes volum åpner mange "dører" for videre analyser ved å kvantifisere naturen. Blant annet ved å se på forandringer av massen over den romlige og temporale skalaen.



Figur 38: Her visualiseres 3D-modellen på undersiden av Kringsollfonnen. Et av problemene ved å visualisere 3D-figurer på papir er at vinklingen på bildet kan gjøre at leseren desorienteres. Både snø og is-modellen er her lokalisert på undersiden av TIN-modellen for topografien, som er igjen drapert med et ortofoto fra området. Figuren er laget i ArcScene.

```
# Mål: Kalkulere volum mellom to TIN-modeller.
```

```
# Generere geoprosesseringsobjekter
```

```
import arcgisscripting
```

```
gp = arcgisscripting.create()
```

```
#Kontrollere 3D Analyst tilleggspakken
```

```
gp.CheckOutExtension ("3D")
```

```
try:
```

```
    # Definere arbeidsmappe
```

```
    gp.workspace = "C:/Skole/SPARC/Horisonger/TIN"
```

```
    # Velge 3D-analyseringsverktøyet
```

```
    gp.toolbox = "3D"
```

```
    # Prosess: Kalkulere volumet mellom to TIN-modeller, basert på et gitt område
```

```
    gp.tindifference_3d("topo_tin", "snow_tin", "tindiff_volume_snow.shp")
```

```
    print "ferdig"
```

```
except:
```

```
    # Hvis feil med scriptet
```

```
    print gp.GetMessages()
```

Snølaget

FID	Shape	Area	Volume
0	Polygon	41 773	47 869

Islaget

FID	Shape *	Area	Volume
0	Polygon	41 773	107 052

Totale volumet

Tot_Volume
154 921

Tabell 3: Attributtabell over de ulike lagenes volumberginger.

Figur 39: Viser hvordan geoprosesseringsverktøyet "tindifference" kan gjøres via et pythonscript.

5. Diskusjon

5.1 Hvorvidt GPR- og GPS-målinger egnes som metode for å generere 3D-modeller

I denne oppgaven er det brukt geofysiske metoder som GPR og GPS for å kartlegge Kringsollfonnens topografi og stratigrafi. For å kunne si noe om hvorvidt disse metodene har vært egnet for å kunne generere 3D-modellen mener jeg det er viktig å fokusere på feilkildene gjennom hele fasen; fra datainnsamlingen til den ferdigstilte 3D-modellen. Teorien som omhandler bruken av GPR virker å være logisk, men hvis vi bryter de ulike parameterne ned på en lavere skala vil vi fort se et potensiale for feilkilder. Menneskelige valg i felt og analyse gir store muligheter for feiltolkning av landskapet. Jeg velger å fremheve GPRens hovedegenskap: analyse av reflektert energi. Dette vil alltid gi rom for en tolkning av landformen som observeres. I mitt tilfelle vil det være snø og is hvor pulsene eller radarbølgens skal penetrere. Det er for så vidt en gitt massetetthet på disse materialene, så den saken burde være overkommelig (Conforti et al. 2005). Grunnen til jeg nevner dette er at den gitte massetettheten på snø og is er bestemt ut fra en kalkulering, men er denne kalkuleringen gjeldende på all type snø og is? Er denne generaliseringen av materialet snø og is universal? For å finne ut av hvilken type antennefrekvens jeg velger å bruke må jeg undersøke; hvor dypt ned skal de elektromagnetiske bølgene penetrere? Hvor høy oppløsning skal det være på resultatet? Dette er meget viktige spørsmål siden ulike frekvens på antennene passer til ulike typer dybde, materiale og oppløsning (Saas & Krautblatter 2007).

5.1.1 Datainnsamlingsfasen

Problemene jeg møtte i felt var mange, og selv om jeg følte jeg hadde laget en god plan for feltarbeidet oppdaget jeg fort at man ikke kan ta høyde for alle hendelser. Klimatiske faktorer som vær og vind, samt skredfare har også vært med på å gjøre både planlegging og utføring av feltarbeidet krevende.

Noen av disse hendelsene kan i enkelte tilfeller føre til unøyaktig datainnsamling, men kan også i ytterste konsekvens føre til at en mengde data blir ubrukelige.

Jeg opplevde blant annet at den skjermede 500MHz GPR-antennen var svært ustabil, og uten modifikasjoner egner ikke denne type antenne seg for arbeid i "bratte" skråninger. GPR-

systemet var stilt inn på opptak basert på avstanden hjulet tilbakela, slik at antennevelt ikke ville medføre feil i datasettet. Hadde derimot triggeringen vært tidsbasert, ville man fått datasett som i større grad måtte etterprosesseres.

Det var også krevende å gå rette profiler i isfonnens homogene landskapet, da man fort kan bli desorientert i dette miljøet. Selv om fonnens dynamikk er av en svært heldig karakter i mange forskningssammenhenger, er det også utfordringer knyttet opp mot denne egenskapen, som for eksempel hvordan dens romlige dimensjoner hurtig forandres fra sesong til sesong. Som vist i kapittel 3.1.1 laget jeg en plan over hvor profilene burde gås, men som tidligere fortalt ble jeg avhengig av å bestemme nye profiler ved ankomst av fonnen. Dette medførte at jeg ikke hadde noen koordinater å gå etter og resultatet ble noe uregelmessige profiler. Dette fikk konsekvenser for interpoleringsfasen under etterarbeidet.

GPSEN ble konfigurert med et samplingsintervall på 5 meter. Sett i ettertid burde denne blitt satt lavere for en økt nøyaktighet mellom punktene, fordi dette hadde gitt et bedre utgangspunkt for interpoleringsarbeidet. Dette problemet kunne blitt eliminert ved å koble GPS med GPR, men grunnet tekniske problemer lot dette seg ikke gjøre. Hadde denne koblingen fungert, ville jeg automatisk ha hatt ett GPS-punkt per GPR-trace og en stor del av etterarbeidet ville bli spart. Det er også knyttet mange feilkilder ved å la GPR-systemet styre GPS-triggeringen for eksempel *Trace interpolation* osv.

5.1.2 Etterprosesseringsfasen

Det er knyttet mange feilkilder opp mot etterprosessering av innsamlet feltdata, fra prosessering i REFLEX til visualisering- og analyseringsarbeidet i ArcGIS. Interpoleringsarbeidet er et område hvor det er stor risiko for feil og feiltolkninger, noe som kan føre til en unøyaktig modellering av naturen.

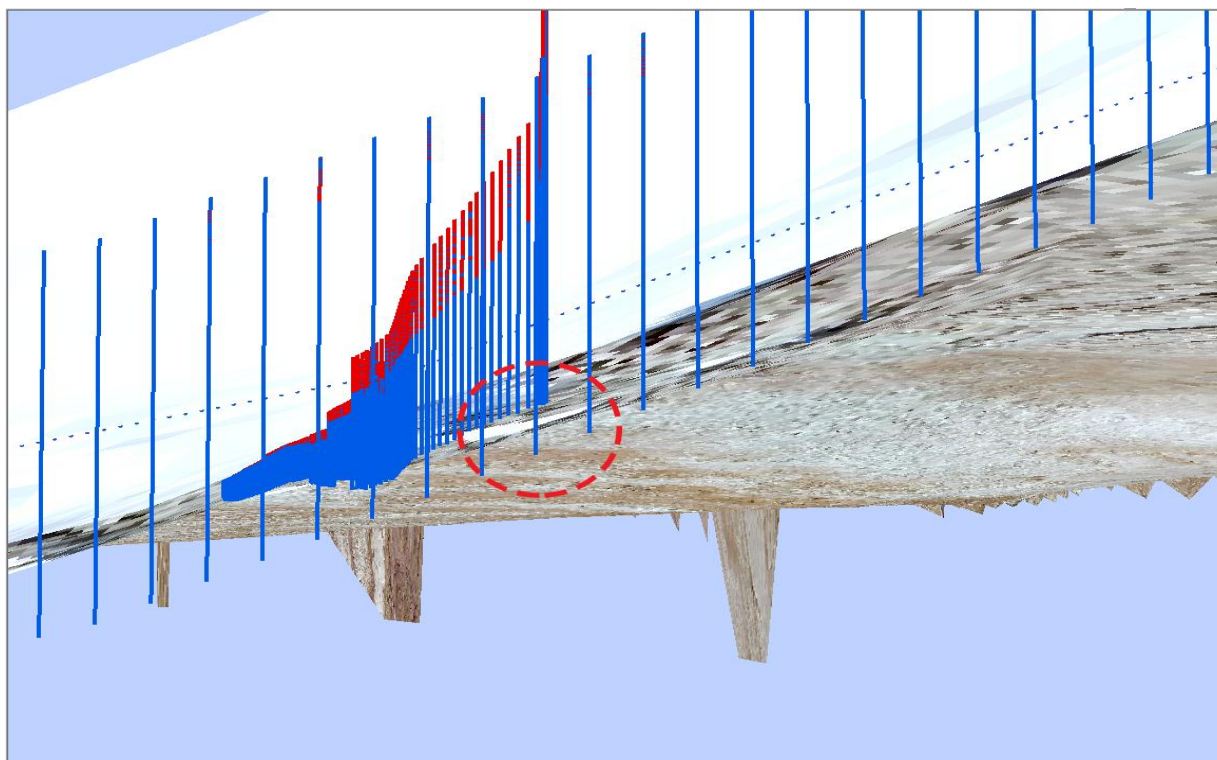
I REFLEX henger feilkildene sammen med de ulike prosesseringsstegene som gjøres. Ofte kan det være feiltolkninger av reflektorer etter at datasettet er utsatt for diverse filtreringer, som utgjør hovedkilden for feil. Det kan også gjøres feil ved utvelgelsen av de ulike reflektorene (*Pick*). Siden denne prosessen ikke er automatisert, er det her rom for tolkningssvikt. Figur 40 er et bilde fra Kringsollfonnen datert 15.09.2003. Vi ser tydelig her hvordan et ukjent materiale har smeltet frem på fonnen. Materialet vi ser på bildet er ikke kjent, men det er nærliggende å tro at det inneholder store deler organisk materiale (Callanan 2012). Slike materialer



Figur 40: Bilder viser et ukjent matereiale som ligger på fonnens overflate, det er nærliggende å tro at dette er organisk materiale. Fotograf er Ingolf Røtvei og bildet er datert 15.09.2003.

kan også være tilstede i fonnen under GPR-undersøkelsen for denne oppgaven. De dielektriske egenskapene til snø, organisk materiale og is er forskjellige og radaren vil da oppfatte et skifte mellom disse lagene. Dermed visualiseres dette som en horisont på radargrammet. Dette kan i verste fall føre til en feiltolkning av stratigrafien. Mest optimalt hadde vært også å kunne utføre en borrehullsundersøkelse, slik at man kan bruke disse resultatene som en kvalitetssikring under tolkningen av radargrammene. Det skal sies at i mitt datasett fremtrådte det svært tydelige reflektorer. Det var få brudd i reflektorlinjen, samt en

gjennomgående god styrke i reflektorene, slik at de lot seg godt skille fra omliggende støy og andre reflektorer. I denne oppgaven klassifiseres fonnens stratigrafi med et snø- og islag. Virkeligheten er mer kompleks, da stratigrafien til fonnen består i tillegg av for eksempel organiske lag, lag av andre løsmasser, interne strukturer i snø- og islaget, firn, osv. Det vil si at oppgavens klassifisering av fonnens stratigrafi er i en generalisert form, men den fokuserer på de mest fremtredende materialene; snø og is. På tross av at mitt datasett lot seg enkelt etterprosessere, var det svært viktig å få satt de valgte reflektorene inn i et X-Y-Z koordinatsystem. Ved å lage "skjelettet" av 3D-modellen (se figur 30 og 40) avdekker man fort feil som er gjort i utvelgelsesprosessen av de ulike reflektorene. I mitt tilfelle oppdaget jeg feil ved nettopp denne kvalitetssikringen. Figur 41 viser hvordan dybden til isreflektoren i lengdeprofilen X-1 ikke stemmer overens med dybdetolkningen i profil Y-5. Jeg var da avhengig av å gå tilbake i REFLEX for å undersøke hvor feilen ligger. I dette tilfellet hadde jeg fulgt feil refleksor under tolkningen av isdybden av profil Y-5. Denne kvalitetssikringen ble utført på alle krysningpunktene mellom profilene og krysningene viser at tolkningene som er gjort i REFLEX stemmer meget godt. Det vil alltid være noen små dybdeforskjeller, da jeg jobber med svært grunne dybdemålinger.



Figur 41: Viser et utsnitt av 3D-modellens "skjelett". Man ser tydelig hvordan tolkningen i REFLEX er gjort feil. Dette er en av fordelene ved å sette GPR-data inn i et GIS, for på den måten å kunne gå tilbake i arbeidsstrømmen å korrigere feilene. Figuren er laget i ArcScene.

Man skal også merke seg prosessen hvor det genereres ASCII rapporter for dybden av de ulike reflektorene. Her legger man inn EM-bølgens hastighet i materialet. Både vanninnhold og ioneinnhold i materialet gjør at EM-bølgens hastighet endres og dermed kan det bli gjort en feilkalkulering av dybden ned til reflektoren. I tillegg er hastigheten til EM-bølgene i snø noe diffust. I følge John M. Reynolds er denne hastigheten et sted mellom 0,194 – 0,252 m/ns (Reynolds 2011). Dette vil si at snølagets dybde kan være noe feilestimert. Igjen må jeg peke på at dette studiet er gjort ved svært grunne dybdeverdier og derfor har ikke denne feilestimeringen like mye å si for denne oppgaven som ved en studie av for eksempel isbreer. Men det er viktig å forstå at data som blir sanket inn, også via avansert utstyr, vil kunne inneholde spor av feilkilder.

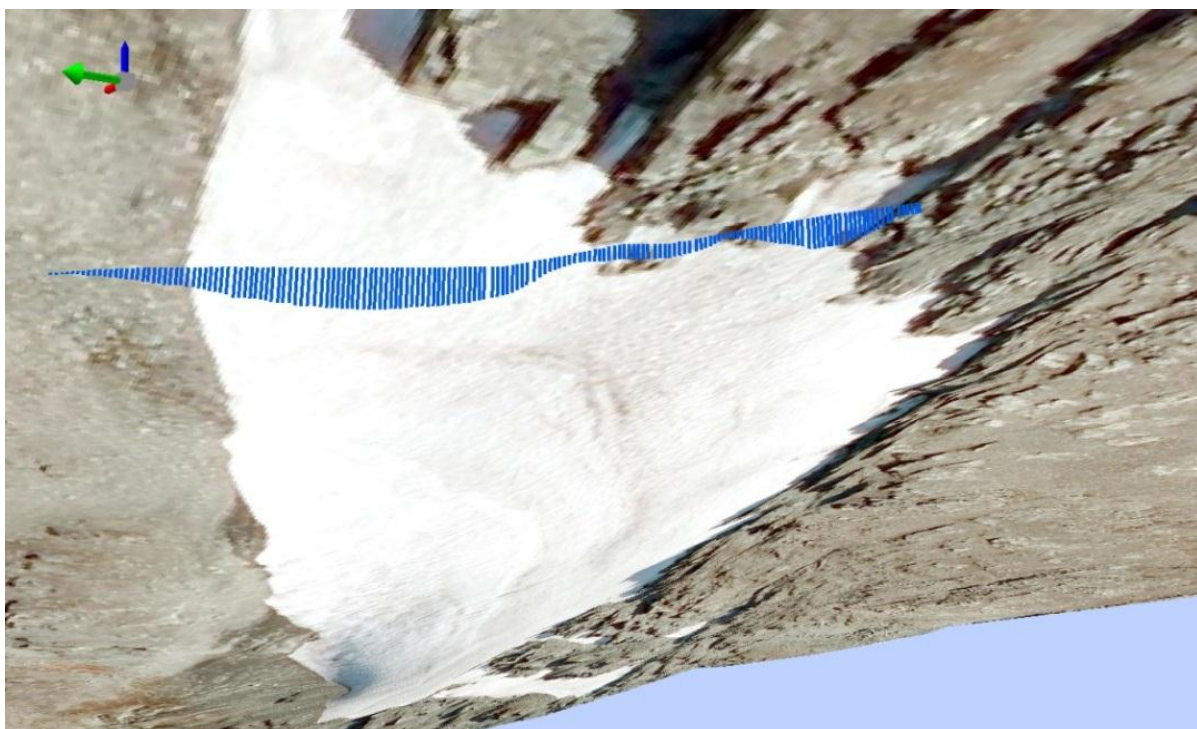
Under etterprosesseringen i ArcMap vil det være flere områder hvor feilkilder kan fremtre. Spesielt når vi snakker om en interpolering av ulik data, bør man være ekstra oppmerksom på ekstremverdier og de områder med en interpolert struktur. Interpoleringsarbeidet i denne oppgaven kan deles inn i tre deler:

1. Interpolering av GPS-punkter

Tidligere i oppgaven tar jeg opp problemstillingen knyttet til manglende korrelasjon mellom GPS-punkter og GPR-trace. Vanligvis blir denne georefereringen gjort i spesialdesignede programvarer som for eksempel VirtualBasic, ObjectMapper o.l. Jeg valgte å gjøre dette i ArcMap både for å minimere arbeidsstrømmen, så langt det lar seg gjøre til ESRI's programvare, men også for å bygge en sammenhengende geoprosesseringsmodell. Ved å gjøre dette i ArcMap, kan det virke tilfeldig hvor de ulike punktene blir plassert. Men her er det viktig å huske på at avstanden mellom hvert GPS-punkt kun er på 5 meter, så ved for eksempel profil Y6 vil det bli laget 26 nye punkter per 5 meter. Det vil altså si $\frac{5}{26} \approx 0,19m$, Noe som tilsier at for hver 19. centimeter blir det lagt til et nytt georeferert punkt.

Hvis vi ser på figuren under (figur 42), ser vi hvor godt de georefererte punktene korrelerer med landskapet. Dette ortofotoet er fra 2010 og viser tydelig at det var mindre snø og is på fonnen. Vi ser en fjellknaus stikke ut ca. midt på profilen og hvis vi sammenligner dybdeverdiene ser vi også at de minker der hvor det nylig var

bart fjell, men øker der hvor avsmeltingen heller ikke hadde nådd i 2010. På den måten kan vi si at georefereringen av punktene og den interpolerte avstanden mellom disse er akseptabel.



Figur 42: Figuren er et eksempel på hvordan vi kan kvalitets sikre tolkningen av GPR-dataen ved hjelp av et GIS og ortofoto. Vi ser tydelig en korrelasjon mellom den tolkede ishorisonten og det omliggende landskapet. Figuren er laget i ArcScene.

2. Interpoleringer mellom profilene i form av TIN-modellering

For å kunne skape en sammenhengende flate (polygon) av punktdata, er interpolering et helt nødvendig verktøy. Interpoleringen som skjer i dette steget vil være i form av en "Delanuary" triangulering. Noe som medfører at nye punkt blir generert, med vektning av verdiene fra både GPR og GPS. Deretter trekkes det linjer som ikke overlapper hverandre fra alle punkter slik at det til sammen utgjør system bestående av triangler. Hver av de nye trianglene får også verdier, basert på GPR- og GPS-dataen. Sammen utgjør disse trianglene den nye overflaten. Dette er en svært anerkjent og veldokumentert metode for å skape sammenhengende overflater

(polygoner) (Longley et al. 2011a). Selv om metoden er god, er det viktig å forstå at når vi interpolerer punktdata gjelder Toblers første lov om geografi: *"All things being equal, everything is related to everything else, but closer things are more related than distant things"* (Kimerling et al. 2009) I mitt tilfelle vil dette gjelde i aller høyeste grad. Hvis vi ser på verdiene lengst fra profilgrensene, kan det forekomme avvik fra "virkeligheten". Uansett om "virkeligheten" avspeiles på en korrekt måte eller ikke, er vi avhengig av å gjøre en form for interpolering.

3. Interpolering av dybdeverdier via IDW-funksjonen

Mye av det samme som sies under TIN-interpoleringen, kan også sies når rasterlaget (se figur 36 og 37) for dybdeverdiene ble generert. Dette laget baseres på en *"Inverse distance weighting"*, det vil si at de interpolerte verdiene er gjennomsnittsverdier av dybdeverdier fra GPS-målingene basert på ulike vektinger (Longley et al. 2011c). Med andre ord gjelder også Toblers første lov om geografi svært godt for denne interpoleringsmetoden. Resultatet er en jevn overflate hvor alle punkt som ligger nær hverandre er mer like hverandre enn punkter som ligger lenger fra. I og med at IDW er et gjennomsnittsverktøy vil den ikke visualisere ekstremverdier, men ut fra GPR-målingene ser man at lagene i isfonnen er svært jevne. Dermed vil IDW være en god interpoleringsmetode for denne hensikten.

5.1.3 Egnethet for å generere 3D-modeller

Denne oppgaven viser at det er gjort gode erfaringer ved å bruke GPR som en metode for innsamling av dybdeverdier, som senere prosesseres til 3D-objekter. Styrken til metoden ligger i hvordan den ikke krever store ressurser for å gjennomføres. Hvis alt går etter planen er det ingen problem å kartlegge store avstander over relativt kort tid, slik at man får høye oppløsninger på resultatet (et godt samplingsregime). I tillegg har oppgaven også vist hvordan GPR-dataene enkelt kan importeres i ArcGIS, for så å geovisualisere dybdeverdiene i form av 3D-objekter. Det er også knyttet feilkilder til metoden, men mange av disse kan begrenses hvis man er klar over de under innsamlingen og etterprosesseringen. Ved å bruke GPR-data sammen med ArcGIS, kan man hele tiden kvalitetssikre tolkningsarbeidet av GPR-rådataen i form av et gjensidig avhengighetsforhold. Jeg tenker da på hvordan man får visualisert den romlige utbredelsen av hvert trace og punktet koblet til denne, samt dens dybdeverdier i ArcGIS, mens REFLEX lar en ikke se hver profil satt i kontekst med den neste. Et eksempel

på dette kan sees i figur 41. Hvis man i tillegg supplerer GPR-dataen med data fra borehullsundersøkelser, vil man ha større kontroll på tolkningen av punktets dybdeverdier og deretter bedre antagelser for at denne tolkningen gjør seg gjeldende over et større område. En slik kombinasjon av metoder vil representere naturen på en tilfredsstillende måte. Det er også viktig å påpeke et av de store problemene med GPR-dataen i denne oppgaven, nemlig hvordan samplingsregimet må være av en høyere oppløsning. Avstanden mellom profilene i denne oppgaven har ført til store flater med interpolering, noe som gjør at naturen blir unøyaktig modellert. Ved å ha fulgt planen som vises i avsnitt 3.1.1 hadde resultatene vært mer nøyaktige.

5.2 Vurdering av ESRI's ArcGIS som et etterprosesseringsverktøy av 3D-data

Gjennom denne oppgaven har jeg vist hvordan GPR- og GPS-data blir til en 3D-modell. Store deler av etterprosesseringsarbeidet er gjort i både ArcMap og ArcScene. Det har hele tiden vært et mål med oppgaven å geovisualisere naturen i 3D så nøyaktig som mulig, og for å få til dette er det mange hensyn som må tas. For å kunne gi et svar på om ESRI's programvare er et godt verktøy for å kunne 3D-modellere elementer under bakkenivå, er det viktig å ha kunnskap om hvilke feilkilder som kan inntreffe. Som jeg har diskutert over, har jeg vist hvor mange av feilkildene ved de ulike stegene i arbeidsstrømmen kan ligge. Det er svært vanskelig å gjøre en nøyaktig gjengivelse av naturen i 3D. Dette fører igjen til at å luke ut alle feilkilder er umulig. Derfor er ikke modellen en 100 % nøyaktig gjengivelse av naturen, men heller et eksempel på hvordan geofysiske data kan etterprosesserer i ESRI's programvare.

En av hovedårsakene til at jeg setter slikt fokus på at oppgaven skal benytte ESRI's ArcGIS er på grunn av programvarens tilgjengelighet. ESRI har i mer enn 30 år vært ledende på utvikling av GIS-programvare, og er markedets klart mest solgte GIS-programvare. Det sier noe om at tilgjengeligheten til denne programvaren er stor. Ut fra litteraturen jeg har lest, er det svært få som bruker nettopp ESRI's programvare til å 3D-modellere geomorfologiske elementer under bakkenivå. De fleste kildene for geovisualisering av elementer under bakkenivå hvor det er brukt ArcGIS, omhandler geologiske fenomener, som for eksempel analyser av stratigrafien (Hansen et al. 2005), skredrisiko (Xie et al. 2003) osv. Hovedtyngden av litteratur som omhandler 3D-modellering av elementer under bakkenivå bruker andre programvarer enn ArcGIS. Det er uklart hvorfor det er slik at svært få bruker ArcGIS som et visualiseringsverktøy av GPR-data. Det kan skyldes at de skreddersydde programmene har et så godt brukergrensesnitt at man føler det blir overflødig å supplementere med ArcGIS. I

tillegg tilbyr produsentene av de ulike geofysiske enhetene ofte sine egne programvarer og legger ved dette (ofte som en demovare) i bestillingen, slik at brukeren blir "tvunget" til å benytte seg av deres programvare. Dette kan være uheldig, da flere programvarer på markedet fører til flere funksjoner å forholde seg til. Dermed spres spesialiseringen over flere programvarer og kunnskapsutveksling kan bli vanskeligere.

5.2.1 Viktigheten av å 3D-modellere naturen

Denne oppgaven har ikke greid ut om de geomorfologiske aspektene ved fonnen, den har heller fokusert på bearbeiding og geovisualisering av 3D-data, men ser vi på figur 38, kommer det tydelig frem at en slik modell kan brukes i flere geomorfologiske sammenhenger. Jeg tenker da på hvordan den kan være med på å underbygge hypoteser om fonnens massebalanse, klimatiske problemstillinger, osv. Med gjentatte målinger og modelleringer av fonnen over tid vil dette være et kraftig verktøy og visualiseringsmiddel for å undersøke fonnens dynamiske oppførsel. ArcGIS lar deg også bruke en såkalt "*Time Slider*" funksjon, hvor man enkelt kan visualisere temporale data.(ESRI 2012a) Ved blant annet å stille spørsmål som; Hvor på fonnen finner vi den største pålagringen av materiale? Hvor på fonnen smelter det mest? Hva blir så den netto balansen over et gitt tidsperspektiv? Det hadde også vært interessant med målinger og modelleringer ved ablasjonsmaksimum og akkumulasjonsmaksimum, for på den måten å kunne si noe om hvor på fonnen smelting og pålagring finner sted. Videre kan man bruke disse dataene til for eksempel å si noe om effekten av et varmere klima. Alle disse spørsmålene kan man ved hjelp av en 3D-modellert natur besvare. Ved å visualisere naturen via en 3D-modell, har man et sterkt visuelt verktøy hvor brukeren kan utforske "alle" vinkler av elementet og man kan legge til- og fjerne ulike-lag. På den måten bidrar 3D-modellen til en grundig undersøkelse av elementet og den kan gi et dypere innblikk i hvordan geografiske data utspiller seg over den temporale og romlige skalaen.

5.2.2 Fordeler ved å bruke ESRI's programvare

Denne oppgaven viser at det er mange fordeler ved å gjøre geovisualiseringsarbeidet i ArcMap og ArcScene. Vi ser blant annet av prosesseringsstegene hvor enkelt de ulike verktøyene lar seg utføre. Ettersom GPR- og GPS-data inneholder X-, Y-, og Z-verdier, er dataene kompatible med ArcMap, og kan enkelt brukes i en videre analyse. Fordeler er det også ved å forholde seg til et overordnet system (ArcGIS), hvor resultatfilen etter prosesseringer man gjør i ett program (for eksempel ArcMap) kan leses i flere andre

programmer (ArcScene, ArcGlobe ol.), uten at man trenger å bekymre seg over konverteringsprogrammer. Det er også en fordel å kunne bruke automatiserte geoprosesseringer som "*ModelBuilder*" og "*Python programmering*". Med disse prosesseringsverktøyene kan man effektivisere arbeidet i stor grad, spesielt hvis man har en gjentakende arbeidsprosess.

5.2.3 Utfordringer ved å bruke ESRI's programvare

Den største utfordringen knyttet til å konstruere en 3D modell av et objekt er knyttet til at en interpolering alltid er nødvendig for områder hvor det ikke er utført noen form for undersøkelser. Dette er ikke en problemstilling som kun gjelder for ESRI's programvare, men en utfordring for alle som forsøker å lage data av ukjente verdier. Fotavtrykket av GPR-målingene er også et tema som bør drøftes når vi snakker om interpolasjonsproblematikk. Med fotavtrykk mener jeg EM-bølgens romlige utbredelse nedover i underlaget, som vist i figur 9. Den detekterbare horisonten til hvert trace vil ikke bare bestå av data målt direkte under det oppmålte punktet, men den vil også bestå av refleksjoner fra horisonter i umiddelbar nærhet av EM-bølgens utgangspunkt. Hvor stor denne spredningen langs X- og Y-aksen er, styres av materialets relative permittivitet. På den måten vil rådataen i utgangspunktet være interpolert før den prosesseres, noe som gjør at det ikke i prinsippet alltid er mulig å samle data med høy romlig oppløsning. I tillegg til interpoleringsutfordringer er det en svakhet at ArcScene ikke har et såkalt "*Layout-system*", både for å sette inn tegnforklaring til kartene du lager, men også å kunne benytte målestokkfunksjonen⁶. En konsekvens av dette er at alt av design ikke kan gjøres i hvert respektive program, men hvor 3D-modellene ferdigstilles i ArcScene for så å importeres til ArcMap, der utformingen gjøres. Det ville også vært en styrke å kunne lage 3D-teksturer i ArcScene på lik linje med hvordan man kan teksturere 3D-elementer i for eksempel Google Sketchup, hvor man på den måten kan visualisere 3D-elementene med editerte teksturer. En annen utfordring ligger i hvordan resultatet presenteres på papir. Det er vanskelig å projisere et 3D-objekt på et flatt ark, dette medfører at leseren kan bli desorientert og kan misoppfatte figurens budskap. Det er ingen tvil om at den beste måten å studere en 3D-modell er via en interaktiv plattform, hvor leseren manuelt kan navigere rundt selve modellen.

⁶ Målestokken ville variert etter hvordan man roterer synsvinkelen, slik at en tradisjonell målestokk ville vært ubrukelig. Muligheter for å sette inn en dynamisk målestokk ville vært en stor forbedring.

5.3 3D-modellering av andre geomorfologiske elementer

Denne oppgaven viser hvordan glasiale elementer i naturen kan 3D-modelleres ved å benytte GPR- og GPS-data. Oppgaven viser hvor godt egnet disse metodene er til å lage en fremstilling av hvordan situasjonen er under bakkenivået, samt visualisere dette i 3D. Selv om denne oppgaven fokuserer på glasialt materiale, vil det være fullt mulig å lage liknende modeller av andre geomorfologiske objekter. I og med dette er en oppgave som tar for seg metodiske aspekter ved GPR og hvor godt resultatene lar seg analysere i ArcGIS, er det ikke avgjørende at mitt forskningsobjekt er av glisial karakter, men som nevnt tidligere har jeg valgt å gjøre undersøkelser på Kringsollfonna, både på grunn forskingsprosjektet SPARC sin deltagelse, samt fonnens dynamiske egenskaper.

Ved å følge den samme arbeidsprosessen som er gjort i denne oppgaven kan man avdekke geografiske data av X-, Y- og Z-karakter. Siden GPR også lett kan penetrere andre typer geomorfologisk materiale, da det er antennen som i det store bildet styrer radarens rekkevidde, vil dette være en svært god metode for å innhente data om elementer under bakkenivået. I geologiske sammenhenger ville en slik 3D-modell være viktig for å si noe om underlagets egenskaper, for så å kunne for eksempel si noe om stabiliteten til en skråning, kartlegge ulike naturressurser osv. Arbeidsstrømmen som er vist i oppgaven viser hvordan feltmetodene brukes til å samle inn geografisk data, og hvordan de i bunn og grunn består av X-, Y- og Z-verdier. Dette sier noe om at en undersøkelse utført på et annet geomorfologisk objekt også hadde resultert i en 3D-modell ved å bruke den samme arbeidsprosessen som i denne oppgaven.

6. Oppsummering og konklusjon

Sensommeren 2012 ble det gjort GPR- og RTK GPS-målinger på Kringsollfonnen. Hensikten ved å utføre disse målingene var å kunne geoprosessere dataen i ESRI's geografiske informasjonssystem, for så å kunne fremstille 3D-modeller av fonnens is- og snølag. Oppgaven viser hvordan arbeidsstrømmen har utviklet seg fra data sanket i naturen, via ulike geoprosesseringer og til det endelige produktet; fonnens stratigrafi visualisert i 3D. Det er ikke lagt vekt på annen stratigrafi enn snø og is i denne oppgaven. Arbeidsstrømmen som er vist i oppgaven gir et innblikk i hvordan de geofysiske undersøkelsene utføres i felt, samt etterprosesseringsarbeidet av datafangsten. Arbeidsprosessen kan deles inn i tre deler og basert på resultatene i oppgaven trekker jeg frem følgende konklusjoner:

1. Sanking av data ved hjelp av GPR og RTK GPS

En skjermet 500 MHz-antenne er godt egnet for relativt grunne (< 15 meter) undersøkelser i et materiale av glasial karakter. Radargrammene etter undersøkelsen viser et tydelig skifte i de dielektriske egenskapene mellom snø og is, noe som gjør at radargrammene er forholdsvis enkle å tolke.

Det har vært viktig å gå en lengdeprofil slik at alle tverprofilene får et krysningspunkt. Disse krysningspunktene er helt avgjørende for å kunne kvalitetssikre tolkningene av radargrammene.

2. Geoprosessering av data sanket i felt

Ved å bruke Excel som en mellomlagringsstasjon for GPR-dataen vil man hele tiden ha god oversikt over profilenes romlige utstrekning, samt at man åpner for et geoprosesseringsarbeid i ESRI's GIS ved å tilgjengeliggjøre GPR-dataen som *.xls-filer.

Gjennom å bruke ArcMaps sortiment av ulike geoprosesseringsverktøy, har det blitt vist at en etterprosessering av GPR- og GPS-data fungerer svært godt.

3. Visualisering av resultater

Resultatene i oppgaven presenteres i ArcScene og viser fonnens is- og snølag som en 3D-modell. Man kan se av 3D-modellen at de ulike lagenes posisjonering er

kontrollert av dens tilhørende TIN-modell. Derfor kan man på mange måter si at nøkkelen gjennom oppgavens arbeidsstrøm har vært å konstruere TIN-modeller av GPR- og GPS-dataen. TIN-modellene fungerer som "støpeformer" for selve 3D-modellene og det er TIN-modellene som avgjør 3D-modellens egenskaper.

Ved å generere 3D-modeller av slike objekter er det flere essensielle egenskaper ved objektet som avdekkes. Både romlige orientering, interne strukturer og dens volum visualiseres godt i de endelige 3D-modellene. Brukere av modellen har en helt unik mulighet til å navigere seg rundt i rommet for så å rette søkelyset mot enkelte elementer ved studieobjektet. Brukeren kan "skrelle" av andre lag og dermed kun sitte igjen med enkeltelementer, som igjen kan avdekke vanskelig tilgjengelig informasjon om objektet.

"Layout"-verktøyene i ArcScene er ikke optimalt for en informativ visualisering av lagenes dybdeverdier, da det ikke rom for å sette inn verken målestokk eller tegnforklaring i denne programvaren. Det er derimot en smal sak å gjøre alt av analysearbeid med tilhørende informative elementer i ArcMap for så å koble disse elementene med arbeid gjort i ArcScene.

Oppgaven har drøftet hvorvidt GPR- og GPS-data fungerer som en metode for å få et dypere innblikk i naturens kompleksitet ved å generere 3D-modeller av isfonnens stratigrafi. Gjennomgående for oppgaven er at den vil rette et fokus på egnethetsgraden av å bruke ESRI's geografiske informasjonssystem i geoprosesseringsfasen. Oppgaven viser at data med georefererte x-, y-, og z-koordinater er godt egnet for å etterprosesseres i ArcMap, for så å visualiseres i ArcScene. 3D-modellen avslører at Kringsollfonnens snølag har et volum estimert til ca. 50 000 m³ og en vertikal utbredelse fra 0 til 4.6 meter. Islaget's volumberegner er estimert til ca. 110 000 m³ med en vertikal utbredelse fra 0 til 6.1 meter.

Selv om metoden er godt egnet til etterprosessering i ESRI's programvare, viser også resultatene i oppgaven at en nøyaktig gjengivelse av naturen ikke er oppnådd. Med det menes hvordan metoden er avhengig av å gjøre interpolasjoner av områder som ikke er kartlagt. Både punktdata fra GPS og dybdeverdier mellom GPR-profilene har blitt utsatt for interpolasjoner av relativt store områder. Denne interpolasjonen forårsaker at blant annet volumberegninger av fonnens 3D-lag ikke er nøyaktige. Ifølge teorien vil man som regel være sterkt avhengig av å utføre ulike former for interpolasjoner ved modellering av naturen, slik at

denne problemstillingen ikke er et unntak for denne oppgaven. Til oppgavens forsvar er undersøkelsen utført på et svært heterogent materiale, med relativt jevne horisonter. Oppgavens hensikt er heller ikke å lage en svært nøyaktig fremstilling av fonnens stratigrafi. Derimot forsøker den å gi et forslag til hvordan geofysiske metoder kan settes i et GIS, hvor visualiseringen resulterer i en 3D-modell. All data med slike georefererte attributter kan visualiseres i 3D, dermed kan også andre geomorfologiske objekter prosesseres gjennom den samme arbeidsstrømmen. På den måten er det fullt mulig å generere 3D-modeller av andre geomorfologiske objekter, så lenge dataens attributter inneholder georefererte x-, y-, og z-verdier.

Etterord

Videreutvikling av moderne og avansert utstyr som gjør oss i stand til å forstå mer av naturens kompleksitet er et viktig bidrag til den moderne forskningen. Vi utvikler stadig nye metoder og setter vår lit til disse. Alt tyder på at 3D-modellering og analyser gjort i 3D vil få viktigere roller i fremtiden. Allerede i dag ser vi en økende interesse for 3D, noe som kan skyldes både at de er enklere å lage, det er mer og billigere utstyr tilgjengelig på markedet og vi har teknologier som åpner for en stadig videreutvikling og nyskapning innen 3D-visualisering.

Som Stephan Harrison forklarer er landskapet eller naturen et mye mer avansert system enn antatt av de tidlige positivistene (Harrison 2005). Vi vet nå at naturen er uendelig kompleks og er denne kompleksiteten med på å svekke den geomorfologiske vitenskapen? Kan vi noen gang oppnå den "ultimate sannhet"? Alternativet vil være en empiribasert vitenskap, en positivistisk tilnærming hvor metoden står i kontrast til observasjonene.

I mange år har naturvitenskapen og samfunnsvitenskapen lent seg til bruken av kvalitative og kvantitative metoder for utprøving og resultatsanking av ulike forskningsobjekter. Hvordan har denne metodifiseringen vært med på å forme tankesettet vi i dag har til vitenskapens fortrolighet? Har denne utviklingen vært med på å forme en slags "ukritisk" holdning blant forskere hvor vitenskapen er tungt indoktrinert i en positivistisk tilnærming, der vitenskapen ene og alene bestemmes etter forskernes empiriske egenskaper i forhold til metode (Brown 1996)? Eller er metodene et virkemiddel som hele tiden er under utvikling og hvor nøyaktighetskravene eskalerer lineært med tiden? En tilnærmet postpositivistisk doktrine hvor metode og vitenskap er sterkt flettet sammen og hvor metoden er med på å føre vitenskapen i "riktig" retning (Brown 1996)

Litteraturliste

- Annan, A. (1992). Ground penetrating radar workshop notes. *Sensors and Software Inc., Mississauga*.
- Annan, A. & Cosway, S. (1992). *Ground penetrating radar survey design*. AGEEP, Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems. 329-352 s.
- Annan, A. P. (2002). GPR—History, Trends, and Future Developments. *Subsurface Sensing Technologies and Applications*, 3 (4): 253-270.
- Annan, A. P. (2009). Chapter 1 - Electromagnetic Principles of Ground Penetrating Radar. I: Harry, M. J. (red.) *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*, s. 1-40. Amsterdam: Elsevier.
- Brimicombe, A. (2010). *GIS, environmental modeling and engineering*: CRC Press.
- Brown, H. I. (1996). 1 The Methodological Roles of Theory in Science. *The Scientific Nature of Geomorfology: Proceedings of the 27th Bringhamton Symposium in Geomorphology. held 27-29 September 1996, Chichester*.
- Callanan, M. (2012). Central Norwegian Snow Patch Archaeology: Patterns Past and Present. *Arctic* 65:1.: 179-189.
- Chapman, H., Adcock, J. & Gater, J. (2009). An approach to mapping buried prehistoric palaeosols of the Atlantic seaboard in Northwest Europe using GPR, geoarchaeology and GIS and the implications for heritage management. *Journal of Archaeological Science*, 36 (10): 2308-2313.
- Conforti, D., Deline, P., Mortara, G. & Tamburini, A. (2005). *Terrestrial scanning lidar technology applied to study the evolution of the ice-contact Miage lake (Mont Blanc, Italy)*.
- Congedo, F., Monti, G. & Tarricone, L. (2010). *Modified bowtie antenna for GPR applications*. Ground Penetrating Radar (GPR), 2010 13th International Conference on: IEEE. 1-5 s.

Daniels, D. J. (2005). Ground Penetrating Radar. I: *Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*: John Wiley & Sons, Inc.

Davis, J. L. & Annan, A. P. (1989). Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37 (5): 531-551.

ESRI. (2010). TIN Difference (3D Analyst). Tilgjengelig fra: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=TIN_Difference_%283D_Analyst%29 (lest 12.03.2013).

ESRI. (2011a). How IDW works. Tilgjengelig fra: http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/How_IDW_works/009z00000075000000/ (lest 19.04.2013).

ESRI. (2011b). Interpolate Shape (3D Analyst). Tilgjengelig fra: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/00q90000006m000000> (lest 19.04.2013).

ESRI. (2012a). About visualizing temporal data. Tilgjengelig fra: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/005z0000000n000000> (lest 08.04.2013).

ESRI. (2012b). Add XY Coordinates (Data Management). Tilgjengelig fra: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/001700000032000000> (lest 19.04.2013).

ESRI. (2012c). Multipatches. Tilgjengelig fra: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/00q8000000mv000000> (lest 19.04.2013).

ESRI. (2013). Creating 3D Data Using ArcGIS 10. Tilgjengelig fra: http://training.esri.com/Courses/3DCreatingData10_0/player.cfm?c=334 (lest 19.04.2013).

Galina Ragulina, Kjetil Melvold & Saloranta, T. (2011). *GPR-measurements of snow distribution on Hardangervidda mountain plateau in 2008-2011*. Directorate, N. W. R. a. E. Oslo: Norwegian Water Resources and Energy Directorate.

GPR-SLICE. (2010). GPR-Slice & GPRSIM. Tilgjengelig fra: <http://www.gpr-survey.com/> (lest 28.04.2013).

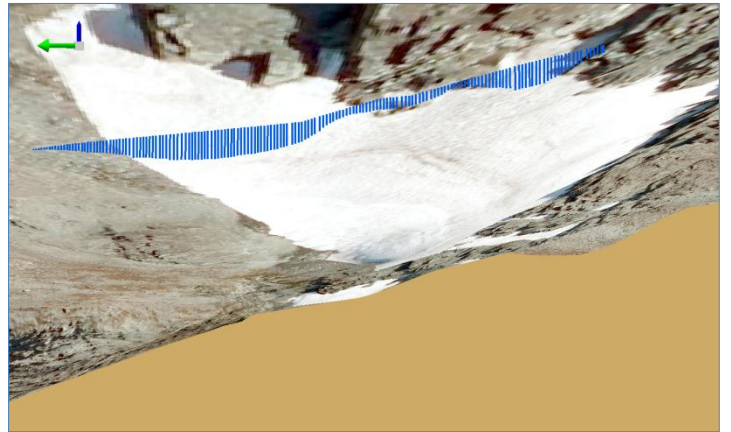
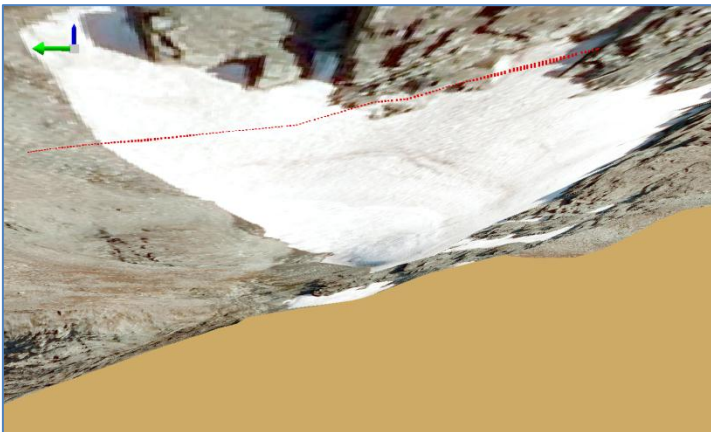
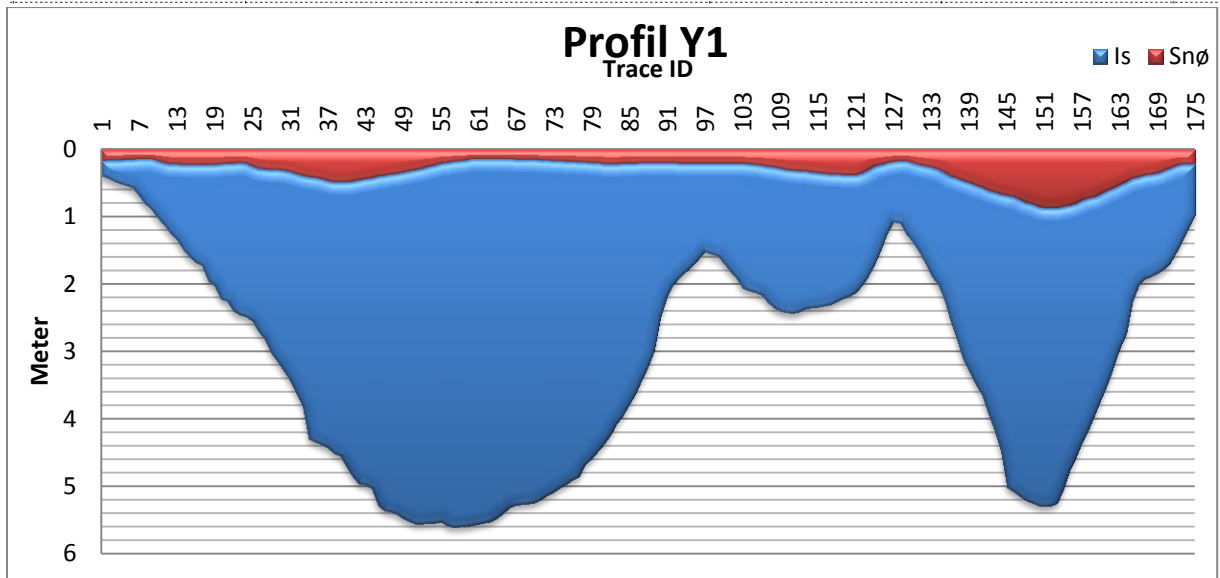
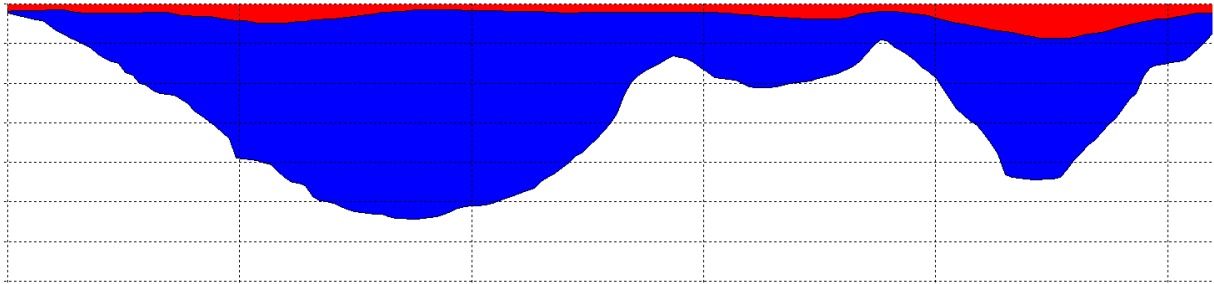
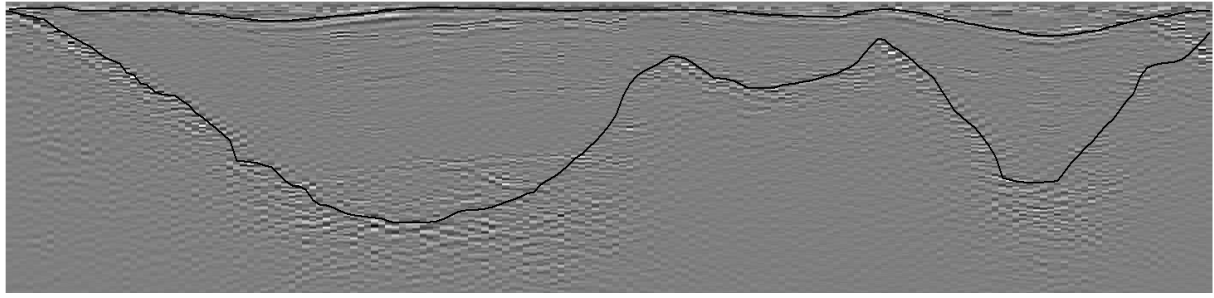
- GSSI. (2012). Geophysical Survey Systems, Inc. Tilgjengelig fra:
<http://www.geophysical.com/software.htm> (lest 28.04.2013).
- Hansen, L., Muring, E. & Lauritsen, T. (2005). 3D visualisering av geologiske data, et metodestudium med eksempler fra Gaupne i Sogn og Fjordane og Målselvdalen i Troms. Trondheim, : NGU.
- Harrison, S. (2005). What kind of science is physical geography? I: Castree, N., Rogers, A. & Sherman, D. (red.) *Questioning geography: fundamental debates*, s. XIII, 314 s. Malden, Mass.: Blackwell.
- Heywood, I., Cornelius, S. & Carver, S. (2010). *An Introduction To Geographical Information Systems*. 3. utg. England: Pearson Education India.
- Karimi, H. A. & Akinci, B. (2010). *CAD and GIS integration*. USA: Auerbach Publications.
- Kimerling, A. J., Buckley, A. R., Muehrcke, P. C. & Muehrcke, J. O. (2009). *Map Use: Reading and Analysis*. California: Esri Press. 528 s.
- LEACH, P. A. (2009). Ground-penetrating radar characterization of graves and the correlation of geophysical signatures, sediment type, and age of interment.
- Lie, O., Dahl, S. O. & Nesje, A. (2003). Theoretical equilibrium-line altitudes and glacier buildup sensitivity in southern Norway based on meteorological data in a geographical information system. *Holocene*, 13 (3): 373-380.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. & Rhind, D. W. (2011a). Geographic Data Modeling. I: *Geographic information systems and science*. USA: John Wiley & Sons Inc.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. & Rhind, D. W. (2011b). Representing Geography. I: *Geographic information systems and science*. USA: John Wiley & Sons Inc.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. & Rhind, D. W. (2011c). Spatial Data Analysis. I: *Geographic information systems and science*: John Wiley & Sons Inc.
- Malå, G. (2011a). MALÅ XV Monitor Manual v1.5.
- Malå, G. (2011b). ProEx - Professional Explorer Control Unit, Operating Manual v. 2.0.

- Mauring, E., Koziel, J., Lauritsen, T., Rønning, S. J. & Tønnesen, J. F. (1995). Måling med georadar: teori, anvendelse, teknikker og eksempler på oppatk. Trondheim, : NGU.
- Meulendyk, T. (2010). *Morphology and development of ice patches in NWT, Canada*. Calgary, Alberta: University of Calgary, Department of geography.
- Nishioka, Y., Maeshima, O., Uno, T. & Adachi, S. (1999). FDTD analysis of resistor-loaded bow-tie antennas covered with ferrite-coated conducting cavity for subsurface radar. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 47 (6): 970-977.
- NJGWS, D. o. E. P. G. a. W. S. (2013). Electromagnetic Methods (EM). Tilgjengelig fra: <http://www.state.nj.us/dep/njgs/geophys/gpr.gif> (lest 28.04.2013).
- Norgebilder. (2010). *Ortofoto Kringsoll*.
- Reynolds, J. M. (2011). Chapter 12. Ground penetrating radar. I: *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, s. 1 online resource (1723 s.). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Saas, O. & Krautblatter, M. (2007). Debris flow-dominated and rockfall-dominated talus slopes: Genetic models derived from GPR measurements. *Geomorphology*, 86 (1-2): 176-192.
- Sandmeier, K. J. (2011). REFLEXW. 6.0.
- Sensoft. (2012). Sensors and Software. Tilgjengelig fra: <http://www.sensoft.ca/> (lest 28.04.2013).
- SEOS. (2012). Remote Sensing and GIS in Agriculture. (lest 29.04.2013).
- Shekhar, S. & Xiong, H. (2008). *Encyclopedia of GIS*: Springer Verlag.
- Tischler, M., Collins, M. E. & Grunwald, S. (2002). *Integration of ground-penetrating radar data, global positioning systems, and geographic information systems to create three-dimensional soil models*. Proceedings of SPIE. 313 s.
- Villa, F., Tamburini, A., Deamicis, M., Sironi, S., Maggi, V. & Rossi, G. (2008). Volume decrease of Rutor Glacier (Western Italian Alps) since Little Ice Age: a quantitative approach combining GPR, GPS and cartography. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 31: 63-70.

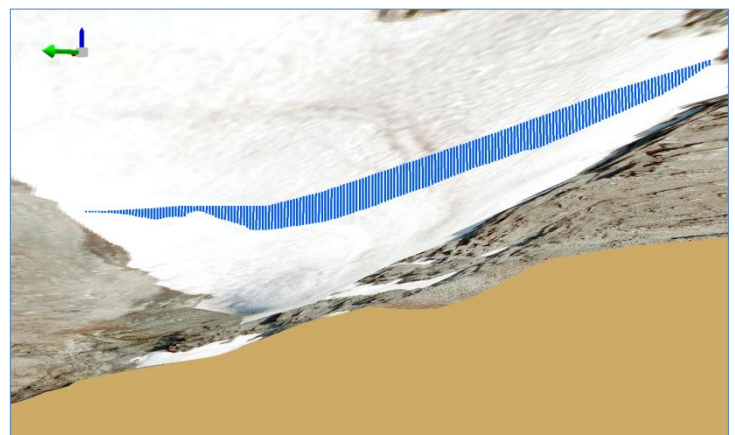
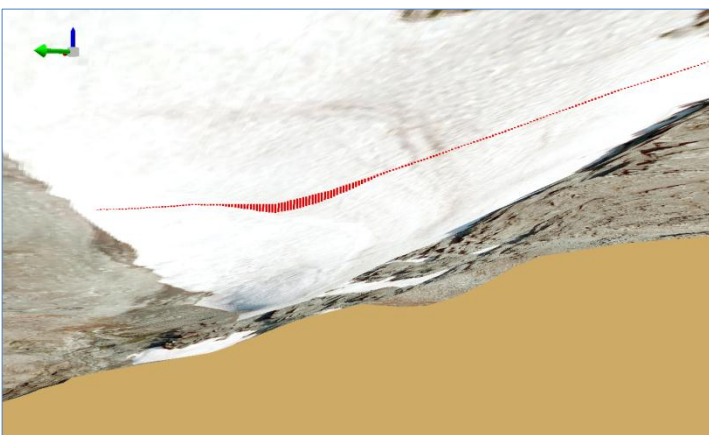
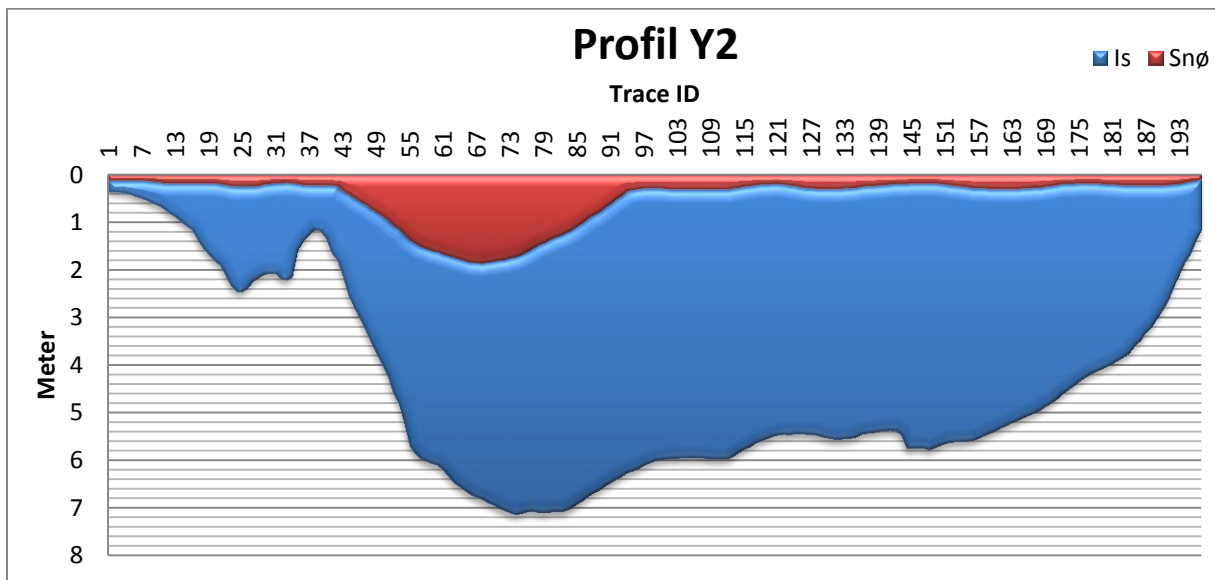
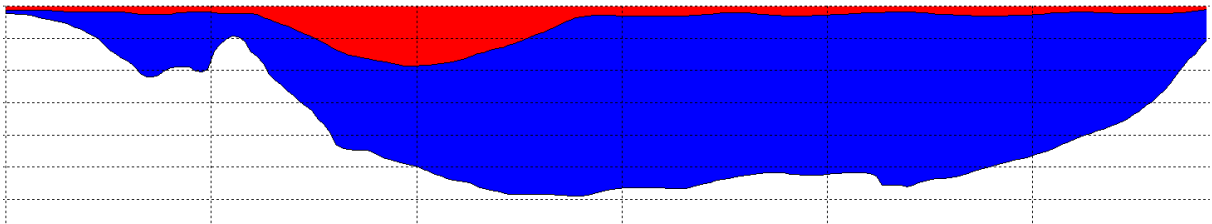
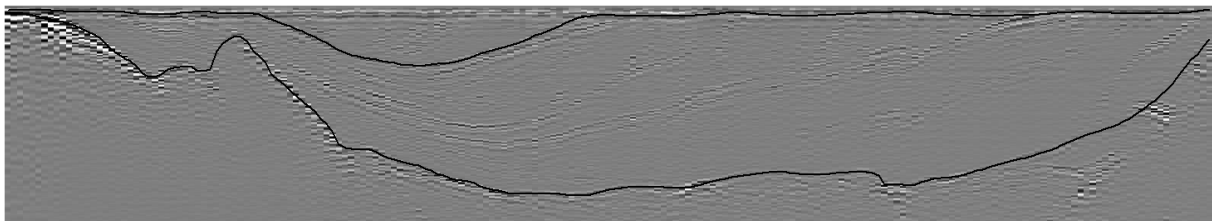
Xie, M., Esaki, T., Zhou, G. & Mitani, Y. (2003). Geographic Information Systems-Based Three-Dimensional Critical Slope Stability Analysis and Landslide Hazard Assessment. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129 (12): 1109-1118.

Appendiks

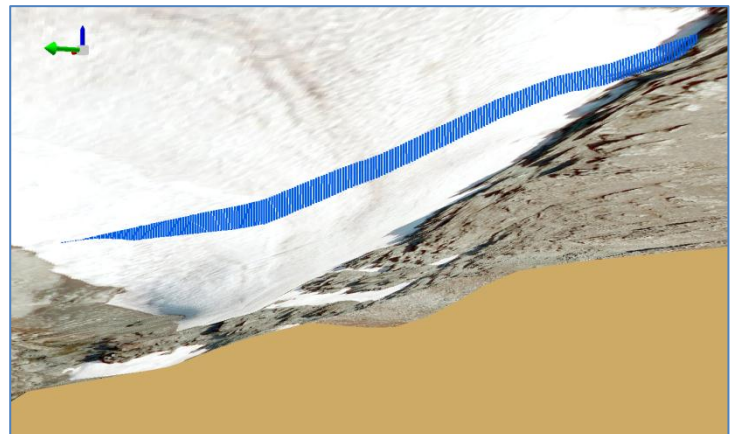
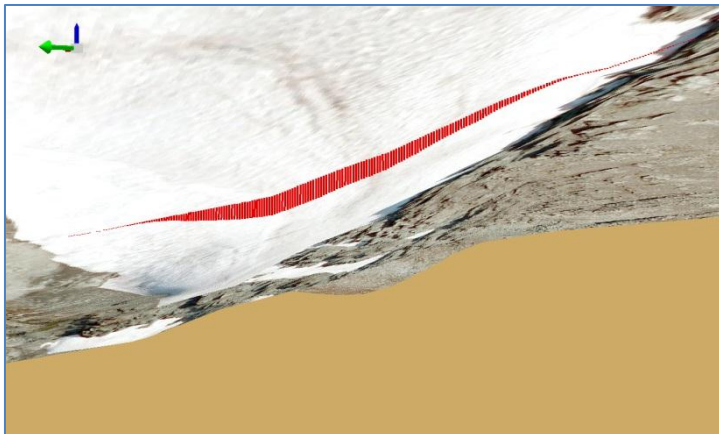
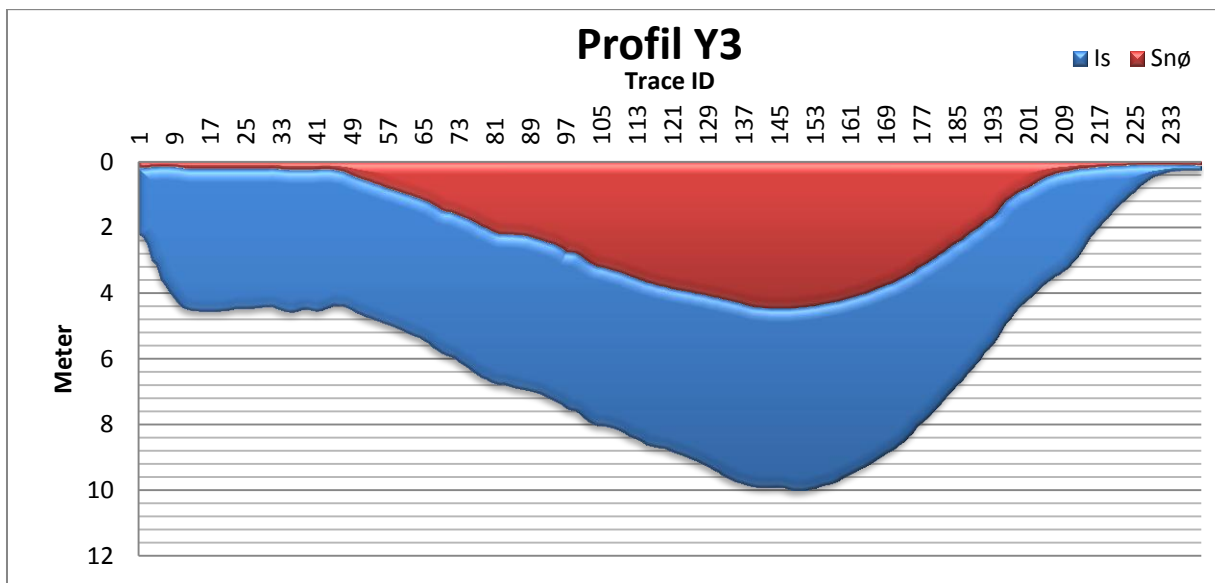
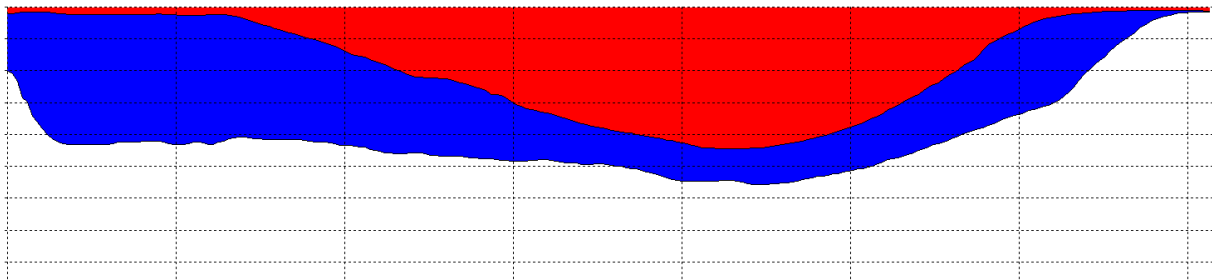
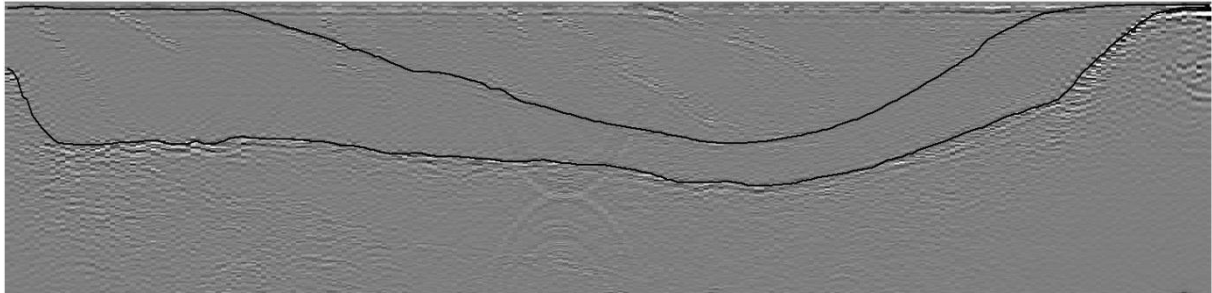
Profil: Y1



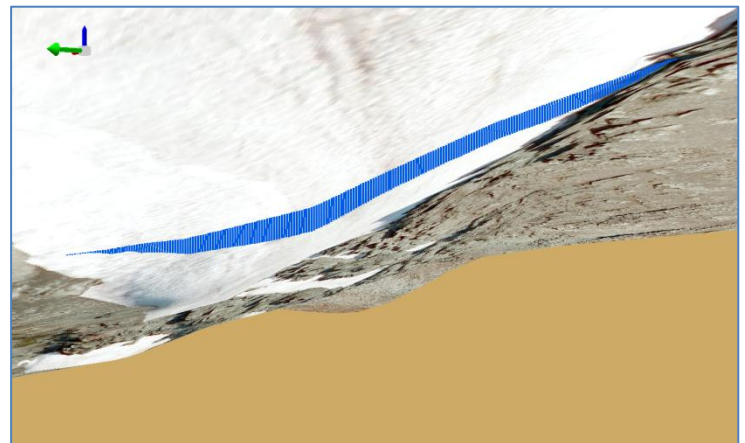
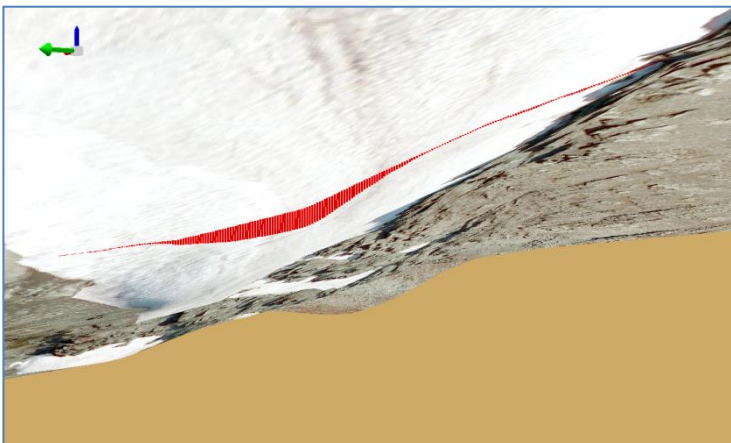
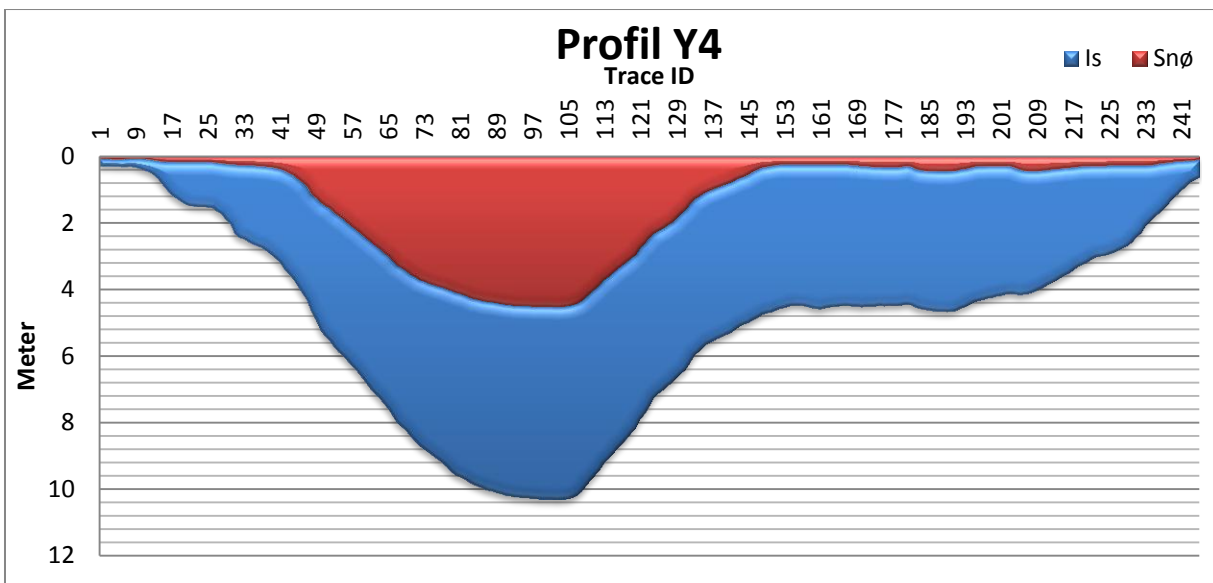
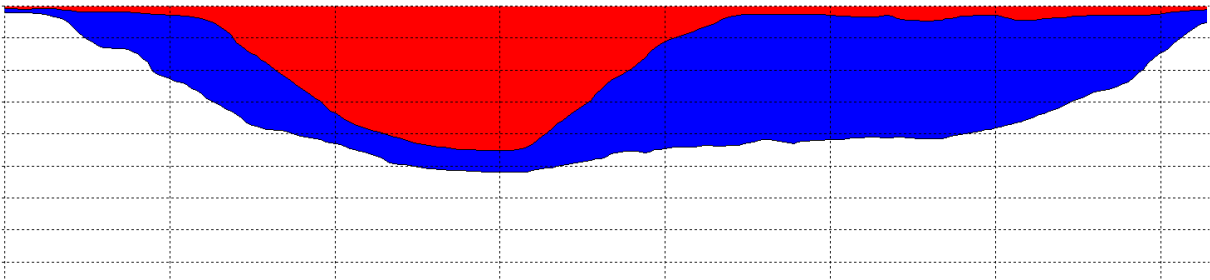
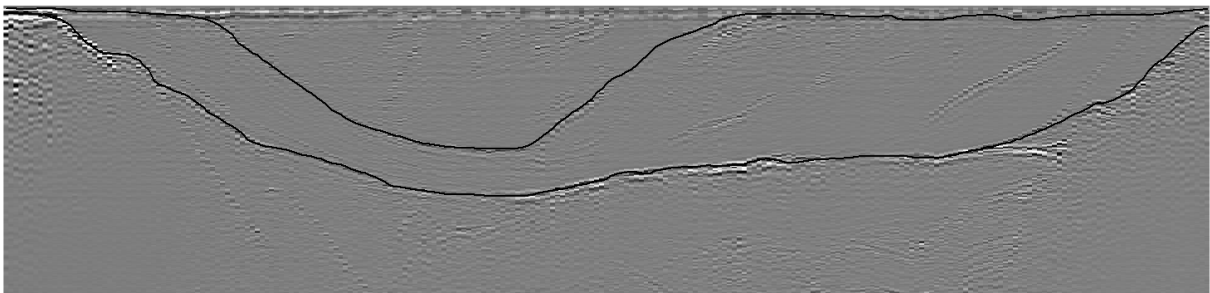
Profil: Y2



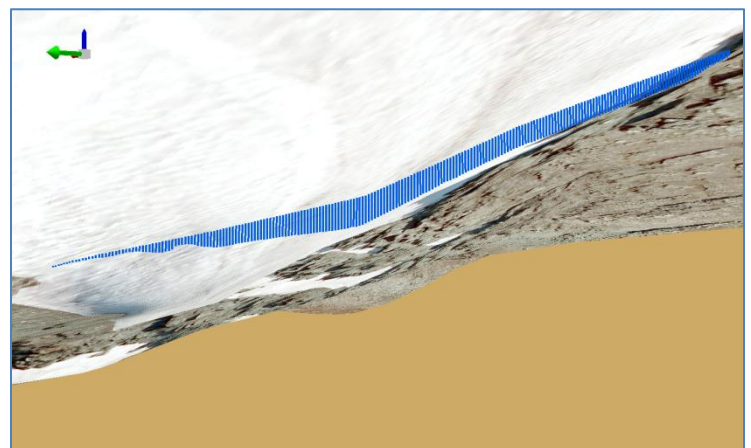
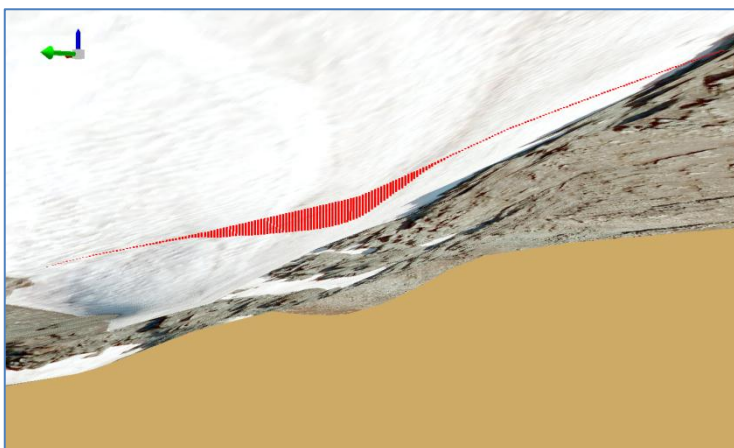
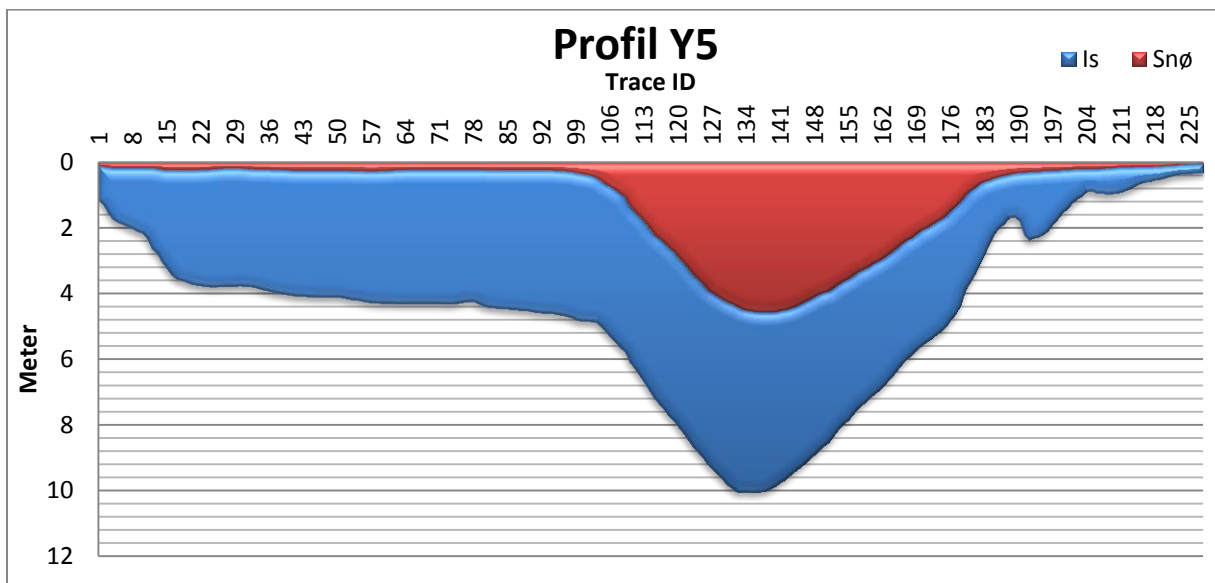
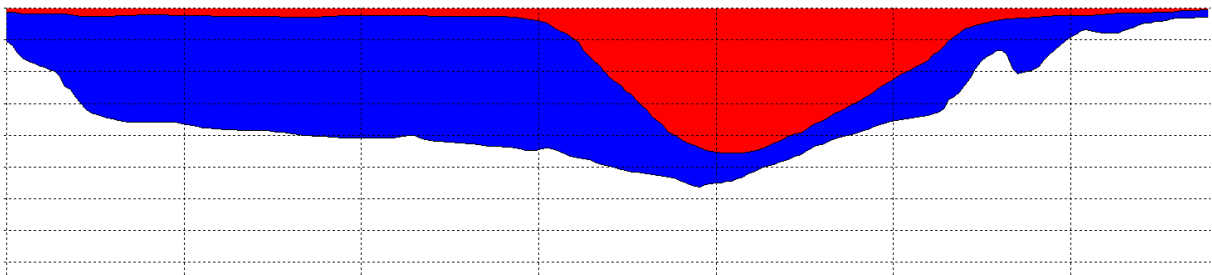
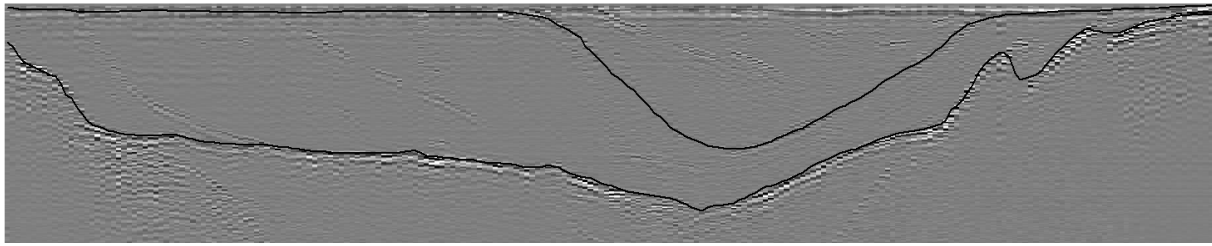
Profil: Y3



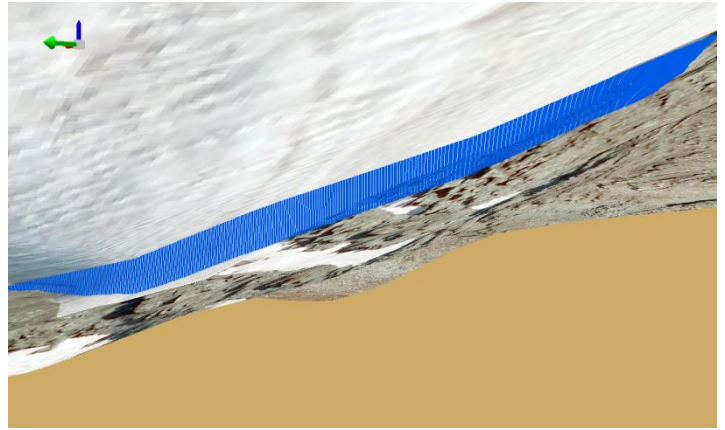
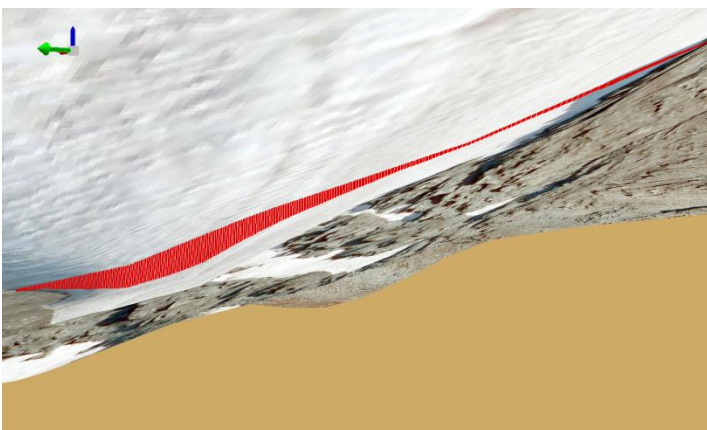
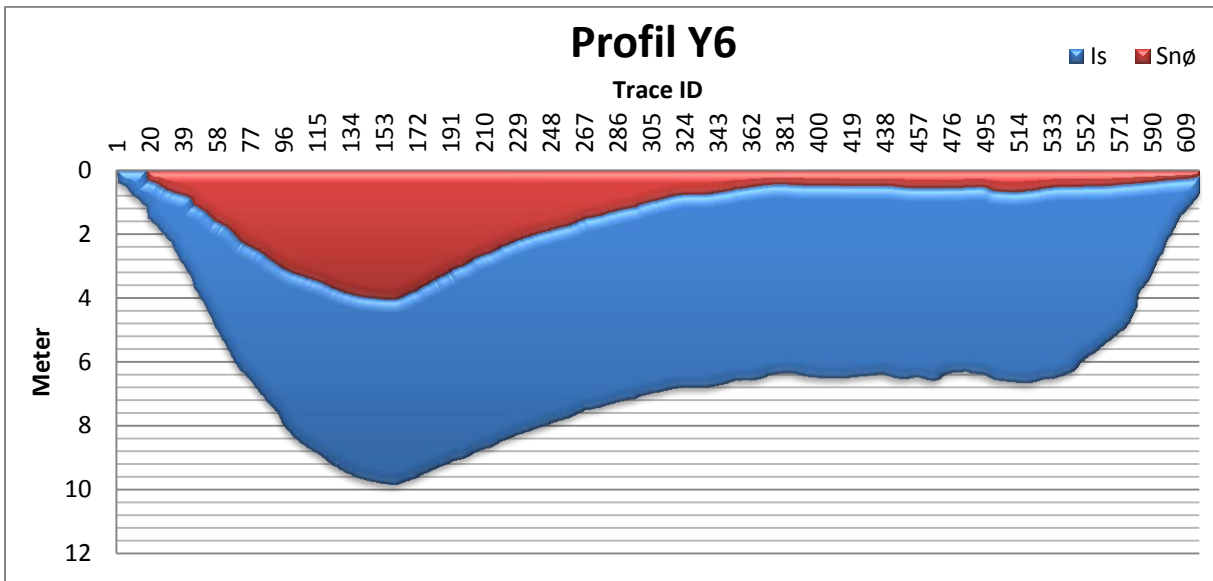
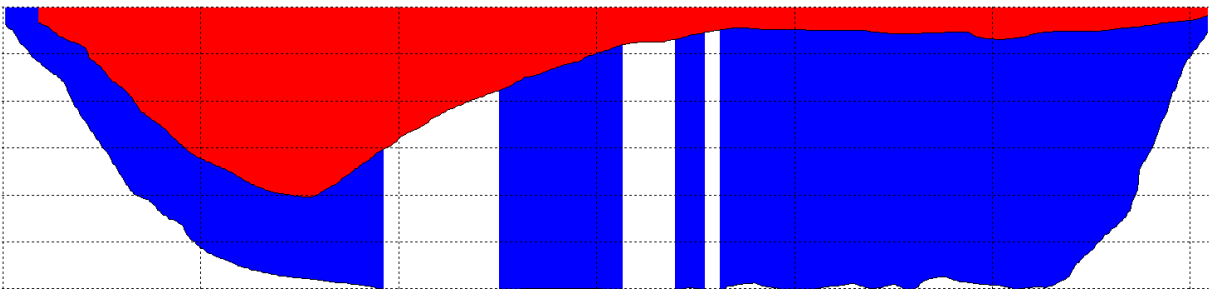
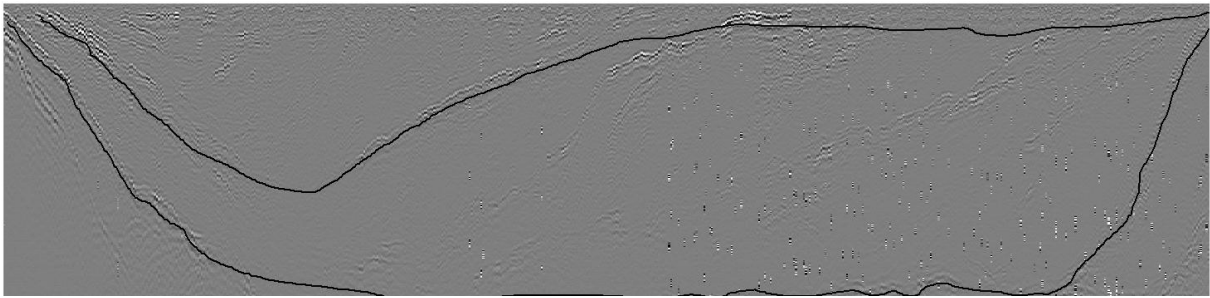
Profil: Y4



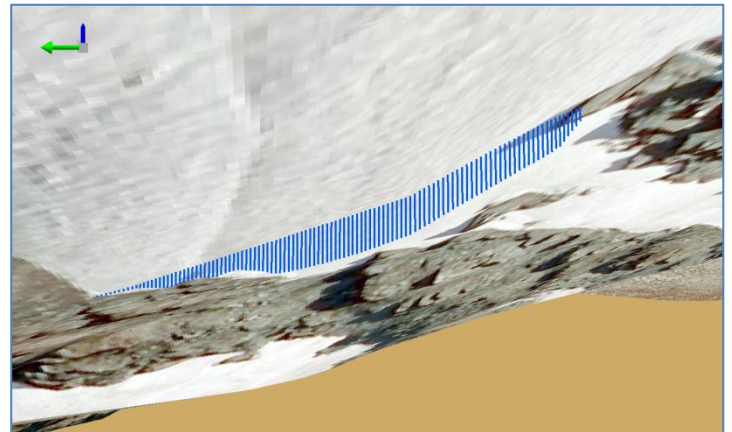
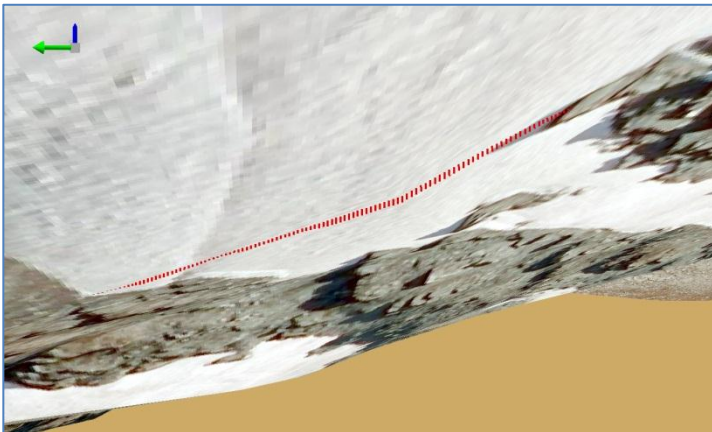
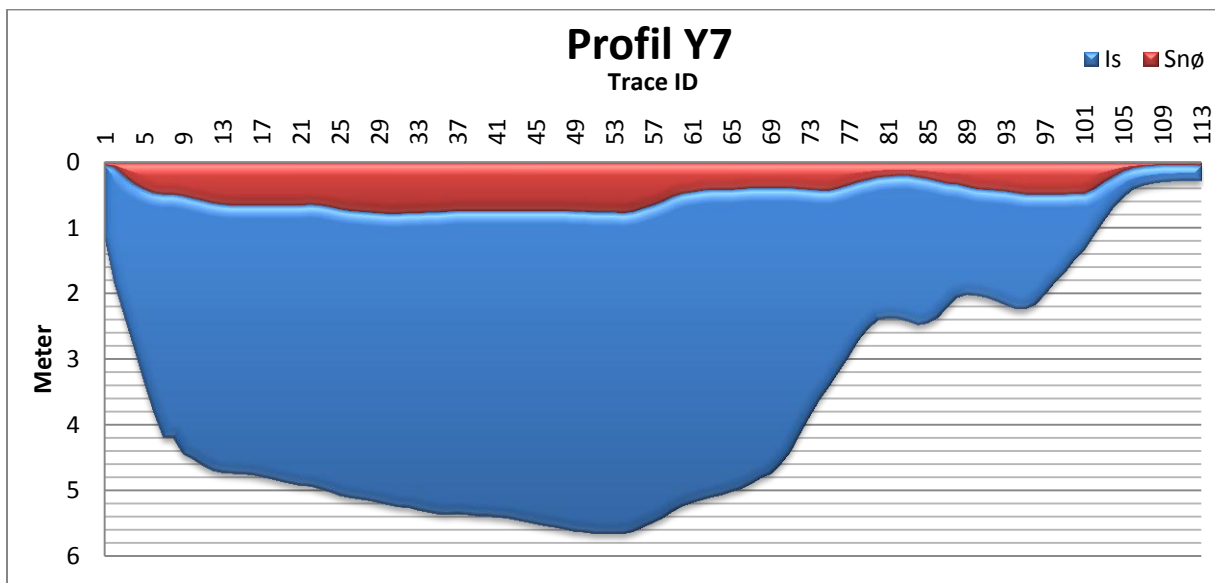
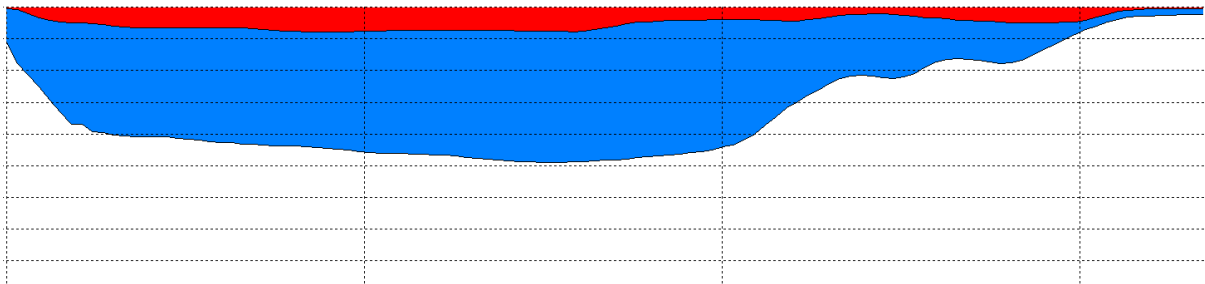
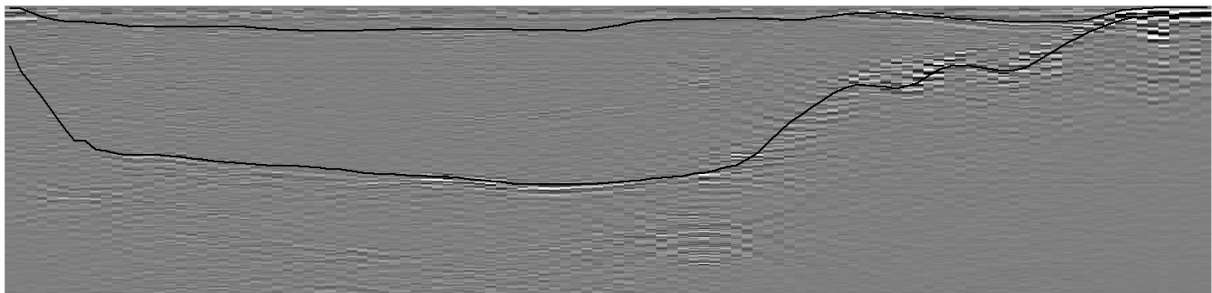
Profil: Y5



Profil: Y6



Profil: Y7



Profil: X1

