



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Analyse av geometrisk kvalitet til Spot-opptak orto-opprettet med bruk av ulike digitale høydemodeller

Analysis of Geometric Quality of Satellite Images
Orthorectified using different Digital Elevation
Models

Marius Johannes Askeland Hertaas
Geomatikk

Forord

Denne oppgaven markerer slutten på min studietid ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Min tid ved geomatikk-studiet har vært lærerikt og spennende.

Mastergradsoppgaven representerer et semester, i alt 30 studiepoeng.

Jeg har interessert meg for fjernmåling og bildebehandling, så da jeg skulle velge tema for oppgaven var det naturlig å ta kontakt med professor Øystein B. Dick. Oppgavens tema treffer de emner han har forelest om. I samråd med han ble det utformet en problemstilling som tar for seg oppretting av satellittbilder. Dette var et tema som jeg ønsket å fordype meg i og tilegne meg mer kunnskap om.

Jeg vil rette en stor takk til min veileder, for gode diskusjoner omkring temaet og konstruktive tilbakemeldinger gjennom arbeidet med oppgaven. I tillegg må jeg takke min kjæreste Elena Samuelsen, som har vært en god støttespiller i arbeidet med hennes gjennomlesning og korrektur. For å ikke glemme nærmeste familie som har gitt meg den beste støtte med velmente og motiverende samtaler.

Sist men ikke minst vil jeg takke studentmiljøet ved NMBU, som har gitt meg venner for livet og uforglemmelige minner.

Marius Johannes Askeland Hertaas

Sammenheng

I denne oppgaven har jeg undersøkt nærmere hvilke påvirkning ulike høydemodeller har ved orto-opprettning av satellittbilder. I oppgaven har jeg belyst emner som er relevant for oppretting av satellittbilder. Jeg har forsøkt å finne måter som kan gjøre opprettingen best mulig når det kommer til geometrisk kvalitet.

Området er valgt ut i fra tilgjengelige datasett, ved Geomatikkseksjonen ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Det styrende datasettet var en høydemodell produsert ved bruk av høyoppløselig SAR-data, fra Astrium. Området dekker Gjøvik, Raufoss og Nes på Hedmarken, områder som har variert topografi. Dette medfører at oppretting ved hjelp av høydemodeller er nødvendig.

Orto-opprettning av satellittbilder er aktuelt for å gjøre gode endringskartlegginger, klassifiseringer og ajourhold av kartdata. Nå som Sentinel-2A og Sentinel-2B blir satt i drift vil optiske data komme med høyere tidsoppløsning, noe som medfører hyppigere oppdateringer av kartdata og planlegging.

Opgaven har som hovedfokus å se på hvordan ulike høydemodeller påvirker opprettingen av satellittbilder, og om ulike forbedringer av bildet har positiv innvirkning på resultatet av opprettingen.

For å finne svar på mine problemstillinger har jeg brukt et pankromatisk Spot-opptak og opprettet dette på ulike måter med de ulike høydemodellene jeg hadde tilgjengelig. I tillegg har jeg sett på hvordan resultatene blir påvirket av to typer resampling-metoder. Planen var å orto-opprette Sentinel-2A opptak, men på grunn av forsinkelser i delingen av dataene valgte jeg å jobbe med et pankromatisk Spot-opptak. Et pankromatisk Spot-opptak har samme oppløsning som Sentinel-2A. Resultatene er vurdert i forhold til hva man kan forvente av geometrisk nøyaktighet. Kontrollene er fremstilt ved bruk av vektorer i ArcMap 10.3. Resultatene viser seg å være best når man resampler opprettingen med "Bilinear Interpolation" og har forbedret Spot-opptaket ved hjelp av konvolusjonsfilter.

Abstract

In this paper I have examined the effects of different height models by ortho-rectification of satellite images. In this thesis I highlight subjects that are relevant for the rectification of satellite images. I have tried to find ways that give the best results when it comes to geometrical quality.

The area is selected from the available data, at the section for Geomatics at Norwegian University of Life Sciences. The main dataset was an digital elevation model, produced using high resolution SAR data. The area covers Gjøvik, Raufoss and Nes in Hedmark, areas that has a varied topography. This means that rectification using digital elevation models are necessary.

Ortho-rectification of satellite-images is applicable to make good change analysis, classifications and for updating of map data. Now that Sentinel-2A and Sentinel-2B will be put into operation, optical data come with higher temporal resolution, which means more frequent updates of map data and for planning purposes.

The thesis main focus is to look at how different height models affects the rectification of satellite images, and how radiometric enhancements of the image has a positive effect on the result of creation.

To find answers to my questions, I've used a panchromatic Spot recording and created this in different ways with different height models I had available. I have also seen how the results are affected by two types of resampling methods. The plan was to ortho-rectify Sentinel-2A image, but due to delays in the distribution of data, I chose to work with a panchromatic Spot-image. A panchromatic Spot-image has the same resolution as the Sentinel-2A-image.

The results are evaluated relative to what one would expect of geometric accuracy. Controls are prepared using vectors ArcMap 10.3. The results prove to be best when resample a edge-enhanced Spot-image with "Bilinear Interpolation".

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Sammendrag	4
Abstract	6
1 Innledning	10
1.1 Problemstilling	10
1.2 Oppgavens oppbygging.....	10
1.3 Om Området	11
1.4 Satellittene.....	12
1.4.1 Sentinel 2	13
1.4.2 Tandem-X.....	14
1.4.3 SPOT.....	15
2 Teoribakgrunn	17
2.1 Digital bildebehandling.....	17
2.2 Satellittbilder.....	17
2.2.1 Pankromatiske bilder	18
2.2.2 Multispektrale og Hyperspektrale	18
2.2.3 Geometrisk korreksjon	18
2.3 Terrengmodell	19
2.4 Orto-opprettning	19
2.5 Georeferering	20
2.6 Bakkekontrollpunkter (GCP)	21
2.7 Transformasjoner	21
2.7.1 Polynomtransformasjon	21
2.8 Resampling.....	23
2.8.1 Nearest neighbor	23
2.8.2 Bilinear Interpolation.....	24
2.9 RMS error	25
2.10 Radiometrisk forbedring	26
2.10.1 Konvolusjonsfilter	26
3 Forberedelser og Datasett	27
3.1 Om de tilgjengelige datasettene	27
3.1.1 SPOT.....	27
3.1.2 Kartverkets data.	28
3.1.2.1 Ortofoto.....	28
3.1.2.2 Høydemodell DTM10.....	28
3.1.2.3 Laserdata	29
3.1.3 Astrium, WorldDEM.....	29
3.1.4 Global DEM (GDEM)	30
3.2 Oversikt over tilgjengelige datasett	30
3.3 Programvare.....	31
3.3.1 ERDAS Imagine 2015.....	31
3.3.2 ArcGis 10.3, ArcMap	31
3.3.3 PCI Geomatics.....	32
4 Metode og gjennomføring	33
4.1 Metode	33
4.2 Gjennomføring	33

4.2.1 Importere data	33
4.2.2. Klargjøre data	34
4.2.3 Bearbeide dataene	34
4.3 Oppretting.....	35
5 Resultat	37
5.1 Opprettinger gjort med ERDAS Imagine 2015.....	38
5.1.1 Opprettede bilder	38
5.1.2 Bakkekontrollpunkt (GCP) brukt i oppretting	39
5.2 Kontroll av opprettinger gjort med ERDAS Imagine 2015	42
5.3 Feilvektorer	45
5.4 Forskyvning i opprettet bilde	45
6 Analyse.....	47
6.1 Sammenligne nøyaktighet i opprettede bilder	47
6.1.1 Vektorer fra ArcMap 10.3	47
6.1.2 Vektorer fra kontroll av de ulike opprettingene.....	47
6.1.3 Grafer til vektorene fra oppretting uten kantskjerping	54
6.1.4 Grafer til vektorene til de kantskjerpede opptakene	56
6.2 Sammenligne nøyaktighet av område opprettet med laserdata.....	58
6.2.1 Vektorfremstilling av kontroll av laserdata	59
7 Konklusjon	63
Svar på delproblemstillinger:.....	64
8 Figurliste	67
9 Litteraturliste	69
10 Tabeller	72
Oversikt over opprettede bilder:	72

1 Innledning

1.1 Problemstilling

Hovedmålet med oppgaven er å utføre en orto-oppretting av satellittbilder med bruk av ulike digitale høydemodeller som dekker det samme området og analysere resultatet med sikte på å påvise mulige forskjeller hva angår geometrisk kvalitet. Man tar sikte på å benytte Erdas Imagine og PCI Geomatics, to dataprogrammer, slik at man også kan ha mulighet for å vurdere en eventuell forskjell mellom disse hva funksjonalitet og yteevne angår.

Delproblemstillinger:

- Hvordan oppfører satellittbildene seg i forhold til høydemodellene?
- Finnes det metoder som gjør det enklere å bedre geometrisk kvalitet? (kantskjerping)
- Hvordan fungerer "Spot modell" til oppretting i ERDAS Imagine?
- Hvordan påvirker oppløsningen til referansebildet orto-opprettingen?
- Vil det være en fordelaktig med enda mer nøyaktige høydemodeller, for eksempel en høydemodell generert ved bruk av laserdata?

1.2 Oppgavens oppbygging

Bakgrunn for denne oppgaven er et ønske om å sammenligne ulike høydemodellers påvirkning på geometrien ved orto-oppretting av satellittbilder.

I teoridelen vil jeg belyse de ulike teknikker som blir brukt i gjennomføring av orto-oppretting. Det vil også bli gjort et forsøk på å redegjøre for hvilke funksjoner som ligger bak programmets knapper, slik at man enklere skal forstå hvordan programmet fungerer.

I metode og gjennomføringsdelen blir det forklart litt omkring hvordan prosessen har vært for å komme fram til de ulike resultatene. Det er vanskelig å gi en detaljert beskrivelse, så det blir også benyttet skjermdump som viser plassering av kontrollpunkter og en liste over de opprettingene som er gjort. Det er også illustrasjoner som skal gi et inntrykk av hvordan datasettene ser ut.

Resultatdelen er omfattende, dette på grunn av alle mulighetene man har til å opprette bildene. Resultatene er lagt inn i Excel for å regne ut residualer og lage grafisk fremstilling av

disse. For å vise forskjellene ved hjelp av et GIS-verktøy som i dette tilfelle er ArcMap 10.3, var det nødvendig å ha dataene i Excel. Hensikten med vektor-fremstillingen er å gi en god fremstilling på hvilken retning punktene har forskjøvet seg.

I selve analysen av resultatene forklares det litt omkring hvordan og hvorfor vektorene peker i de retningene de gjør. Det vil også bli gjort en vurdering av den geometriske kvaliteten av bildene, og hva som eventuelt kan gjøres for å oppnå bedre resultater ved bruk av ulike metoder.

Konklusjonen inneholder en diskusjon hvor det vurderes om resultatene holder til ulike formål. Det vil også bli belyst hva som kan gjøres annerledes og hva som eventuelt kan jobbes videre med.

1.3 Om Området

Det er på grunnlag av et tilgjengelig datasett med høyoppløselige radar-data fra SAR-satellitter (TANDEM-X) i Gjøvik-området, at valget falt på dette stedet. Dette er et område med god dekning av orto-opprettede satellittbilder og flyfoto. Datasettene er innhentet fra veilederens eget arkiv, Kartverk sine arkiver og fra ASTER .

Området er også interessant siden det har en litt mer kupert topografi. Gjøvik stasjon ligger 129 moh. (Jerbaneverket 2016). Gjøvik er omgitt av tre dalfører, dalførene strekker seg fra vest mot øst og ender ved Mjøsa. Mjøsa er Norges største innsjø og ligger ca. 119-122 moh. og strekker seg fra Minnesund i sør til Lillehammer i nord (SNL 2016). Omkring Mjøsa har man topper på opp mot 700 meter, noe som gjør at topografien påvirker opptaksgeometrien.



Figur 1 Oversikt over området, sett i fra Sentinel 2

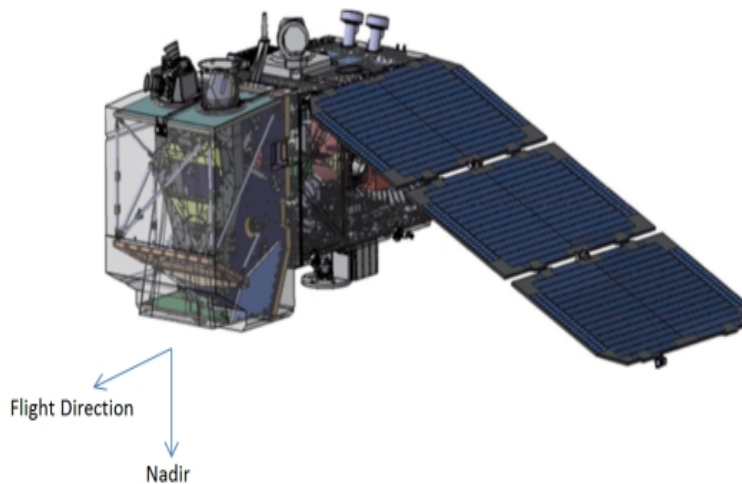
1.4 Satellittene

Denne oppgaven omfatter bruk av jordobservasjonssatellitter og man kommer bort i tre ulike typer av disse . I dette avsnittet blir de ulike satellittene presentert etter hva slags funksjon de har og hvilket produkt en kan forvente fra satellittene.

Jordobservasjon er en samlebetegnelse for virksomheter som knyttes til innsamling av "informasjon om jordens overflate, biosfære, atmosfære, gravitasjonsfelt og magnetfelt."(Dick 2009). Denne innsamlingen kan skje gjennom bruk av ulike satellitter og i denne oppgaven berører jeg radarsatellitter og optiske satellitter.

1.4.1 Sentinel 2

Sentinel 2 er den nyeste av jordobservasjonssatellitene og inneholder mye av den nyeste teknologien innen jordobservasjon. Satellitten ble skutt opp fra Fransk Guyana 23. juni 2015, og beveger seg nå i en solsynkron bane 786 kilometer over jordens overflate. Den skal samle data fra landområder mellom 84 grader nord og 54 grader sør.



Figur 2 Sentinel 2 (ESA 2015b)

Den er en av mange satellitter i det europeiske romprogrammet Copernicus. Sentinel-2 satellitten er en optisk satellitt med hensikt å drive med høyoppløselig jordobservasjon. Den er utstyrt med en multispektral sensor som samler inn data i 13 ulike bånd (443-2190 nm). Det er "swath width" på 290 km og en romlig oppløsning på 10 meter. Bånd 2 (blå), 3 (grønn) og 4 (rød) og bånd 8 er de båndene som har 10 meter oppløsning (ESA 2015a).

Tidsoppløsningen til satellitten er gitt å være 10 dager for hver gang den passerer samme punkt. Når den kommende Sentinel 2B blir satt i drift er det planlagt å halvere tidsoppløsningen. Dette skaper en meget god tidsoppløsning som gjør det mulig å gjøre endringsanalyser med hyppig oppdatering, på grunn av 10 km overlapp i opptaksområdene til satellittene.

Radiometriske oppløsningen til Sentinel 2 er preget av de 13 spektralbåndene, og det er en 12 bit oppløsning som gir et område på lysintensitet på 0-4095 potensielle verdier. Den

radiometriske nøyaktigheten er på 5% og avhenger også av signalstøy til detektoren (ESA 2015a).

Produktene er i ulike klasser, akkurat som et SPOT-opptak og går i fra level-0 til level-2A. Hvor level-0 kun har blitt analysert telemetri og preliminær Quicklook og skymaske generering. Level-1B og level 1C er de som er tilgjengelig for brukere, og gir et ferdig orto-opprettet bilde, med sub-piksel multispektral registrering. I tillegg er det gjort masking av skyer og landskap/sjøer (ESA 2015a).

1.4.2 Tandem-X

Tvillingsatellitter fra Terrasar-X som er et samarbeidsprogram mellom det tyske romsenteret (DLR) og Astrium (Krieger et al. 2007). Satellittene flyr i en kontrollert formasjon med en avstand 250-500 meter fra hverandre. Satellittene benytter seg av syntetiske aperture radar (SAR).



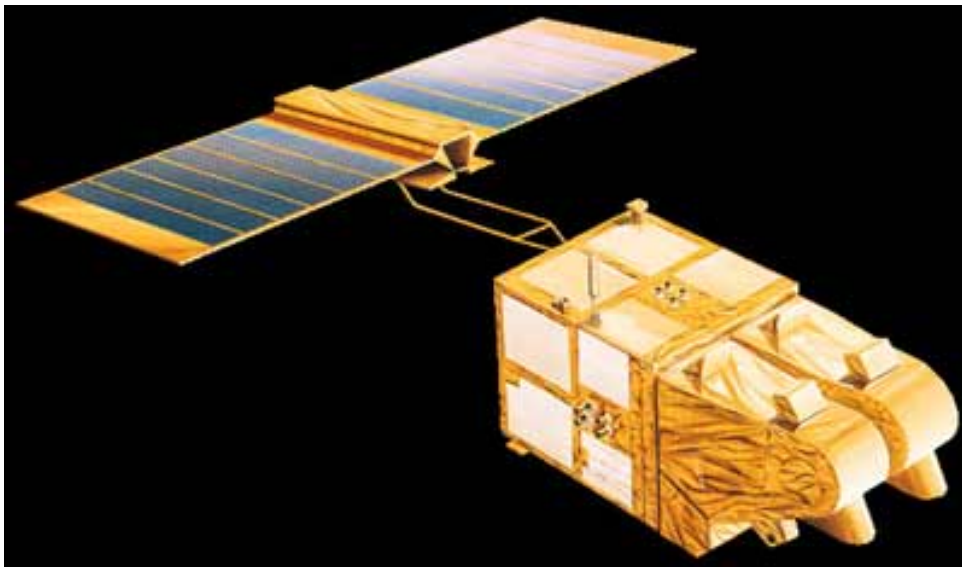
Figur 3 Tandem-X (Airbus 2015)

Hensikten var å danne en modell som med høy presisjon. Produktet skulle ha en vertikal nøyaktighet på 2 meter (relativ) og 4 meter (absolutt). Horisontale raster er på 12x12 meter (Airbus 2010). For å oppnå denne nøyaktigheten bruker man en interferometrisk teknikk hvor man får den beste nøyaktigheten. En SAR-satellitt har evner til å trenge igjennom skydekket og er ikke avhengig av lys, noe optiske satellitter er avhengig av.

1.4.3 SPOT

En serie av spot jordobservasjonssatellitter ble skutt opp i tidsrommet 1986-2007.

Oppløsningen utviklet seg fra 10 meter (SPOT1) til 1,5 meter (SPOT6). De tre første satellittene var utstyrt med to HRV-sensorer, som kunne operere individuelt eller sammen. De to sensorene hadde pankromatisk og multispektral funksjon. Det pankromatiske båndet hadde 10 meters oppløsning, mens de tre multispektrale båndene hadde 20 meters oppløsning (Airbus 2015).



Figur 4 SPOT-1 satellitten (Airbus 2015)

2 Teoribakgrunn

Dette kapitlet presenterer teori og forklaring om emner berørt av valgte tema. Det skal gjøre det enklere å forstå hva som gjøres og hva oppgaven i hovedsak går ut på.

2.1 Digital bildebehandling

Digital bildebehandling er bearbeiding, tolkning og analyse av digitale bilder ved hjelp av data og programvare. Gjennom årene har utviklingen vært stor, fra å være en stor tung stasjonær datamaskin til å bli en portabel og hendig bærbar datamaskin. Programvarene har gått fra å være veldig kompliserte og avanserte, til å bli mer brukervennlige. Programvare som før måtte ha et velsmurt maskineri for å utføre de enkleste oppgaver har nå fått mulighet til å bli en del av en bærbar enhet. Det er ikke bare bildebehandling, men nå har det blitt mulig å se på høydemodeller og redigering av laserdata i et og samme program. I denne gradsoppgaven har fokuset vært rettet mot orto-opprettning av satellittbilder ved hjelp av høydemodeller i dataprogrammet ERDAS Imagine.

2.2 Satellittbilder

Satellittbilder er produktet fra satellitter utstyrt med optiske sensorer, som går i polarbane omkring jordkloden. Satellittene det er snakk om går i bane ved en høyde på omkring 600-800 km og med store optiske sensorer som ta høyoppløselige opptak av jordens overflate.

Den første sivile jordobservasjonssatellitten med optisk sensor var den amerikanske satellitten Landsat 1 fra 1972. Allikevel er det den amerikanske satellitten Explorer 6 som 14. august 1959 tok det første bilde av jordoverflaten. Explorer 6 var egentlig laget for å observere stråling fra energikilder i den øvrige delen av atmosfæren, men den ble også utstyrt med et instrument som skulle fotografere skydekket på jorden (NASA 2016).

Satellittbilder kommer som resultat fra sensorer med opptil flere bånd, de mest kjente er båndene som ligger innenfor synsspekteret rødt, grønt og blå. Siden vi ønsker å bruke dataene til andre ting benytter man pankromatiske, multispektrale og hyperspektrale sensorer.

2.2.1 Pankromatiske bilder

Pankromatiske bilder er bilder som gjengir elektromagnetiske strålingen som sort-hvitt bilder. Opptak av denne typen er gjort av kun et bånd i det elektromagnetiske spekteret. Det pankromatiske spekteret er så bredt at det dekker store deler av det synlige spekteret. Dette medfører at båndet fanger opp den utstrålingen innenfor den synlige delen av det elektromagnetiske spekteret. SPOT-1 opptaket som benyttes i denne oppgaven er pankromatisk og har en oppløsning på 10 meter. Båndet fanger opp stråling i fra 500-730 nm (Airbus 2016).

2.2.2 Multispektrale og Hyperspektrale

Innenfor disse to kategoriene gjøres opptak i flere bånd samtidig innenfor samme eksponering. Multi og hyper er en betegnelse på hvor mange bånd som blir benyttet i de to sensorene. Hyperspektrale sensorer kan dekke 100 nm med 20 bånd, noe som tilsvarer 10 nm per bånd. Det vanligste i en optisk satellitt er multispektrale sensorer, her er dekingen på om lag 100 nm per bånd (GISGeography 2016).

I den multispektrale sensoren i Sentinel-2, har man 13 bånd/kanaler fordelt utover det elektromagnetiske spekteret. Båndene/kanalene har ulik romlig oppløsning fra 10 m til 60 m, meningen er å fange opp lys fra VNIR (synlig- eller nærinfrarød) til SWIR (ESA 2015a).

2.2.3 Geometrisk korreksjon

Jordrotasjon, skannefrekvens, skannevinkel, jordkrumning, manglende stabilitet og fortegning er faktorer som har innvirkning på bildets geometriske egenskaper.

For å minske effekten av disse elementene må man korrigere for faktorene, og foreta en geometrisk korreksjon. Korreksjonen utføres for å gi bildet best mulig nøyaktighet slik at man kan bruke dataene til de formål man måtte ønske. I kartprojeksjon defineres et rutenett med gitte avstander mellom nodene, rutenettet legges over bildet og avstanden mellom nodene gir pikslene med sentrum i nodene og avstanden blir den samme som pikselstørrelsen. Det korrigerte bildet etableres ved at det brukes en transformasjonsfunksjon for hvert pikselsentrum for å finne tilsvarende pikselsentrum i originalbildet (GMBB201 2013).

Det er vanskelig å treffe midt i et piksel, og det kan da være hensiktsmessig å utføre en interpolasjonsmetode for å bestemme pikselverdien. Dette er metoden vi kjenner som resampling, se avsnitt 2.8.

Innenfor korleksjon opererer vi med to metoder for å rette opp forvrengning i bildene. Metoden benytter matematisk modellering og den andre ser på matematisk sammenheng mellom pikselkoordinater i bildet og tilsvarende koordinater på bakken. Den siste metoden benytter bakkekontrollpunkter og sammenhenger som korrigerer forvrengning uavhengig av kjennskap til kilder til og type av forvrengning.

2.3 Terrengmodell

Ved geometrisk korleksjon av et satellittbilde så vel som et flybilde vil det være hensiktsmessig å benytte seg av en digital terrengmodell. Digitale terrengmodeller inneholder verdier om topografien i tre dimensjoner, den inneholder informasjon om høyden til terrenget på samme måte som et kart med høydekurver. I en digital terrengmodell får man mye mer nøyaktig informasjon om høyder og informasjonen er lagret systematisk i et rutenett eller som tilfeldige punkter innenfor et geografisk område langs eksisterende høydekurver.

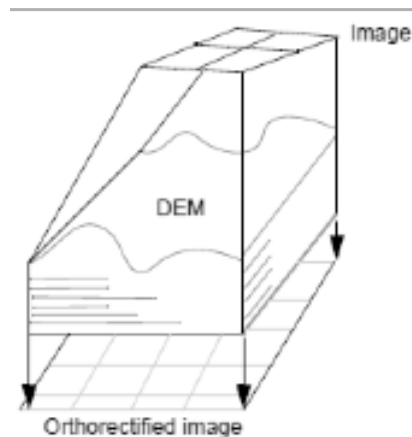
I denne oppgaven vil jeg benytte meg av ulike digitale høydemodeller som grunnlag i opprettingen av Spot-opptaket. Jeg har en digital terrengmodell i fra Kartverkets databaser som har en oppløsning på 10 meter. Den andre høydemodellen er WorldDEM, som er en digital overflatemodell med 12 meter oppløsning. Tredje høydemodellen er GlobalDEM, er en digital høydemodell som følger ERDAS Imagine, denne har en dårligere oppløsning enn de øvrige høydemodellene. I tillegg har jeg laget en digital høydemodell av et laserdata-sett jeg fikk oversendt fra Kartverkets kontor ved Hamar.

2.4 Orto-oppretting

På grunn av jordens topografi vil data samlet inn fra satellitter ha ulike "feil". Fortegninger på grunn av høydeforskjeller og jordkrumning vil ha visse baksider, derfor er det som mål å

endre egenskaper i bildet slik at bildet vil ha tilnærmet egenskaper som et kart. Bildene er ofte brukt til ajourhold av kartdata eller til endringsanalyse i GIS.

Prosesen for å endre egenskapene eller presentasjonen av bildet er det vi kjenner som orto-rektifisering eller orto-oppretting. Ved bruk av en digital terrengmodell vil man rette opp bildet og fjerne fortegning som kommer av høydeforskjeller på jordoverflaten. Skal man benytte seg av dataene til som grunnlag i geografiske informasjonssystemer eller til vedlikehold av kart må bildene orto-opprettes (Toutin 2004).



Figur 5 Orto-oppretting (Intergraph 2013 s.589)

Ulemper ved orto-oppretting er at man ved interpolasjon mister radiometriske egenskaper som kan være til nytte i endringskartlegging eller klassifisering. Det som skjer er at man får en feil i gråtoneverdier gitt i et bilde, som gjør at man vil få dårligere resultat i en klassifisering av store områder og man får problemer med å skille ulike egenskaper.

2.5 Georeferering

Ved å tilegne piksel med koordinatverdi fra et kart, er en enklere prosess enn å orto-opprette et bilde. I dette tilfelle tilpasser man bildets koordinatsystem til et annet referansesystem. Ved denne prosessen vil man ikke oppnå fjerning av fortegning i bildet, men for landskap med veldig liten forskjell i topografi kan dette være en god nok oppretting av bildet før den brukes i kartdata (Intergraph 2013 s.264).

2.6 Bakkekontrollpunkter (GCP)

For å få gode resultater i opprettingen er man avhengig av gode bakkekontrollpunkter, punkter hvor pikslene har kjente x og y koordinater i referansebildet. De andre punktene blir transformert med hensyn på bakkekontrollpunktene. Spredning av bakkekontrollpunkt er viktig og antall av bakkekontrollpunkter. I programvaren bes det om å bruke minimum 5 punkter. Det er også viktig å være litt kritisk til hvilke punkter man velger, ettersom det kan være avvik fra referansebildet og det bilde som skal opprettes. Eksempler på gode kontrollpunkter kan være elementer som ikke endres over tid og som kan være enkle å kjenne igjen (Intergraph 2013 s.267).

2.7 Transformasjoner

Når man gjennomfører en oppretting gjennomgår bildet en transformasjon slik at man får et nytt bilde. Jeg skal forklare litt om polynomtransformasjon i dette kapitlet.

2.7.1 Polynomtransformasjon

I en polynomtransformasjon bruker man polynomlikninger som et verktøy i transformasjonsprosessen. Avhengig av bildets kvalitet med hensyn til fortegninger og lignende er det viktig å velge en grad av polynom. Kompleksiteten tilsvarer den høyeste eksponenten som brukes i likningen.

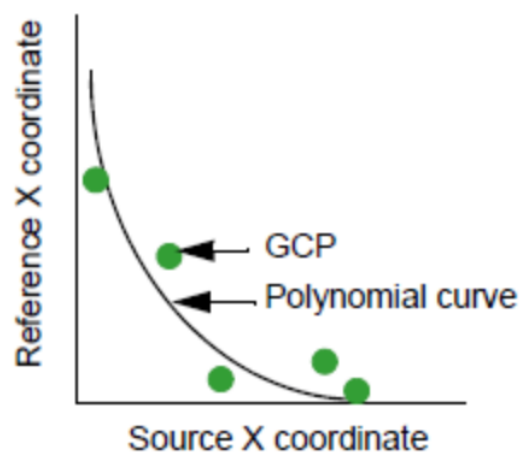
Det benyttes en transformasjonsmatrise, matrisen beregnes ut i fra bakkekontrollpunktene. Matrisen består av koeffisienter som brukes i polynomlikninger for å konvertere koordinatene. Matrisen sin størrelse avhenger av transformasjonens grad. Når man beregner koeffisientene til transformasjonsmatrisen har man som mål å bestemme de polynomlikningene som gir minst feil, dersom det skal brukes til transformasjon av koordinatene til bakkekontrollpunktene over til kartkoordinater. Det er vanskelig å bestemme koeffisienter som ikke gir feil.

Det er vanskelig å få et eksakt treff i polynomet som koeffisientene representerer, men allikevel påvirkes koeffisientene av bakkekontrollpunktene. Avstandene bakkekontrollpunktene har i fra polynomet er det man kjenner som RMS-error. Dette blir

belyst nærmere i avsnitt 2.9. For å beregne transformasjonsmatrisen fra bakkekontrollpunktene brukes minste kvadraters metode.

Det skilles mellom lineære og ikke lineære transformasjoner, der lineære er første ordens transformasjon som kan endre posisjon, målestokk, skjevhet og rotering. Lineære transformasjoner kan projekte bilder til en plan kartprojeksjon, konvertere fra en plan kartprojeksjon til en annen og rektifisere små bildearealer.

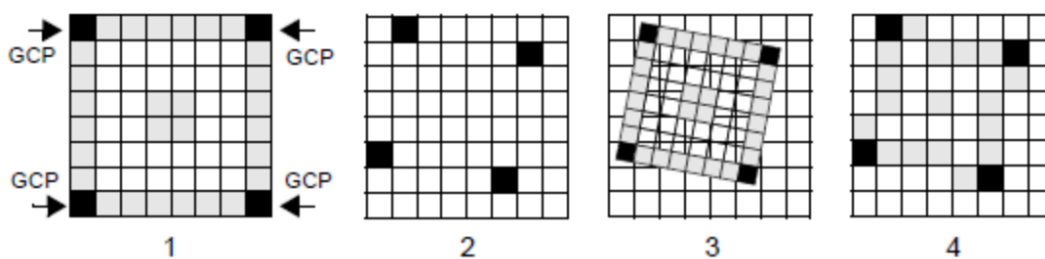
Ikke lineær transformasjon er av høyere orden. Transformasjoner av denne typen korrigerer for ikke-lineære forvrenginger og konverterer geografiske bredde- og lengdegrader til en plan kartprojeksjon. Ofte kalles prosessen med å korrigere for ikke lineære forvrengninger, for "Rubbersheeting". Høyere orden som for eksempel tredje grad kan brukes til flybilder med stor forvrengning, radarbilder eller skannede kart. Det vil si at jo høyere orden transformasjonen har jo mer kompliserte bilde-opprettinger kan man gjennomføre (Intergraph 2013 s.270-271).



Figur 6 Viser polynom tilnærmingen. (Hexagon-Geospatial 2014c)

2.8 Resampling

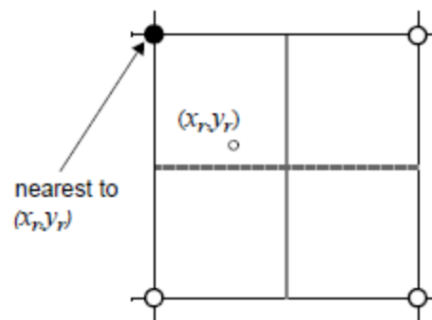
Proessen med å lage en ny versjon av et gammelt bilde heter resampling. Siden pikselkoordinatsystemet i originalbildet ikke sammenfaller med koordinatsystemet i et ortofo. Derfor tilegner man nye verdier til pikslene i resultatbilde (Intergraph 2013 s. 287). Samme punkt i originalbildet og referansebildet gis en pikselverdi ved hjelp av interpolasjon. De tre kjente interpolasjonsteknikkene er "nearest neighbor", "bilinear interpolation" og "cubic convolution". Disse tre interpolasjonsteknikkene er det mulig å benytte seg av i ERDAS Imagine.



Figur 7 Oversikt over resampling (Hexagon-Geospatial 2014d)

2.8.1 Nearest neighbor

Nearest neighbor benytter seg kun av en piksel til interpolasjonen. Det er gråtoneverdien til pikselen i originalbildet som har sentrum nærmest det valgte punktet i resultatbildet som blir pikselverdien "ut" (se figur 8). Metoden utmerker seg ved at den er enklest å beregne og vil derfor være den metoden som er raskest. Dataene blir ikke glattet og man beholder ytterpunktene og detaljene i dataene. Dersom bildet skal brukes til klassifisering er det hensiktsmessig å bruke denne metoden.



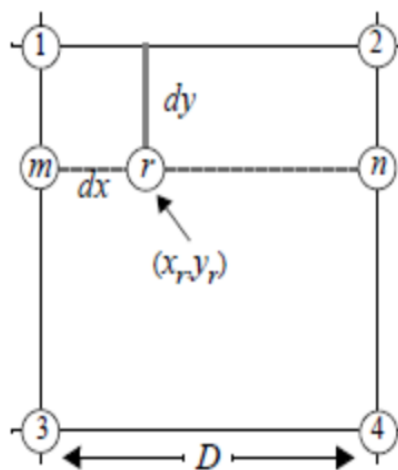
Figur 8 Skisse over hvordan "nærmeste nabo" fungerer (Hexagon-Geospatial 2014b)

Ulempene er at det innføres små feil, og en kan oppleve romlig offset på omkring en halv piksel og at bildene kan fremstå som hakkete og ujevne. I tillegg kan det være tilfeller der man får doblet verdier eller miste verdier.

2.8.2 Bilinear Interpolation

En styrende enhet ved denne interpolasjonen er 2×2 matrisen som består av de fire pikslene rundt punktet. Det utføres tre lineære interpolasjoner, interpolasjon langs hver av de to radene og deretter en langs kolonnen for resultatet av de to radene. Dette fører til at man får et vektet gjennomsnitt av de fire pikslene som benyttes.

Vekter man gjennomsnittsverdiene får man et jevnere uttrykk i bildet, dette på grunn av at verdiene er mer glattet og ytterpunktene av gråtonene elimineres. Resultatet kan være et uskarpt bilde og man risikerer tap av bildets radiometriske informasjon. Derimot er fordelen med denne at man oppnår en mye bedre romlig nøyaktighet enn ved "nærmeste nabo" (Hexagon-Geospatial 2014e)



Figur 9 Prinsipp tegning av Bilineær interpolasjon (Hexagon-Geospatial 2014a)

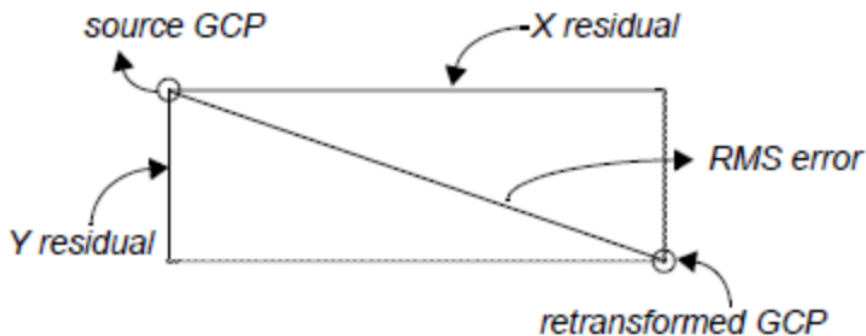
2.9 RMS error

”Root mean square” error, avstanden bakkekontrollpunktet har fra originalbildet og resultatbildet etter man har gjennomgått en transformasjon. Ideelt er det hvis denne avstanden er liten eller fraværende, men slik er det dog ikke. Ettersom det er vanskelig å få til den perfekte innpassing er det slik at man tolerer feil av en viss størrelsesorden. Feilen kan uttrykkes som piksler eller som meter. I programvaren blir det beregnet residualer for x- og y-retning, samtidig en samlet RMS-error for bakkekontrollpunktene, i kolonnen lengst til høyre i skjemaet.

X Residual	Y Residual	RMS Error
3.871	-0.073	3.872
1.504	-0.790	1.698
-1.760	0.672	1.884
-4.485	0.253	4.492
1.865	-0.745	2.008
4.527	0.944	4.625
-2.442	-0.053	2.442
2.031	-0.072	2.032
-1.912	-0.099	1.915

Figur 10 Viser hvordan det vil se ut i ERDAS Imagine.

Verdiene er en betegnelse/avstand fra referansepunktet, som forklarer noe om kvaliteten på bakkekontrollpunktene eller opprettingen. Dersom man har punkter som er dårlig, eller har dårligere verdier enn det som tolereres må disse neglisjeres. Det er lurt å benytte seg av, eller tolerere punkter med feil for å slippe å transformere med høyere orden (Intergraph 2013 s.284-285).



Figur 11 RMS Error (Hexagon-Geospatial 2014f)

2.10 Radiometrisk forbedring

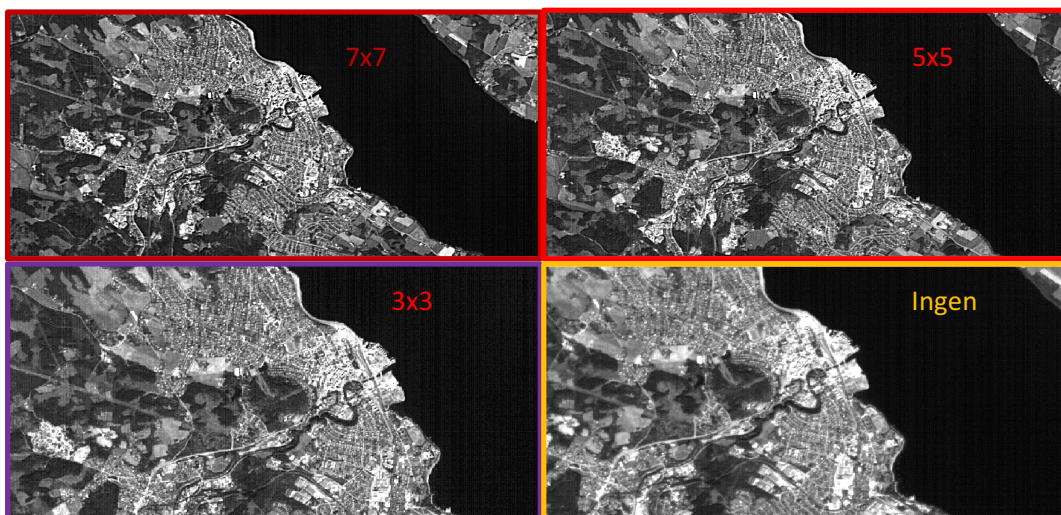
For å bedre radiometrien i et Spot-opptak er det nødvendig med radiometrisk forbedring. Dette vil gjøre arbeidet med orto-oppretting enklere, siden det vil bli enklere å tolke bildene og plassere bakkekontrollpunkter.

2.10.1 Konvolusjonsfilter

Et konvolusjonsfilter benytter seg av en matrise som beregner gjennomsnittsverdien fra omkringliggende piksler. Størrelsen på matrisen kan variere fra en 3x3, 5x5 eller 7x7 matrise, som vil si at den regner et gjennomsnitt av 9, 25 eller 49 omkringliggende piksler. Resultatet blir da et kantskjerpet bilde som gjør det enklere å se kjennetegn i bildet.

I denne oppgaven er det benyttet noe som heter "edge enhance", bedre kjent som kant forbedring eller skjerpning. Filtreringen fører til at man fremhever kantene i et område med homogene grupperinger av piksler. I motsetning til kant-deteksjon, uthever de kanter og eliminerer ikke andre egenskaper.

I ERDAS finnes det kjente romlige filtre, som har som funksjon å glatte, fremheve kanter, fjerne eller minske støy i bildet. Det er vanlig å kategorisere i tre hovedgrupper; lavpass, høypass og kantdeteksjon (Intergraph 2013 s.423-428). I figur 12 ser man de ulike kantforbedringene i Spot-opptaket. Det er opptaket med ingen forbedring og opptak med 7x7 jeg har benyttet meg av i denne gradsoppgaven.



Figur 12 Påvirkning fra "edge enhance" basert på ulik størrelse på matrise.

3 Forberedelser og Datasett

I dette kapitlet går jeg nærmere inn på de ulike datasettene som blir benyttet i oppgaven og hvilken rolle de spiller i utførelsen av arbeidet.

I forberedelsene valgte jeg i samråd med min veileder et område over Gjøvik. Dette på grunn av at det var en tilgjengelig høydemodell der. Dette var en god modell som har de kvalifikasjoner som må til for å kunne benyttes i en slik oppgave. Når jeg hadde området og første datasett startet arbeidet med å finne mer data jeg kunne bearbeide.

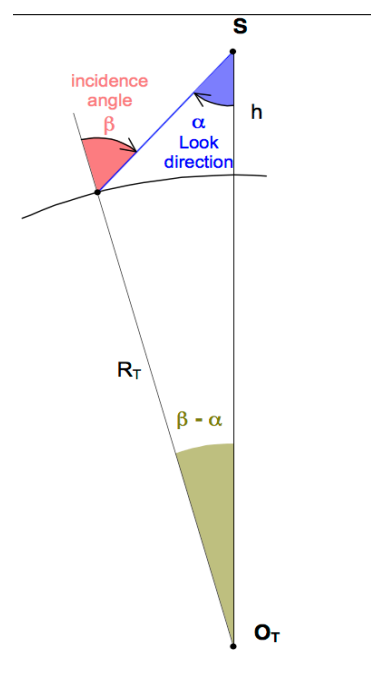
3.1 Om de tilgjengelige datasettene

Datasettene jeg har fått tak i kommer fra Kartverket og fra veilederens eget arkiv.

3.1.1 SPOT

Spot-opptaket var å oppdrive fra veilederens eget arkiv.

Datasettet var fra SPOT-1 satellitten, i raw-format og level 1A. Opptaket er kategorisert som level 1A, noe som betyr at det er kun korrigert for radiometri og fortegnning i sensorene avhengig av sensorenes sensitivitet. Dette gjorde det aktuelt i forhold til videre arbeid. Datasettet måtte importeres ved hjelp av import-data verktøyet i ERDAS Imagine. Det var viktig å velge riktig bredde og lengde på opptaket, slik at man fikk et riktig bilde. Informasjon om opptaket ble hentet fra leader-filen til opptaket. Bildet var et pankromatisk opptak med 10 meters oppløsning (Airbus 2016). Det var i tillegg viktig å kjenne til opptaksgeometrien slik at dette kunne korrigeres for i opprettings-modellen til ERDAS Imagine.



Figur 13 Opptaksgeometri i SPOT 1(GAEL 2004 s.70)

3.1.2 Kartverkets data.

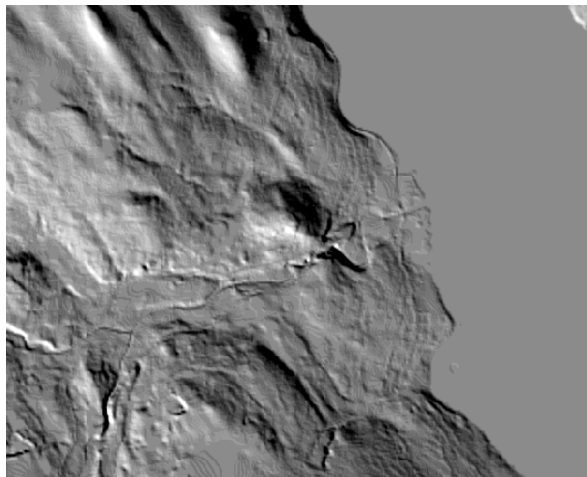
Kartverket har bidratt med data fra deres nett-portal www.norgebilder.no, en digital terrengmodell DTM10 og et sett med laserdata som ble overført fra en av de ansatte ved kartkontoret på Hamar.

3.1.2.1 Ortofoto

Det er lastet ned et ortofoto over foretrukket område fra www.norgebilder.no. Bildet har egentlig en oppløsning på 40 cm, men jeg har lastet det ned med en oppløsning på 1m, 5m og 10m. Grunnen til at jeg har lastet ned med de ulike oppløsningene er at jeg ville prøve ut og se forskjellen på den visuelle kvalitet og hvis jeg selv resamplere et bilde med ERDAS Imagine. Bildene som lastes ned fra www.norgebilder.no, egner seg som referansebilde ved orto-opprettning av satellittbilder. Disse dataene blir mest brukt til ajourhold av kartdata, kartfaglig analyser og sammen med andre digitale kartdata kan det fungere til saksbehandling i offentlig og privat sektor (Kartverket 2016).

3.1.2.2 Høydemodell DTM10

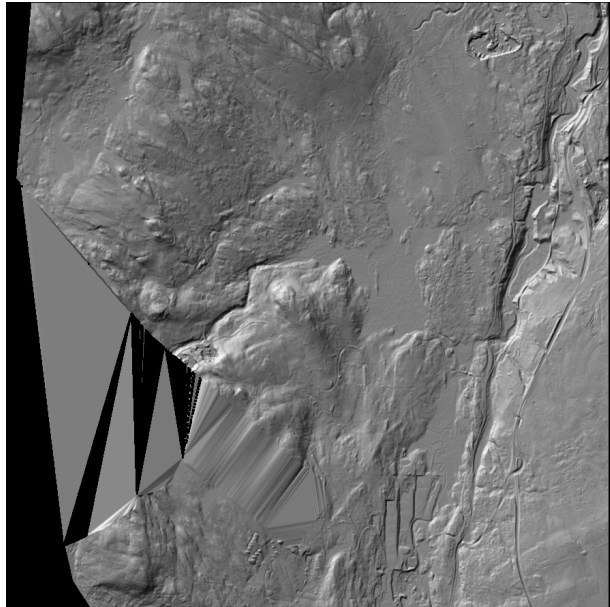
En digital terrengmodell ble lastet ned fra Kartverkets hjemmesider, dette hadde en rutenettsoppløsning på 10x10 meter. Hver av filene dekker et område på omkring 50x50 kilometer. Terrengmodellen egner seg godt til beregninger av terrengprofiler, masser, helninger og kartlegge områder som er svært utsatte for skred (Kartverket 2015b). Ser man på denne modellen i forhold til WorldDEM som er høydemodellen fra Astrium (figur nr. 15), er Kartverket en ren terrengmodell. Det vil si at de har fjernet objekter i modellen, noe som fører til en mer jevn overflate.



Figur 14 Shaded relief over Gjøvik (Kartverket)

3.1.2.3 Laserdata

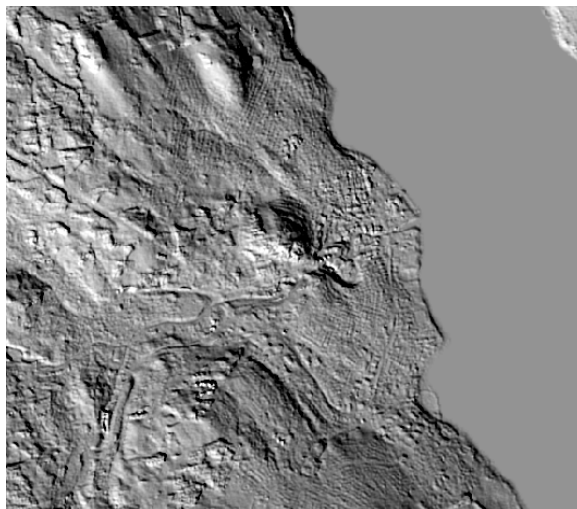
I oppgaven ble det interessant å se på en digital høydemodell produsert ved bruk av laserdata. Datasettet ble overført fra Kartverkets kontor på Hamar. Punktskyen måtte jeg selv redigere og lage en digital høydemodell av. Dette gjorde jeg i ERDAS Imagine, og resultatet ble en god høydemodell. På grunn av store datamengder ble det et lite begrenset område innenfor det store hovedområdet. Datasettet jeg fikk tilgang til hadde en punkttetthet på 5 punkter per kvadratmeter. Datasettet var klassifisert, så det forenklet arbeidet med å fjerne hus og trær betraktelig. En detaljert høydemodell over Norge innsamlet ved laserskanning gir muligheter for mer nøyaktig risikovurdering og optimalisere planlegging av prosjekter i det offentlige og private (Kartverket 2015a).



Figur 15 Shaded relief av Laserdataene

3.1.3 Astrium, WorldDEM

Dette datasettet er fra TandemX, og det er generert en digital elevation modell. De har laget noe de kaller for IDEM som er en digital overflate modell som inneholder overflate og høyden på bygninger. Området det dekker er Gjøvik og Hamar, med en topografi de klassifiserer som moderat fjell-landskap med sjø. Elevasjonen har et spenn fra 100-840 meter (Astrium 2013).

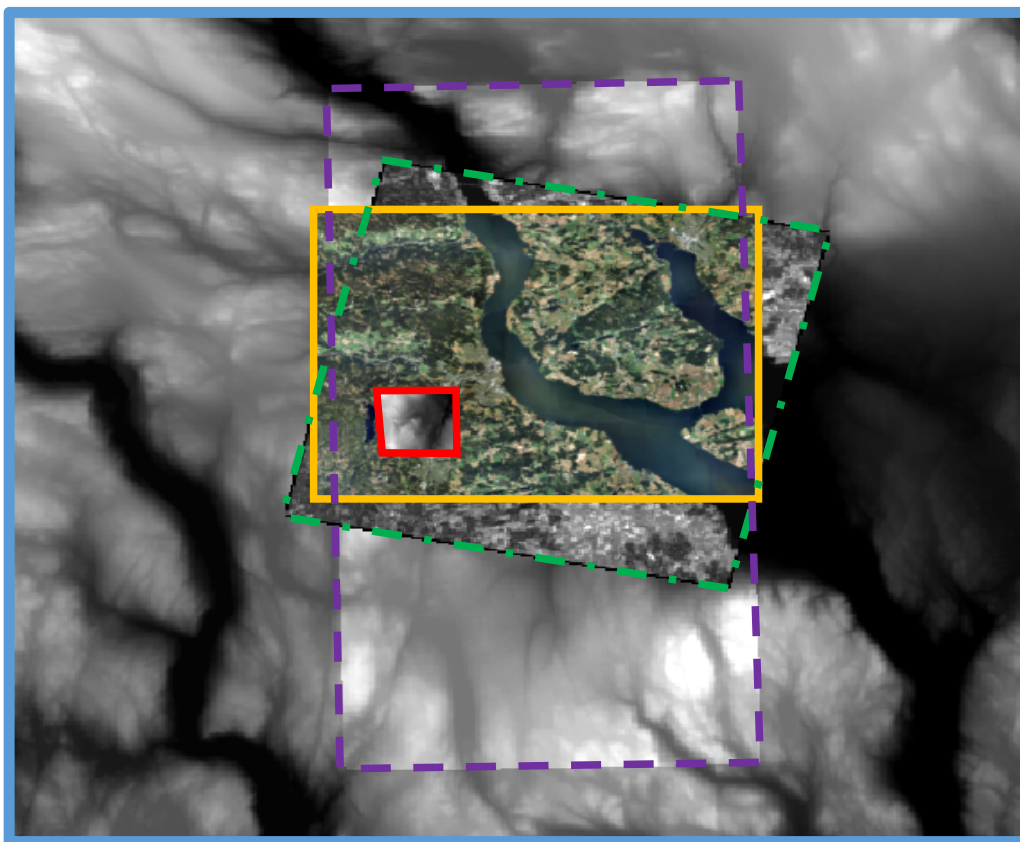


Figur 16 Shaded relief over Gjøvik (Astrium)

3.1.4 Global DEM (GDEM)

Denne høydemodellen er en veldig grov høydemodell som er tilgjengelig i ERDAS Imagine. Høydemodellen er generert ved et bilde tatt i nadir og et som er tatt i bakoverrettet vinkel, fra satellitten Terra. Sensoren som gjør opptakene kalles for ASTER og er et produkt av et samarbeid mellom finansdepartementet i Japan og NASA (*ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM)* 2011).

3.2 Oversikt over tilgjengelige datasett



Figur 17 Oversikt over de ulike datasettene.

Det store området med blå ramme er Kartverkets høydemodell, i dette tilfelle er det lastet inn som et gråtonebilde. Datasettet med lilla-stripet ramme er data fra WorldDEM. Datasettet med grønn-stripet ramme er et opprette Spot-opptak. Det gule omrisset er ortofoto fra Kartverket som er benyttet som referansebilde i kontrollene. Det lille røde området er området med laserdata, dette kommer også fra Kartverket. Det datasettet som mangler i denne illustrasjonen er Global DEM, dette er en høydemodell som er en del av ERDAS Imagine sin "Elevation Library".

3.3 Programvare

For å løse de problemstillingene i oppgaven, er jeg nødt til å benytte meg av noen dataprogrammer som skal gjøre arbeidet enklere. Jeg har valgt å bruke programvare som jeg har noe kjennskap til i fra før. Det var meningen at jeg skulle benytte meg av et annet program ved navn Geomatica fra produsenten PCI, et program lignende ERDAS Imagine. Det skulle da gjøres en sammenligning av resultater fra ERDAS Imagine og PCI Geomatica. Siden jeg ikke hadde så god kjennskap eller erfaring med dette programmet fra tidligere, viste det seg at tiden ikke strakk til i dette tilfelle. Det ble gjort forsøk på bruk av PCI Geomatica, men oppsett og fremgangsmåte var ulik fra ERDAS Imagine . Dette gikk utover tiden jeg hadde til å gjøre opprettingene, så jeg valgte å kun benytte meg av ERDAS Imagine.

3.3.1 ERDAS Imagine 2015

ERDAS Imagine er et av de ledende programvarene i verden når det kommer til behandling av geospasiale data. Programvaren er en pakke av muligheter som inkluderer bildebehandling, analyse, fjernmåling og GIS-oppgaver. Det er i tillegg et program som gjør det enkelt å jobbe med eller lage 2D og 3D produkter. Du kan tilpasse programmet etter dine egne behov, slik at man kan jobbe mer effektivt mot relevante oppgaver (Hexagon-Geospatial 2015).

Jeg benytter den siste versjonen av ERDAS Imagine, 2015-versjonen. Den har egnet seg meget godt til de oppgavene jeg har brukt den til. Dette er også et program jeg har brukt mye tidligere i studiet, til oppgaver relatert til klassifisering og redigering av bildets egenskaper. Dette medførte at det ble et naturlig valg av verktøy for meg.

I tillegg har jeg lært meg noe nytt i forhold til behandling av laserdata, på dette området imponerte programvaren meg. Hvor enkelt det lot seg å jobbe med disse dataene, både *.las og *.laz filer. ERDAS Imagine gjorde det mulig å bearbeide store mengder data svært raskt og enkelt.

3.3.2 ArcGis 10.3, ArcMap

Dette er et ESRI-produkt, som er mye bukt til GIS-analyse og arbeid med visualisering av data. I mastergradsoppgaven benytter jeg meg av ArcMap som er en av applikasjonene til

ArcGis 10.3. Dette programmet egner seg også godt til analyse av data, og alle redigeringsmulighetene gjør at det er enkelt for meg å visualisere resultatene på en god måte. Vektorene i analysen er laget ved hjelp av ArcMap applikasjonen. ArcGis har også andre applikasjoner i tillegg til ArcMap, det er ArcCatalog, ArcGlobe og ArcScene. Disse kan brukes til å lage kart, gjøre romlig analyse, administrere geografiske data og deling av resultater (ESRI 2016).

3.3.3 PCI Geomatics

Startet opp i 1982, er ledende utvikler av geografisk bildebehandlingsprogrammer og produkter. PCI Geomatics er utvikler av Geomatica, som er en komplett programvare til bruk for remote sensing, digital fotogrammetri, analyse, kartproduksjon, og mye mer (PCI 2016).

Etter oppstart av oppgaven og analysen av bildene, så jeg at tiden ikke strakk til med tanke på å sammenligne to programmer.

4 Metode og gjennomføring

For å gjennomføre oppgaven måtte jeg se for meg en måte jeg kan analysere og ikke minst utføre oppgaven på. På grunnlag av kunnskap jeg har tilegnet meg gjennom ulike fag innenfor bildebehandling, bestemte jeg meg for å gjøre en analyse av resultatet med vektorer i ArcMap 10.3 og fremvisning av resultatene basert på grafer laget i Excel.

Før jeg kom så langt at jeg kunne sette resultatene inn i ArcMap 10.3, måtte jeg bearbeide dataene jeg hadde tilgjengelig. Jeg leste meg opp på de tingene jeg hadde lært i foregående bildebehandlingsemner. I tillegg fant jeg noen relaterte kilder som kunne hjelpe meg i forhold til min problemstilling. Jeg fant blant annet en artikkel skrevet av Toutin (2004), som er meget relevant i forhold til temaet.

4.1 Metode

Analysen viste seg å være gjennomførbar ved at man gjorde en oppretting i ERDAS Imagine og man fikk resultatene i form av RMS-error og resultater for avvik i x-, y- og z-retning. Dataene måtte så inn i et Excel-ark og samles der slik at man kan bruke dem til å lage feilvektorer i et GIS-program senere, slik at jeg kunne gjøre en visuell vurdering av kontrollen.

4.2 Gjennomføring

I dette avsnittet vil jeg forklare hvordan jeg arbeidet med dataene og forklare hvordan jeg kom frem til resultatene. Arbeidet ble gjort i Erdas Imagine 2015.

4.2.1 Importere data

Spot-opptaket jeg hadde tilgjengelig over området var et pankromatisk opptak fra 13.08.1987. Dette ble importert gjennom importerings-verktøyet i ERDAS og eventuelle forbedringer i bildets radiometriske egenskaper ble gjort senere.

Datasettene fra Kartverket og Astrium kom i TIFF-format og kunne lastes direkte inn i programmet. I disse datasettene måtte endre projeksjon og datum til UTM sone 32 og WGS 84. Når datasettene hadde samme projeksjon og datum, kunne operere med samme

bakgrunnsopplysninger i alle dataene. Dataene ble så lagret i img-format, som er ERDAS sitt format.

4.2.2. Klargjøre data

Før selve opprettingen begynte fant jeg ut at det vil gjøre arbeidet enklere dersom man prøvde å kant-skjerpe Spot-opptaket. Hensikten med dette var å gjøre det enklere å plassere GCP (ground control points). Disse skulle plasseres på steder i opptaket som var lett gjenkjennelig i referansebildet og det uopprettede Spot-opptaket.

I tillegg trenger man en del informasjon om de ulike datasettene. Det ble derfor gjort en del arbeid med å skaffe informasjon om dataenes oppbygging og tekniske spesifikasjoner omkring opptaket. Spesielt er det viktig å notere seg en del informasjon fra SPOT-opptaket, ettersom det er informasjon om fra dette som er avgjørende for at bilde skal få en riktig geometri. I teorien omkring satellittens posisjon og insidensvinkel mot opptaksområde, står det at dersom man har R foran informasjonen om insidensvinkel i leader-filen skal man bruke positiv verdi. Dette betyr at satellitten beveger seg i sørlig retning med opptaksområde på sin høyre side (Intergraph 2013 s. 584). Dette er blant informasjonen som er nødvendig å ta hensyn til ved oppretting av Spot-opptak.

4.2.3 Bearbeide dataene

Før opprettingen var det viktig å få en oversikt over hvilke data som overlappet eller et mer spesifikk område som dekkes av alle datasettene. Det gjorde jeg ved at jeg lastet alle datasett inn med samme projeksjon og bestemte da et område.

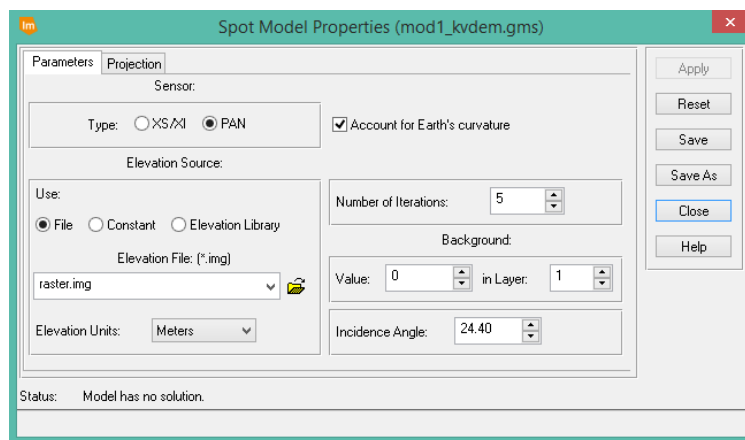
Laserdataene jeg fikk fra Kartverket dekker et mindre område i det noe større hovedområdet jeg arbeider med i de andre opprettingene. Dette området kommer som et tilskudd i arbeidet og er kanskje mer aktuelt frem i tid når man har kraftigere arbeidsstasjoner som kan operere med større punktskyer og datasett. Selve bearbeidelsen av laserdataene var tidkrevende, men ERDAS Imagine sine funksjoner var meget kraftige og gjorde jobben enklere.

4.3 Oppretting

Hovedprosessen gikk ut på å opprette bildene, ERDAS Imagine sin funksjonalitet var veldig enkel å bruke og forstå. Veien gikk igjennom et GCP-verktøy som gjorde det mulig å opprette bildet manuelt. Referansekoordinatene hentet jeg fra www.norgebilder.no.

Det pankromatiske Spot-opptaket har en oppløsning på 10x10 meter og referansebildet i nettløsningen hadde en oppløsning på 40 cm. Dette medfører også en feilkilde ettersom det er vanskelig å plassere et punkt like godt i det bildet med grovere oppløsning. Her er det da skapt en ekstra feilkilde.

I opprettingen er det "SPOT Model" i ERDAS Imagine som er benyttet. Denne tar hensyn til pankromatisk eller multispektrale data. Modellen skal være mest effektiv for level 1A data, noe som treffer mine kriterier. Når modellen er valgt kommer man til et vindu der man kan lage en geometrisk korreksjons modell for en av spot-sensorene. Denne funksjonen er spesielt tilpasset til data som er innsamlet med Spot-sensorer. Den er basert på kolinearitetslikninger og man er avhengig av å definere eller laste inn en høydemodell for å fjerne forskyvninger i bildet forårsaket av topografien. Det er viktig å huke av for jordens krumning i dette tilfelle, på grunn av opptakets geometri. I tillegg må man legge til informasjon om opptakets insidensvinkel og krysse av for at man skal ta hensyn til jordas krumning. I tillegg kan man velge ulike høydemodeller. Ettersom dataene går igjennom en iterativ prosess kan man velge dette her. Jeg har valgt å ikke endre på antall iterasjoner for å se hvordan forhåndsinnstillingen vil påvirke resultatet.



Figur 18 Spot Model-vinduet i ERDAS Imagine

5 Resultat

I dette kapitlet presenteres resultatene fra opprettingene. Det er ikke slik at man kan si at det er riktig eller galt, eller om kvaliteten er som forventet før man har begynt å analysere dataene. Det har vært en prosess der jeg har gjennomført orto-oppretting av et enkelt SPOT-opptak. Det som skal endres er høydemodellene, slik at man kan se hvordan den påvirker geometrien i bildet.

Resultat fra opprettingene ble lagt inn i et Excel-ark og residualene som er beregnet i programmet ble fremvist ved hjelp av grafer. Grafene viser X- og y-residualer. Samtidig har jeg prøvd å vise hvordan RMS-error oppfører seg. Jeg har også funnet de ulike høydeverdiene for kontrollpunktene.

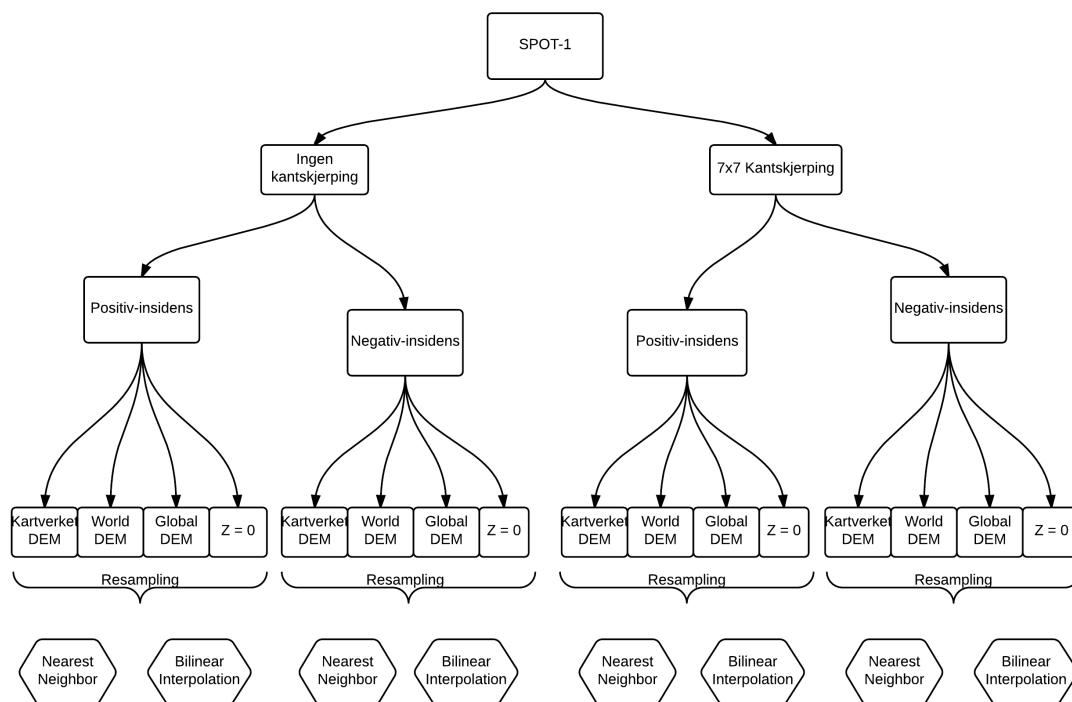
Kontrollen av opprettingen er gjort ved at jeg har valgt ut 11 nye punkter i det opprettede bilde og referansebildet. Referansebildet er lastet ned fra www.norgebilder.no og med en oppløsning på 1 meter, noe jeg gjorde for at det skulle være enklere å velge ut punkter i dette bildet. Det ble også gjort forsøk på å bruke ortofoto med 10m og 5m oppløsning, for å se om dette ville gi noen bedre resultater. I tillegg har jeg gjort endringer i det opprettede bildet ved at jeg utførte kantskjerping. Da brukte jeg konvolusjonsfilter som baseres på en 7x7 matrise. Det ble gjort noen tester og valget av bildet baseres på en visuell vurdering fra min side. Her var det viktigste at man klarte å plassere et punkt på samme plass i de to bildene, slik at det minsket grunnlaget for feilplassering. Endring av pikselstørrelse i spot-opptaket ble også testet, men det hadde lite for seg når man resamplere bildet med "nærmeste nabo". Resampling med bilinear interpolasjon ga heller ikke noen enklere resultater, ettersom man får et inntrykk av "storpikslar og småpikslar".

5.1 Opprettinger gjort med ERDAS Imagine 2015

Det ble gjort veldig mange opprettinger i ERDAS Imagine med ulike kriterier. Punktene skulle ha en fordeling på en måte som gjør det riktig i forhold til kriteriene. Fordelingen ble derfor gjort etter beste evne, med hensyn til faktorer som spiller inn. Punktene skulle treffe innenfor høydemodellene og være mulig å plassere i det grove SPOT-opptaket ved de fire høydemodellene.

5.1.1 Opprettede bilder

Det er gjort ulike forsøk på å opprette bilder, jeg laget meg en illustrasjon over ulike muligheter. Ettersom jeg hadde positiv insidensvinkel i mitt opptak, benyttet jeg den "veien". Jeg valgte også å kantskjerpe opptaket før jeg gjorde opprettingen. Grunnen til dette var at jeg enklere skulle bestemme bakkekontrollpunktene. Dette kan påvirke resultatene, så det vil jeg kunne oppdage i resultatene mine.



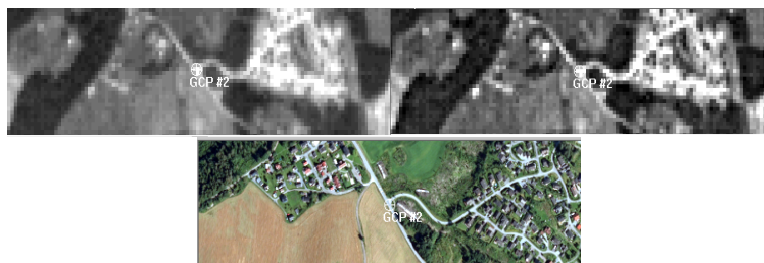
Figur 19 Flytdiagram (Lucidchart)

5.1.2 Bakkekontrollpunkt (GCP) brukt i oppretting

Her er en oversikt over kontrollpunkter brukt til opprettingen av Spot-opptaket. Det er gjort et forsøk på sette sammen to bilder fra et referansebilde (Kartverkets ortofoto) og SPOT-opptaket slik at det skal gi et bilde av hvordan det var å finne punkter i referanse og ikke opprettet bilde. Som bildene viser er det ikke lett å plassere punkter helt eksakt så det blir litt i forhold til øyet som ser. Jeg har prøvd etter beste evne å plassere det så likt som mulig. I figurene 20-29 er gråtonebildet til venstre uten korreksjon, bilde til høyere har fått en 7x7 kantskjerping. Referansebildet er ortofoto fra Kartverket som er plassert under de to Spot-opptakene.



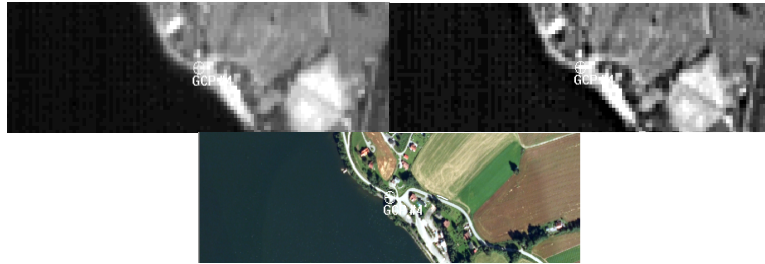
Figur 20 GCP #1 i SPOT-opptak og i referansebildet.



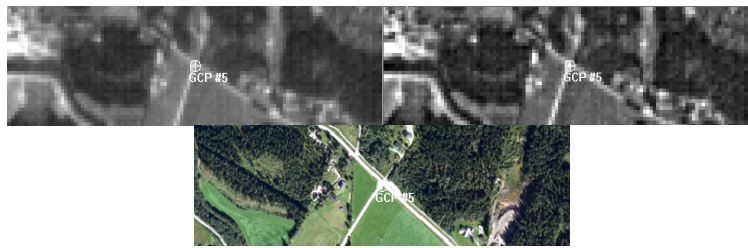
Figur 21 GCP #2 i SPOT-opptak og i referansebildet.



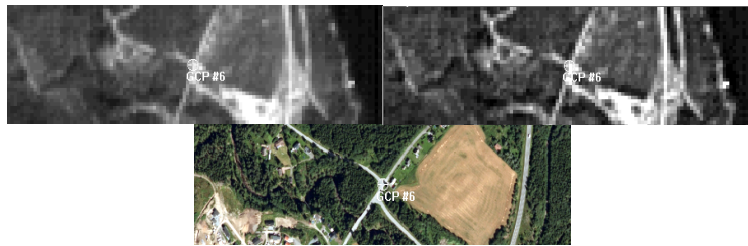
Figur 22 GCP #3 i SPOT-opptak og i referansebildet.



Figur 23 GCP #4 i SPOT-opptak og i referansebildet.



Figur 24 GCP #5 i SPOT-opptak og i referansebildet.



Figur 25 GCP #6 i SPOT-opptak og i referansebildet.



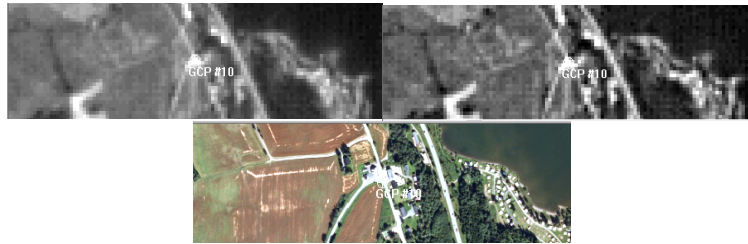
Figur 26 GCP #7 i SPOT-opptak og i referansebildet.



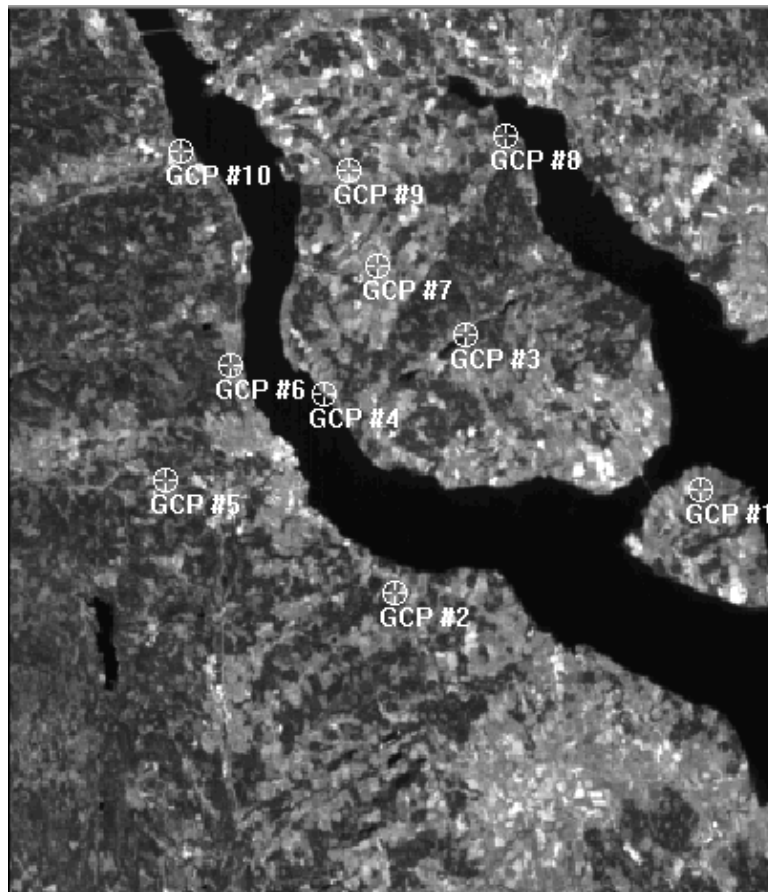
Figur 27 GCP #8 i SPOT-opptak og i referansebildet.



Figur 28 GCP #9 i SPOT-opptak og i referansebildet.



Figur 29 GCP #10 i SPOT-opptak og i referansebildet.

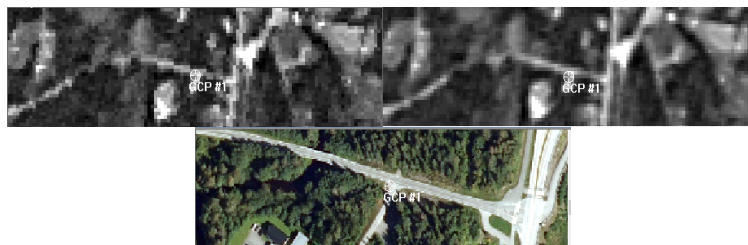


Figur 30 Oversikt som viser fordelingen av GCP benyttet ved opprettingen(Spot Original)

5.2 Kontroll av opprettinger gjort med ERDAS Imagine 2015

For å kontrollere opprettingen mine valgte jeg ut 11 tilfeldige punkter rundt om i det opprettede bildet og tilsvarende punkt i referansebildet. De samme punktene ble benyttet i alle kontrollene, bortsett fra opprettingen som ble gjort med laserdata. Jeg har i tillegg gjort en forbedring med opptakene for å bedre skarpheten, slik at det skal lette arbeidet med å finne steder i bildet som er forskjellig fra punktene benyttet ved oppretting av bilde.

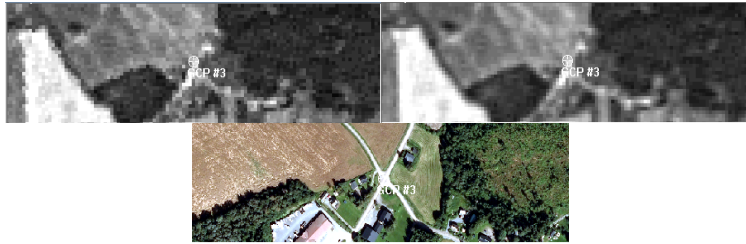
Det var mange ulike opprettinger å velge mellom, jeg valgte ut dem som var resamplet med nearest neighbor. I tillegg er det gjort et forsøk på å sammenligne med opprettinger som er resamplet med bilinear interpolation. Dette er fordi man er interessert i å se hvilke forskjeller det gir med tanke på geometri. Det finnes også flere typer resampling-metoder, men jeg har valgt å fokusere på disse to metodene i denne oppgaven. I figur 31 – 41 har jeg vist hvordan testpunktene er plassert i kontrollen. Spot-opptaket til venstre er resamplet med nearest neighbor og opptaket til høyere er resamplet med bilinear interpolation. Referansebildet er plassert i midten under og er samme referansebilde som brukt ved oppretting.



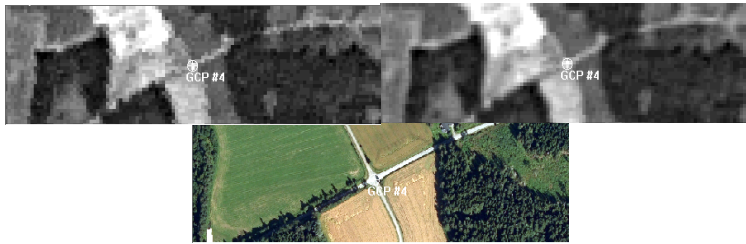
Figur 31 GCP #1 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri



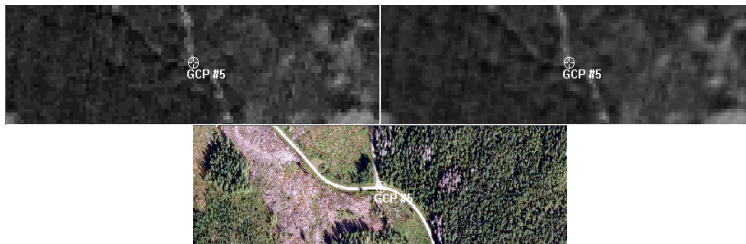
Figur 32 GCP #2 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.



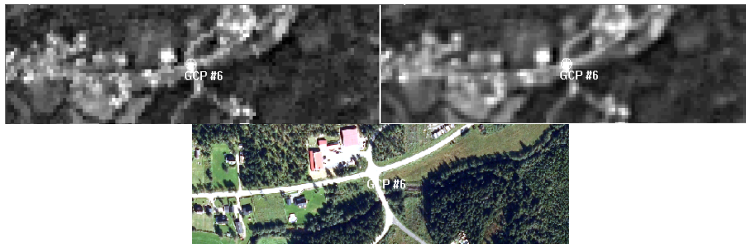
Figur 33 GCP #3 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.



Figur 34 GCP #4 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.



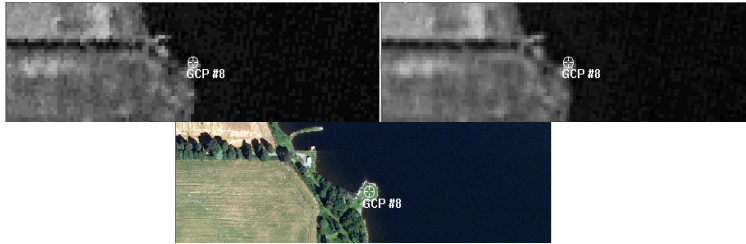
Figur 35 GCP #5 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.



Figur 36 GCP #6 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.



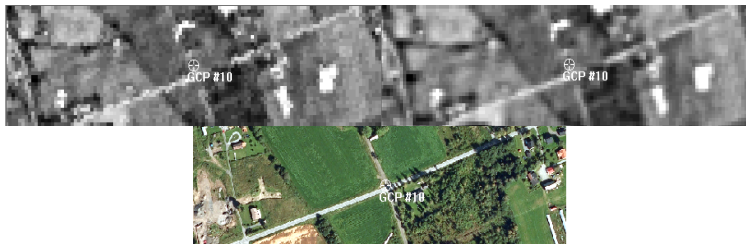
Figur 37 GCP #7 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.



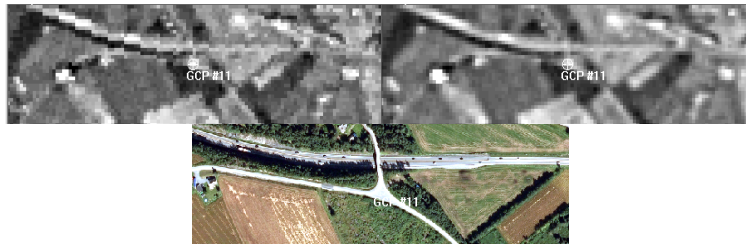
Figur 38 GCP #8 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.



Figur 39 GCP #9 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.



Figur 40 GCP #10 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.



Figur 41 GCP #11 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.

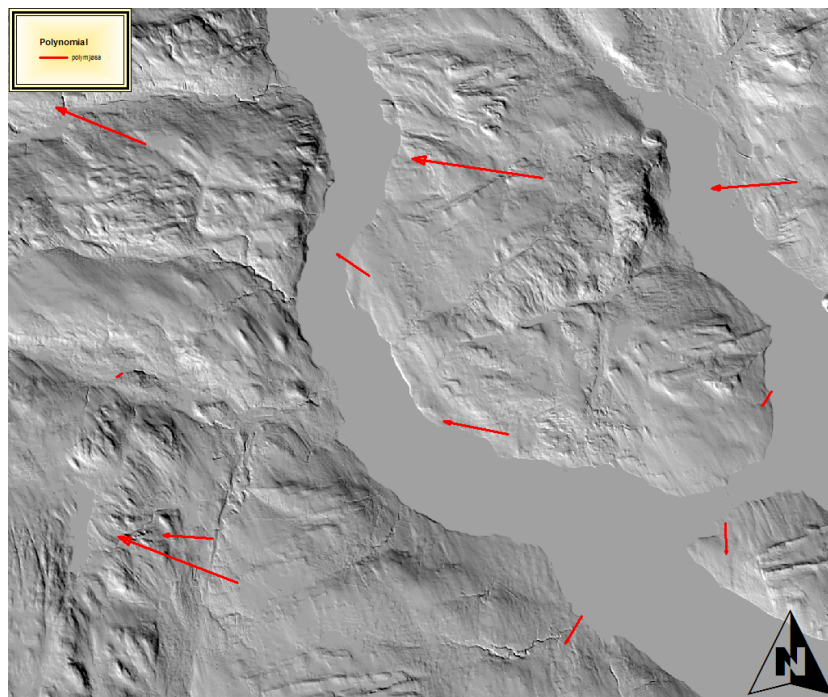
5.3 Feilvektorer

For å illustrere geometriske forskyvning i bildet, og hvordan den endre seg kan man lettest illustrere ved hjelp av feilvektorer. Disse feilvektorene kommer fra ArcMap 10.3. Det er beregnet vektorer ut i fra input koordinater og referansekoordinater. Ved hjelp av en "toolbox" som heter "Visualise Error Vectors as Arrows" kunne man lese inn data fra Excel-ark. Verktøyet er laget av Håvard Tveite, førsteamanuensis ved IMT.

5.4 Forskyvning i opprettet bilde

Det ble gjort en første-ordens polynomtransformasjon med noen få punkter i "Mjøskanten". Dette ville resultere i at man enklere kan se en systematisk forskyvning i bildet, i forhold til hva jeg vet om satellittens posisjon og det som er kjent med geometrien til et Spot-opptak.

Jeg har visualisert denne forskyvningen ved bruk av vektorer i ArcMap 10.3, hvor jeg har benyttet meg av de samme test-kontrollpunktene som i kontrollene av de andre bildene. Dette bildet er brukt som en type fasit for å gi et inntrykk av hvilke resultater jeg kunne forvente. Her ser man tydelig at vektorene peker i nordvest-retning.



Figur 42 Vektorer fra test med polynomial

6 Analyse

I analysen skal jeg se på nøyaktigheten til resultatbildene fra de ulike opprettingene og hvordan resultat påvirkes av de ulike høydemodellene.

Jeg har gjort et forsøk på å samle inn data fra forskjellige kombinasjoner og se på om det gir ulike resultater. De åpenbare forskjellene omkring endring av høydemodeller er som forventet, men ettersom det er flere forskjellige valgmuligheter i programvaren har jeg begitt meg ut på å prøve disse.

6.1 Sammenligne nøyaktighet i opprettede bilder

For å sammenligne nøyaktighet har jeg laget vektorer i ArcMap 10.3. Disse viser lengde og retning som punktet er forskjøvet i forhold til der det egentlig skulle være.

6.1.1 Vektorer fra ArcMap 10.3

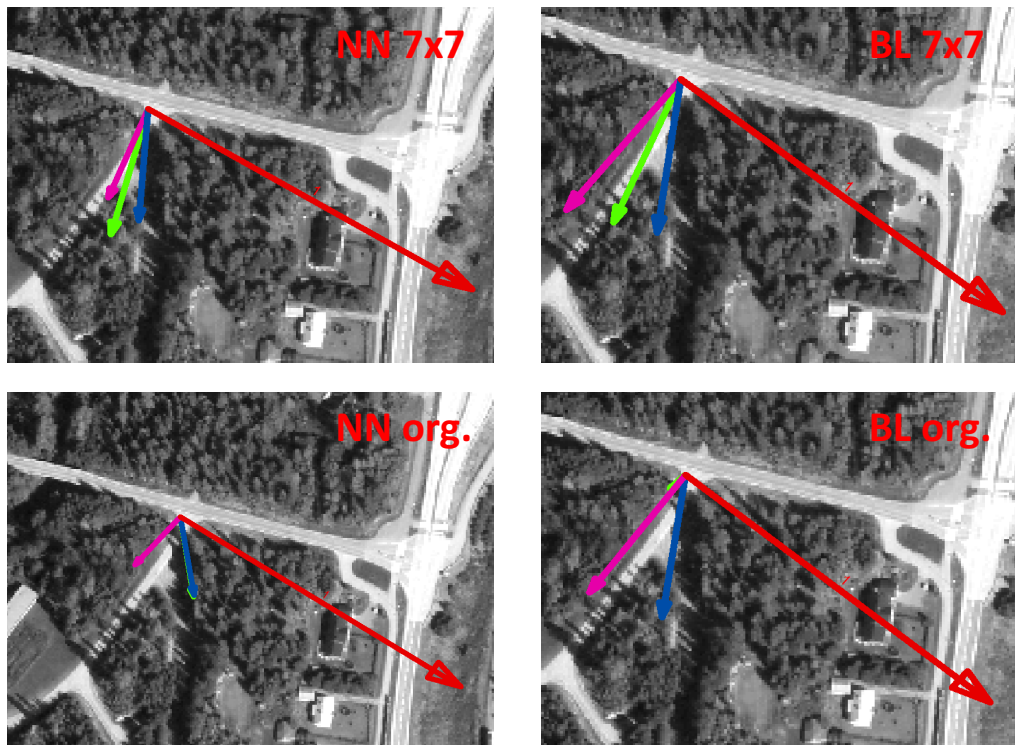
Vektorene jeg har laget i ArcMap 10.3 er skalert med 2 i innlesingen, dette har jeg gjort for at det skal være mulig å vise tydelig hvor vektorene peker. Grunnen til at jeg har brukt et gråtonebilde i bakgrunnen er for at de fargelagte vektorene skal komme tydeligere frem. Dette er det samme ortofoto som er benyttet som referansebilde i kontrollene.

6.1.2 Vektorer fra kontroll av de ulike opprettingene

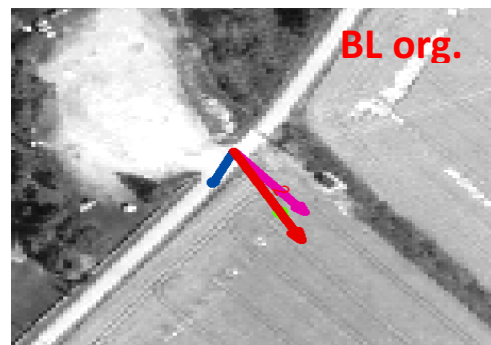
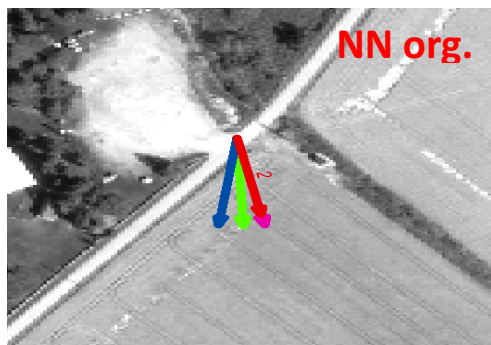
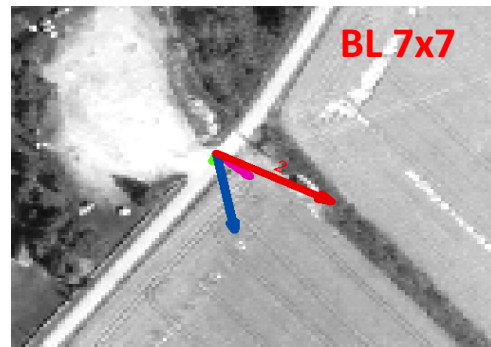
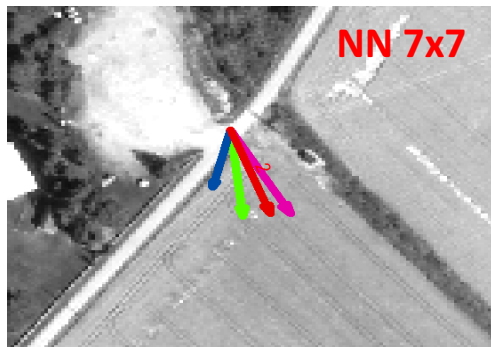
I dette avsnittet presenterer jeg resultatet fra kontrollene jeg har gjort av de ulike bildeopprettingene. Jeg har presentert resultatene ved hjelp av vektorer som representerer forskyvningen i bildet, ved opprettinger gjort med Kartverkets DTM 10, World DEM, Global DEM og konstant z-verdi lik 0. Figur 44 til 54 viser kantskjerpet bilde resamplet med nearest neighbor (NN 7x7), kantskjerpet bilde resamplet med bilinear interpolation (BL 7x7), ikke kantskjerpet bilde resamplet med nearest neighbor (NN org.) og ikke kantskjerpet bilde resamplet med bilinear interpolation (BL org.). Vektoren er skalert med 2 slik at det skal gi en hensiktsmessig størrelse for å gjøre en visuell vurdering av retningen. Nordretningen i figurene er rettet oppover, på grunn av liten plass er det ikke retningspiler i figurene.



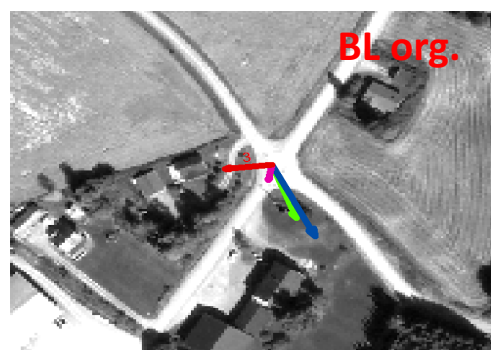
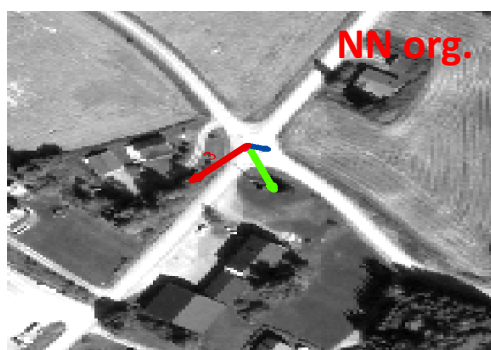
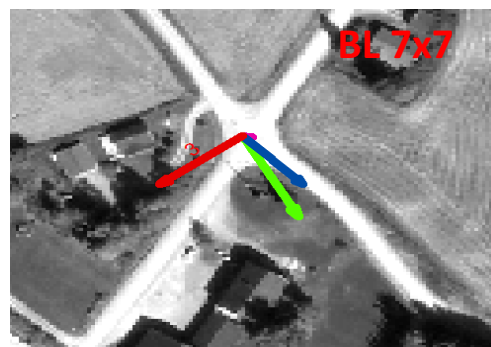
Figur 43 Beskrivelse av vektorer i kontrollen



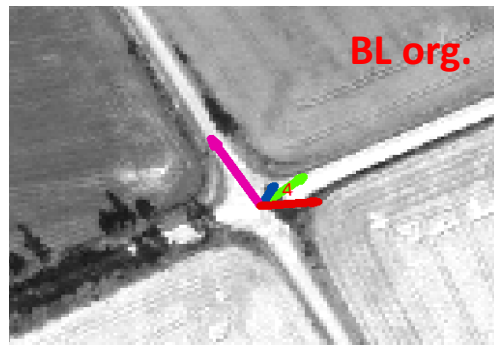
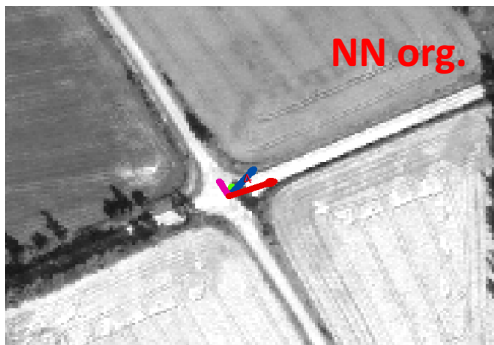
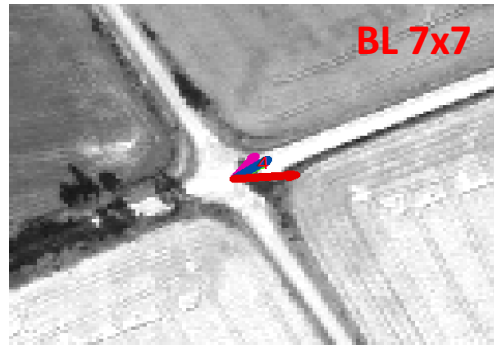
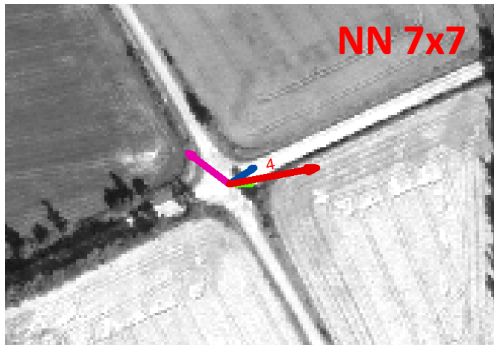
Figur 44 Kontrollpunkt #1 med feilvektorer



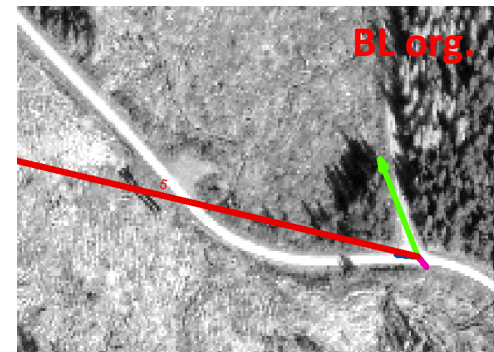
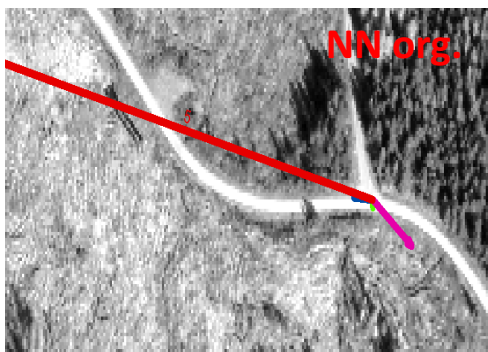
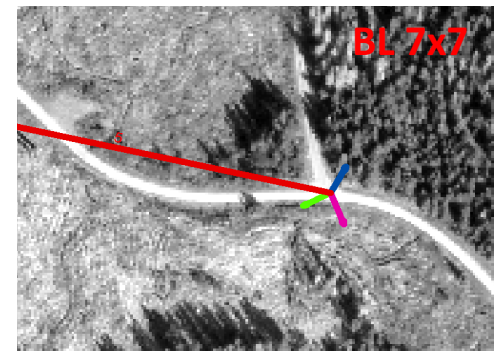
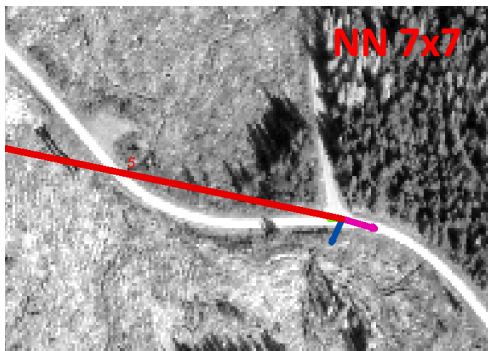
Figur 45 Kontrollpunkt #2 med feilvektorer



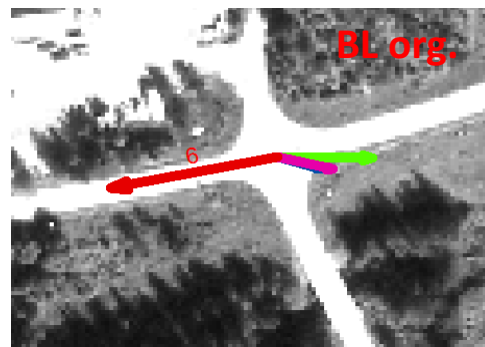
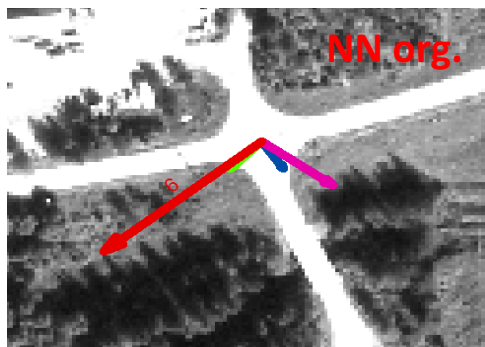
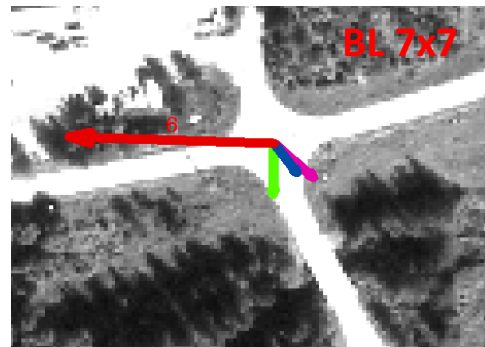
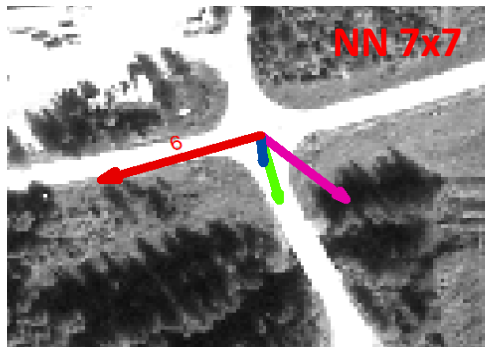
Figur 46 Kontrollpunkt #3 med feilvektorer



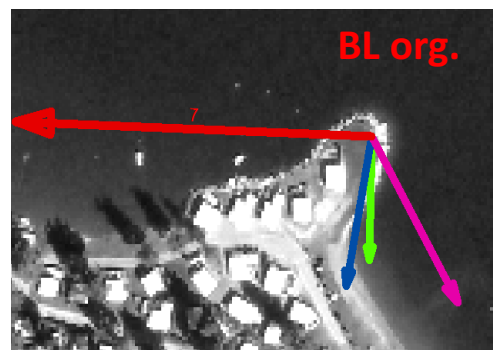
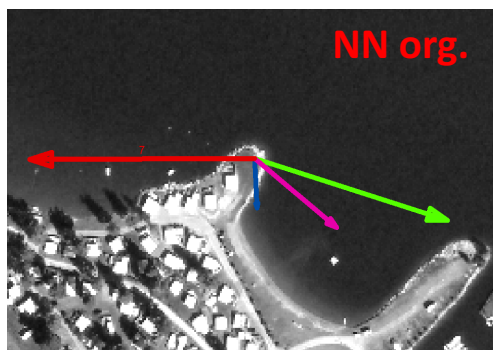
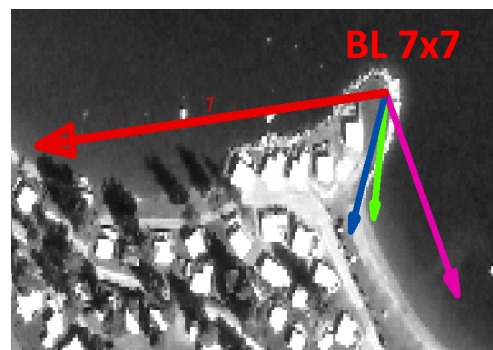
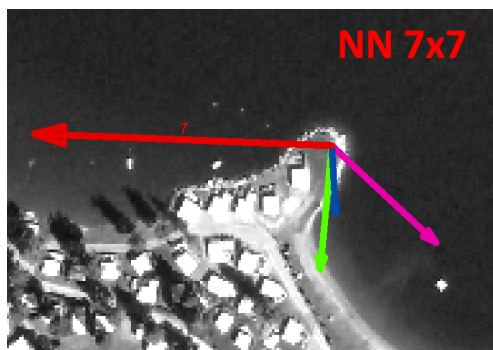
Figur 47 Kontrollpunkt #4 med feilvektorer



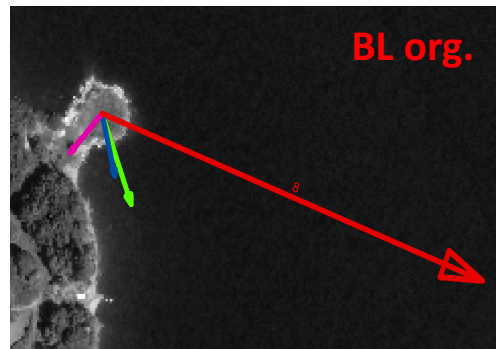
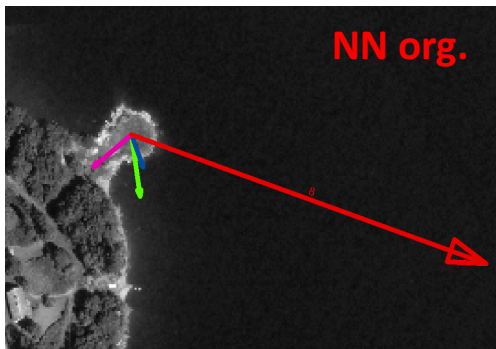
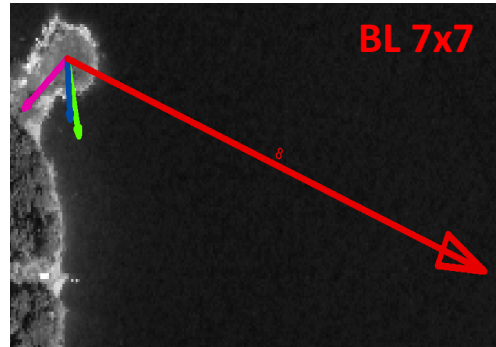
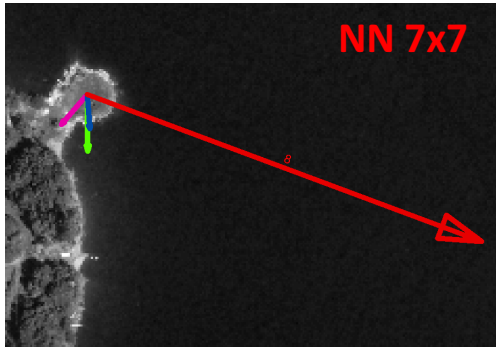
Figur 48 Kontrollpunkt #5 med feilvektorer



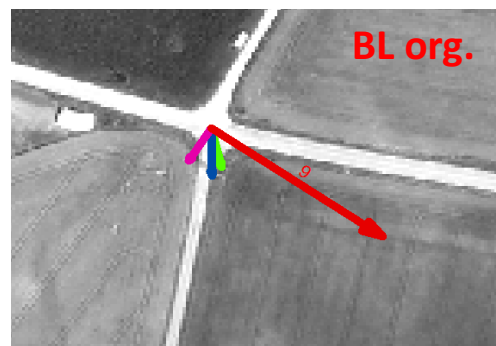
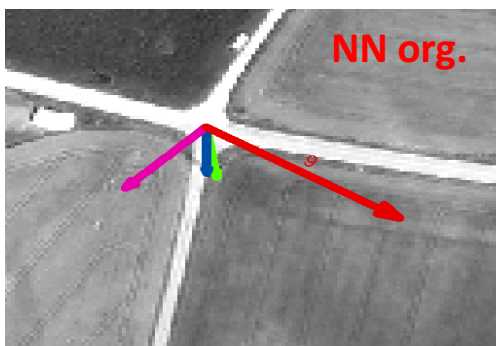
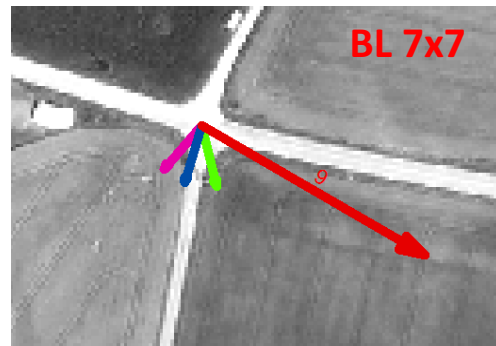
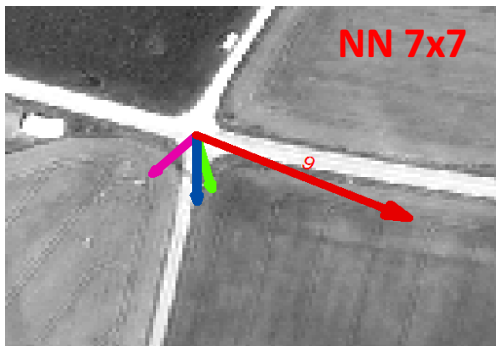
Figur 49 Kontrollpunkt #6 med feilvektorer



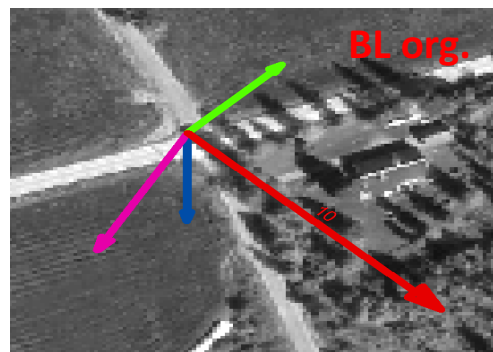
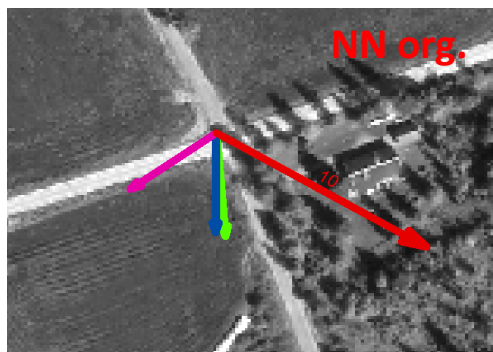
Figur 50 Kontrollpunkt #7 med feilvektorer



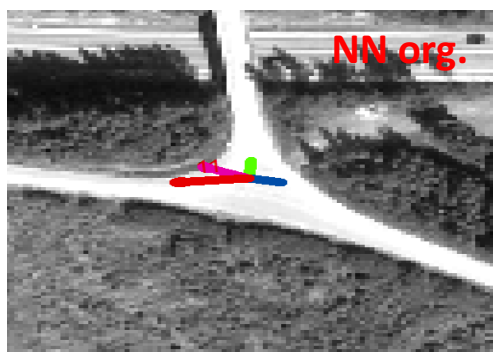
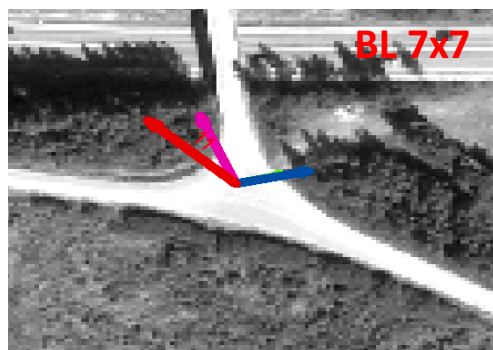
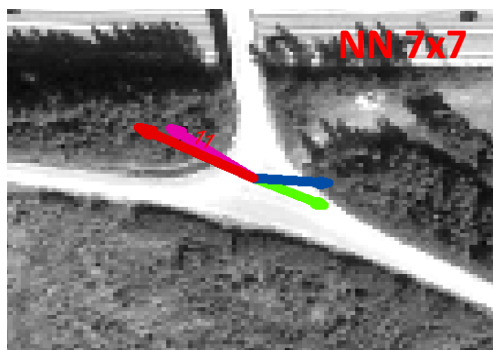
Figur 51 Kontrollpunkt #8 med feilvektorer



Figur 52 Kontrollpunkt #9 med feilvektorer



Figur 53 Kontrollpunkt #10 med feilvektorer

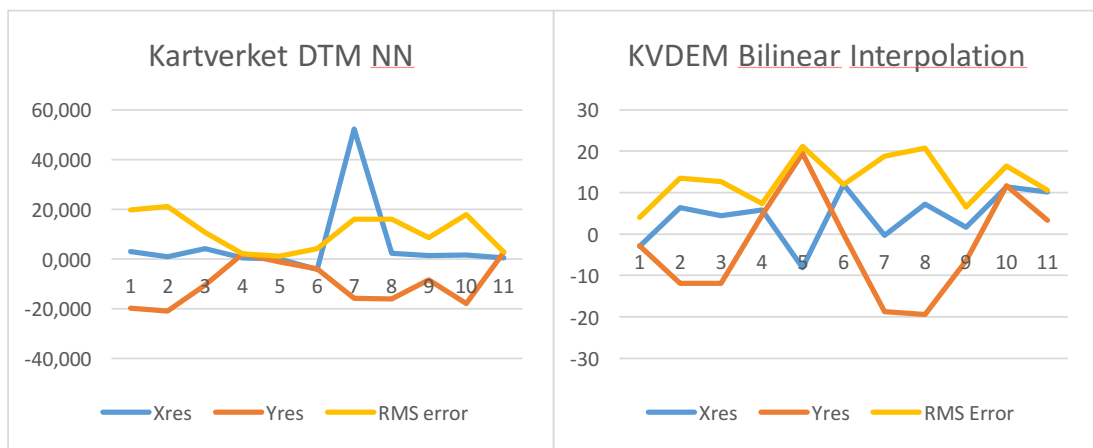


Figur 54 Kontrollpunkt #11 med feilvektorer

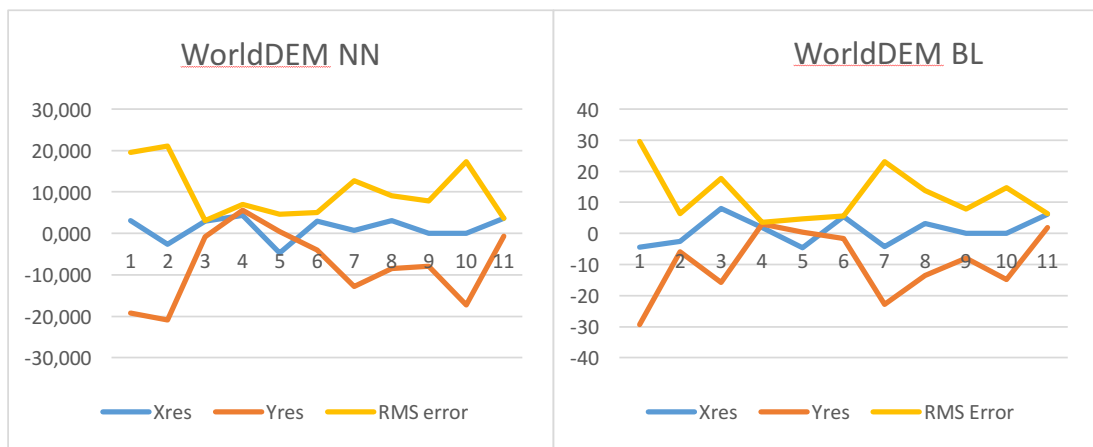
6.1.3 Grafer til vektorene fra oppretting uten kantskjerping

Disse grafene er basert på resultater fra kontroll av de opprettede bildene. Det er benyttet ortofoto fra Kartverket med 1 m oppløsning som referansebilde og sammenlignet deretter med et opprettet Spot-opptak.

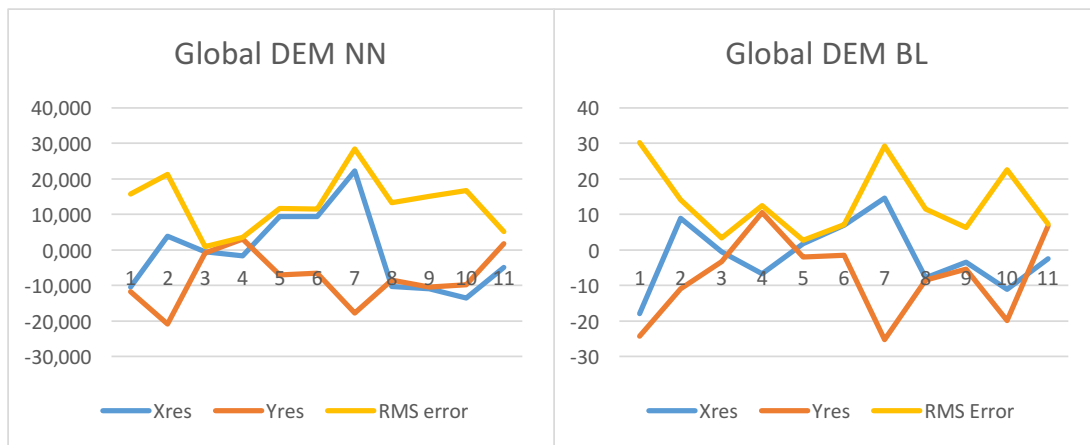
Det er ikke slik at det er enkelt å se noen systematisk fordeling av residualene. Sett bort i fra at punkt 7 i figur 55 har et større avvik enn tilsvarende punkt i de andre figurene, så oppfører residualene seg veldig likt. Y-residualene holder seg på den negative siden, noe som betyr at y-verdiene ligger sør for der punktet opprinnelig skal være. Slik oppfører den seg for alle kontrollene av de opprettede dataene. X-residualene holder seg noe mer stabilt omkring null og pendler litt mellom positive og negative verdier.



Figur 55 Residualer fra kontroll av bilder opprettet med Kartverkets DEM



Figur 56 Residualer fra kontroll av bilder opprettet med WorldDEM



Figur 57 Residualer fra kontroll av bilder opprettet med Global DEM.



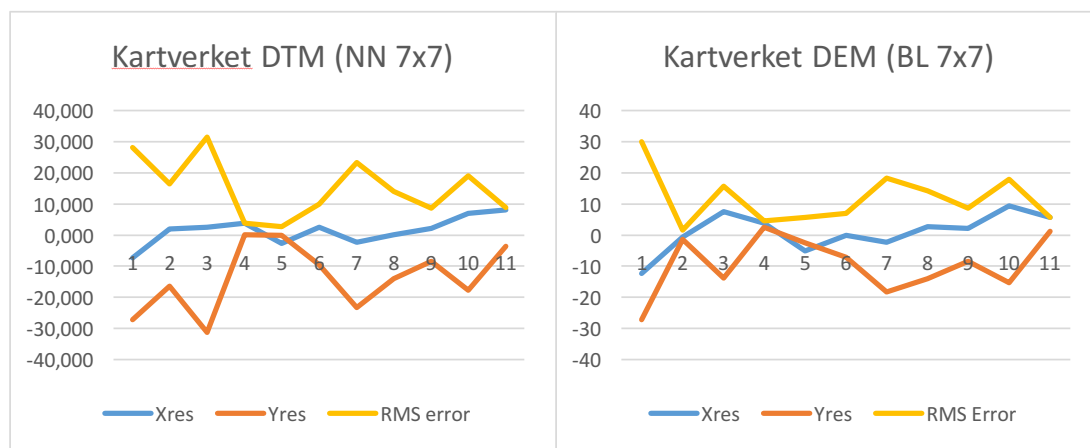
Figur 58 Residualer fra bilde opprettet med ingen høydeverdi

Ser man på figur 58, hvor jeg har opprettet bilde med konstant høydeverdi, kan man se at det er store avvik i punkt 5. Dette er for så vidt en gjenganger i alle figurene hvor jeg har konstant høydemodell, dette kan bety at punktet kan være vanskeligere å plassere visuelt ved kontrollen. Siden det er slik at dette punktet ikke har like store avvik når bildet er opprettet med høydemodell så kan ikke dette punktet ha skyld i dårlig visuell plassering, heller at punktet har dårligere geometri.

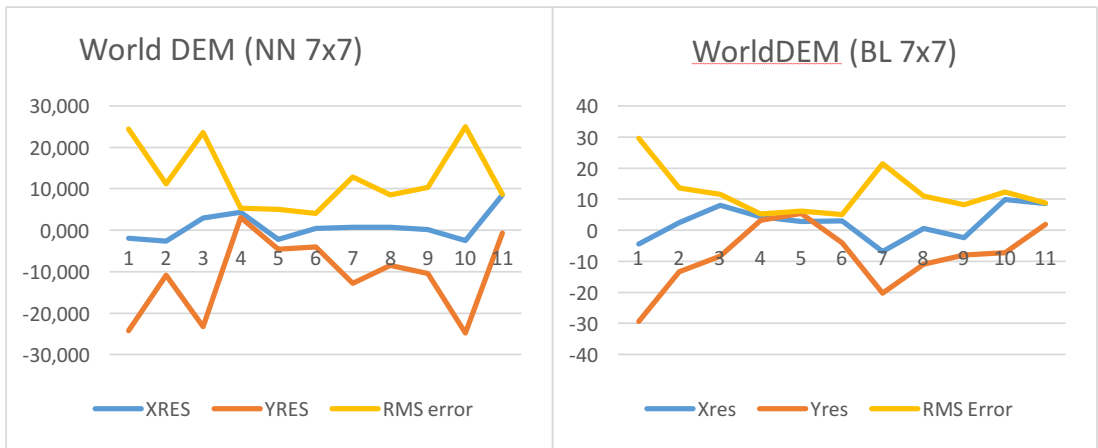
ID	SNITT X-RES	SNITT Y-RES	SNITT RMS-ERROR
KARTVERKET DTM (NN)	5,640	-10,009	-10,009
WORLD DEM (NN)	1,230	-7,827	10,094
GLOBAL DEM (NN)	-0,680	-8,055	13,042
Z = 0 (NN)	-1,407	-10,555	48,672
KARTVERKET DTM (BL)	4,321	-2,918	13,062
WORLD DEM (BL)	0,775	-9,646	12,154
GLOBAL DEM (BL)	-1,588	-7,600	13,365
Z = 0 (BL)	-1,861	-10,327	47,591

6.1.4 Grafer til vektorene til de kantskjerpede opptakene

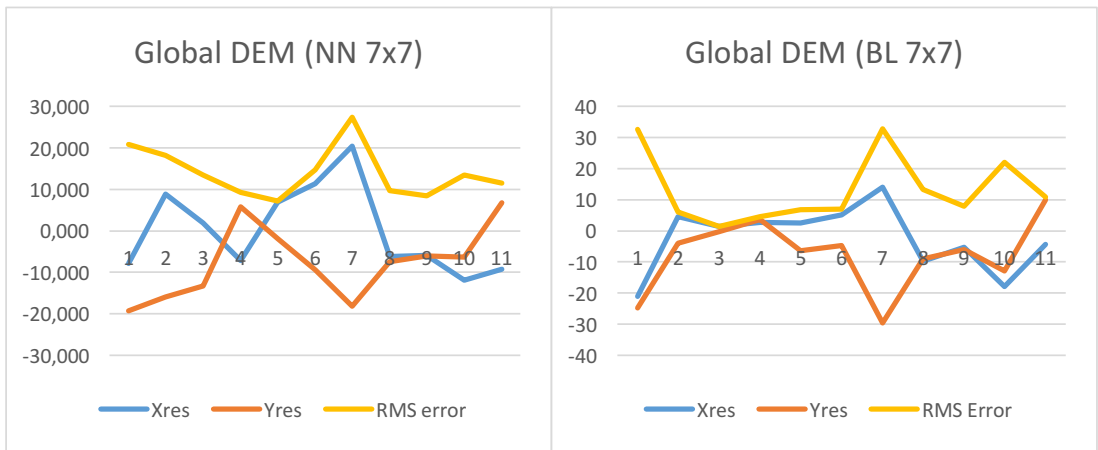
Residualene til de kantskjerpede bildene hadde ingen stor endring fra de bildene som ikke var kantskjerpede bildene. X- og y-residualene oppfører seg ganske likt, for alle opprettingene.



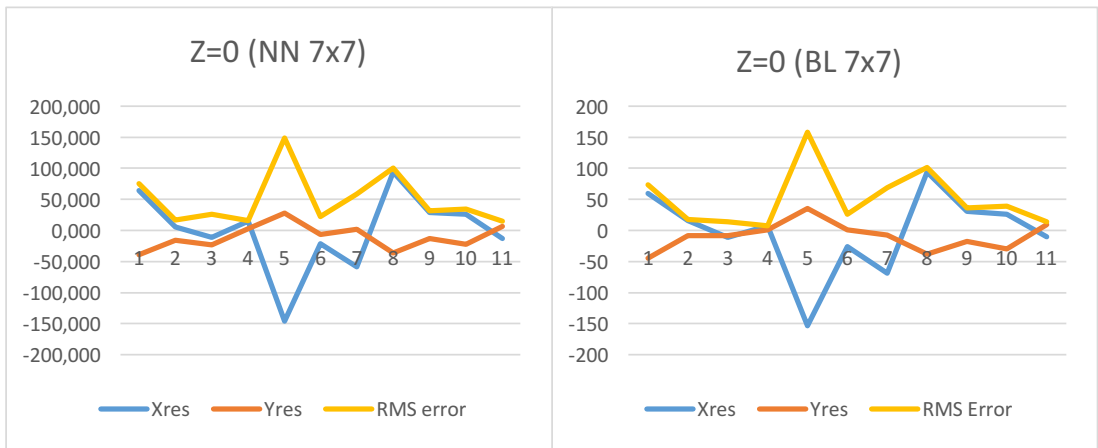
Figur 59 Grafisk fremstilling av residualer fra kantskjerpede bilder



Figur 60 Grafisk fremstilling av reisdualer fra kantskjerpede bilder



Figur 61 Grafisk fremstilling av reisdualer fra kantskjerpede bilder



Figur 62 Grafisk fremstilling av reisdualer fra kantskjerpede bilder

ID	SNITT XRES	SNITT YRES	SNITT RMS-ERROR
KARTVERKET DTM (NN 7X7)	1,411	-13,782	15,137
WORLD DEM (NN 7X7)	0,775	-11,009	12,606
GLOBAL DEM (NN 7X7)	0,100	-7,759	14,014
Z = 0 (NN 7X7)	-1,407	-10,555	49,433
KARTVERKET DTM (BL 7X7)	0,957	-9,464	11,780
WORLD DEM (BL 7X7)	2,366	-8,282	12,083
GLOBAL DEM (BL 7X7)	-2,554	-7,658	13,215
Z = 0 (BL 7X7)	-3,223	-9,873	50,645

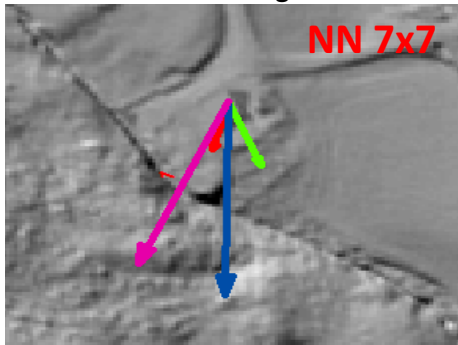
6.2 Sammenligne nøyaktighet av område opprettet med laserdata

Det var et ønske å se hvordan en oppretting med høydemodell generert av laserdata ville være. Jeg har dermed laget en høydemodell ved bruk av laserdata. Høydemodellen har en oppløsning på 10 meter, noe som skulle tilsvare de andre høydemodellene jeg har benyttet i forrige kapittel. Jeg kommer til å vise resultatene som vektorer i dette kapitlet. Jeg har kun sett på 7x7 kantskjerpede opptak med ulik resampling, nearest neighbor og bilinear interpolation. I tillegg har jeg sett bort i fra konstant Z lik 0. Jeg har lagt shaded relief som bakgrunn i testen, bildene har samme kjennetegn som ved figurene i kapittel 6.1.2. Kontrollpunktene er ikke de samme ved denne testen som ved kontrollen av de andre bildene, siden dette er avgrenset av et mye mindre område. Jeg har brukt de samme opprettede bildene fra den andre kontrollen for å sammenligne med bildet som er opprettet med laserdata.

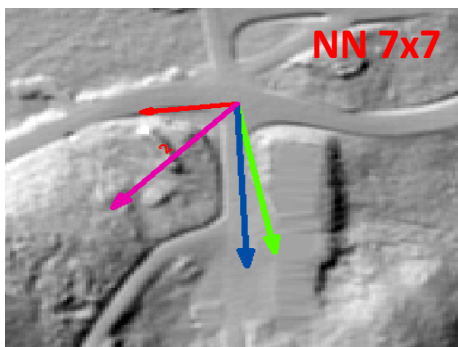
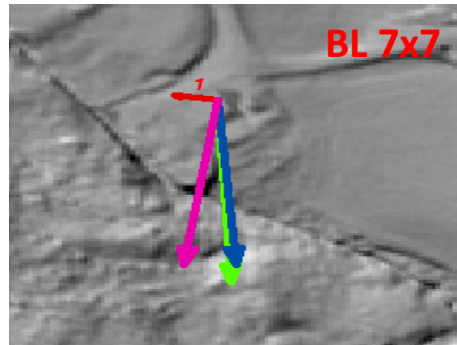


Figur 63 Beskrivelse av vektorer ved kontroll

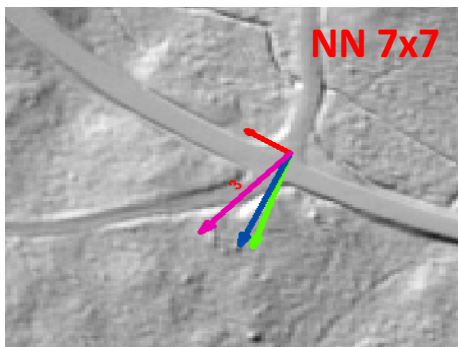
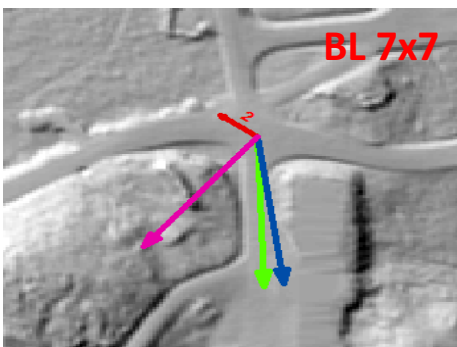
6.2.1 Vektorfremstilling av kontroll av laserdata



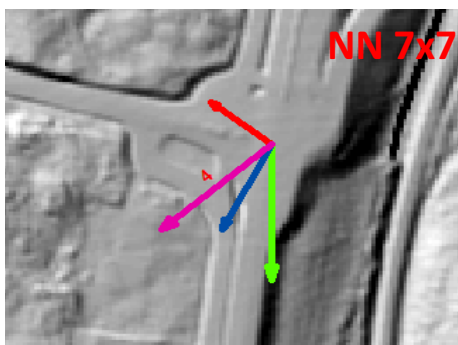
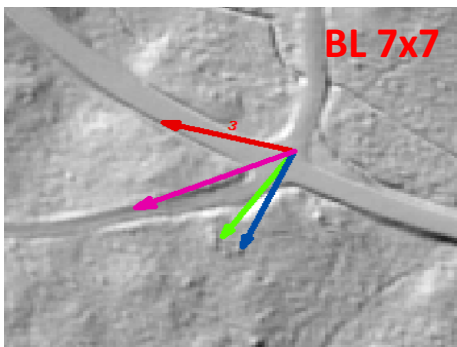
Figur 64 Laserkontrollpunkt #1



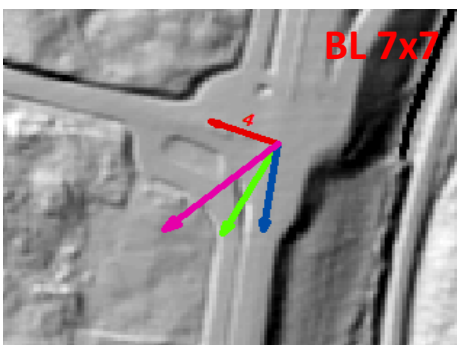
Figur 65 Laserkontrollpunkt #2

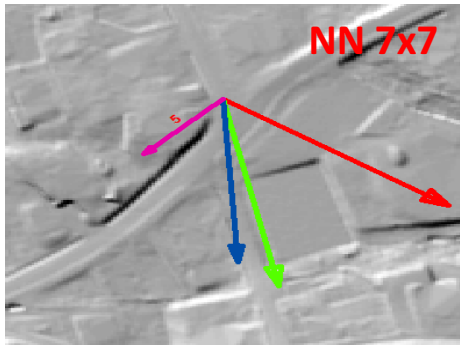


Figur 66 Laserkontrollpunkt #3

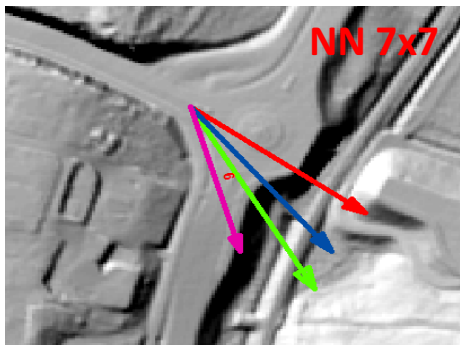
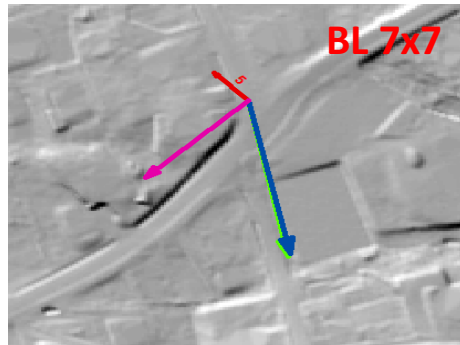


Figur 67 Laserkontrollpunkt #4

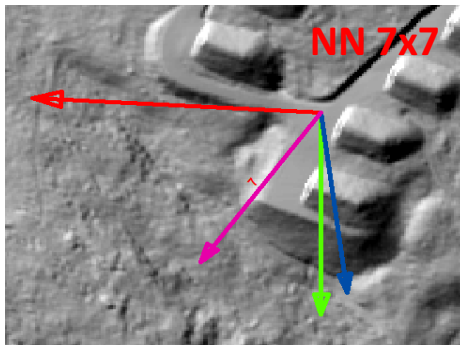
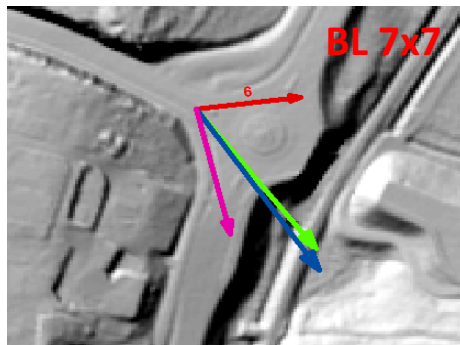




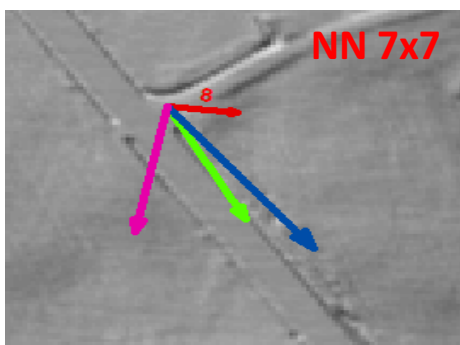
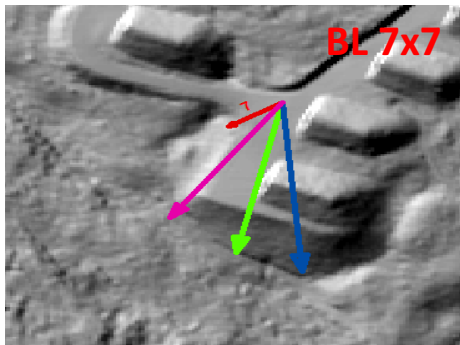
Figur 68 Laserkontrollpunkt #5



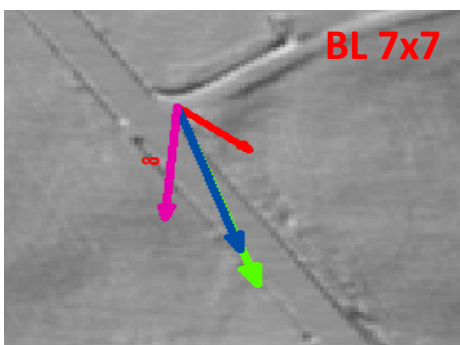
Figur 69 Laserkontrollpunkt #6

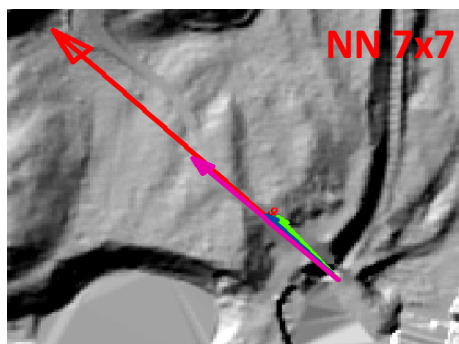


Figur 70 Laserkontrollpunkt #7

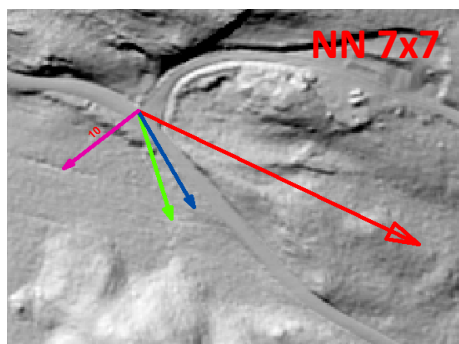
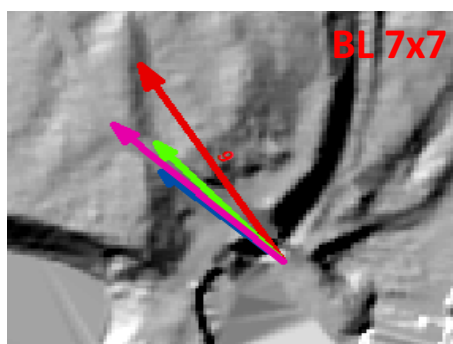


Figur 71 Laserkontrollpunkt #8

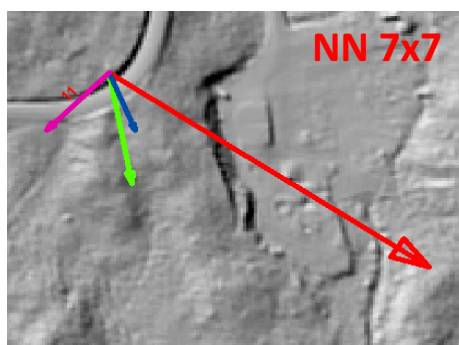
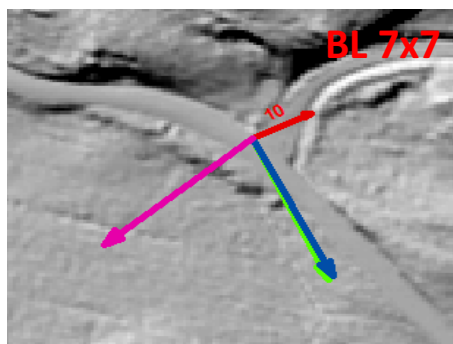




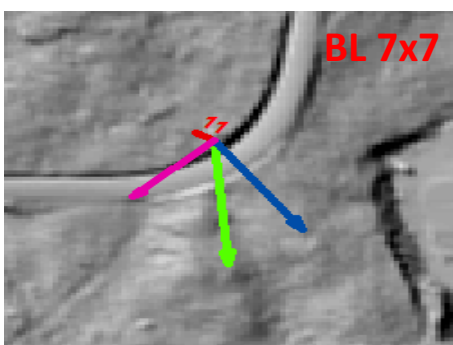
Figur 72 Laserkontrollpunkt #9



Figur 73 Laserkontrollpunkt #10



Figur 74 Laserkontrollpunkt #11



Man ser i det samme tilfelle i disse vektorene at de peker i en annen retning enn det som er forventet fra tidligere. Det kommer også tydelig frem en forskjell på opptakene som er resamplet med nearest neighbor og bilinear interpolation. Noen av figurene har noe feil målestokk for å kunne visualisere vektorene, dette medfører at man heller må se på retningen til vektorene. I tabellen under viser jeg hvordan gjennomsnittet av residualene er for kontrollen. Man ser faktisk at det er større residualer ved denne opprettingen. Dette kan hende at er på grunn av en feil i genereringen av høydemodellen. Opprettingen gjorde jeg på samme måte som de andre, bortsett fra at jeg valgte nye bakkekontrollpunkter for det området som høydemodellen dekket. Bildene jeg sammenlignet var de samme opptakene

som jeg hadde benyttet tidligere. Man ser at de i noen av tilfellene har en innvirkning, men ser man på gjennomsnittet av RMS-Error for deopprettingene som er resamplet med nearest neighbor, kommer det frem at det i snitt er bedre nøyaktighet enn Spot-opptaket som er opprettet med høydemodellen generert av laserdata. For bilinear interpolation varianten ser man det motsatte, der har laserdataene lavere snitt verdi av RMS-Error.

ID	SNITT XRES	SNITT YRES	SNITT RMS-ERROR
LASER DEM (NN 7X7)	5,221	-6,009	37,946
KARTVERKET DTM (NN 7X7)	4,175	-25,236	29,154
WORLD DEM (NN 7X7)	2,857	-23,100	27,763
GLOBAL DEM (NN 7X7)	-13,370	-15,827	26,190
LASER DEM (BL 7X7)	-3,566	4,795	12,315
KARTVERKET DTM (BL 7X7)	0,993	-21,100	26,708
WORLD DEM (BL 7X7)	4,675	-21,963	27,085
GLOBAL DEM (BL 7X7)	-13,143	-15,372	25,165

7 Konklusjon

Hovedmålet med oppgaven var å utføre en orto-opprettning av satellittbilder med bruk av ulike digitale høydemodeller som dekker det samme området og analysere resultatet med sikte på å påvise mulige forskjeller hva angår geometrisk kvalitet. Man tar sikte på å benytte Erdas Imagine og PCI Geomatics, to dataprogrammer slik at man også kan ha mulighet for å vurdere en eventuell forskjell mellom disse hva funksjonalitet og yteevne angår.

Hovedmålet med oppgaven er nådd og jeg har utført opprettinger med ulike digitale høydemodeller som dekker samme område. Resultatene er analysert og viser forskjeller hva angår geometrisk kvalitet. Jeg har derimot gått bort i fra å sammenligne to forskjellige dataprogrammer, ettersom jeg så hvor tidkrevende det var å gjennomføre de andre analysene. Underveis i prosessen har jeg valgt å fokusere mer på hvordan Spot-modellen i ERDAS Imagine oppfører seg under oppretting av satellittbilder. Gjennom litteratur jeg har funnet, har jeg kommet over enkelte ting som gjør at jeg har satt spørsmålsteget ved resultatene jeg får fra "Spot-model". Det fremkommer i en artikkel skrevet av El-Manadili og Novak (1996), hvor de bruker direkte lineær transformasjonsmodell til å opprette et sett med spot-data. Her konkluderer de blant annet med at deres metode gir en oppretting med resultater bedre enn én piksel ved bruk av færre kontrollpunkter. Deres test-område er enda mer ekstremt enn mitt med tanke på topografi, men allikevel ser jeg at mine resultater er ganske like de som fremkommer i artikkelen.

Når det kommer til høydemodellenes rolle i opprettingen kommer det fram resultater som er forventet. Resultatene i analysen viser at man er helt avhengig av å benytte seg av høydeverdier ved oppretting. Når det kommer til å bestemme seg for hvilken høydemodell som gir den beste kvaliteten er det heller vanskelig, å bestemme seg for om det er den digitale terrengmodellen til Kartverket som gir de beste resultatene eller om det er den digitale høydemodellen til Astrium. De to høydemodellene gir ganske like svar og har snittverdier som er ganske like gjennom de ulike opprettingene. I noen av tilfellene er Astrium sin modell bedre enn Kartverket sin, og i andre tilfeller er Kartverket sin høydemodell bedre.

Oppgaven har belyst sider ved orto-oppretting av satellittbilder som jeg ikke har sett tidligere og har ført til at jeg har kommet over enkelte delproblemstillinger jeg vil se litt nærmere på.

Svar på delproblemstillinger:

- Hvordan oppfører opprettingene seg i forhold til høydemodellene?

Resultatene viser at det er en klar fordel å bruke høydemodeller til orto-oppretting av satellittbilder. Noe som bekreftes i tilegnet teori. Det jeg har oppdaget og som er bekymringsverdig er "Spot-model" til ERDAS Imagine. Denne har ikke gitt de resultatene man kunne forvente, sammenlignet med oppførselen til dataene i en polynom-transformasjon. Siden det i en polynom-transformasjon gir en klar endring i nordvestlig retning. I Spot-model ser man at vektorene peker i alle retninger, noe som også fremgår i artikkelen skrevet av Westin (1990). Der kommer det også fram at residualene peker i alle retninger etter oppretting.

- Finnes det metoder som gjør det enklere å bedre geometrisk kvalitet? (kantskjerping)

Ettersom Spot-opptaket hadde en grov oppløsning vurderte jeg mulighetene å gjøre forbedringer av bildet uten å fjerne informasjon. Jeg valgte å se på ulike resamplingsmetoder og metode for å forbedre kantene i bildet. Resultatene ble ikke så mye bedre som forventet, men de kantskjerpede bildene var mye bedre å arbeide med. En kombinasjon av bilder som var resamlet med bilinear interpolation og hadde en kantskjerping gjort med et 7x7 "konvolusjonsfilter", var det som etter min mening tilrettelegger for gode arbeidsforhold. Resultatene fra disse kontrollene var også bedre, men det var varierende for ulike punkter. Så mye av resultatene faller tilbake på det jeg har fryktet, at det er en usikkerhet med plassering av kontrollpunkter som er avgjørende for de største feilene.

- Hvordan operer "Spot modell"?

I arbeidet med å prøve å bli klokere på hvordan denne funksjonen fungerer har jeg ikke klart å komme frem til noe godt svar. Mye tyder på at beregningene skjer via en tilnærmingsprosess. Hvor dataene blir iterert 5 ganger. Det er blitt gjort flere forsøk på å spørre de som er kontaktpersoner for ERDAS Imagine uten å få noe konkret svar.

- Hvordan påvirker oppløsningen til referansebildet orto-opprettingen?

På dette punktet gjorde jeg noen enkle sammenligninger visuelt og det er ikke store forskjeller, i enkelte tilfeller ble resultatet dårligere. En av tankene var å gjøre om det ortofoto med 1 meter oppløsning til et bilde med 10 meter, dette gjorde ikke arbeidet lettere. Det var her jeg var inne på tanken ved å bruke et Sentinel-2 opptak som referansebilde. Det viste seg at dette var meget vanskelig på grunn av at den grove oppløsningen førte til at det var vanskelig å bestemme de samme punktene i et bilde med 10 meter oppløsning. Ettersom det ikke var kjent hvilke parametre som ble brukt til opprettingen av disse opptakene forkastet jeg resultatene. Det kan føyes til at det er veldig vanskelig å bruke et satellittbilde med 10 meter oppløsning som referansebilde, så dette vil jeg fraråde. Det er mulig å få det til dersom man finner en resampling-metode som ikke ødelegger konturer i bildet som er enkle å kjenne igjen.

- Vil det være en fordelaktig med enda mer nøyaktige høydemodeller, for eksempel en høydemodell generert ved bruk av laserdata ?

Når det kommer til denne delproblemstillingen ble jeg veldig usikker på svarene jeg fikk fra kontrollen. Jeg hadde sett for meg at høydemodellen som kom med laserdata ville være bedre til det formålet enn de øvrige opprettingene med andre høydemodeller. Noen av punktene bekrefter nettopp dette, men noen av punktene i kontrollen motbeviser dette der nearest neighbor er resamplingsmetode. En mulighet til feilkilde i dette tilfellet kan være fremgangsmåten med tanke på kombinasjonen av kantskjerping og resampling.

Det skal også nevnes at snittverdien til opprettingene er bedre for "laser-versjonen" enn for de øvrige opprettingene i kontrollen. Det skal jo også nevnes at jeg har bestemt en oppløsning på høydemodellen til å være 10 meter, noe som skal tilsvare de andre. Det kan hende dette er en av årsakene, men det er vanskelig å bevise dette ved de målingene jeg gjorde. En annen mulighet kan være at jeg har gjort noe feil i prosessen med å generere punktskyen til å bli en endelig høydemodell i ERDAS Imagine. Det kan være en idé å se litt nærmere på dette og heller flytte fokus på ulike opprettinger med høydemodeller som er generert med laserdata og med ulik oppløsning i disse høydemodellene.

8 Figurliste

Figur 1 Oversikt over området, sett i fra Sentinel 2	12
Figur 2 Sentinel 2 (ESA 2015b)	13
Figur 3 Tandem-X (Airbus 2015).....	14
Figur 4 SPOT-1 satellitten (Airbus 2015)	15
Figur 5 Orto-oppretting (Intergraph 2013 s.589)	20
Figur 6 Viser polynom tilnærmingen. (Hexagon-Geospatial 2014c).....	22
Figur 7 Oversikt over resampling (Hexagon-Geospatial 2014d).....	23
Figur 8 Skisse over hvordan "nærmeste nabo" fungerer (Hexagon-Geospatial 2014b)	23
Figur 9 Prinsipptegning av Bilineær interpolasjon (Hexagon-Geospatial 2014a).....	24
Figur 11 Viser hvordan det vil se ut i ERDAS Imagine.....	25
Figur 11 RMS Error (Hexagon-Geospatial 2014f)	25
Figur 12 Påvirkning fra "edge enhance" basert på ulik størrelse på matrise.	26
Figur 14 Opptaksgeometri i SPOT 1(GAEL 2004 s.70)	27
Figur 15 Shaded relief over Gjøvik (Kartveket).....	28
Figur 16 Shaded relief av Laserdataene	29
Figur 17 Shaded relief over Gjøvik (Astrium)	29
Figur 17 Oversikt over de ulike datasettene.	30
Figur 18 Spot Model-vinduet i ERDAS Imagine	35
Figur 19 Flytdiagram (Lucidchart).....	38
Figur 20 GCP #1 i SPOT-opptak og i referansebildet.	39
Figur 21 GCP #2 i SPOT-opptak og i referansebildet.	39
Figur 22 GCP #3 i SPOT-opptak og i referansebildet.	39
Figur 23 GCP #4 i SPOT-opptak og i referansebildet.	40
Figur 24 GCP #5 i SPOT-opptak og i referansebildet.	40
Figur 25 GCP #6 i SPOT-opptak og i referansebildet.	40
Figur 26 GCP #7 i SPOT-opptak og i referansebildet.	40
Figur 27 GCP #8 i SPOT-opptak og i referansebildet.	40
Figur 28 GCP #9 i SPOT-opptak og i referansebildet.	41
Figur 29 GCP #10 i SPOT-opptak og i referansebildet.	41
Figur 30 Oversikt som viser fordelingen av GCP benyttet ved opprettingen(Spot Original)...	41
Figur 31 GCP #1 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri	42
Figur 32 GCP #2 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.	42
Figur 33 GCP #3 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.	43
Figur 34 GCP #4 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.	43
Figur 35 GCP #5 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.	43
Figur 36 GCP #6 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.	43
Figur 37 GCP #7 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.	43
Figur 38 GCP #8 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.	44
Figur 39 GCP #9 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.	44
Figur 40 GCP #10 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.	44
Figur 41 GCP #11 i SPOT-opptak og i referansebildet. For kontroll av geometri.	44
Figur 42 Vektorer fra test med polynomial	45
Figur 43 Beskrivelse av vektorer i kontrollen	48
Figur 44 Kontrollpunkt #1 med feilvektorer	48
Figur 45 Kontrollpunkt #2 med feilvektorer	49
Figur 46 Kontrollpunkt #3 med feilvektorer	49

Figur 47 Kontrollpunkt #4 med feilvektorer	50
Figur 48 Kontrollpunkt #5 med feilvektorer	50
Figur 49 Kontrollpunkt #6 med feilvektorer	51
Figur 50 Kontrollpunkt #7 med feilvektorer	51
Figur 51 Kontrollpunkt #8 med feilvektorer	52
Figur 52 Kontrollpunkt #9 med feilvektorer	52
Figur 53 Kontrollpunkt #10 med feilvektorer	53
Figur 54 Kontrollpunkt #11 med feilvektorer	53
Figur 55 Residualer fra kontroll av bilder opprettet med Kartverkets DEM.....	54
Figur 56 Residualer fra kontroll av bilder opprettet med WorldDEM	54
Figur 57 Residualer fra kontroll av bilder opprettet med Global DEM.....	55
Figur 58 Residualer fra bilde opprettet med ingen høydeverdi	55
Figur 59 Grafisk fremstilling av reisdualer fra kantskjerpede bilder	56
Figur 60 Grafisk fremstilling av reisdualer fra kantskjerpede bilder	57
Figur 61 Grafisk fremstilling av reisdualer fra kantskjerpede bilder	57
Figur 62 Grafisk fremstilling av reisdualer fra kantskjerpede.....	57
Figur 63 Beskrivelse av vektorer ved kontroll	58
Figur 64 Laserkontrollpunkt #1	59
Figur 65 Laserkontrollpunkt #2	59
Figur 66 Laserkontrollpunkt #3	59
Figur 67 Laserkontrollpunkt #4	59
Figur 68 Laserkontrollpunkt #5	60
Figur 69 Laserkontrollpunkt #6	60
Figur 70 Laserkontrollpunkt #7	60
Figur 71 Laserkontrollpunkt #8	60
Figur 72 Laserkontrollpunkt #9	61
Figur 73 Laserkontrollpunkt #10	61
Figur 74 Laserkontrollpunkt #11	61

9 Litteraturliste

- Airbus, D. S. (2010). *TanDEM-x: Mapping the world in 3D*. Tilgjengelig fra: <http://www.space-airbusds.com/en/news2/tandem-x-mapping-the-world-in-3d.html> (lest 15.04).
- Airbus, D. S. (2015). *Tandem-X*. Airbus Defence & Space. Tilgjengelig fra: <http://www.space-airbusds.com/media/image/tandem-x-terrasar-x.jpg> (lest 25.04).
- Airbus, D. S. (2016). *Technical Information about the SPOT Satellites*. geo-airbusds.com: Airbus DS Geo SA -5. Tilgjengelig fra: <http://www.geo-airbusds.com/en/191-spot-technical-information>.
- ASTER *Global Digital Elevation Model (GDEM)*. (2011). Tilgjengelig fra: <http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/2.html> (lest 12.05).
- Astrium. (2013). WorldDEM Sample Data. 11.
- Dick, Ø. B. (2009). *Jordobservasjon. I Store norske leksikon*. I: leksikon, S. n. (red.). Jordobservasjon. <https://snl.no/jordobservasjon>: Store norske Lesikon (lest 13. april).
- El-Manadili, Y. & Novak, K. (1996). Precision rectification of SPOT imagery using the direct linear transformation model. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62 (1): 67-72.
- ESA. (2015a). *Facts and Figures: ESA*. Tilgjengelig fra: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Facts_and_figures (lest 15.04).
- ESA. (2015b). *Sentinel 2*. Tilgjengelig fra: https://sentinel.esa.int/image/image_gallery?uuid=486584ef-68fa-4f46-85c4-573983bd350f&groupId=247904&t=1346165488177 (lest 15.04).
- ESRI. (2016). *ArcMap, ArcGis for Desktop*. Tilgjengelig fra: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/> (lest 12.05).
- GAEL. (2004). SPOT 123-4-5 Geometry Handbook. 82.
- GISGeography. (2016). *Multispectral vs Hyperspectral Imagery Explained*. Tilgjengelig fra: <http://gisgeography.com/multispectral-vs-hyperspectral-imagery-explained/> (lest 10.05).
- GMBB201, F. (2013). Digital Image Processing. 45-69.

- Hexagon-Geospatial. (2014a). *Bilinear interpolasjon*. Tilgjengelig fra:
https://wiki.hexagongeospatial.com//images/4/41/Rectification_bilinear_interpolation_diagram.png.
- Hexagon-Geospatial. (2014b). *Nearest neighbor*. Tilgjengelig fra:
https://wiki.hexagongeospatial.com//images/5/5a/Rectification_resample_nearest_neighbor_graph.png.
- Hexagon-Geospatial. (2014c). *Polynomial Illustration*. Tilgjengelig fra:
https://wiki.hexagongeospatial.com//images/0/0b/Rectification_polynomial_curve_gcps_graph.png (lest 08.05).
- Hexagon-Geospatial. (2014d). *Resampling*. Tilgjengelig fra:
https://wiki.hexagongeospatial.com//images/c/cb/Rectification_resampling_process_diagram.png (lest 08.05).
- Hexagon-Geospatial. (2014e). *Resampling Methods*: HexGeoWiki. Tilgjengelig fra:
https://wiki.hexagongeospatial.com//index.php?title=Resampling_Methods.
- Hexagon-Geospatial. (2014f). *RMS Error*. Tilgjengelig fra:
https://wiki.hexagongeospatial.com//images/a/ab/Rms_residuals_per_gcp_diagram.png.
- Hexagon-Geospatial. (2015). *ERDAS IMAGINE® 2015 Product Features and Comparisons*.
<http://www.hexagongeospatial.com/technical-documents/erdas-imagine-2015-product-description>: Hexagon GeoSpatial.
- Intergraph. (2013). *ERDAS Field Guide*: Intergraph Corporation. 772 s.
- Jerbaneverket. (2016). *Gjøvik Stasjon*. Tilgjengelig fra:
<http://www.jernbaneverket.no/Jernbanen/Stasjonssoek/-G-/Gjovik/> (lest 14.04).
- Kartverket. (2015a). *Laserskanning*. Tilgjengelig fra:
<http://www.kartverket.no/Kart/Laserskanning/> (lest 09.05).
- Kartverket. (2015b). *Terrengmodeller - land*. Tilgjengelig fra:
<http://www.kartverket.no/Kart/Kartdata/Terrengmodeller/Terrengmodell-10-meters-grid/> (lest 04.05).
- Kartverket. (2016). *Ortofoto*. Tilgjengelig fra:
<http://www.kartverket.no/geodataarbeid/Flyfoto/Ortofoto/> (lest 09.05).

- Krieger, G., Moreira, A., Fiedler, H., Hajnsek, I., Werner, M., Younis, M. & Zink, M. (2007).
TanDEM-X: A satellite formation for high-resolution SAR interferometry. *Geoscience
and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 45 (11): 3317-3341.
- NASA. (2016). *Explorer 6*. Tilgjengelig fra:
<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1959-004A> (lest 10.05).
- PCI, G. (2016). *About PCI Geomatics*. Tilgjengelig fra: [http://www.pcigeomatics.com/about-
us/about-pci](http://www.pcigeomatics.com/about-us/about-pci) (lest 10.05).
- SNL. (2016). *Gjøvik*. 9. utg. I: Nedrud, R. (red.). Tilgjengelig fra:
<https://snl.no/Gj%25C3%25B8vik> (lest 08.05).
- Toutin, T. (2004). Review article: Geometric processing of remote sensing images: models,
algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (10): 1893-
1924.
- Westin, T. (1990). Precision rectification of SPOT imagery. *Photogrammetric Engineering and
Remote Sensing*, 56 (2): 247-253.

10 Tabeller

Oversikt over opprettede bilder:

Resamplet med Nearest Neighbor

Kartverket DTM
kvdem_spot_norgebildergcp
kvdem_spot7x7_norgebildergcp_10m_orto

World DEM
wdem_spot_norgebildergcp
wdem_spot7x7_norgebildergcp

Global DEM
spot_norgebildergcp_elevationlibrary
spot7x7_norgebildergcp_elevationlibrary

Z = 0
spot_norgebildergcp_konstantz0
spot7x7_norgebildergcp_konstantz0

Laserdata fra Kartverket
laser1_orto1_spot7x7

Resamplet med Bilinear Interpolasjon:

Kartverket DTM
kvdem_spot_norgebildergcp_10m_orto_BL
kvdem_spot7x7_norgebildergcp_10m_orto_BL

World Dem
wdem_spot_norgebildergcp_BL
wdem_spot7x7_norgebildergcp_BL

Gobal DEM
spot_norgebildergcp_elevationlibrary_BL
spot7x7_norgebildergcp_elevationlibrary_BL

Konstant Z = 0
spot_norgebildergcp_konstantz0_BL
spot7x7_norgebildergcp_konstantz0_BL

Laserdata fra Kartverket
laser1_orto1_spot7x7_BL



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway