



BACHELOROPPGAVE:

Drone i geomatikken

Nøyaktighet og masseberegning

FORFATTERE:

Morten Flaglien

Ole Kristian Brugrand

Simon Stadeløkken

DATO:

15.05.2013

Sammendrag

Tittel:	Drone i geomatikken. Nøyaktighet og masseberegning.		Dato: 14.05.13
Deltakere:	Morten Flaglien Ole Kristian Brugrand Simon Stadeløkken		
Veileder:	Stein Ivar Øvergaard		
Oppdragsgiver:	GEOMATIKK AS		
Stikkord/ nøkkelord:	Gatewing X100, Drone, Nøyaktighet, Geomatikk AS, Norgeodesi AS.		
Antall sider/ ord: 48/ 8200	Antall vedlegg: 7	Publiseringsavtale inngått: Ja	
<p>Kort beskrivelse av bacheloroppgaven:</p> <p>Bacheloroppgaven går ut på å se om bruk av drone (Gatewing X100) vil gi lik volumangivelse ved repetitiv flygning over et gitt område i et gitt tidsrom. Vi vil også se på om nøyaktigheten er god nok i de ulike bruksområder og om masseberegning i vegprosjekter kan effektiviseres ved hjelp av drone.</p> <p>Vi vil samle de tekniske dataene rundt dronen og forklare kort søknadsprosessen før dronen kan tas i bruk. Vil datainnsamling med Gatewing X100 lette en landmålers hverdag?</p>			

Abstract

Title:	Use of drone in geomatics. Accuracy and mass calculation.		Date: 14.05.13
Participants:	Morten Flaglien		
	Ole Kristian Brugrand		
	Simon Stadeløkken		
Supervisor:	Stein Ivar Øvergaard		
Employer:	Geomatikk AS		
Keywords:	Gatewing X100, drone, accuracy, Geomatikk AS, Norgeodesi AS.		
Number of pages/ words: 48/ 8200	Number of appendix: 7	Availability (open/ confidential): Open	
<p>Short description of the bachelor thesis:</p> <p>The thesis is to see if the use of drone (Gatewing X100) will provide equal volume indication in repetitive flights for a given area in a given time period. We will also look at whether the accuracy is good enough for the different uses and if the mass calculation in road projects can be rationalized by using drone.</p> <p>We will collect the technical data about the drone and explain shortly the application process before the drone can be used. Will data collection by use of Gatewing X100 facilitate a surveyor's life?</p>			

Forord

Denne oppgaven er en avsluttende bacheloroppgave for geomatikkstudiet ved Høgskolen i Gjøvik.

Bacheloroppgaven er skrevet av tre geomatikkstudenter som alle går studieretningen landmåling.

Gruppen fikk kontakt med Geomatikk AS som var med på å forme en problemstilling. Denne ble drøftet med veileder på høyskolen og spisset ytterligere for å bli tilpasset en bacheloroppgave.

Bacheloroppgaven går ut på å se om Gatewing X100 kan gi god nok volumangivelse når vi foretar tre flyvninger på samme dag og med samme flyplan. Disse sammenligner vi mot hverandre. Vi ser også på om vi kan effektivisere masseberegning i vegprosjekter ved hjelp av drone.

I dette dokumentet samler vi de tekniske dataene rundt dronen og forklarer litt rundt søknadsprosessen før dronen kan tas i bruk. Vil datainnsamling med drone (eller UAV¹/RPAS²) lette en landmålernes hverdag?

Vi retter en stor takk til Jørn Thorsen ved Geomatikk AS for en spennende og interessant oppgave, samt god hjelp i prosessen. Takk også til veileder ved høyskolen, Stein Ivar Øvergaard for god hjelp og veiledning gjennom hele oppgaveperioden. Vi fikk også god hjelp av Rune Strand Ødegård og Sverre Stikbakke i bruk av ArcGIS produkter. Jan Amund Walde i Norgeodesi AS har gjort oppgaven mulig gjennom å foreta testflyvningene sammen med oss, samt å låne ut utstyr til innmåling av veg med det nyeste utstyret fra Trimble. Gatewing i Belgia har tatt oss godt imot og gitt oss god opplæring i bruk av programvare.

Gruppen har vært dynamisk under hele prosjektperioden, og diskutert flittig under prosessen. Vi har hele tiden hatt fokus på oppsatt prosjektplan og på å gjennomføre i tråd med denne. Vi har lært mye i prosessen og sett at resultat av dronefotografering i februar gir noen utfordringer.



Morten Flaglien



Ole Kristian Brugrand



Simon Stadeløkken

¹ Unmanned Aircraft Vehicle

² Remote Pilot Aircraft System

Gatewing X100

Bacheloroppgave 2013

Morten Flaglien, Ole Kristian Brugrand og Simon Stadeløkken



Innholdsfortegnelse

Sammendrag.....	2
Abstract	3
Forord	4
Figurliste.....	8
1. Innledning.....	10
1.1. Bakgrunn	10
1.2. Formål.....	10
1.3. Problemstilling.....	10
1.4. Metode	11
1.5. Datainnsamling	11
1.6. Dataformater	11
1.7. Utstyr	11
1.7.1. Utstyr.....	12
1.7.2. Software	12
1.7.3. Våre parametere	12
1.8. Prinsipp ved flyvning.....	12
1.9. Forkortelser.....	13
1.10. Teknisk beskrivelse	14
1.10.1. Gatewing X100	14
1.10.2. Kameraet i Gatewing X100.....	15
1.10.3. Kameraspesifikasjoner Ricoh GR IV	15
1.10.4. Fargespekter i et digitalt kamera	16
1.11. Måleboken til Gatewing X100	18
1.11.1. Hvordan fly Gatewing X100.....	19
2. Søknadsprosess.....	20
2.1. Nasjonal Sikkerhetsmyndighet	20
2.2. Luftfartstilsynet (CAA)	21
3. Prosjektplan.....	22
4. Programvare	22
4.1. Stretchout™	23
4.2. PhotoScan	24

4.3.	Pix4D	30
4.3.1.	Pix4UAV Desktop 3D 2.1.2.....	30
4.3.2.	Pix4UAV Cloud 2.1.1	35
4.4.	GEMINI.....	35
5.	Resultat.....	36
5.1.	Fasit	36
5.2.	Flyvning.....	36
5.2.1.	DEM 1	37
5.2.2.	DEM 2	38
5.2.3.	DEM 3	39
6.	Diskusjon.....	41
6.1.	Fasit	41
6.2.	Flyvning.....	41
6.2.1.	DEM 1	41
6.2.2.	DEM 2	42
6.2.3.	DEM 3	42
6.2.4.	Videre diskusjon.....	42
6.2.5.	Tradisjonell måling mot drone	43
7.	Konklusjon	44
7.1.	Videre arbeid	46
8.	Kilder.....	47
9.	Vedlegg	48
1:	Global Mapper.....	1
2:	ArcGIS.....	6
3:	Profiler	10
4:	Quality Report DEM 1	23
5:	Quality Report Help	29
6:	Quality Report DEM 2	32
7:	Quality Report DEM 3	37

Figurliste

Figur 1- Enkel INS	12
Figur 2- Teknisk beskrivelse Gatewing X100.....	14
Figur 3- Kameraet i Gatewing X100	15
Figur 4- Hot Mirror- filter	16
Figur 5- Fargerespons fra et digitalt kamera	17
Figur 6- Oppsett for flyplan Gatewing X100	18
Figur 7- Flyplan med utskytings- og landingsplass	19
Figur 8- Prosjektplan	22
Figur 9- Legg til prosjekt	23
Figur 10- Last opp filer, mappe og gi prosjektnavn	23
Figur 11- Hent aktuell fil.....	23
Figur 12- PhotoScan.....	24
Figur 13- Tips oppsett	24
Figur 14- Valg av datum og koordinatsystem	25
Figur 15- Import av GCP	25
Figur 16- Kapasitet ved tilordning	26
Figur 17- Tilordne bilder.....	26
Figur 18- Tilordne markør.....	27
Figur 19- Tilordningsfeil	27
Figur 20- Kamerakoordinater.....	28
Figur 21- GCP- koordinater	28
Figur 22- Kapasitet ved bygging av modell	29
Figur 23- Bygging av modell	29
Figur 24- Opplasting av bilder	30
Figur 25- Valg av koordinatsystem (i luften).....	30
Figur 26- Importere CSV- fil (X, Y, Z, Θ_x , Θ_y , Θ_z)	31
Figur 27- Rediger CSV- fil.....	31
Figur 28- Bildeegenskaper	31
Figur 29- Oversiktsbilde.....	32
Figur 30- Valg av koordinatsystem (på bakken)	32
Figur 31- Import GCP	33
Figur 32- GCP kobles mot bildene.....	33
Figur 33- GCP koblet mot bildene	34
Figur 34- Oversiktsbilde.....	34
Figur 35- Utdrag kvalitetsrapport DEM 1	37
Figur 36- Utdrag kvalitetsrapport DEM 2	38
Figur 37- Utdrag kvalitetsrapport DEM 3	39
Figur 38- Masseberegning.....	39
Figur 39- Statistikk.....	40
Figur 40- Utdrag tverrprofil kupert terreng (rutenett 1m x 1m).....	40

Figur 41- Utdrag tverrprofil flatt terreng (rutenett 1m x 1m)	40
Figur 42- Solhøyde.....	43
Figur 43- LUX- verdi	43
Figur 44- Pix4UAV om snøsituasjon	43
Figur 45- Plassering av signalmerker	45

1. Innledning

Bacheloroppgaven går ut på å se om bruk av drone (Gatewing X100) vil gi lik volumangivelse ved repetitiv flygning over et gitt område i et gitt tidsrom. Vi vil også se på om nøyaktigheten er god nok i de ulike bruksområder og om masseberegning i vegprosjekter kan effektiviseres ved hjelp av drone.

Vi vil samle de tekniske dataene rundt dronen og forklare kort søknadsprosessen før dronen kan tas i bruk. Vil datainnsamling med Gatewing X100 lette en landmålers hverdag?

1.1. Bakgrunn

Vi kom i kontakt med Geomatikk AS som hadde en oppgave vi fant MEGET interessant.

De ønsket å teste ut flyfotografering med bruk av drone, og var interessert i å finne ut om nøyaktigheten var god nok for masseberegning i vegprosjekter. I tillegg ønsket de å vite om det vil være praktisk gjennomførbart å kunne erstatte deler av landmålerens profileringsjobb med droneflyging. Geomatikk AS ønsket dette beskrevet for å se på nye forretningsmuligheter.

1.2. Formål

Formålet med oppgaven var å se på nøyaktigheten ved bruk av drone ved å sammenligne flere flyvninger.

1.3. Problemstilling

Vi fikk i vår leting etter en bacheloroppgave respons fra Geomatikk AS med en oppgave vi fant interessant.

De ville teste ut flyfotografering med drone, og var interessert i å finne ut om nøyaktigheten kan være god nok for masseberegning i vegprosjekter og om det vil være praktisk gjennomførbart i forhold til fremdrift og eventuelt erstatte mye av landmålerens profileringsjobb med droneflyging.

Vi lagde så utkast til problemstilling, som vi diskuterte med vår veileder Stein Ivar Øvergaard. Første utkast favnet så mye arbeid at det ville være langt over en masteroppgave. Vi spisset så oppgaven til å omhandle kvaliteten av repetitive flyvninger som vi skulle sammenligne mot laserdata.

Problemstillingen ble da som følger:

Vil bruk av Gatewing X100 gi lik volumangivelse ved repetitiv flygning over et gitt område i et gitt tidsrom?

Vil nøyaktigheten være god nok i de ulike bruksområder?

Vi sammenlignet overflatemodeller fra tre flyvninger foretatt på samme dag med modell laget fra innmålte data fra GNSS.

Det er interessant å se resultatet opp mot hvordan dette gjøres i dag, for å kunne si noe om hvor effektiv bruk av drone kan være sett opp mot hvordan dette tradisjonelt gjøres i dag.

1.4. Metode

Før selve gjennomføringen beskrev vi ønsket bruk av metode til å være:

Vi ønsker å gjennomføre repetitive flyvninger på en og samme dag, og helst tre flyvninger til det vi vil kalle innledende undersøkelser. Disse flyvningene vil vi så sammenligne mot hverandre for å se om vi kan se noen tendens fra dataene. Vi vil se på et gjennomsnitt av disse flyvningene og beregne standardavvik for en flyvning. Videre vil vi sammenligne dette mot laserdata og GNSS- målinger for det samme område. Laserdataene (LIDAR³) fikk vi fra Kartverket. GNSS- målingene gjorde vi selv.

Vi brukte tid på å finne et egnet testområde og endte opp med et område på Vøyenenga i Bærum kommune. Området var et jorde som var relativt flatt med en hovedvei som gikk tvers gjennom. Området ble valgt av leverandøren av Gatewing X100 som har avtale med grunneier og luftfartstilsynet om tillatelse til demonstrasjonsflyving. Vi fikk flydata fra tre repetitive flyvninger over dette testområde. Flyvningene ble gjort på samme dag og med samme flyplan.

1.5. Datainnsamling

Vi fløy med Gatewing X100 over testområdet på Vøyenenga. Vi fikk ut rådatafiler registrert i blackboxen til dronen. I tillegg fikk vi grunnlagsdata fra 5 innmålte signalmerker som brukes for å kunne lage og orientere et ortofoto.

1.6. Dataformater

Vi har hatt utfordringer i forhold til at ulike programvare krevde forskjellige formater. Dette tok tid, både for å finne ut hvilke parametere de ulike formatene inneholdt og hvilken programvare som støttet de ulike formatene. Vi måtte eksportere, importere og prosessere flere ganger for å til slutt ende opp med de riktige formatene med de riktige attributtene (innhold).

1.7. Utstyr

Vi var prisgitt andre for å få gjennomført vår oppgave. Vi har satt opp en oversikt over utstyr og programvare vi benyttet. Vi brukte vanlig GNSS- utstyr for manuell innmåling av området. Norgeodesi AS stilte utstyr til rådighet for oss. Vi fikk lov å benytte en Trimble R10, som var siste nyhet og derfor interessant for oss å få kjennskap til. I tillegg brukte vi en Trimble GeoXR.

For innmåling av området med drone, ble det brukt Trimble sin nyeste drone; Gatewing X100. Denne ble selvfølgelig navigert av en godkjent operatør⁴, Jan Amund Walde, fra Norgeodesi AS.

³ LIght Detection And Ranging

⁴ Godkjent av Luftfartstilsynet og Nasjonal Sikkerhetsmyndighet.

1.7.1. Utstyr

Trimble R10.
Trimble GeoXR.
Gatewing X100.
5 stk. signalmerker.

1.7.2. Software

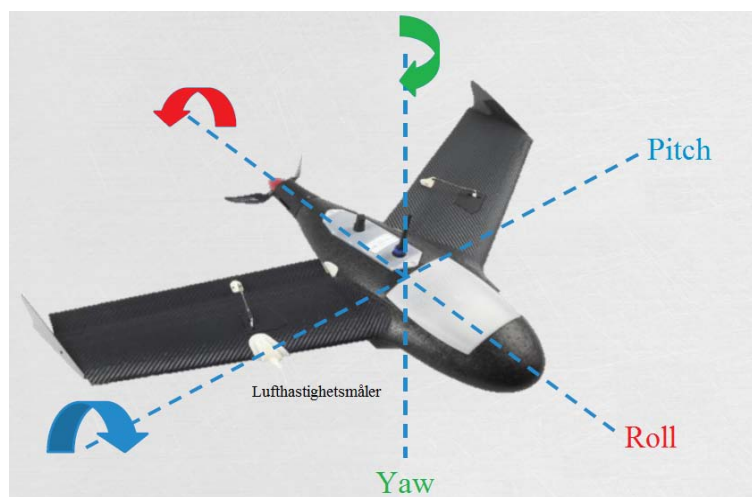
Quickfield- programvare i måleboken for Gatewing X100
Global Mapper versjon 14
Stretchout™ 2.0.1
PhotoScan 0.9.0
PIX4D – Desktop versjon 2.1.2
PIX4D – Cloud versjon 2.1.1
ArcGIS versjon 10.1
GEMINI Terreng & Entreprenør versjon 7.3

1.7.3. Våre parametere

Flyhøyde: 100 m.
Overlapp: 75 % i både x- og y- retning.
Område: Ca. 0,17 m².
Bilder: Ca. 155 stk.

1.8. Prinsipp ved flyvning

Gatewing X100 har som hovedkomponenter en flykropp med vinger, autopilot, GPS og INS. I tillegg er flyet utstyrt med en lufthastighetsmåler (pilot tube). Dette gjør at flyet bestemmer posisjon (X, Y og Z), rotasjon (Θ_x , Θ_y og Θ_z) og flyhastighet. Rotasjonsparameterne har egne navn som vist i figur 1.



Figur 1- Enkel INS

-Brukt med tillatelse fra Gatewing-

1.9. Forkortelser

Oversikt over de forkortelser vi har brukt i oppgaven:

AIC- N = Aeronautical Information Circular- Norway

BLOS = Beyond line of sight

CAA = Civil Aviation Authority (her: Luftfartstilsynet)

GCP = Ground Control Point

GEMINI T&E = GEMINI Terreng & Entreprenør

LIDAR = Light Detection And Ranging

NSM = Nasjonal Sikkerhetsmyndighet

RPAS = Remote Pilot Aircraft System

RPAS OM = Remote Pilot Aircraft System Operation Manual

UAV = Unmanned Aircraft Vehicle

VHF = Very High Frequency

VLOS = Visual line of sight

1.10. Teknisk beskrivelse

1.10.1. Gatewing X100

Figur 2- Teknisk beskrivelse Gatewing X100

Kategori	Del	Verdi
Vinge	Type	Bærende kropp med faste vinger
	Vekt	2,0 kg
	Vingespenn	100 cm
	Vingereale	23 dm ²
	Dimensjoner	100 x 60 x 10 cm
	Material	Forsterket Karbon med ekspandert polypropylen (EPP) struktur
Konfigurasjon	Fremdrift	Børsteløs elektrisk motor 250 W (Pusher propell)
	Batteri	Lithium- polymer 11.1 V, 8000 mAh
	Nyttelast	Kalibrert 10 MP digitalt kamera
	Autopilot	Automatisk take- off og landing Navigering etter kjentpunkt (waypoints) Automatisert fotografering Rutiner ved systemfeil (trygg landing)
Ytelse	Marsjfart	80 km/t
	Maksimal hastighet (horisontal)	115 km/t
	Maksimal hastighet (vertikal)	18 km/t
	Steilehastighet	45 km/t
	Varighet	45 min
	Driftsområde (horisontal)	50 km
	Driftsområde (vertikal)	750 m over bakkenivå
Drift	Systemoppsett (tid)	15 min
	Take- off (tid)	Katapult
	Klatrevinkel	15 grader
	Kommunikasjon (radio)	2,4 Ghz
	Flyhøyde	100- 750 m
	Landingsmåte	Buklanding
	Anbefalt rullebane (landing)	100 x 30 m
	Vær	Opptil 65 km/t vind og lett regn

-Gjengitt med tillatelse fra Gatewing-

1.10.2. Kameraet i Gatewing X100

Kameraet i dronen vi brukte var et helt vanlig digitalt kamera med en såkalt "rolling shutter". "Rolling shutter" betyr at det faktiske bildet ikke er tatt på samme tid, altså blir data fra forskjellige områder av sensoren tatt til forskjellige tider (Alt skjer i brøkdelen av et sekund). Det kan imidlertid oppleves at bilder ser "dratt" ut dersom kameraet får en rask bevegelse i det bildet tas. For Gatewing X100 var ikke dette av betydning, da overlappen per bilde var stor (75 % i både x-akse og y-akse). Vi fikk vite at den interne geometrien ble endret hver gang kameraet slo seg på/ av og under landing. På grunn av dette ble kameraparametere bestemt under etterprosesseringen.

1.10.3. Kameraspesifikasjoner Ricoh GR IV

- Effektive piksler 10,0 millioner piksler
- Bildestørrelse 3648 x 2736
- Bildesensor 1/ 1,7"
- Brennvidde 6,0 mm
- Analog tilsvarende 28,0 mm
- Blenderåpning 1,9- 9
- Lukkerhastighet 1/ 2000 sekund
- ISO- Følsomhet 80- 3200
- Skjerm 3,0" LCD
- Størrelse 108,6 x 59,8 x 25,5 mm
- Vekt 180 g



Figur 3- Kameraet i Gatewing X100

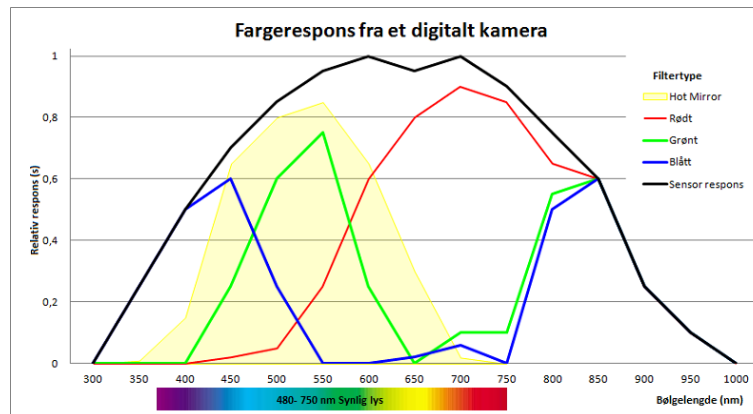
1.10.4. Fargespekter i et digitalt kamera

De aller fleste digitale kameraer leveres med et såkalt Hot Mirror- filter (varmespeil). Dette filteret fremhever fargene som er synlige for menneskeøyet (vist som gul graf i figur 4). Med andre ord reduserer varmespeilet lyset som ligger over og under det lyset som vi kjenner. Som vist i figuren er mange digitale kameraer følsomme for et ganske stort spekter av lys (svart linje). Vi setter derfor inn forskjellige filter i kameraet for å påvirke bildene slik vi vil.



Figur 4- Hot Mirror- filter

-Brukt med tillatelse fra Cavision.com-



Figur 5- Fargerrespons fra et digitalt kamera

Å fotografere uten filter i kameraet er interessant for enkelte brukere. Dette kan være for eksempel bønder. En kornbonde er interessert i å se hvilke deler av kornåkeren som er klar til høsting. For å få dette til kan han ta bilder, såkalte NIR⁵- bilder. Et NIR- foto viser temperatur/ fuktighet som ligger i området over synlig lys (750- 1000 nm). NIR- bildet viser temperatur/ fuktighet i form av en fargeskala. På den måten vil bonden ha oversikt over hvor langt kornprosessen er kommet rundt om på åkeren.

⁵ Nær- infrarødt. For mer informasjon se: [Infrarød stråling](#).

1.11. Måleboken til Gatewing X100

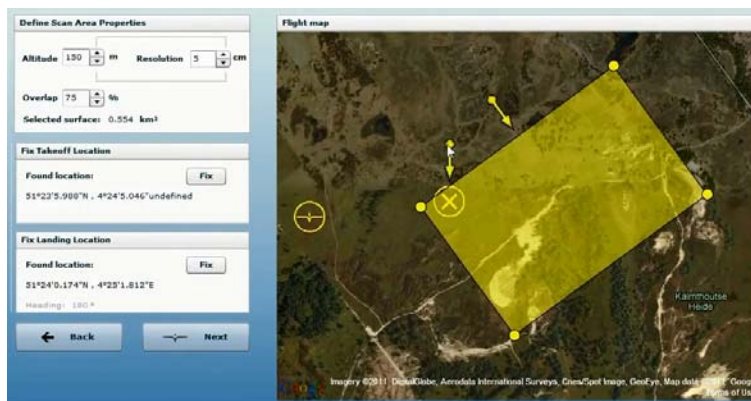
Måleboken som følger med Gatewing X100 er en såkalt Trimble Tablet Windows 7 Rugged PC. Det vil si at måleboken har en 7" skjerm som gir godt overblikk under flyvningen. Programvaren i måleboken heter Quickfield. Måleboken brukes til å lage en flyplan for området med oppskytnings- og landingssted, og som "instrumentpanel" under flygning. Det anbefales at området flyvningen skal foretas på besiktiges på forhånd slik at eventuelle hindringer tas hensyn til i planleggingen. Det er en simuleringsfunksjon i programmet, der flyplanen kan prøves (med henhold til hindringer). Flyplanen lages ut i fra kart som lastes inn i måleboken. Kartutsnittene kan lastes ned fra Google Kart, Kartverket eller en WMS- server. Målebokens startbilde for å lage flyplanen vises øverst i figur 6. Bildet i midten viser plassering av valgt område i kartet og i det nederste bildet er det klart til å tegne inn prosjektområde (flyplanen).



Figur 6- Oppsett for flyplan Gatewing X100

-Brukt med tillatelse fra Gatewing-

I figur 7 vises område og parametere for flyplanen. Vi ser at høyde (Altitude) og oppløsning (resolution) er avhengig av hverandre, det vil si at det er nok å velge kun en av delene. Overlapp (overlap) kan velges mellom 75 % og 90 %. Lokasjon for utskyting (takeoff (—)). vises her som "undefined", som betyr at ikonet ikke er flyttet i posisjon. Utskyting bør skje mot vindretningen for å få mest mulig oppdrift. Landing (landing (x)) er ikke "undefined", som vil si at ikonet er flyttet i posisjon. De gule pilene i kartet viser vindretning når flyplanen lages. Det er viktig at flyet lander mot vindretningen for å kontrollere innflyvningen. For selve flyplanen bør flyet ligge på tvers av vindretningen for best mulig stabilitet.



Figur 7- Flyplan med utskytings- og landingsplass

-Brukt med tillatelse fra Gatewing-

Etter at flyplanen er opprettet tas måleboken, flyet og oppskytningsrampen med til flyområdet og klargjøres for flyvning.

1.11.1. Hvordan fly Gatewing X100

Det er mange prosedyrer som må følges før flyet faktisk er i luften, både på kontoret og ute i flyområdet. Prosedyrene, før, under og etter flyvning ansees som sjekklister og kvalitetssikring. Det er spesielle prosedyrer for vinterflyvning, som blant annet innbefatter to stk. batterier. Ett batteri for prosedyrene og ett batteri for selve flyvningen. I tillegg er det viktig at strikken i utskytningsrampen holdes varm, for å opprettholde elastisiteten. Dette er viktig for oppnå den nødvendige utskytningshastigheten. Et hefte med alle prosedyrene (samt veiledning for innstillinger av valg for lysfølsomhet i kameraet) følger med ved kjøp av Gatewing X100. Det er viktig at det for hvert prosjekt sjekkes opp om vi har lov å fly over ønsket område. I tillegg må operatøren ut i området for å foreta en risikovurdering⁶.

⁶ Se kapittel 2 Søknadsprosess for utfyllende informasjon.

2. Søknadsprosess

Prosesen med å få tillatelse til å fly med drone er omfattende. Hver søknad gjelder for hver enkelt operatør. Før søknadsprosedyren settes i gang, skal operatøren tegne en ansvarsforsikring. Denne legges ved søknadene.

Prosesen tar omtrent seks måneder fra søking til ferdig behandlet. Søknadene er i hovedsak rettet mot Nasjonal Sikkerhetsmyndighet (NSM) og Luftfartstilsynet (CAA). Søknaden til NSM har en behandlingstid opp til seks måneder. Dersom denne godkjennes, gjelder den i fem år. Søknaden til CAA har en behandlingstid opp mot én måned per dags dato. Dersom søknaden til CAA godkjennes, varer den i to år. I tillegg skal logg/ statistikk over flyvningene som gjøres sendes inn til CAA hvert kvartal. Dette gjøres med en web- basert løsning. Ved innrapportering (kvartalsvis) til CAA krever de følgende (utdrag fra RPAS OM⁷):

1. ”Totalt antall bestilte/ planlagte oppdrag, VLOS og BLOS
2. Totalt antall gjennomførte oppdrag, VLOS og BLOS
3. Totalt antall timer flytid (rundet av til nærmeste 15 minutter) VLOS og BLOS
4. Totalt antall hendelser der det har vært nære på å gå galt/ mindre skader på 3. personer/ objekter, VLOS og BLOS
5. Totalt antall hendelser der det har gått galt, med havari eller større skader på 3. personer/ objekter, VLOS og BLOS”

Det har også kommet signaler om at det vil bli krav om kurs i VHF⁸ samband.

2.1. Nasjonal Sikkerhetsmyndighet

Det skal søkes på en standard søknadsblankett om fotografering og filming fra luften. Denne er personlig (kun flyoperatøren(e)) og innbefatter et omfattende personopplysningsskjema og et taushetserklæringsskjema. Etter at søknaden er godkjent varer de i 5 år før de må fornyes.

⁷ Remotely Piloted Aircraft System Operation Manual

⁸ Very High Frequency

2.2. Luftfartstilsynet (CAA)

Luftfartstilsynet har utarbeidet en operasjonsmanual for RPAS systemer. RPAS OM⁹ er basert på oppbygningen av en operasjonsmanual for et lite, bemannet helikopterselskap. Det er snakk om at "dronene" vil få sin egen OM etter hvert som de blir mer "vanlige" (per januar 2013 ble dette påkrevd). Regelverket, AIC-N¹⁰ 25/09, vil få en erstatning i løpet av tidlig 2013 som er viktig å holde seg oppdatert på.

For hver flyvning må det utarbeides risikoanalyser for alle tenkelige utfall. Disse analysene utarbeides etter tallverdi (0- 6, 7- 14, 15- 25) og fargeverdi (grønt, gult, rødt) der rødt er flyforbud. Risikoanalysene gjennomføres ved å legge sammen tallverdiene mellom Sannsynlighet x Frekvens + Alvorlighet. Fordelingen av tallverdi er altså mellom 1 og 5 for sannsynlighet og frekvens, og mellom -3 og 3 for alvorlighet. Hensikten med analysene er å beskrive tiltak som er med på å redusere risiko.

Det skal også rapporteres luftfartstilsynet for hver gang Gatewing X100 skal i luften. Husk at det er forskjell i prosedyre VLOS¹¹ eller BLOS¹².

Norgeodesi AS, som er forhandler av Gatewing X100 i Norge er behjelpelig med utarbeidelse av operasjonsmanual og de nødvendige søknadene for ditt firma.

⁹ Remote Pilot Aircraft System Operation Manual

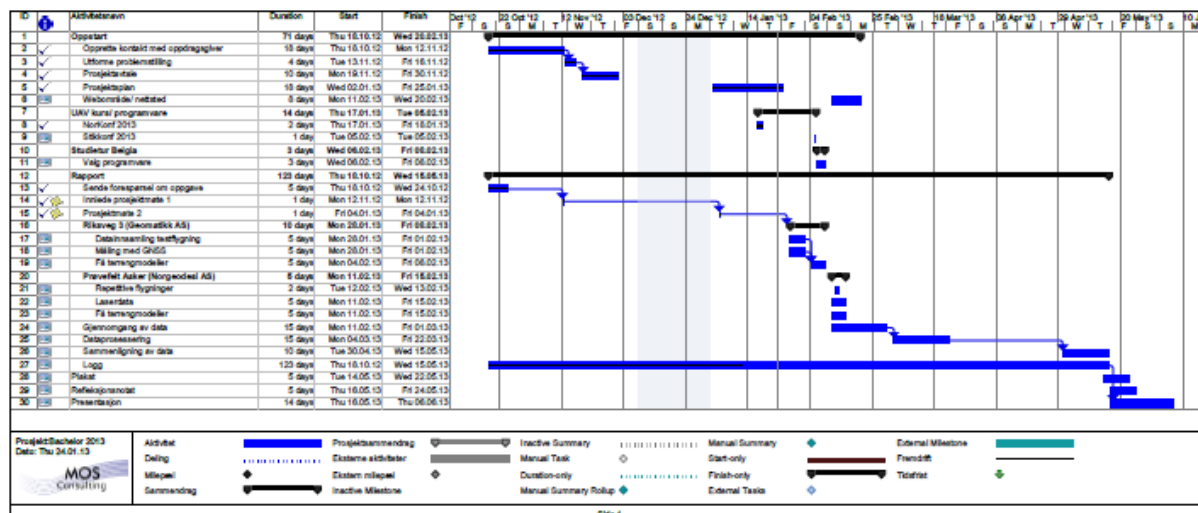
¹⁰ Aeronautical Information Circular- Norway

¹¹ Visual Line Of Sight

¹² Beyond Line Of Sight

3. Prosjektplan

Vi brukte litt tid på å planlegge hvordan vi ville angripe oppgaven, og hvilke momenter vi skulle ha med i planen vår. Vi laget planen på et overordnet nivå, som vil si at alle oppgavene ikke ble beskrevet i detalj. Dette mente vi var godt nok for å løse de respektive oppgavene. Det tok tid å planlegge tiden det tar for å gjennomføre de ulike aktivitetene, samt sette ned hvor lang tid i kalendertid oppgavene ville ta. Vi så i gjennomføringen at enkelte ting tok lengre tid enn planlagt. Og spesielt der hvor vi var avhengig av andre. Ikke alltid vi fikk svar så raskt som vi hadde forventet. Prosjektplanen vises i figur 8.



Figur 8- Prosjektplan

4. Programvare

Vi brukte flere ulike programvarer i forbindelse med innhenting/ bearbeiding av data, samt prosessering av data. Vi hadde utfordringer i forhold til å få tilgang til programvare og derfor benyttet oss av demoversjoner. Disse hadde begrensninger i antall prosesseringer, muligheter for lagring osv. Vi fikk etter hvert tak i lisens på noen programvarer og har av den grunn beskrevet de nedenfor.

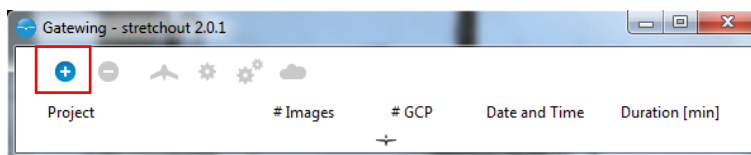
Vi har også brukt annen programvare som ikke er direkte knyttet til bruk av dronen. Utfyllende framgangsmåte av disse programvarene (Global Mapper og ArcGIS) ligger som vedlegg til rapporten.

Den første programvaren vi brukte var Global Mapper¹³. Denne brukte vi for å klippe laserdata vi hadde fått fra Kartverket til ønsket område. Dette var et godt verktøy å bruke med tanke på nettopp klipping av data.

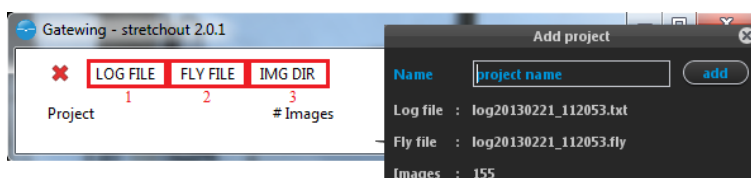
¹³ For utfyllende framgangsmåte i Global Mapper, se vedlegg 1.

4.1. Stretchout™

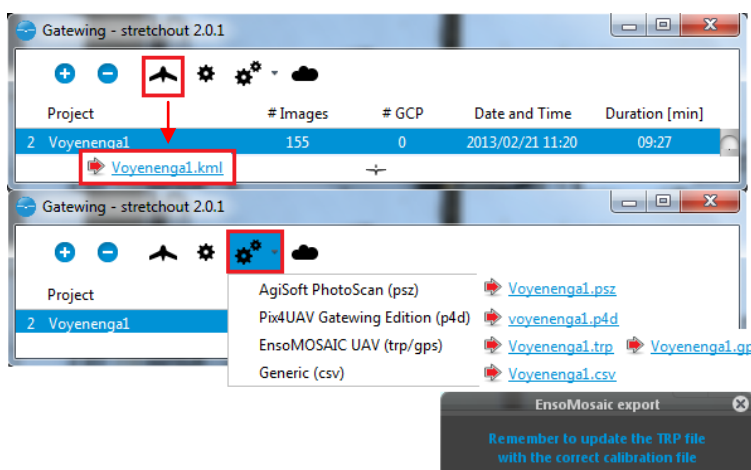
Stretchout™ er den programvaren som følger med Gatewing X100 ved kjøp. Med denne programvaren henter vi inn rådata fra bildene i kameraet og autopiloten i flyet. Fremgangsmåte for oppretting av prosjekt og filer for videre bearbeidelse vises i figurene under:



Figur 9- Legg til prosjekt



Figur 10- Last opp filer, mappe og gi prosjektnavn



Figur 11- Hent aktuell fil

Som figur 10 viser er rekkefølgen for opp-/ innlasting av filer viktig; først "LOG FILE"¹⁴, så "FLY FILE"¹⁵ og til slutt "IMG DIR"¹⁶. Etter at prosjektet er navngitt, kan det hentes ut forskjellige filer som kan bearbeides videre i andre programvarer (figur 11¹⁷). Dersom prosjektet i Stretchout™ lages i felten (det tar ca. 10- 15 minutter), kan man trykke på det store tannhjulet og se om alt stemmer slik det ble planlagt.

¹⁴ logyyyyymmdd_hhmmss.txt

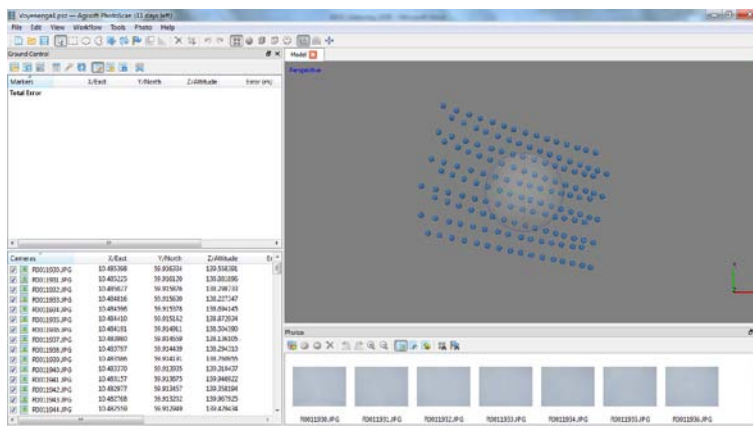
¹⁵ logyyyyymmdd_hhmmss.fly

¹⁶ Skal pekes mot mappen der kamerabildene ligger.

¹⁷ Enkelte genererte filer blir omtalt senere i dokumentet.

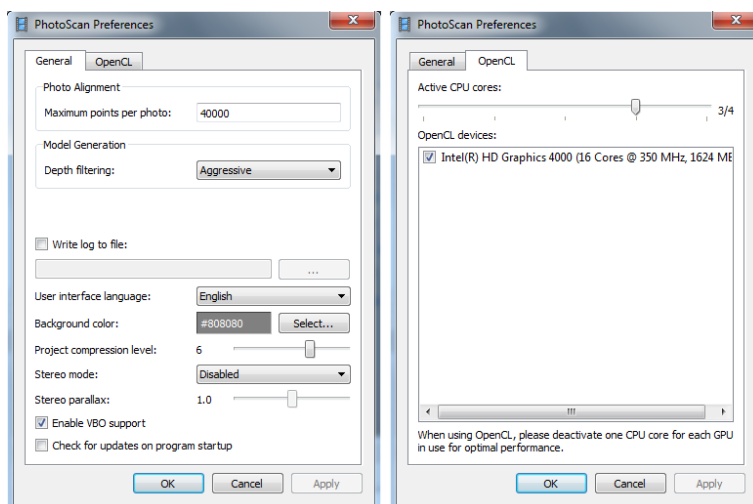
4.2. PhotoScan

Agisoft er en russisk programvareleverandør. PhotoScan er et bildeprosesseringsprogram til bruk på lokale datamaskiner. Dersom vi benytter filen vi fikk generert ved Stretchout™ (.psd) for videre prosessering, vil vi se samme skjermbilde som vist i figur 12.



Figur 12- PhotoScan

Et tips for å optimalisere prosesseringen vil være å se på Tools → Preferences. fanen General skal *Enable VBO support* hukes av¹⁸. Under fanen OpenCL ser vi antall GPU¹⁹ tilgjengelig. For hver GPU som vises, skal CPU²⁰ reduseres med $1/x$. Dette gjør vi for at datamaskinen skal jobbe raskest mulig.



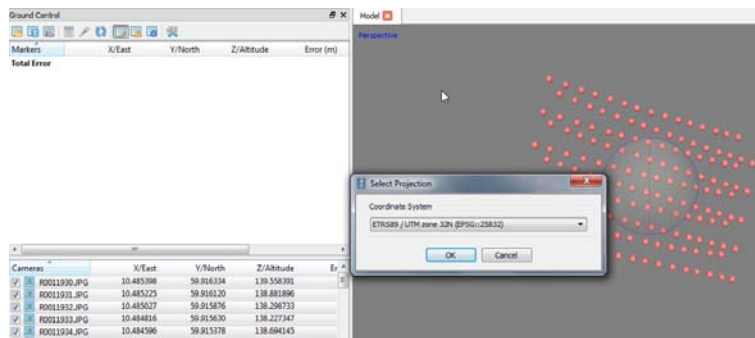
Figur 13- Tips oppsett

¹⁸ Dersom brukeren/ kunden har en Apple Mac- maskin med et grafikkort fra en annen leverandør enn NVIDIA, skal *Enable VBO support* **ikke** hukes av.

¹⁹ Graphics Processing Unit (grafikkort).

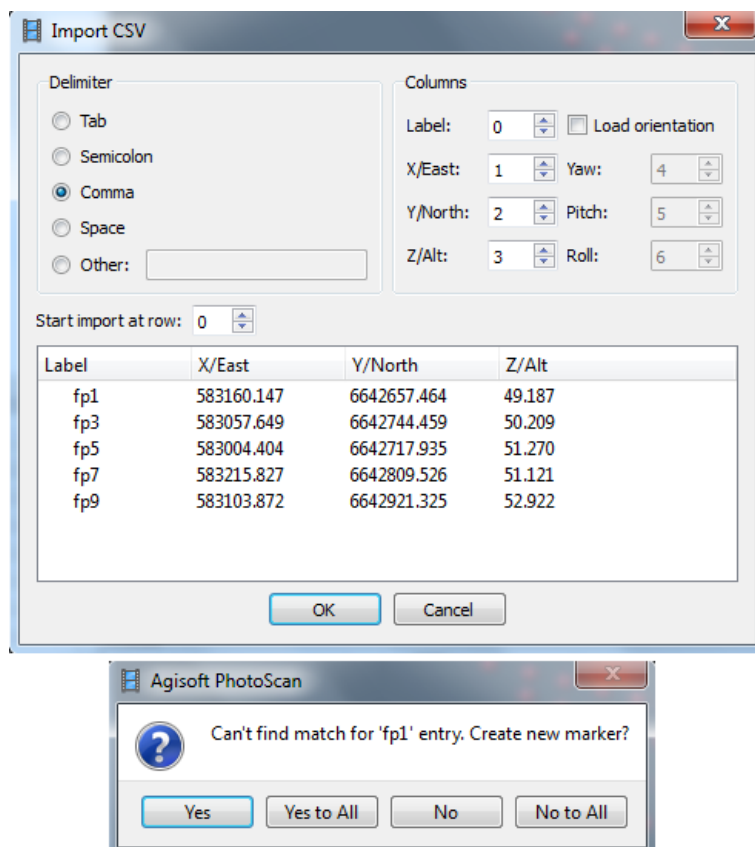
²⁰ Central Processing Unit (prosessor).

Det neste vi må gjøre er å hente inn GCP²¹ fra prosjektet. Vi må huske å konvertere kamerabildene til riktig datum og koordinatsystem i forhold til GCP. Dette er vist i figur 14.



Figur 14- Valg av datum og koordinatsystem

Etter at datum og koordinatsystem er likt for både kamerabilder og GCP, må GCP legges inn. Markørene må opprettes, derfor velger vi "Yes to All".



Figur 15- Import av GCP

²¹ Ground Control Points.

Vi skal nå gjøre hovedsteg 1 av 3 i prosessen; tilordne bilder²². Dette kan gjøres i flere kvalitetsnivåer. Dette vil da gå ut over nøyaktighet og tidsbruk.

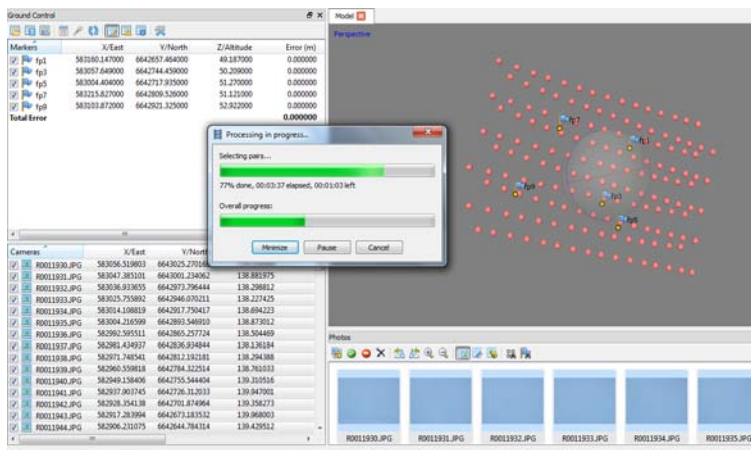
• *Aligning Photos*

Memory consumption during photo alignment depends mainly on the number of photos being aligned, and practically does not depend on the resolution of individual photos.

Photos	100	200	500	1000	2000	5000	10000
Memory consumption	500 MB	1 GB	2.5 GB	5 GB	10 GB	25 GB	50 GB

Figur 16²³- Kapasitet ved tilordning

Figuren under viser arbeidsprosessen for tilordning av kamerabilder mot GCP.

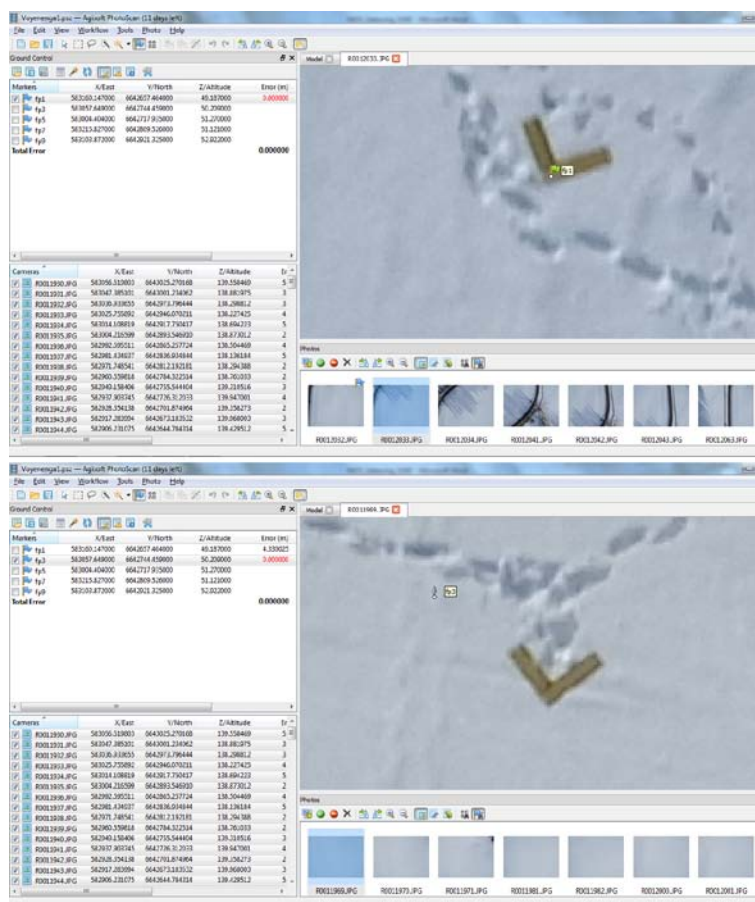


Figur 17- Tilordne bilder

²² Gå til Workflow → Align photos

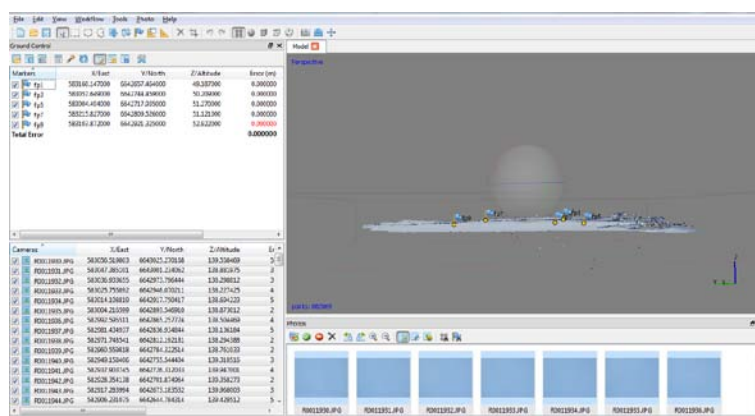
²³ Spesifikasjoner hentet fra [Agisoft](http://www.agisoft.com) sin hjemmeside.

Etter at tilordningen er ferdig, må hvert bilde kobles mot sitt respektive GCP.



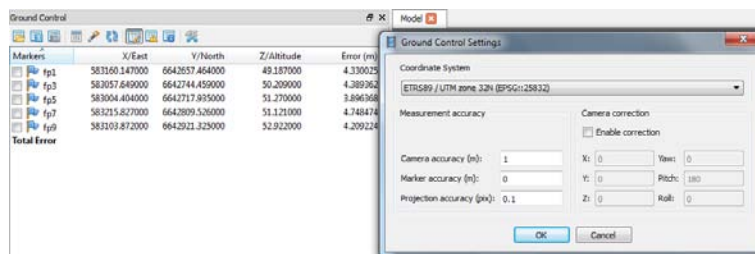
Figur 18- Tilordne markør

Når bildene er ferdig tilordnet, kan det skje at den inneholder noen "feil". Dette er isolerte punkt utenfor prosjektområdet som for eksempel ikke har blitt konvertert riktig. Disse kan klippes bort med klippeverktøyet i menylinjen.

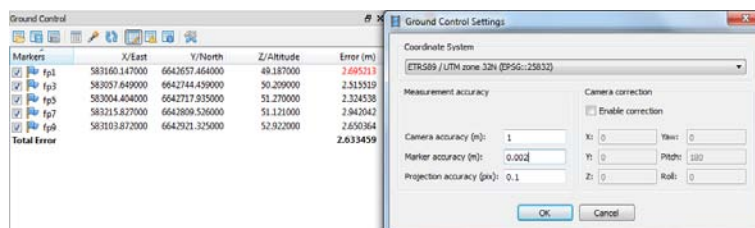


Figur 19- Tilordningsfeil

Vi skal nå optimalisere tilordningen. Det blir best resultat dersom optimaliseringen (egen knapp) baseres på kun kamerakoordinatene i første omgang og kun GCP- koordinatene i andre omgang (figur 20 og figur 21). Bruk en "Camera accuracy" på 1 m. og en "Marker accuracy" på en størrelsesorden **mindre** enn nøyaktigheten som GCP ble målt inn med (0,002 m.)²⁴.



Figur 20- Kamerakoordinater



Figur 21- GCP- koordinater

Hovedsteg 2 av 3 er å bygge geometri²⁵. Dette er det nest siste steget mot å få en fullverdig DSM²⁶. Dersom programvaren brukes til prosessering av flyfoto, bør "Hight- field mode" brukes. Det er her mulig å endre "bounding box"²⁷ dersom det skulle være nødvendig. For eksempel hvis kun et utsnitt av prosjektområde var aktuelt.

²⁴ Dersom GCP er målt med satellitt RTK (cm nøyaktighet).

²⁵ Gå til Workflow → Build Geometry

²⁶ Digital Surface Model

²⁷ Modellavgrensning.

Her er det også mulig å velge flere kvalitetsnivåer. Dette vil da gå ut over nøyaktighet (støy i DSM) og tidsbruk/ maskinkapasitet.

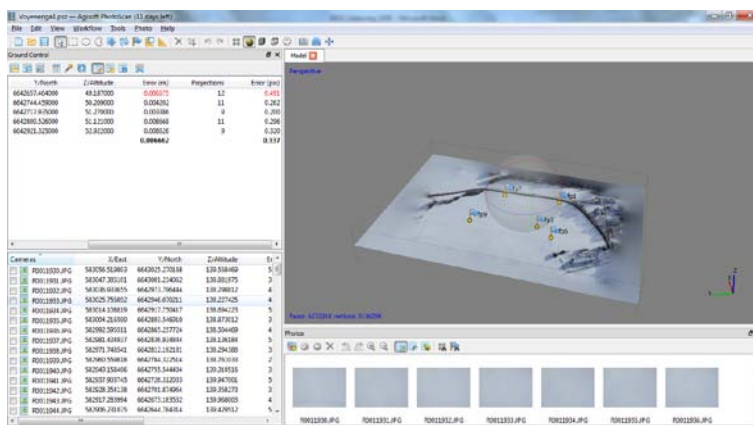
• Building Model (Height-field mode)

Memory consumption in Height-field mode depends on the number of photos, their resolution, selected quality and overlap. Dependency on the number of photos and their resolution is approximately linear.

In the following table approximate memory consumption for 12 MPix photo resolution is listed.

Photos	100	200	500	1000	2000	5000	10000
Lowest quality	25 MB	50 MB	125 MB	250 MB	500 MB	1.25 GB	2.5 GB
Low quality	100 MB	200 MB	500 MB	1 GB	2 GB	5 GB	10 GB
Medium quality	400 MB	800 MB	2 GB	4 GB	8 GB	20 GB	40 GB
High quality	1.6 GB	3.2 GB	8 GB	16 GB	32 GB	80 GB	160 GB
Ultra high quality	6.4 GB	12.8 GB	32 GB	64 GB	128 GB	320 GB	640 GB

Figur 22²⁸ - Kapasitet ved bygging av modell



Figur 23- Bygging av modell

Etter at modellen er bygget, kan vi eksportere ortofoto til forskjellige format. Hovedsteg 3 av 3 er å bygge tekstur på modellen. Tekstur går fint å bygge direkte dersom modellen er beregnet for visualisering.

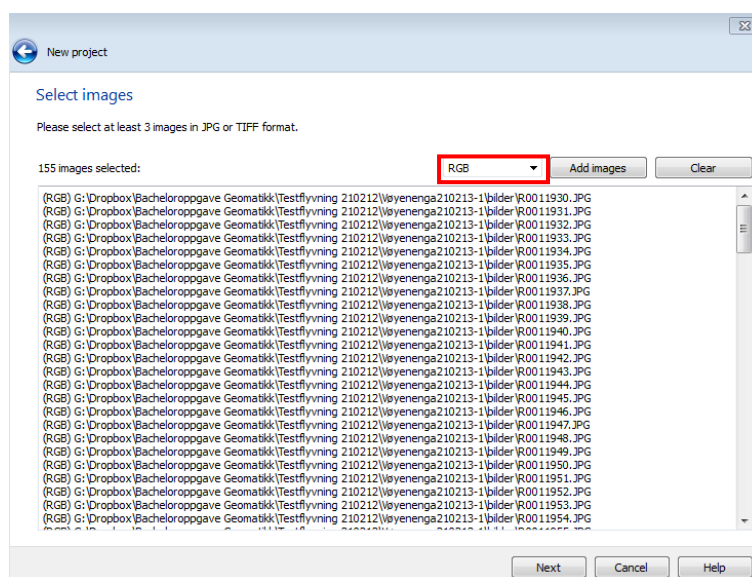
²⁸ Spesifikasjoner hentet fra [Agisoft](#) sin hjemmeside.

4.3. Pix4D

Pix4D har flere programvareløsninger for bildeprosessering fra UAV. En god løsning er PIX4UAV Desktop 3D 2.1 programvaren som kom ut i nyere versjon i februar i år. Desktop-versjonen krever stor maskinkapasitet, noe som gjør Cloud 2.1- versjonen aktuell ved større bildeprosesseringsprosjekt.

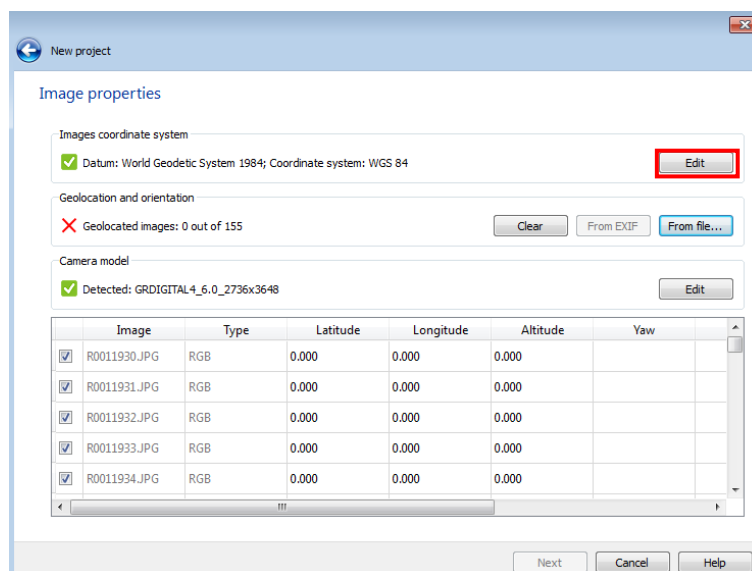
4.3.1. Pix4UAV Desktop 3D 2.1.2

Vi kan hente den genererte Pix4D- filen fra StrechoutTM og starte rett på kobling av GCP (se figur 29). Dersom vi tar det fra begynnelsen; det første vi gjør er å navngi et nytt prosjekt. Deretter må bildefilene lastes inn (her kan også fargespekteret velges).



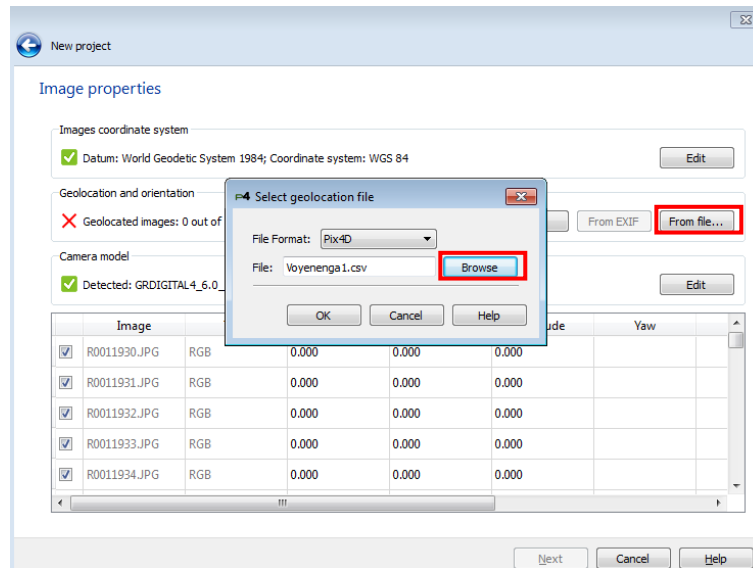
Figur 24- Opplasting av bilder

Så velges datum/ koordinatsystem for bildene, posisjon (X, Y, Z) og rotasjon (Θ_x , Θ_y , Θ_z) og kameramodell.



Figur 25- Valg av koordinatsystem (i luften)

CSV- filen med posisjon og rotasjon må redigeres noe før den kan importeres (som figur 27 viser).



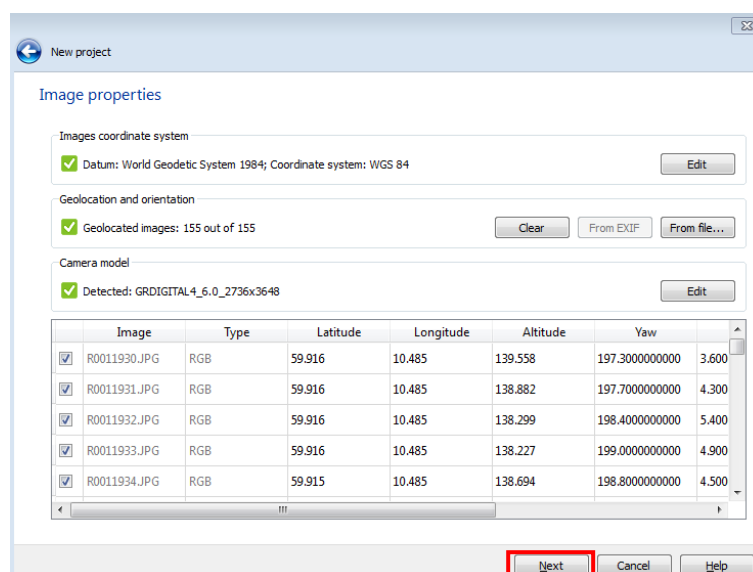
Figur 26- Importere CSV- fil (X, Y, Z, Θ_x , Θ_y , Θ_z)

Vøyenenga1 - Notisblokk

ImageType	Latitude	Longitude	Altitude	Yaw	Pitch	Roll
R0011930.JPG	59.9163343364	10.4853976469	139.558	197.3	3.6	-1.0
R0011931.JPG	59.9161204194	10.4852247039	138.882	197.7	4.3	0.0
R0011932.JPG	59.9158762341	10.4850268597	138.299	198.4	5.4	0.4
R0011933.JPG	59.9156296040	10.4848159185	138.227	199.0	4.9	1.7
R0011934.JPG	59.9153777400	10.4845963528	138.694	198.8	4.5	1.4
R0011935.JPG	59.9151624717	10.4844098111	1			
R0011936.JPG	59.9149108765	10.4841907284	1			
R0011937.JPG	59.9146588858	10.4839798678	1			
R0011938.JPG	59.9144387355	10.4837967975	138.294	197.3	6.7	-1.4
R0011939.JPG	59.9141908180	10.4835856213	138.761	197.8	6.2	1.2

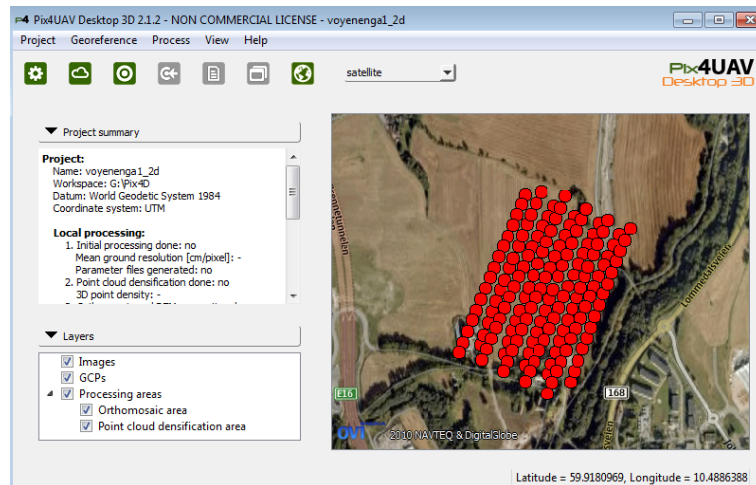
Slett denne raden

Figur 27- Rediger CSV- fil



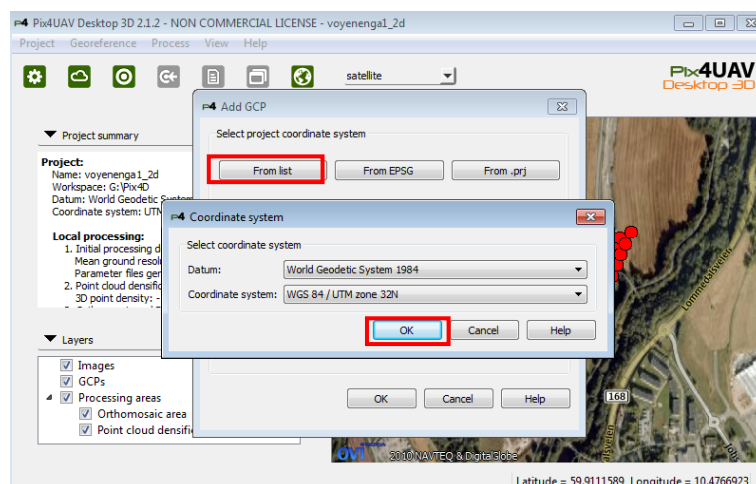
Figur 28- Bildeegenskaper

Trykk "Next" og "Finish" for å lagre prosjektet. Flybildene er nå posisjonerte etter gps. Fra skjermbildet (figur 29²⁹ og utover) skal GCP kobles mot bildene.



Figur 29- Oversiktsbilde

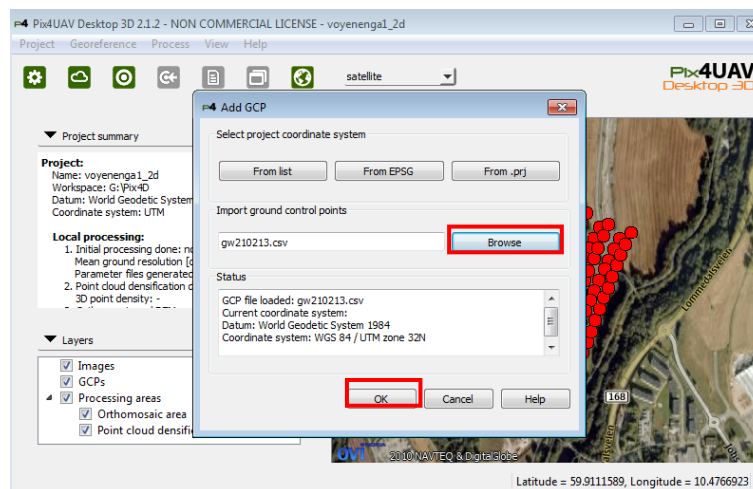
GCP' ene legges til som vist i figur 30. Trykk på knappen "From list" i det nye vinduet som kommer opp, for å velge datum/ koordinatsystem på bakken (se figur 31).



Figur 30- Valg av koordinatsystem (på bakken)

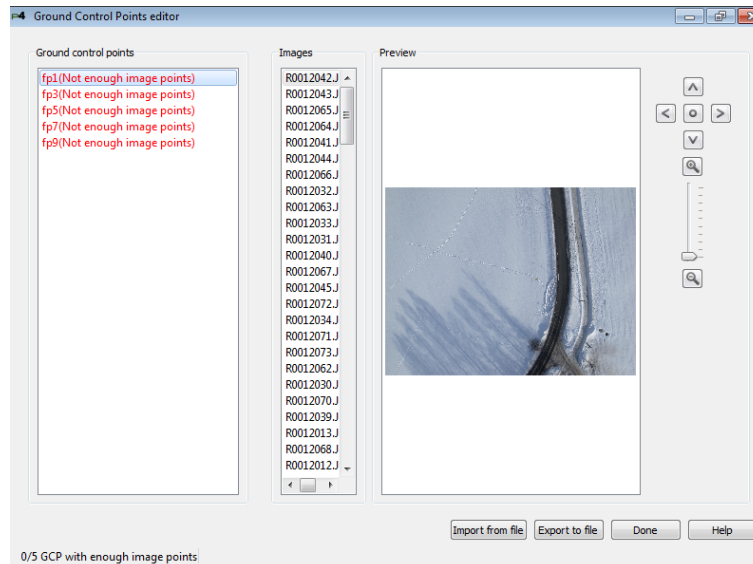
²⁹ Dersom vi velger å bruke filen som ble generert fra Stretchout™, vil vi begynne ved dette skjermbildet.

Importer deretter GCP (CSV- fil) og trykk ok.

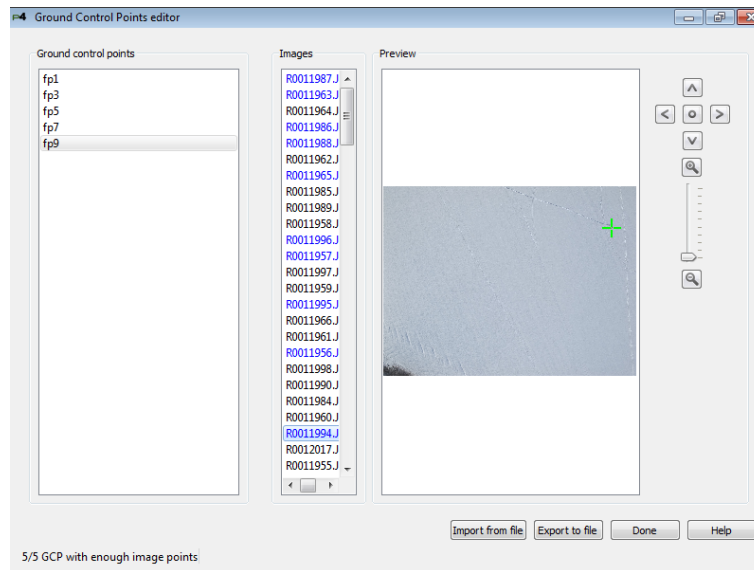


Figur 31- Import GCP

I skjermbildet som nå vises (figur 32) skal GCP kobles mot bildene. Dette gjøres ved å velge et GCP og et bilde. Prosessen går ut på å koble GCP med de bildene der GCP vises. Dette gjøres ved å finne GCP på bildet og merke med et grønt kryss. Det er viktig å skille på flystripene slik at riktig GCP blir merket i riktig bilde. GCP må minst være koblet til to bilder for at programmet kan fortsette med prosesseringen. Det anbefales at GCP knyttes til så mange bilder som mulig for best resultat.

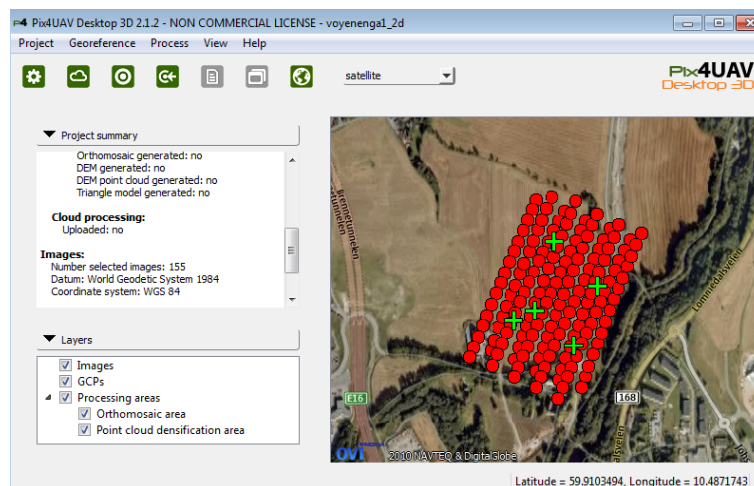


Figur 32- GCP kobles mot bildene



Figur 33- GCP koblet mot bildene

Etter at alle GCP er koblet mot bildene, kan det eksporteres en fil (.p4d) som senere kan brukes opp igjen ved behov (ved samme prosjekt). Trykk "Done" for å komme ut av editor-vinduet. Dersom sjekkboksen "GCPs" er huket av, vil GCP vises i kartet til høyre som grønne kryss (figur 34).



Figur 34- Oversiktsbilde

4.3.2. Pix4UAV Cloud 2.1.1

Layouten i denne programvaren er, med noen få og små endringer, lik Pix4UAV Desktop. Pix4UAV Cloud kan gjerne kalles en tilleggsprogramvare til Pix4UAV Desktop. Forskjellen ligger i at Desktop- versjonen vil prosessere mosaikken på lokal datamaskin, mens Cloud- versjonen vil laste "råmaterialet"³⁰ opp i en server³¹ for samme behandling. Dette betyr at Cloud- versjonen er helautomatisk, og derfor ikke kan brukerdefineres. Fordelen er at prosessen kan settes i gang, brukeren/ kunden kan gjøre andre ting fram til prosessen er ferdig. Etter noen timer³² vil brukeren/ kunden få en beskjed (e- post) med en lenke til stedet der ferdig produkt befinner seg.

4.4. GEMINI

Etter at analysen var gjennomført i ArcGIS³³, ble dataene (dBASE- filene) tatt inn i Excel og lagret i et nytt format; CSV- format. Filene ble så importert i GEMINI Oppmåling og eksportert videre til KOF- format. KOF var mulig å importere direkte i GEMINI Terreng & Entreprenør. Dette ble gjort og resultatet ble genererte tverrprofiler og lengdeprofiler³⁴ for alle tre flyvningene samt begge "fasitene". Vi brukte i tillegg geometrisk kontroll mellom polygon/ triangelnett for å finne standardavvik, gjennomsnitts-, minimums- og maksimumsverdier (fikk ut statistikk i egen Excel- arbeidsbok). For å beregne volum mellom de respektive overflatemodellene brukte vi en funksjon i GEMINI T&E, volumkontur, som beregnet masse mellom gitte lag innenfor et gitt polygon. Beregning av volum ble generert i TXT- format. Disse ble videre konvertert og bearbeidet i Excel for å gi et bedre presentasjonsbilde.

³⁰ Georefererte bilder sammen med GCP som vist i figur 34.

³¹ Serveren ligger i Sveits (Sveitsisk programvare).

³² Prosesseringstiden varierer ut fra størrelsen på oppdraget (antall bilder).

³³ For utfyllende framgangsmåte i ArcMAP, se vedlegg 2.

³⁴ Se vedlegg 3.

5. Resultat

Fordi det var snødekkede områder, og dermed naturlig variasjon mellom laserdataene fra Kartverket og beregnede høyder ut fra overflatemodellene, sammenlignet vi kun data fra en hard flate i området, altså vegen. Alle data ble senere klippet til samme område.

Gatewing X100 ble satt opp med parametere som flyhøyde på 100 meter med 75 % overlapp i begge retninger. For å orientere flybildene og bedre kvaliteten på bestemmelse av høyde, benyttet vi 5 GCP merket med signalmerker.

5.1. Fasit

Måling av veg med GNSS ble gjennomført 21. mars 2013 med start ca. klokken 13.

Resultatet ble tatt ut fra måleboken som en KOF- fil og ble lagret som VEG. Laserdataene fra Kartverket ble først klippet til riktig område i Global Mapper. Dette ble videre generert som laget KARTVERKET.

5.2. Flyvning

Flyvning med drone ble gjennomført 21. februar 2013 med start ca. klokken 11:30, 13 og 14. Hver flyvning varte ca. 10 minutter. Dronen hadde da dekket et område på ca. 0,17 m² og tatt ca. 155 bilder. Vi gjennomførte tre flyvninger med så like parametere som mulig. Vi merket oss at lysforholdene skiftet mellom de tre flyvningene. Dette medførte at kontrasten i bildene for hver flyvning ble ulike.

Vi fikk ut en digital overflatemodell (DEM) for hver flyvning og vi ga hver og en navnene DEM 1, DEM 2, DEM 3 etter klokkeslettet flyvningene ble utført.

5.2.1. DEM 1



Images:	median of 7588 keypoints per image	!
Dataset:	155 out of 155 images calibrated (100%)	✓
Camera optimization quality:	1.55 % relative difference between initial and final focal length	✓
Matching quality:	median of 2203 matches per calibrated image	✓
Georeferencing:	5 GCPs, 0.87 [m]	✓

Figur 35- Utdrag kvalitetsrapport DEM 1

Under flyvningen var det sol og blå himmel³⁵. DEM 1 ga et godt visuelt resultat. Laget fulgte linjen for "fasiten" hele veien. Vegetasjonen i området kastet rene/ tydelige skygger. Programvaren Pix4UAV Desktop fant automatisk såkalte keypoints³⁶ i hvert bilde. Dette er et kvalitetsmål for at vi har tilstrekkelig synlig innhold i bildet for videre prosessering. Vi observerte at kvaliteten ikke var optimal fordi programmet ønsket en middelvei større enn 10.000 nøkkelpunkt per bilde³⁷ (for å oppnå grønn hake). Det viste seg allikevel at det var nok nøkkelpunkt til at 100% av alle bildene i flyvningen ble kalibrert. Vi så at optimaliseringen av kameraet lå under 5%. Hele modellen ble georeferert i henhold til GCP' ene våre. Kvalitet til matchingen var meget god.

³⁵ Se kvalitetsrapport for flyvning 1; vedlegg 4.

³⁶ Punkter som er like per bilde.

³⁷ Se utfyllende informasjon i hjelp- dokumentet som genereres sammen med kvalitetsrapporten; vedlegg 5.

5.2.2. DEM 2



Figur 36- Utdrag kvalitetsrapport DEM 2

Under flyvningen var det overskyet, noe som ga et flatt lys³⁸. DEM 2 ga et dårlig visuelt resultat. Dette laget så vi lå omtrent 0,7 m over "fasiten" i det mer kupert terrenget (se figur 40). Dette resulterte i at vi ikke har noen skygger og på grunn av det til én stor, monoton flate. Programvaren Pix4UAV Desktop klarte ikke å finne mange keypoints, faktisk under 2000 nøkkelpunkt per bilde og ble derfor merket med en rød trekant (se figur 36). Dette igjen resulterte i at kun 71 % av alle bildene i flyvningen ble kalibrert. Kamerakvaliteten var god, noe også georefereringen så ut til å være. Kvalitet til matchingen ga en lav verdi her. Den viste en middelværdi på under 1000 matchinger per *kalibrert* bilde, som igjen førte til hull i modellen. Dette førte igjen til at ett GCP ikke ble tatt med videre i prosesseringen.

³⁸ Se kvalitetsrapport for flyvning 2, vedlegg 6.

5.2.3. DEM 3



Images:	median of 2871 keypoints per image	!
Dataset:	143 out of 155 images calibrated (92%)	!
Camera optimization quality:	1.42 % relative difference between initial and final focal length	✓
Matching quality:	median of 887 matches per calibrated image	!
Georeferencing:	5 GCPs, 0.001 [m]	✓

Figur 37- Utdrag kvalitetsrapport DEM 3

Under flyvningen var det sol og delvis skyet himmel, noe som gjorde at vegetasjonen i området kastet urene/ grumsete skygger³⁹. DEM 3 ga et godt visuelt resultat på linje med DEM 1. Det vil si at denne også fulgte linjen for "fasiten", og i nærheten av DEM 1. Programvaren Pix4UAV Desktop fant mange keypoints i hvert bilde, færre enn i DEM 1, men det dobbelte av DEM 2. På grunn av det ble 92 % av alle bildene i flyvningen kalibrert. Både antall nøkkelpunkt i bildet og antall bilder som blir kalibrert henger sammen med blant annet hvor stor overlappen er når bildet blir tatt. Ved større overlapp vil sjansen for oppnådd kvalitet være større. Her viste også middelerdien til matchingen å være under 1000 matchinger per *kalibrert* bilde, men på grunn av høy prosentdel av kalibrerte bilder ble det ikke så store hull i modellen.

Figur 38- Masseberegning

Masseberegning	m ² total	m ² fylling	m ² skjæring	m ³ total	m ³ fylling	m ³ skjæring	Gj. snitt avstand cm
KV- DEM 1	1206,5	340,9	865,6	60,2	12,9	47,3	5,0
KV- DEM 2	1206,5	286	920,5	407,9	21,5	386,4	33,8
KV- DEM 3	1206,5	292,3	914,2	122,8	19	103,8	10,2
VEG- DEM 1	1209,5	237,7	971,8	62,3	7,7	54,6	5,2
VEG- DEM 2	1209,5	246,1	963,4	408,4	15	393,4	33,8
VEG- DEM 3	1209,5	267,7	941,8	126,2	14,6	111,6	10,4

Forklaringer figur 38: kv= KARTVERKET. dem1= Digital overflatemodell 1. dem2= Digital overflatemodell 2. dem3= Digital overflatemodell 3. veg= VEG. Lengde testområde= 270 m.

³⁹ Se kvalitetsrapport for flyvning 3, vedlegg 7.

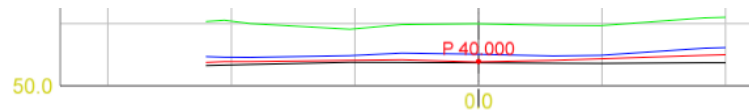
Figur 39- Statistikk

Statistikk	Standardavvik	Middel	Minimum	Maksimum
KV- DEM 1	0,07	0,032	-0,368	0,425
KV- DEM 2	0,293	0,308	-0,485	1,095
KV- DEM 3	0,111	0,074	-0,569	0,529
VEG- DEM 1	0,066	0,041	-0,423	0,412
VEG- DEM 2	0,292	0,317	-0,492	1,082
VEG- DEM 3	0,108	0,083	-0,512	0,534

Forklaringer figur 39: kv= KARTVERKET. dem1= Digital overflatemodell 1. dem2= Digital overflatemodell 2. dem3= Digital overflatemodell 3. veg= VEG.

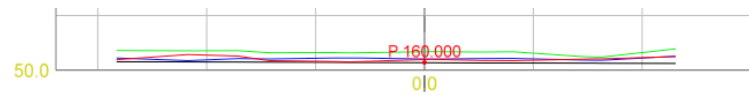
Vi har tatt ut to tverrprofiler som vi ønsker å kommentere nærmere (figur 40 og 41). I de nevnte figurene er DEM 1 = rød, DEM 2 = grønn, DEM 3 = blå, VEG = svart.

Figur 40 viser utdrag for tverrprofil 40 som lå i et kupert terreng.



Figur 40- Utdrag tverrprofil kupert terreng (rutenett 1m x1m)

Figur 41 viser utdrag for tverrprofil 160 som lå i et område med flatt terreng.



Figur 41- Utdrag tverrprofil flatt terreng (rutenett 1m x1m)

6. Diskusjon

6.1. Fasit

Da vi sammenlignet de to "fasitene", VEG og KARTVERKET, var det godt samsvar i volum mellom disse (se figur 38). Det var også forventet siden vi har målt vegen der det var bart og omtrent like omstendigheter for alle årstider. Grunnen til at vi valgte å bruke to "fasiter", var fordi vi ville kontrollere våre GNSS- data mot laserdataene vi fikk fra Kartverket. Da vi sammenlignet det totale volumet mellom laget VEG og laget DEM 1 ($62,3 \text{ m}^3$), og laget KARTVERKET og laget DEM 1 ($60,2 \text{ m}^3$), fikk vi et meget godt resultat (differanse $2,1 \text{ m}^3$ på 270 m lengde). Dette viser da hvor godt samsvar det er mellom våre to fasiter.

6.2. Flyvning

Vi var interessert i å se på tidsaspektet ved tradisjonell innmåling sett opp mot bruk av drone. I sammenligningene så vi på differansene mellom de to fasitene og lagene for den enkelte DEM. Ved bruk av dronen må det alltid være en operatør til stede. Operatøren skal ha med seg en observatør for å tilfredsstille kravet i VLOS (øyekontakt med dronen). Dersom BLOS brukes, må synsfelter overlappes med radiokontakt mellom observatørene.

6.2.1. DEM 1

Vi mente at resultatet ut fra forutsetningene var meget bra. I kvalitetsrapporten så vi at det var store avvik mellom ett av våre GCP og programmets optimalisering av dette punktet. Det kan ha vært en brukerfeil, som for eksempel at ikke bildene ved det respektive GCP ble koblet nøyaktig nok, eller en feil i prosesseringen. Dette ga utslag på "Geo- location and Ground Control Points", en tabell i kvalitetsrapporten. Dette så imidlertid ikke ut til å svekke modellen videre i prosesseringen.

Vi valgte ut to tverrprofiler for DEM 1 som vi sammenlignet mot VEG. Tverrprofil 40 (figur 40) var i et kupert terreng og vi så at linjen for DEM 1 fulgte linjen for VEG meget bra (avstand ca. 4 cm). Figur 41 viser tverrprofil 160 og var for et område med flatt terreng. Vi så at DEM 1 fulgte VEG meget bra også her (avstand ca. 3 cm). Til sammenligning så vi at DEM 1 hadde tilnærmet samme avstand i forhold til VEG i begge profilene.

Vi så ut fra figur 38 for masseberegning av VEG – DEM 1 at vi hadde totalt (fylling + skjæring) et volum på $62,3 \text{ m}^3$ for et areal på $1209,5 \text{ m}^2$. Dette medførte en gjennomsnittlig avstand på 5,2 cm.

6.2.2. DEM 2

Etter å ha sett på resultatet for DEM 2, så vi fort at denne ga en ufullstendig modell over hele området. På det ferdigprosesserte ortofotoet så vi tydelig at det var lite variasjon i kontrasten.

Vi valgte ut to tverrprofiler for DEM 2 som vi sammenlignet mot VEG. I tverrprofil 40 så vi at linjen for DEM 2 lå godt over linjen (avstand ca. 60 cm) for VEG og at profilene var tilnærmet parallelle. Tverrprofil 160 (Figur 41) viste at DEM 2 lå i overkant (avstand ca. 17 cm) av VEG gjennom profilen og at profilene også her var tilnærmet parallelle. Til sammenligning så vi at det var stor variasjon i avstand fra kupert terreng til flatt terreng for DEM 2.

Vi så ut fra figur 38 for masseberegning av VEG – DEM 2 at vi totalt (fylling + skjæring) hadde et volum på $408,4 \text{ m}^3$ for et areal på $1209,5 \text{ m}^2$. Dette medførte en gjennomsnittlig avstand på 33,8 cm.

6.2.3. DEM 3

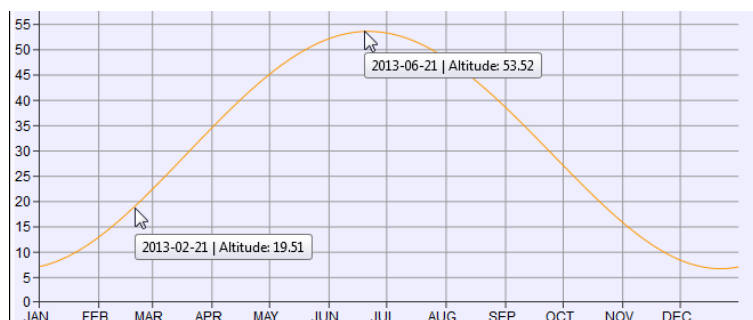
Vi mente at resultatet ut fra forutsetningene var bra. DEM 3 ga et godt visuelt resultat på linje med DEM 1. Det vil si at denne også fulgte linjen for "fasiten", og i nærheten av DEM 1. På grunn av tidspunktet dataene ble innsamlet, kunne vi ikke forvente oss samme resultat som DEM 1, selv om det hadde vært ønskelig. Kvalitetsrapporten viste dårligere lysforhold enn DEM 1 og samtidig utydelige skygger. Ut fra dette mente vi at det var naturlig at DEM3 ga noe dårligere resultat enn DEM 1. Vi ble imidlertid positivt overrasket over at differansen ikke ble større. For å underbygge dette, sammenlignet vi det totale volumet mellom laget VEG og laget DEM 3 ($126,2 \text{ m}^3$), og laget KARTVERKET og laget DEM 3 ($122,8 \text{ m}^3$), fikk vi et godt resultat (differanse $3,4 \text{ m}^3$ på 270 m lengde).

Vi valgte også ut to tverrprofiler for DEM 3 som vi sammenlignet mot VEG. I tverrprofil 40 så vi at linjen for DEM 3 lå over linjen (avstand ca. 12 cm) for VEG og at profilene var tilnærmet parallelle. Tverrprofil 160 (Figur 41) viste at DEM 2 lå i overkant (avstand ca. 8 cm) av VEG gjennom profilen og at profilene også her var tilnærmet parallelle. Til sammenligning så vi at det var noe variasjon i avstand fra kupert terreng til flatt terreng for DEM 3.

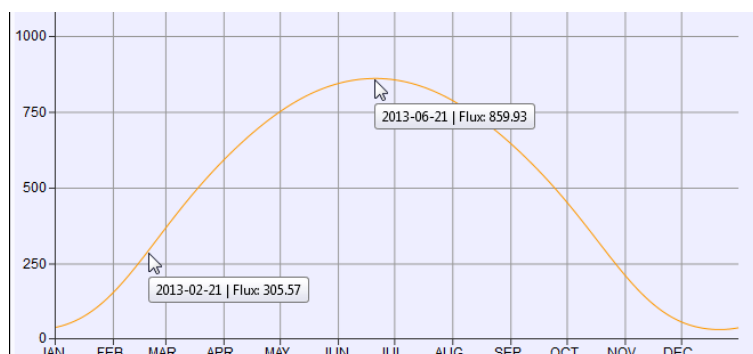
Om vi ser på figur 38 for masseberegning av veg – dem 1 så har vi totalt (fylling + skjæring) et volum på $126,2 \text{ m}^3$ på et areal på $1209,5 \text{ m}^2$. Dette medfører en gjennomsnittlig avstand på 10,4 cm.

6.2.4. Videre diskusjon

Vi søkte etter forklaring på hvorfor dårlig lys gav disse utslagene, og i den sammenheng sjekket vi solhøyde og LUX- verdi for datoene flyvningene ble foretatt (21. Februar). Figurene 50 og 51 viser en solhøyde på 19,51 grader, mot 53,52 grader den 21.juni. LUX- verdien var tilsvarende på 305,57 mot 859,52. Innen fotogrammetrien vet vi at best resultat får vi i perioden mai og juni. Derfor mener vi at disse faktorene spiller en enda større rolle under flyvning 2.



Figur 42- Solhøyde



Figur 43- LUX- verdi

I tillegg har vi fra programvareprodusenten (Pix4D) en anbefaling for droneflyvning over snø. Figur 44 viser denne anbefalingen. Fra kvalitetsrapporten for denne flyvningen har vi i tillegg en anbefaling som sier at vi bør ha en overlap i x- og y- retning på 90 %.

Snow and sand have little visual content due to large uniform areas, and display large dynamic range that may saturate the camera sensor.

- Requires high overlap: at least **85%** frontal overlap and **60%** side overlap
- Set the **exposure settings** accordingly to get as much contrast as possible in each image.

Figur 44- Pix4UAV om snøsituasjon

-Brukt med tillatelse fra Pix4D-

6.2.5. Tradisjonell måling mot drone

Ved innmåling av laget VEG til bruk i terrengmodell målte vi i RTK med GNSS. Vi gikk høyre og venstre vegbanekant samt senterlinje. Vi målte ca. 400 m. veg som tok totalt ca. 60 minutter. Prosessen ved bruk av drone generelt er:

- Utsetting av signalmerker med innmåling av GCP
- Lage flyplan med setting av parameter
- Oppsetting av utskytingsrampe
- Oppskytingsprosedyre/ sikkerhetsprosedyre
- Flyvning
- Sjekk av data

I denne oppgaven tar vi kun for oss en grov oversikt over tidsbruk for innmålingen vår. Hele prosedyren (som vist over) med bruk av drone tok ca. 60 minutter for den første flyvningen. For den andre flyvningene tok det ca. 30 minutter. Dette fordi vi da kun trengte å kjøre sikkerhetsprosedyre og selve flyvningen.

Ikke alle oppdrag passer for bruk av drone, som betyr at det vil fortsatt være bruk av tradisjonelle innmålingsmetoder. Vi ser at bruk av drone vil være mest aktuelt på større prosjekter, men også på mindre prosjekter hvor det er aktuelt å gjøre målinger over det samme området flere ganger, blant annet for å dokumentere masseforflytning. I prosjekter med høy aktivitet er dronen svært godt egnet til innmåling. Ofte er det kun på kveldstid landmåleren slipper til på grunn av den store aktiviteten på dagtid. Derfor vil en drone kunne måle uavhengig av aktiviteten (på bakken) i området.

7. Konklusjon

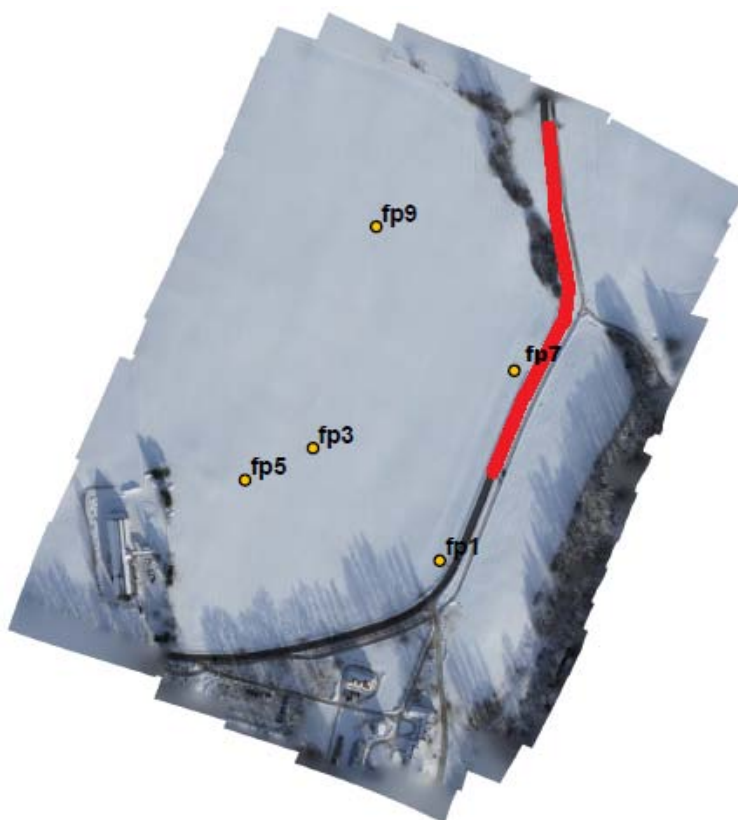
I vår oppgave skulle vi se på to delspørsmål. Det første; *Vil bruk av Gatewing X100 gi lik volumangivelse ved repetitiv flygning over et gitt område i et gitt tidsrom?*, kunne vi svare på ved å henvise til figur 38 (s. 39). Hensikten med spørsmålet var å ha like parametere under alle flyvningene for å få et resultat som var sammenlignbart. På grunn av at lysforholdene var så forskjellige kunne vi ikke konkludere i forhold til hensikten med delspørsmålet. Vi kunne imidlertid bruke resultatene i nye interessante betraktninger. Dette har vi utdypet senere i rapporten.

Vårt andre delspørsmål; *Vil nøyaktigheten være god nok til sitt bruk?*, kunne vi også svare på ved hjelp av figur 38. Hensikten med dette spørsmålet var å sammenligne én flyvning (den første) med det tradisjonelt målte området. For å få noe å sammenligne med, hadde vi i tillegg laserdata fra Kartverket. Da vi sammenlignet det totale volumet mellom laget VEG og laget DEM 1 (62,3 m³), og laget KARTVERKET og laget DEM 1 (60,2 m³), fikk vi et meget godt resultat (differanse 2,1 m³ på 270 m lengde). Denne differansen er forskjellen mellom fasit 1 og 2. Dersom vi tar $\frac{m^3}{m^2}$ for DEM 1 så kommer vi ut med en differanse på 5 cm i avstand for KARTVERKET og 5,2 cm i avstand for VEG. Dette er gjennomsnittlig forskjell for hele arealet.

Som nevnt ble nøyaktigheten også analysert i hele testområdet med en gridstørrelse på 1m x 1m. Det vil si at vi fikk ut omtrent 1470 punkter for hvert lag som, sammenlignet med et annet lag, genererte standardavvik, gjennomsnitts-, minimums-, maksimumsverdier. Figur 39 viser disse verdiene for de forskjellige lagene som ble sammenlignet.

Minimums- og maksimumsverdiene ga uttrykk for store endringer gjennom hele testområdet. Da vi så nærmere på dette i 3D visualisering, så vi at det var flere "spiker" (forhøyninger) i produktet. På grunn av dette konkluderte vi med at minimums- og maksimumsverdiene ikke var signifikante for oppgaven. Videre viste statistikken samme tendens som masseberegningen, at DEM 2 lå langt over de to andre flyvningene.

At programmet ikke fant så mange nøkkelpunkt som ønsket, mente vi hadde med årstiden å gjøre. Flyfotografering med drone på denne årstiden var vi i utgangspunktet spente til på grunn av lysforhold, refleksjon, snødekkede monotone flater. Det var allikevel interessant å teste ut om dronen taklet de faktiske forhold. Som nevnt i avsnittet om DEM 2, resulterte flatt lys og overskyet himmel til at det ble hull i modellen. Det flate lyset gjorde at modellen ble mørk og monoton. I DEM 2 var det også på motsatt side av der solen stod at vegen "reiste" seg, noe vi konkluderer med skyldes solelevasjonen. Vi ble med dette mer styrket i vår oppfatning av at målinger med drone ikke bør foregå på tidspunkt der solen står lavt i horisonten. For å underbygge denne påstanden fant vi solhøyde i grader (figur 40) og LUX-verdi (figur 41) som var forventet på dette tidspunktet i testområdet. Vi har her også lagt inn optimale solforhold for å vise avstanden. Det vil si at vi kunne tenkt oss å gjøre flyvningene i slutten av juni. Det er viktig å presisere at dette er kun ut i fra solforhold og andre parametere som løvsprett og lignende må tas hensyn til.



Figur 45- Plassering av signalmerker

Vi mener at det ville være interessant å gjøre flyvningene under tilsvarende ulike lysforhold (sol, skyet, delvis skyet) på sommerstid for å se om forskjellene mellom flyvningene ville blitt mindre.

Vi mener videre at signalmerkene vi benyttet i flyvningene våre (figur 45) ikke lå optimalt i forhold til vegen vi fokuserte på i vår analyse (merket rødt i figur 45). Vi har derfor en formening om at modellene "brettet" seg i den kanten som lå lengst vekk fra signalmerkene (øverst i figuren) og kan ha påvirket resultatet, spesielt i DEM 2.

7.1. Videre arbeid

Vi ser at våre målinger kan være starten på videre undersøkelser. Det kunne vært interessant å se hvilket resultat vi hadde hatt med tilsvarende lysforhold, men med 90 % overlapp. Videre kunne det være interessant å gjøre de samme undersøkelsene med forskjellige grader overlapp i andre kalendermåneder hvor solhøyden og LUX- verdien er forskjellig fra det de var denne gangen. For å kunne dokumentere lysverdien under flyvning mener vi det kunne være interessant å måle inn denne verdien ved start/ slutt av hver flyvning. Dette for å kunne se på mulige sammenhenger.

Dersom noen ønsker å benytte vegen som område for å analysere videre på, mener vi at det hadde gitt bedre geometri om det i tillegg hadde vært lagt ut signalmerker slik at disse hadde vært plassert på begge sider av vegen. For å få en bedre geometri i ortofoto ville den beste plasseringen av signalmerkene vært på hver side av vegen i x- og y- retning og ett punkt i senter. Dette mener vi kan gi ytterligere bedring av nøyaktigheten.

Ved å få flere data å sammenligne vil man kunne se på standardavvik ved flyvninger og gjøre beregninger til å kunne justere for systematiske avvik ut fra for eksempel lysforhold.

8. Kilder

Lover og forskrifter:

NSM: <http://www.lovdata.no/for/sf/fo/xo-19970106-0003.html>

NSM: <http://www.lovdata.no/for/sf/sd/xd-20030626-0863.html>

NSM: <http://www.lovdata.no/for/sf/sd/xd-20050628-0737.html>

CAA: <http://luftfartstilsynet.no/regelverk/aic-n/article1021.ece>

Internett:

Geomatikk AS: <http://www.geomatikk.no>

Gatewing: <http://www.gatewing.com>

Norgeodesi AS: <http://www.norgeodesi.no>

NSM: <https://www.nsm.stat.no/>

CAA: <http://www.luftfartstilsynet.no/>

Dronen: <http://www.gatewing.com/>

Hot Mirror: <http://www.cavision.com/filters/types/HM.htm>

Programvare Global Mapper: <http://www.blumablegeo.com/products/global-mapper.php>

Programvare PhotoScan: <http://www.agisoft.ru>

Programvare Pix4D: <http://pix4d.com>

Kvalitet laserdata: <http://159.162.103.4/geovekst/georef.jsp?komm=0219>

Trimble R10: <http://www.trimble.com/survey/TrimbleR10.aspx>

Trimble GeoXR: <http://www.trimble.com/trimbleGeoXRgnss.shtml>

Solelevasjon: http://ptaff.ca/soleil/?lang=en_CA → Lisens for bruk av tabeller og grafer (Free Software Foundation): <http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html> GNU Free Documentation License.

Pix4UAV (om snøsituasjoner):

<https://docs.google.com/document/d/1IuuVk5xY9Jbs5ll5z6taNDPzvYUvU1Ph6m6Lv0vQ7x8/pub>

Bilde framside:

http://www.unmannedsystemstechnology.com/wp-content/uploads/2012/06/gatewing_x100_drone_640w_large_verge_medium_landscape.jpg

Rådata har vi valgt å ikke legge ved oppgaven på grunn av den store datamengden (50 GB). Dataene utleveres på forespørsel.

Dokumentasjon på tillatelse for bruk av tabeller og figurer blir også oppbevart av oss. Utleveres på forespørsel.

9. Vedlegg

1: Global Mapper

2: ArcGIS

3: Profiler

4: Quality Report DEM 1

5: Quality Report Help

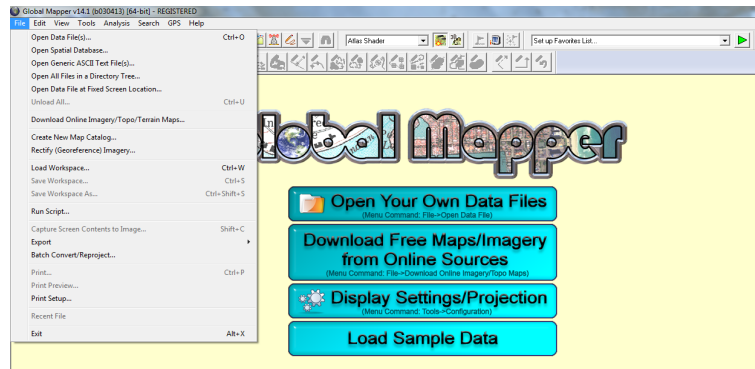
6: Quality Report DEM 2

7: Quality Report DEM 3

Global Mapper

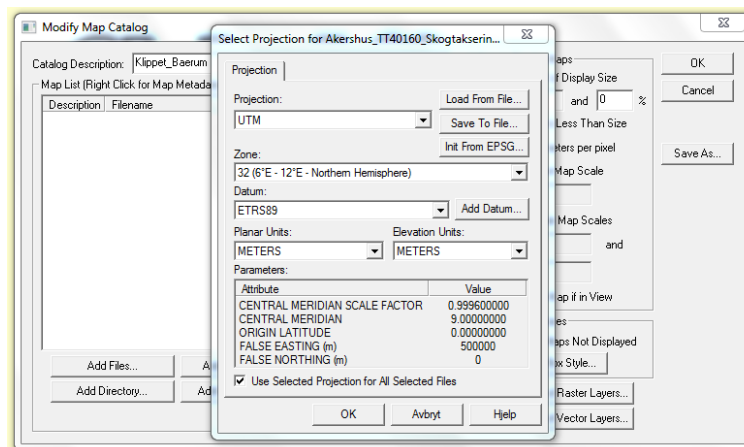
Vi bruker Global Mapper for å "klippe" data for å jobbe med mindre datamengder. I vår modell er det størst interesse rundt vegen som går gjennom testområdet, slik at vi ønsker å "renske" opp i data som ikke er av interesse. Vi fikk tips om dette verktøyet av Jørn Thorsen i Geomatikk AS.

Vi lager en mappestruktur for å lagre data i slik at vi enkelt kan finne igjen de ulike delene.



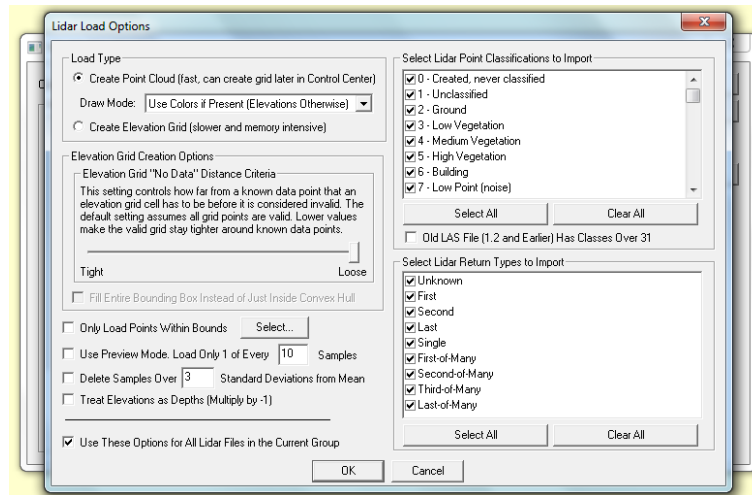
Figur 1- Mappestruktur

Etter at mappen er opprettet, henter vi inn alle filene vi skal bearbeide (grunnlagsdata). Dersom projeksjonen for dataene ikke er satt, må vi definere denne (husk: Euref89 kalles ETRS89).



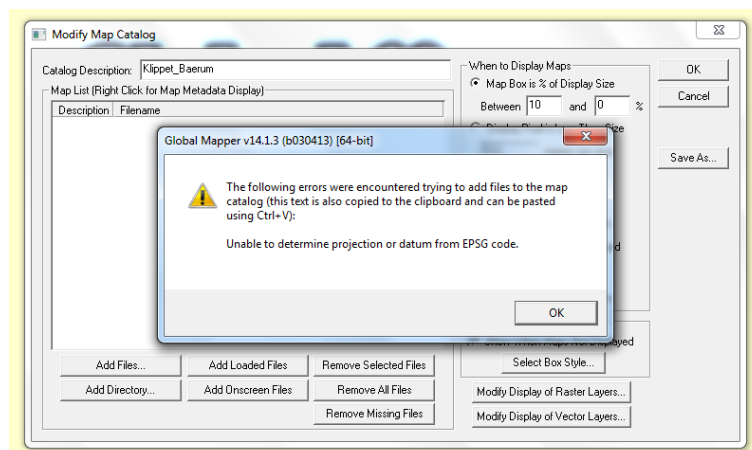
Figur 2- Projeksjon

Vi lager så punktsky med gitte parametere. Husk å "huk av" for å bruke samme parametere for alle filene.



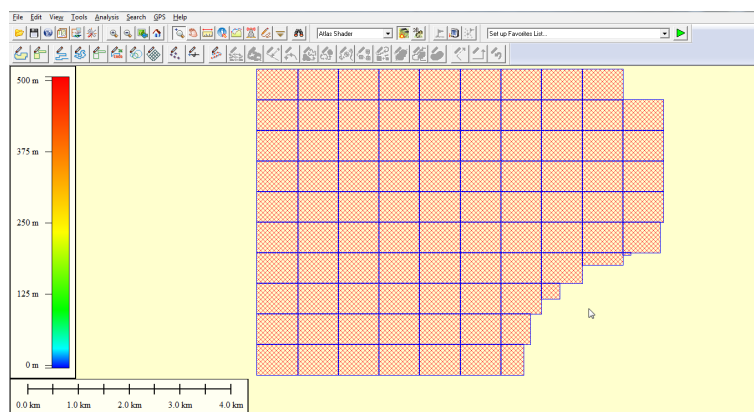
Figur 3- Parametere for punktsky

Programmet prosesserte og vi fikk en feilmelding som vist i figur (denne kom av at vi skrev inn en EPSG kode for deretter å endre datum. Dette er derfor ingen feil – og vi fortsetter prosessen).



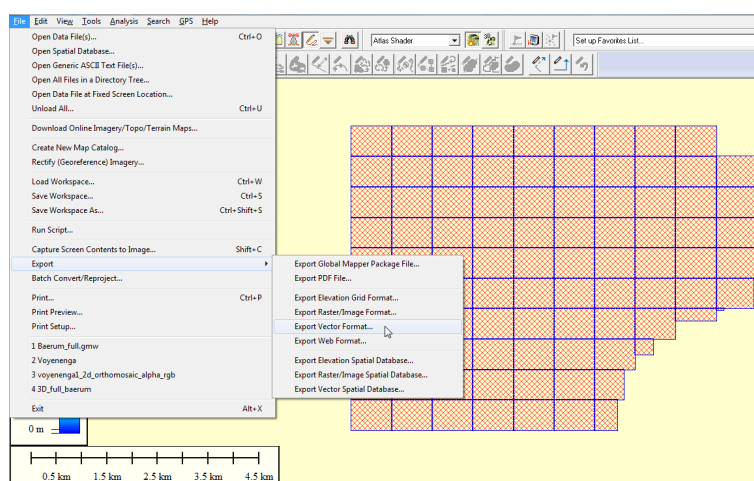
Figur 4- "Feilmelding"

Ferdig prosessert punktsky for Bærum kommune ser nå slik ut:

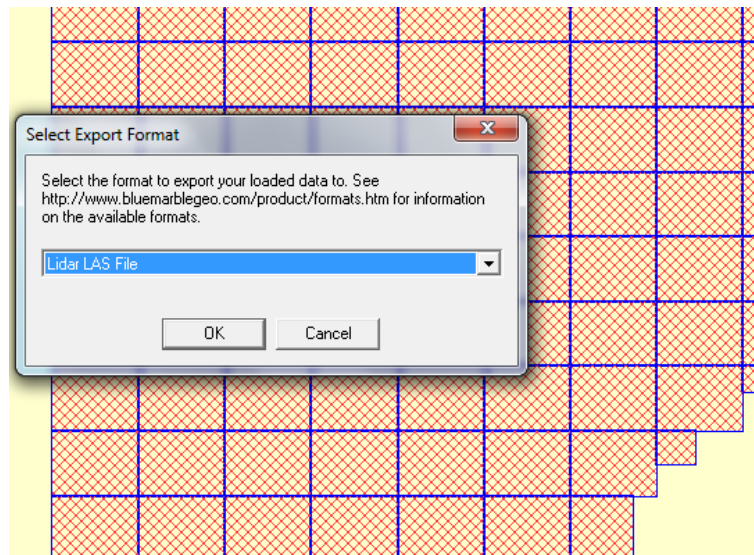


Figur 5- Punktsky for hele Bærum kommune

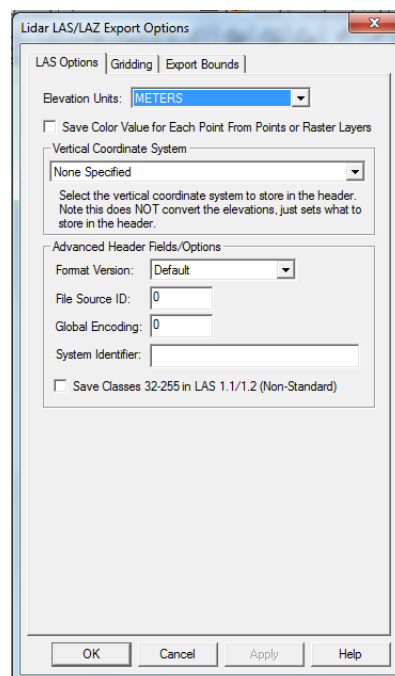
For å klippe ut vårt testområde gjøres dette raskest ved å eksportere eksisterende .las filer til en ny .las fil i vektorformat, se figur 13- 15. Vi vil bearbeide dataene videre og velger derfor et vektorformat.



Figur 6- Eksportering

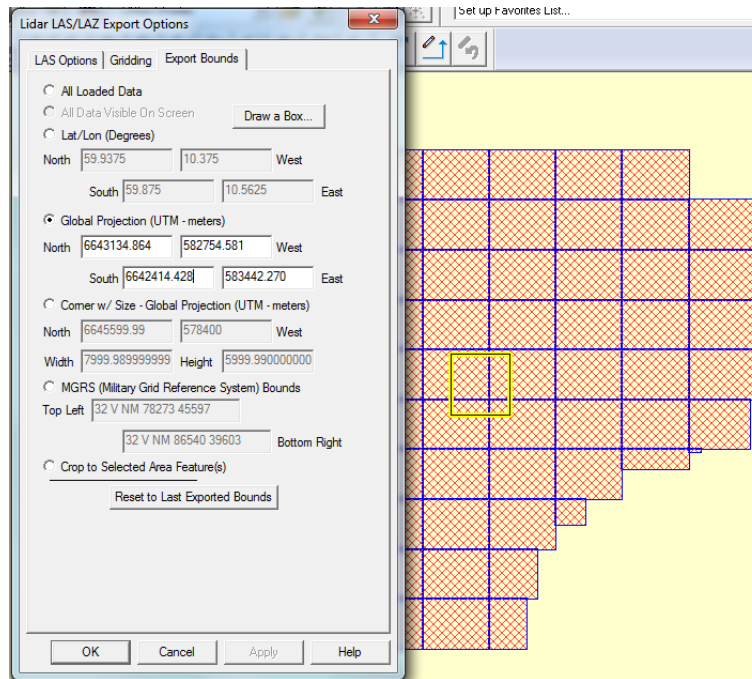


Figur 7- Eksportering fortsetter



Figur 8- .las parametere

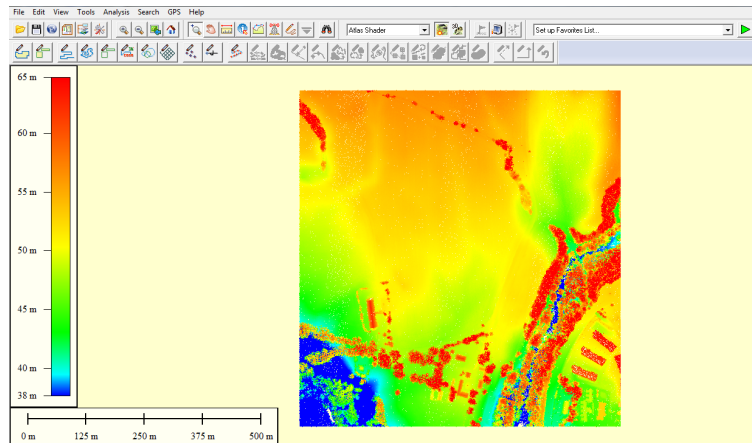
Siden vi visste koordinatene for vårt testområde, så var det enkelt å klippe ut dette området, se figur 16.



Figur 9- Valgt område

Ettersom vi vil se nærmere på veien gjennom testområdet, følger vi denne linjen så tett som mulig. Vi bruker derfor et digitaliseringsverktøy for å lage det nye funksjonsområdet.

Ferdig klippet punktsky for vårt testområde ser nå slik ut:



Figur 10- Punktsky testområde

ArcGIS

Vi i gruppen bestemte oss for å se nærmere på resultatene fra programvaren Pix4UAV Desktop. Vi brukte ArcMAP og ArcSCENE for videre analyse av disse. Vi har bevisst valgt å utelate illustrasjoner i vår beskrivelse av fremgangsmåter i analysen.

Vi starter med å lage et nytt kart i ArcMap som vi kaller Fasit.

1. Vi skal nå lage "fasiten" vi har målt selv. Denne kaller vi VEG.

Vi lager en CSV fil av de innmålte vegpunktene. Denne blir hentet inn i ArcMAP på følgende måte:

- File → Add Data → Add XY Data
- Velger CSV- filen, legger inn x (East) y (North) og Z (Hight). Forskjell på matematisk og geomatisk standard.
- Dersom koordinatsystemet ikke er lagt inn, så endrer vi dette.

Får en ObjID feil, men den er uten betydning. Denne lagres kun lokalt inne i kartdatabasen, og ikke som et eget applikasjonslag.

Ut fra punktlaget ønsker vi å generere linjer, slik at vi kan få laget et polygon.

Fremgangsmåte for Points To Line:

1. Åpner verktøyet "Points To Line (Data Management)".
 - ➔ Input feature [Veg_0-270.csv Events]
 - ➔ Output feature Class [veg_lin] (Denne lagres da som en .shp fil).
 - ➔ Resterende valg som default

Denne må klippes litt for å få tak i det vi er interessert i.

Velger "Start Editing" → Split tool → splitter i alle knyttingspunkter, og fjerner uønskede linjer. Vi må også lukke polygonet. Lagrer endringer og avslutter editoren.

Fremgangsmåte for Feature To Polygon:

- Åpner verktøyet "Feature To Polygon (Data Management)".
 - ➔ Input feature [veg_lin]
 - ➔ Output feature Class [veg_pol] (Denne lagres da som en .shp fil).
 - ➔ Resterende valg som default

Ut fra punktlaget, lager vi en TIN modell.

Fremgangsmåte TIN modell:

- Åpner verktøyet "Create TIN (3D Analyst)".
 - ➔ Output TIN [veg_tin]
 - ➔ Koordinatsystem legges inn med [ETRS89 UTM Zone 32N]
 - ➔ Input feature class [Veg_0-270.csv Events] (Generert punktlag)
 - ➔ Bekrefter med OK

Fremgangsmåte TIN To Raster:

- Videre åpner vi verktøyet "TIN To RASTER (3D Analyst)".
 - ➔ Input TIN [veg_tin]
 - ➔ Output RASTER [veg_ras]
 - ➔ Sampling Distance → CELLSIZE 1 (dette gjør vi for å "tvinge" lik pixelstørrelse for begge fasitene).
 - ➔ Resterende valg som default.
 - ➔ Bekrefter TIN To Raster.

Rasterbildet som nå vises inneholder verdier som vi ikke ønsker å bruke videre. Derfor bruker vi polygonet som ble lagd tidligere til å maskere ønsket område.

Fremgangsmåte Extract by Mask:

- Åpner verktøyet "Extract by mask (Spatial Analyst)".
 - ➔ Input raster [veg_ras]
 - ➔ Feature mask data [veg_pol]
 - ➔ Output raster [VEG]

Dette er grunnlaget for det vi bruker som sammenligning i Environments (vi kan legge inn environments i hvert enkelt verktøy).

2. Vi skal nå lage "fasiten" vi har fått fra kartverket. Denne kaller vi KARTVERKET.

Fremgangsmåte LAS to TIN:

- Tar inn .lasd fil (Kartverket.lasd).
- For å ta .las filer inn i ArcMAP, må det lages et LAS Dataset som den opprinnelige .las filen er koblet mot.
- Det er viktig å koble opp riktig .las fil og i tillegg koble riktig koordinatsystem i både grunnriss og høyde.
- Åpner Layer Properties til .lasd filen → Arkfanen "Filter" → Merke av for Ground → Apply → OK.
- Åpner verktøyet "LAS Dataset To TIN (3D Analyst)".
 - ➔ Input LAS Dataset [Kartverket.lasd]
 - ➔ Output TIN [kv_tin]
 - ➔ Resterende valg som default
 - Åpner valget "Environment" for å sette et default grid som er gjennomgående for alle kartene. (Dette må dessverre gjøres for hver eksport).
 - Åpner Processing Extent
 - Snap raster [VEG]
 - Bekrefter Environment
 - ➔ Bekrefter LAS Dataset To TIN.

Vi kunne laget raster rett ut fra LAS fil, men fordi vi vil ha så mange punkter som mulig i den videre analysen, går vi veien om å lage en TIN- modell.

Fremgangsmåte Tin to raster:

- Videre åpner vi verktøyet "TIN To RASTER (3D Analyst)".
 - ➔ Input TIN [kv_tin]
 - ➔ Output RASTER [kv_ras]
 - ➔ Sampling Distance → CELLSIZE 1 (dette gjør vi for å "tvinge" lik pixelstørrelse for begge fasitene).
 - ➔ Resterende valg som default
 - Åpner valget "Environment" for å sette et default grid som er gjennomgående for alle kartene. (Dette må dessverre gjøres for hver eksport).
 - Åpner Processing Extent
 - Snap raster [VEG]
 - Bekrefter Environment
 - ➔ Bekrefter TIN To Raster.

Fremgangsmåte Extract by Mask:

- Åpner verktøyet "Extract by mask (Spatial Analyst)".
 - ➔ Input raster [kv_ras]
 - ➔ Feature mask data [veg_pol]
 - ➔ Output raster [KARTVERKET]
 - Åpner valget "Environment" for å sette et default grid som er gjennomgående for alle kartene. (Dette må dessverre gjøres for hver eksport).
 - Åpner Processing Extent
 - Snap raster [VEG]
 - Bekrefter Environment
 - ➔ Bekrefter TIN To Raster.

Videre skal vi eksportere tabeller med XYZ- verdier. Dersom fremgangsmåten ovenfor er riktig gjennomført, vil alle de eksporterte tabellene inneholde samme grid som ble satt som default.

Fremgangsmåte Sample:

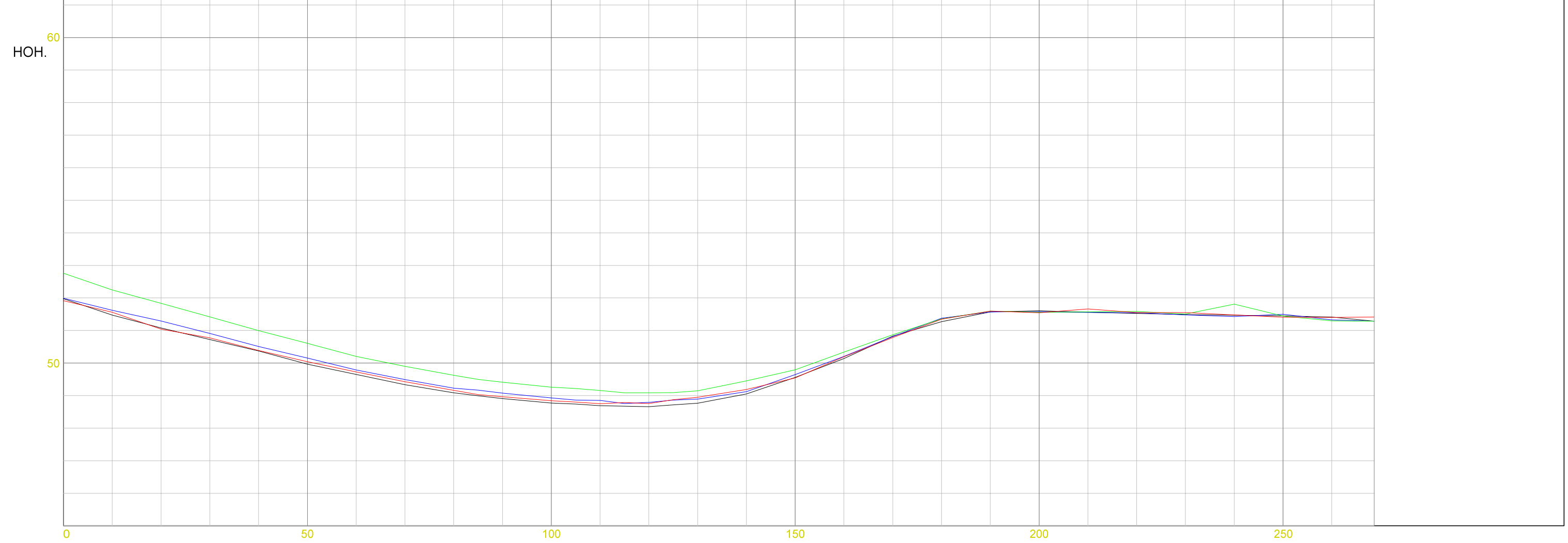
- Åpner verktøyet "Sample (Spatial Analyst)".
 - ➔ Input raster [den nye raster- fila som kun inneholder "klippet område"]
 - ➔ Point feature [VEG]
 - ➔ Output table ["Navn på lagret resultat".dbf] (viktig å lagre som .dbf "dBase-filer", for å kunne åpne dette direkte inn i f. eks Excel).
 - ➔ Resterende valg som Default
 - Dette er en attributtavell for verdiene i hvert punkt i griddet.
- I dette steget er det ikke nødvendig å legge til "Environments".

Vi lager enda ett nytt kart i ArcMAP som vi kaller Desktop. I dette kartet henter vi inn de ferdig prosesserte DEM fra programmet Pix4UAV.

- Tar inn polygonet som avgrenser vegen vi skal se nærmere på og gjøre sammenligninger mot (veg_pol).
- Tar inn VEG
- Tar inn de respektive DEM for hver løsning i hvert enkelt kart
- Åpner verktøyet "Extract by mask (Spatial Analyst)".
 - ➔ Input raster [den respektive DEM- fila]
 - ➔ Feature mask data [veg_pol]
 - ➔ Output raster [Navn på lagret resultat]
 - Åpner valget "Environment" for å sette et default grid som er gjennomgående for alle kartene. (Dette må dessverre gjøres for hver eksport).
 - Åpner Processing Extent
 - Snap raster [VEG]
 - Bekrefter Environment
 - ➔ Bekrefter Ekstract by Mask.

Videre skal vi eksportere tabeller med XYZ- verdier. Dersom fremgangsmåten ovenfor er riktig gjennomført, vil alle de eksporterte tabellene inneholde samme grid som ble satt som default.

- Åpner verktøyet "Sample (Spatial Analyst)".
 - ➔ Input raster [den nye raster- fila som kun inneholder "klippet område"]
 - ➔ Point feature [VEG]
 - ➔ Output table ["Navn på lagret resultat".dbf] (viktig å lagre som .dbf "dBase-filer", for å kunne åpne dette direkte inn i f. eks Excel).
 - Dette er en attributtavell for verdiene i hvert punkt i griddet.
- I dette steget er det ikke nødvendig å legge til "Environments".



PROFIL NR.	0.00	6.67	24.78	33.75	42.98	51.89	60.65	69.22	78.37	87.83	97.02	106.78	116.32	125.48	134.63	143.68	161.21	170.28	179.60	188.58	197.66	206.65	224.93	234.21	243.96	253.44	262.12		
HOR. KURV.																													



TEGNET

KONTR.

DATO

11.05.2013

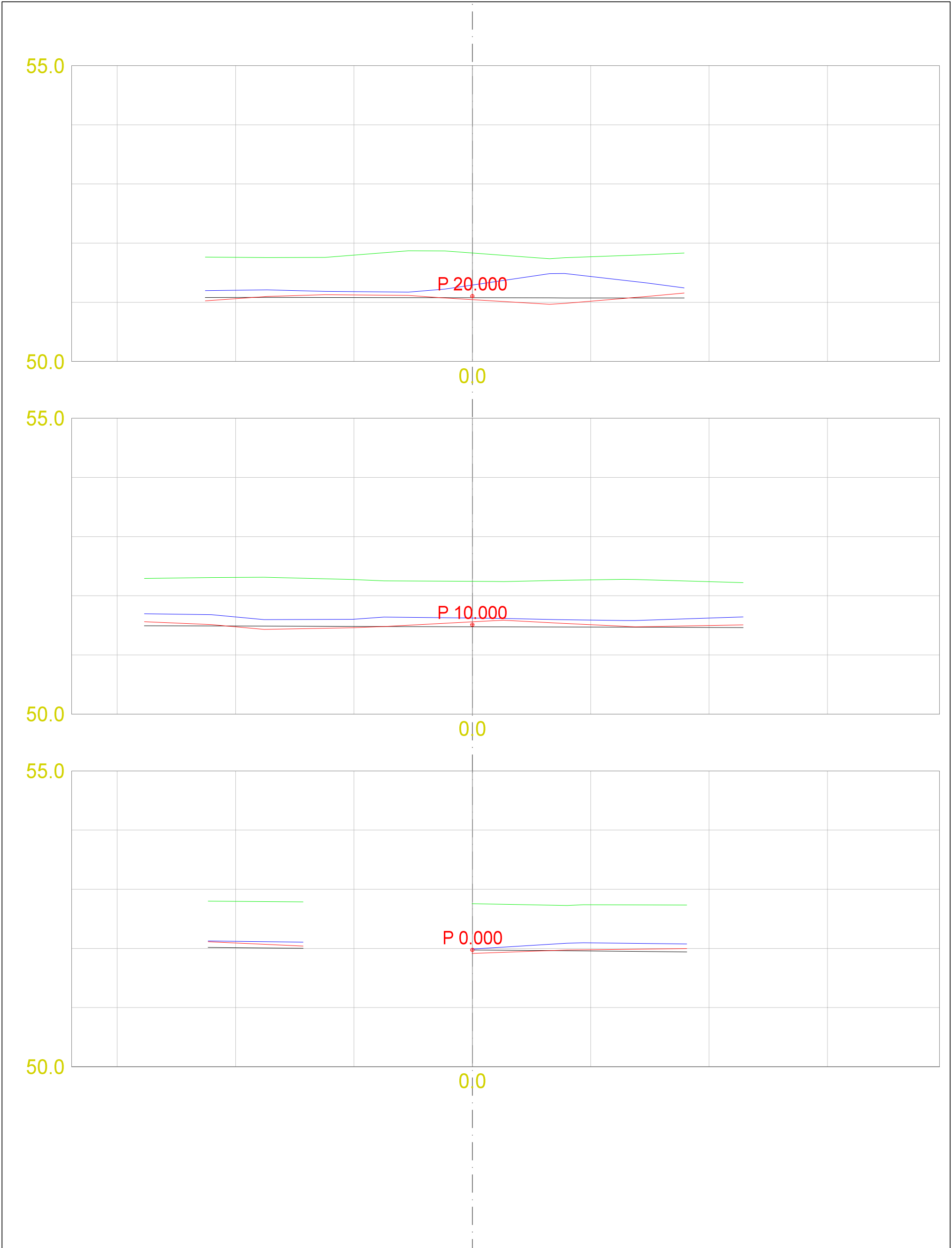
Lengdeprofiltegning

SAK NR.

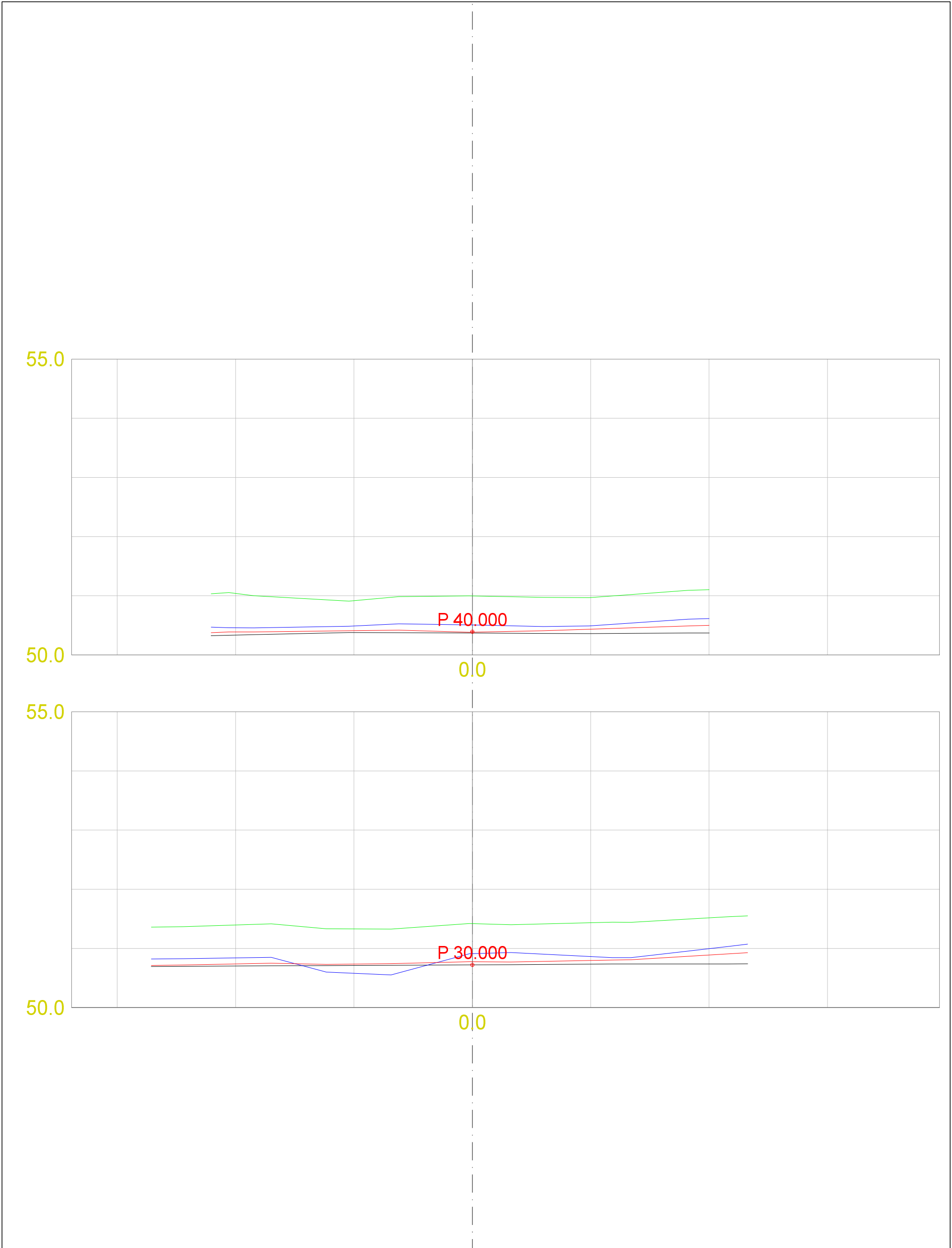
TEGN NR.
201

REV.

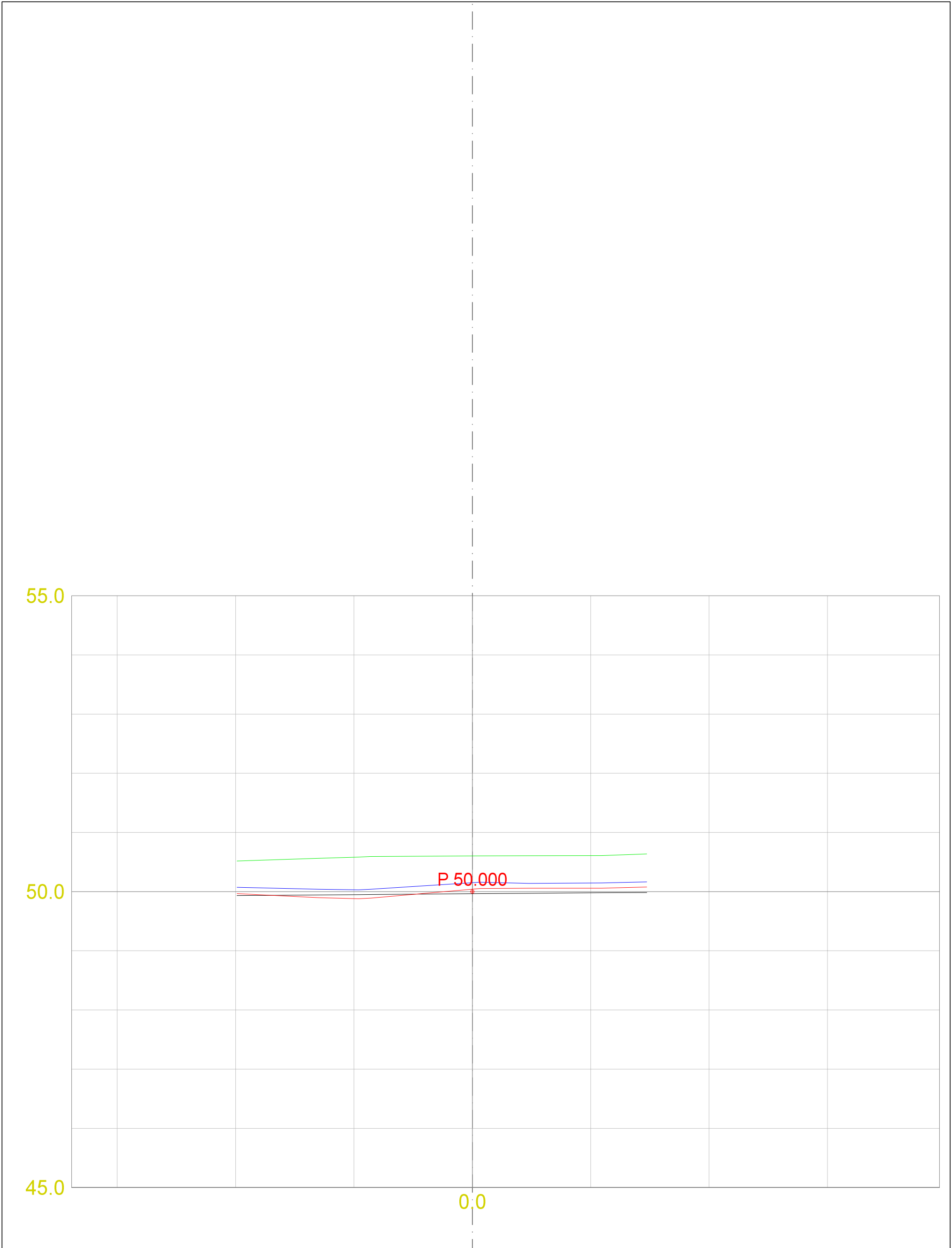
1: Dem1
2: Dem2
3: Dem3
6: veg



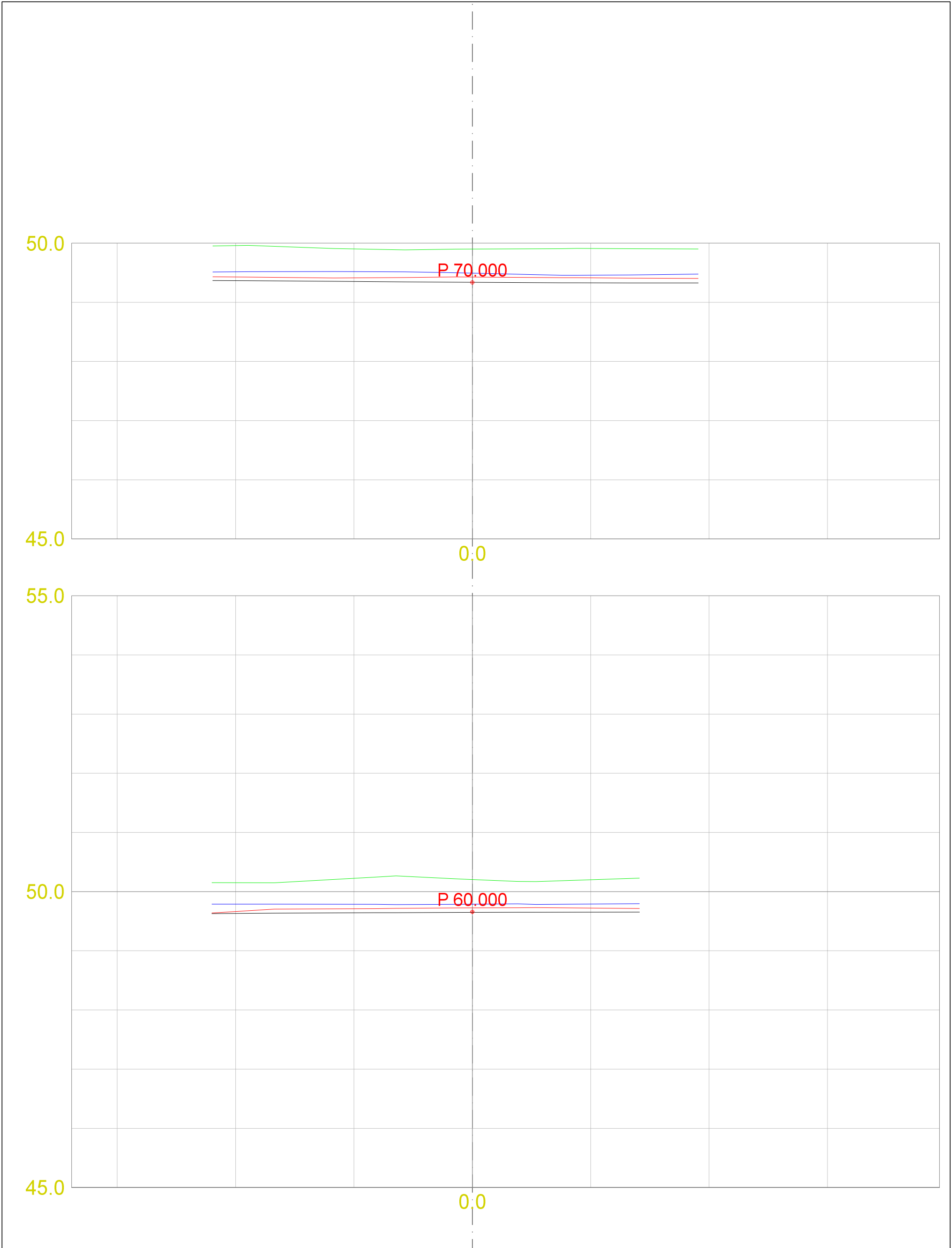
					Tverrprofiltegning			
DATO:	TEGNET:	MÅLESTOKK:			TEGN.NR.:	VEG:		SIDE: 1
11.05.2013		1:30, 1:60			301			



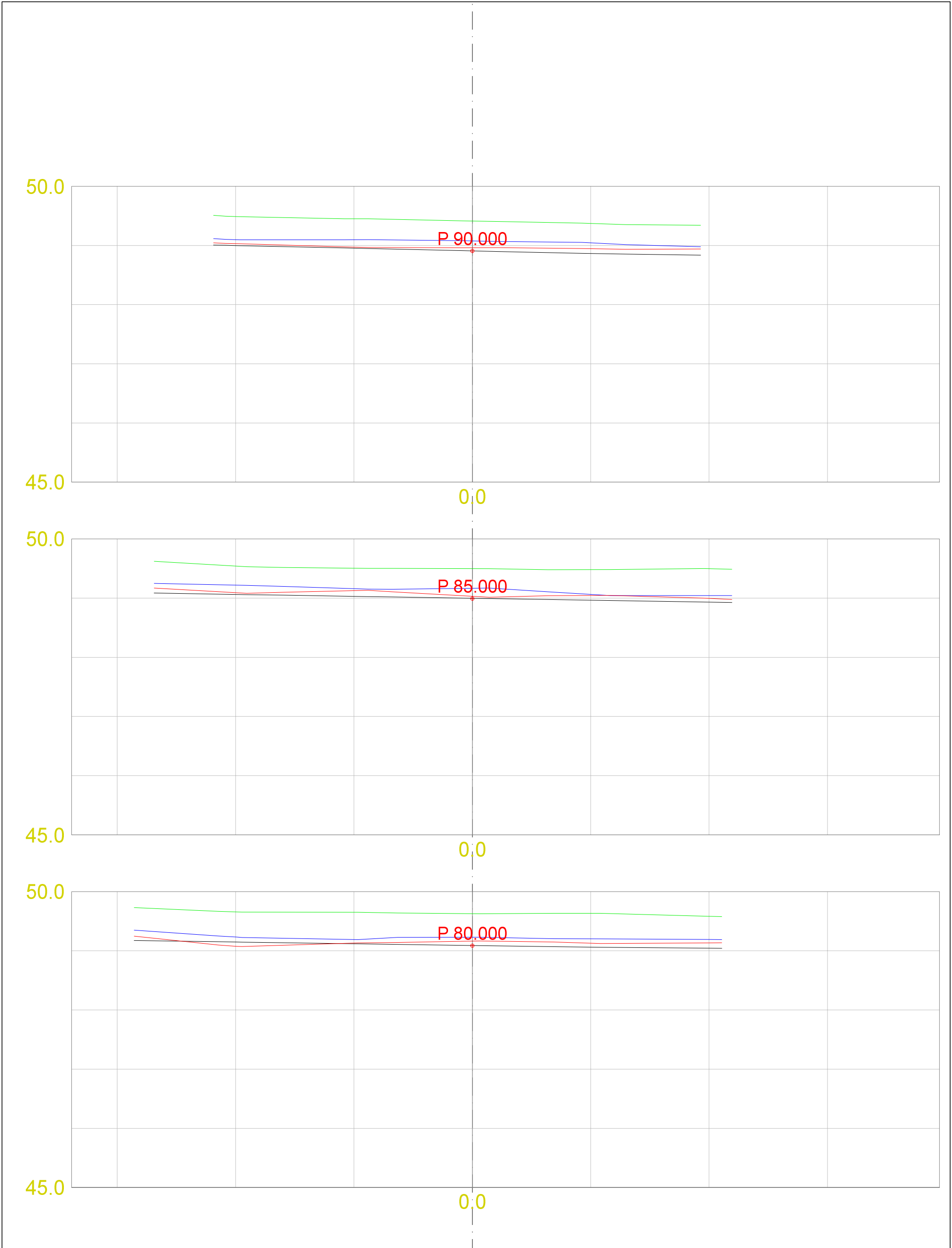
					Tverrprofiltegning		 <div>1: Dem1 2: Dem2 3: Dem3 6: veg</div>	
DATO:	TEGNET:	MÅLESTOKK:			TEGN.NR.:			
11.05.2013		1:30, 1:60			301	VEG:	SIDE:	2



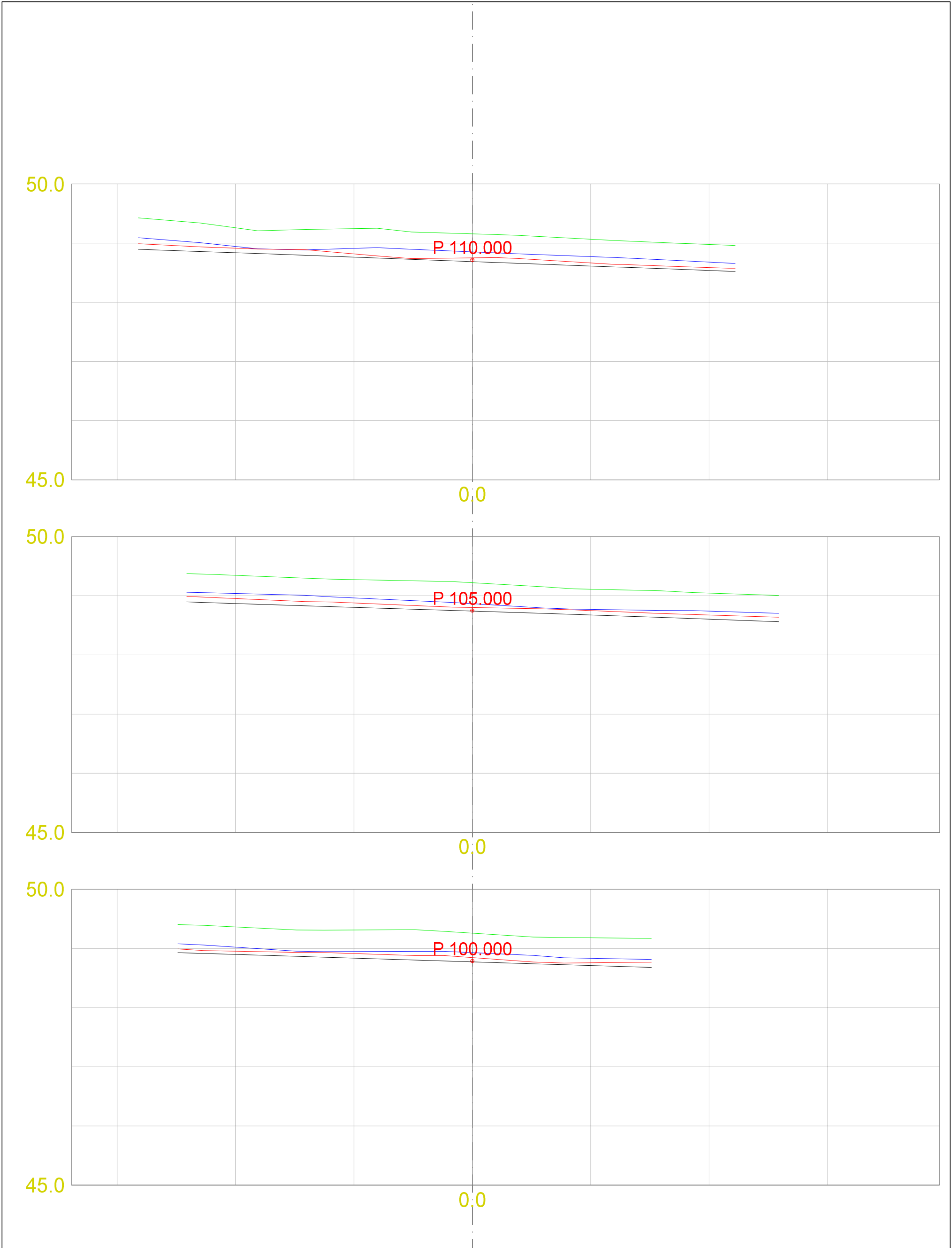
					Tverrprofiltegning 	
DATO:	TEGNET:	MÅLESTOKK:			TEGN.NR.:	
11.05.2013		1:30, 1:60			301	VEG: SIDE: 3



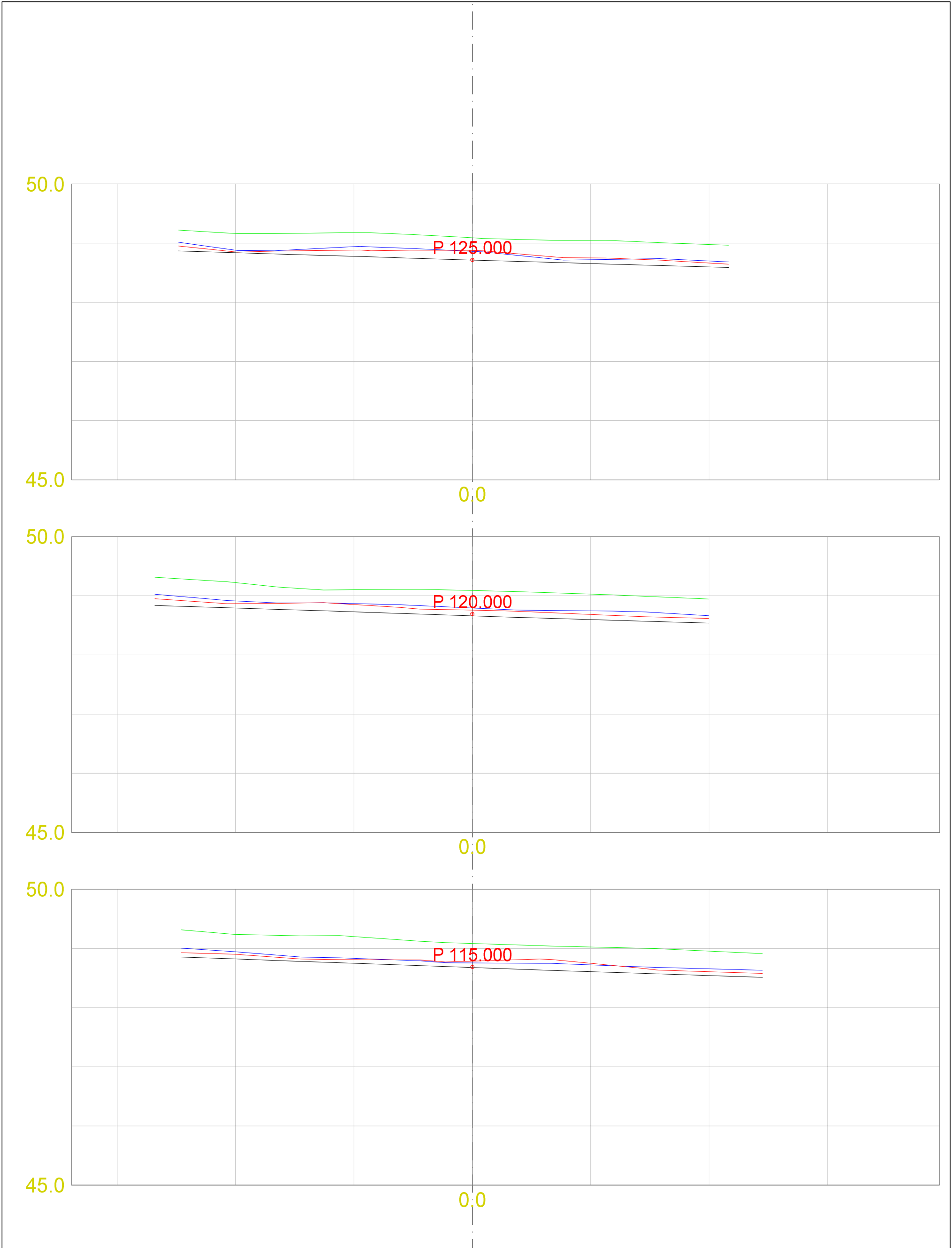
					Tverrprofiltegning		 <div>1: Dem1 2: Dem2 3: Dem3 6: veg</div>	
DATO:	TEGNET:	MÅLESTOKK:			TEGN.NR.:			
11.05.2013		1:30, 1:60			301	VEG:	SIDE:	4



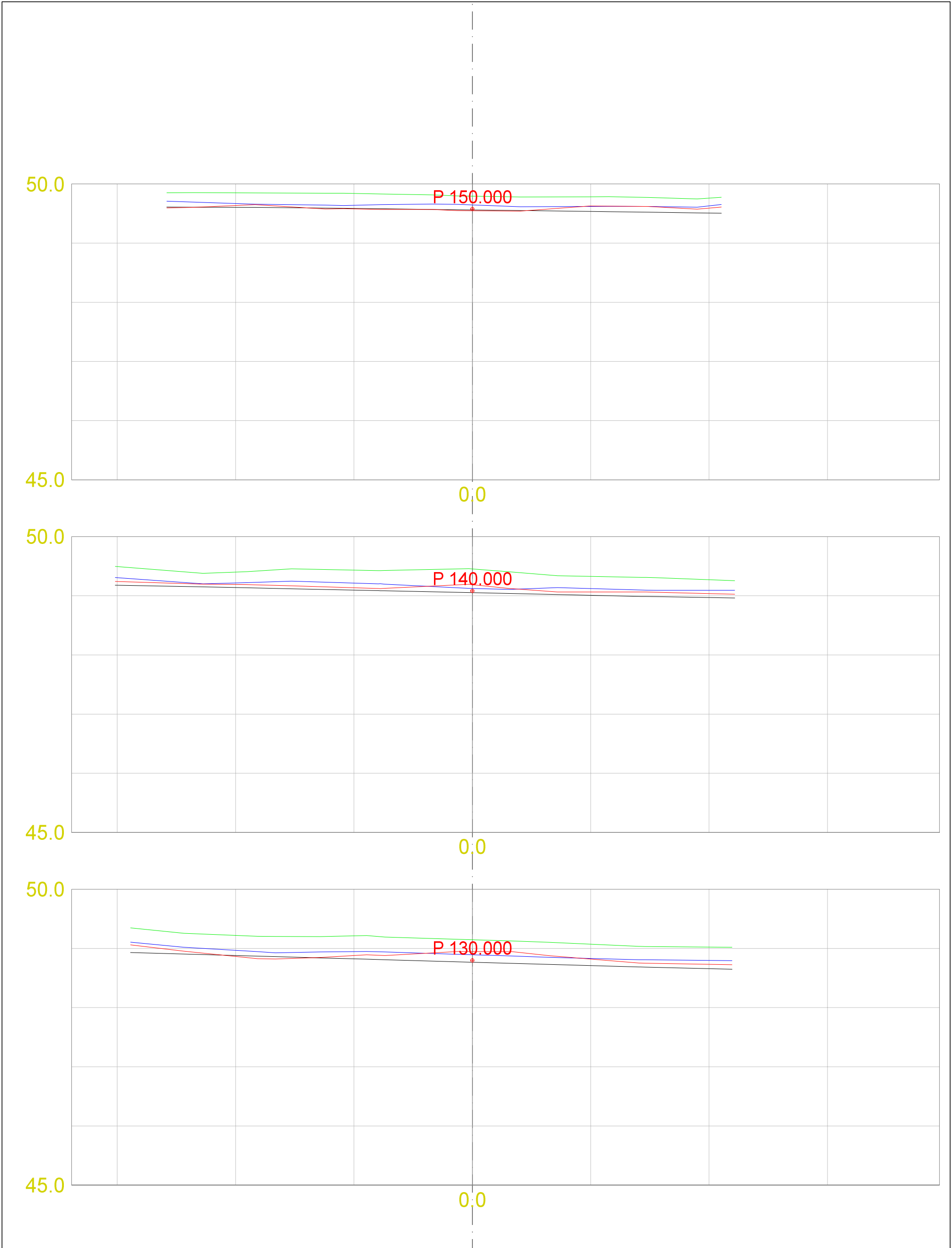
					Tverrprofiltegning				1: Dem1 2: Dem2 3: Dem3 6: veg
DATO:	TEGNET:	MÅLESTOKK:			TEGN.NR.:	VEG:		SIDE:	5
11.05.2013		1:30, 1:60			301				



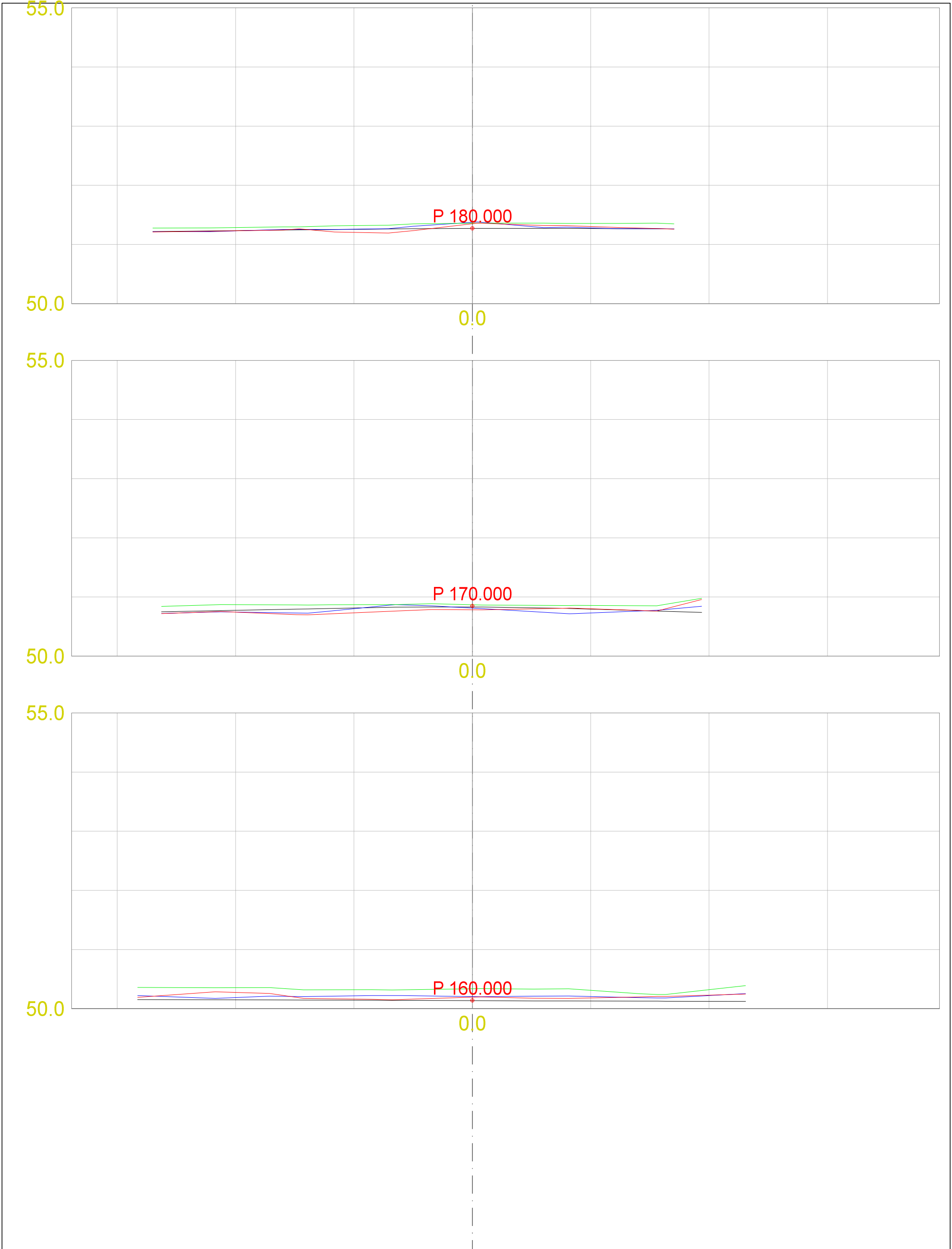
					Tverrprofiltegning 	
DATO:	TEGNET:	MÅLESTOKK:				
11.05.2013		1:30, 1:60			301	VEG: SIDE: 6



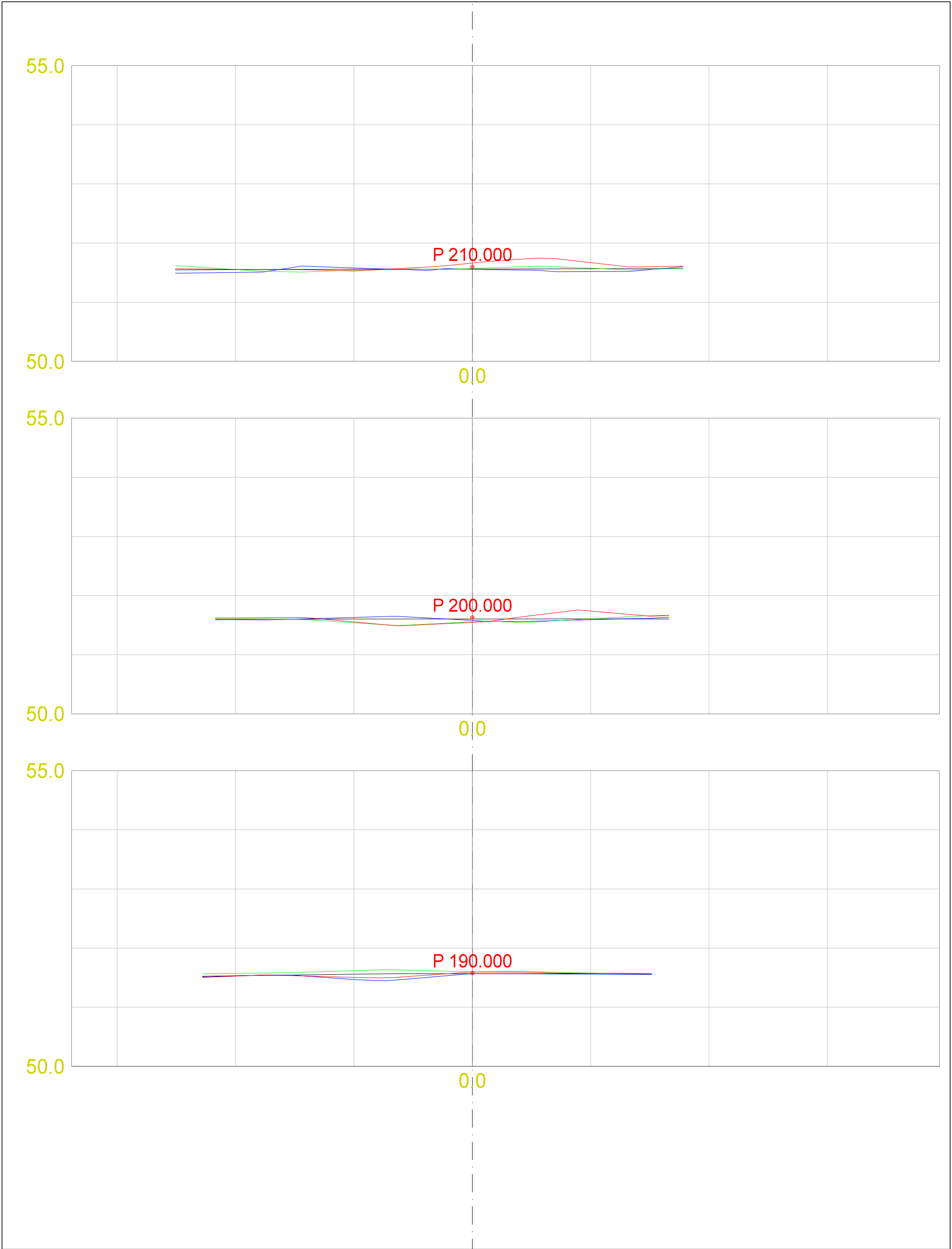
					Tverrprofiltegning			
DATO:	TEGNET:	MÅLESTOKK:			TEGN.NR.:			
11.05.2013		1:30, 1:60			301	VEG:	SIDE:	7



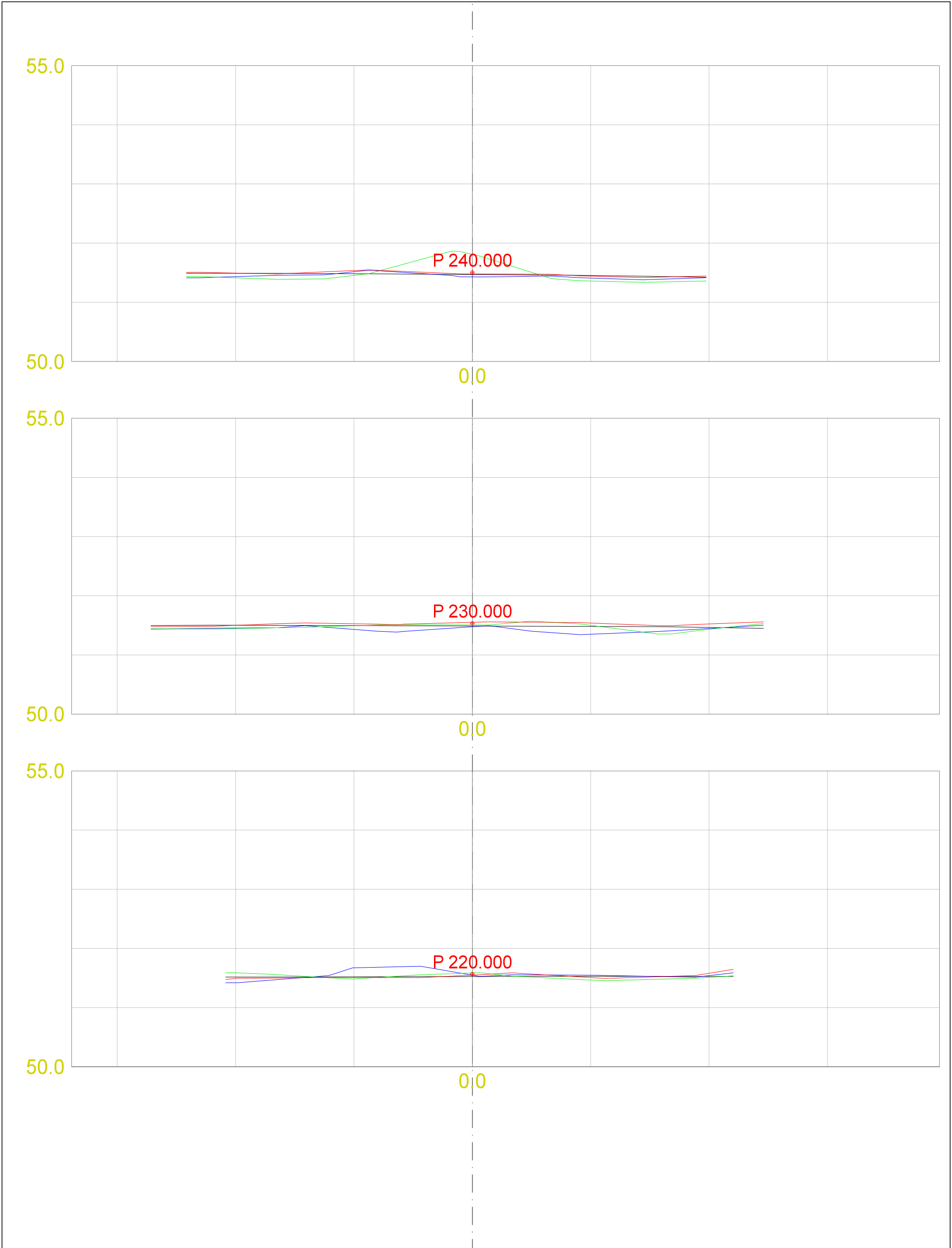
					Tverrprofiltegning  <div>1: Dem1 2: Dem2 3: Dem3 6: veg</div>	
DATO:	TEGNET:	MÅLESTOKK:				
11.05.2013		1:30, 1:60			301	VEG: <div></div> SIDE: 8



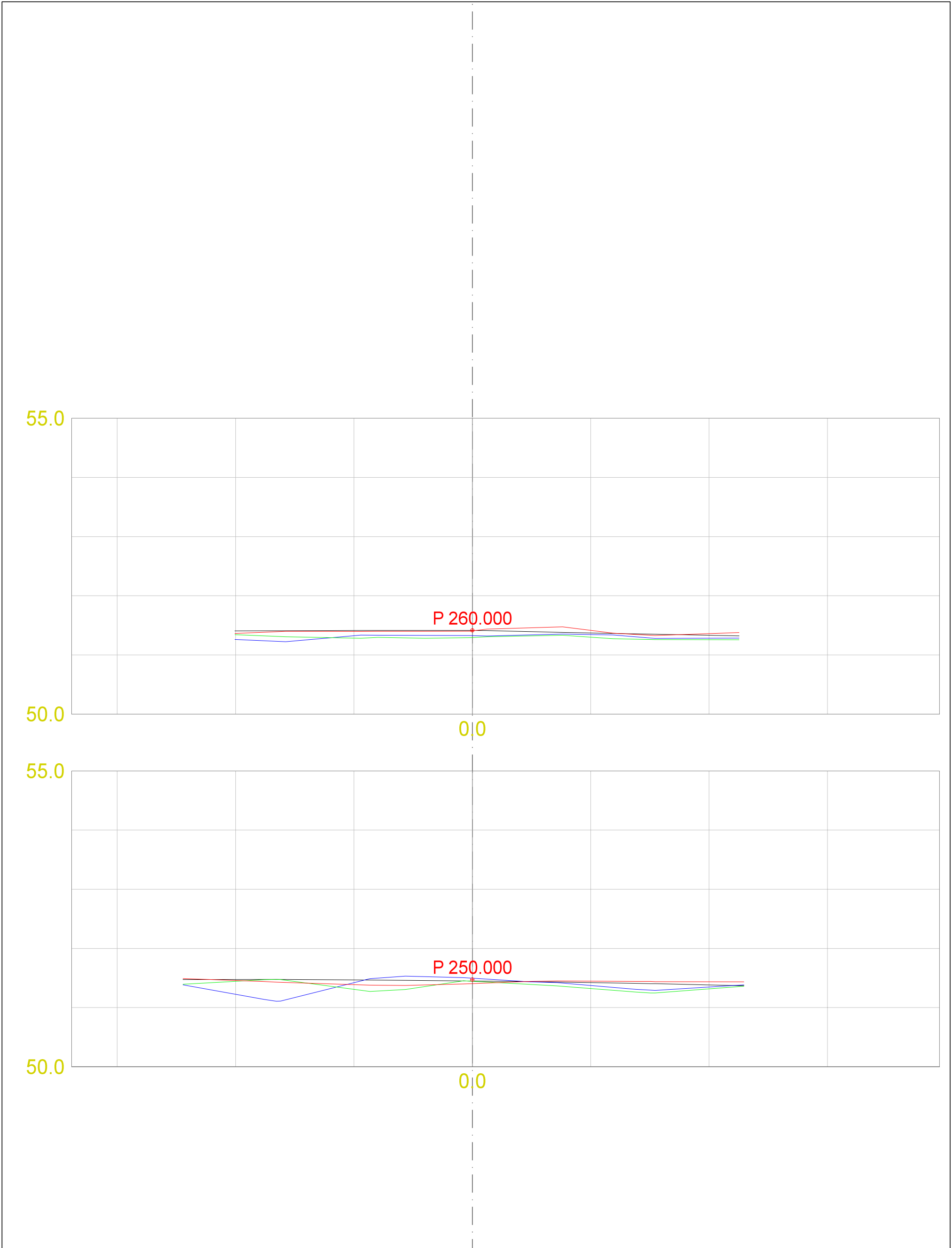
					Tverrprofiltegning		 <div>1: Dem1 2: Dem2 3: Dem3 6: veg</div>	
DATO:	TEGNET:	MÅLESTOKK:			TEGN.NR.:			
11.05.2013		1:30, 1:60			301	VEG:	SIDE:	9



					Tverrprofiltegning				1: Dem1 2: Dem2 3: Dem3 6: veg
DATO:	TEGNET:	MÅLESTOKK:			TEGN.NR.:				
11.05.2013		1:30, 1:60			301	VEG:	SIDE:	10	



					Tverrprofiltegning		 <div>1: Dem1 2: Dem2 3: Dem3 6: veg</div>	
DATO:	TEGNET:	MÅLESTOKK:						
11.05.2013		1:30, 1:60			301	VEG:	SIDE:	11



					Tverrprofiltegning				1: Dem1 2: Dem2 3: Dem3 6: veg
DATO:	TEGNET:	MÅLESTOKK:			TEGN.NR.:				
11.05.2013		1:30, 1:60			301	VEG:	SIDE:	12	

Summary

Project:	v119042013
Camera name:	GRDIGITAL4_6.0_2736x3648
Average Ground Sampling Distance (GSD):	3.24 cm
Area covered:	0.18 sq. km / 17.51ha / 0.07 sq. mi.
Image coordinate system:	WGS84
Ground Control Point (GCP) coordinate system:	ETRS89 / UTMzone 32N
Output coordinate system:	ETRS89 / UTMzone 32N
Processing type:	full
Time for Initial Processing (without report):	06m:24s

Quality Check

Images:	median of 7588 keypoints per image	⚠
Dataset:	155 out of 155 images calibrated (100%)	✓
Camera optimization quality:	1.55 % relative difference between initial and final focal length	✓
Matching quality:	median of 2203 matches per calibrated image	✓
Georeferencing:	5 GCPs, 0.87 [m]	✓

Preview

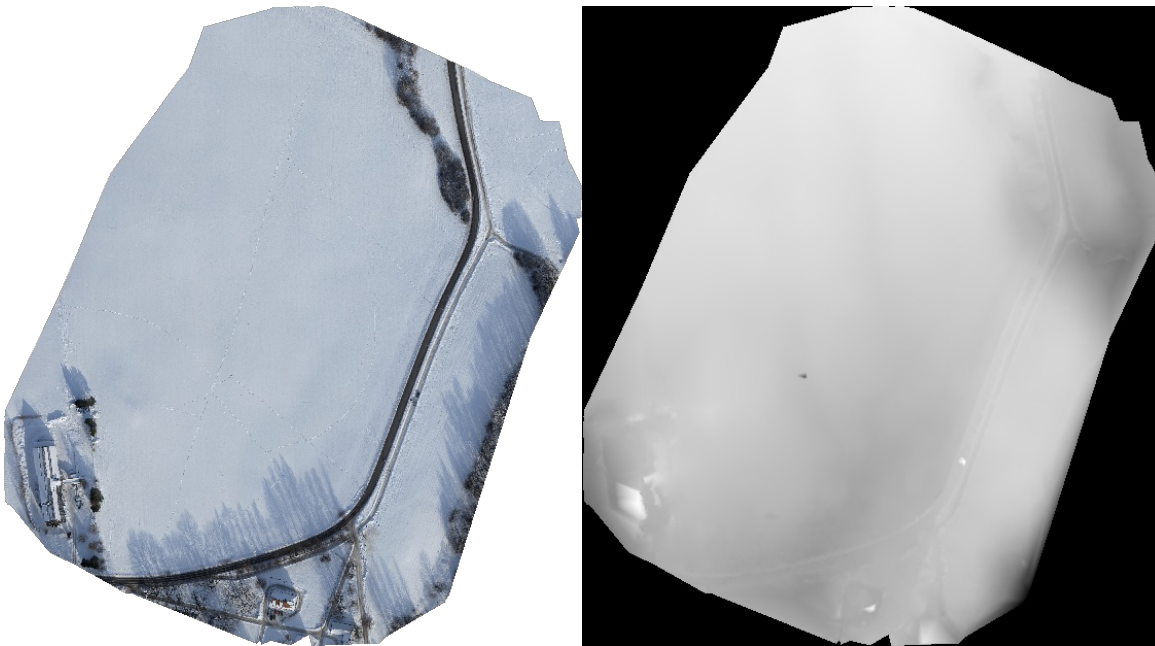
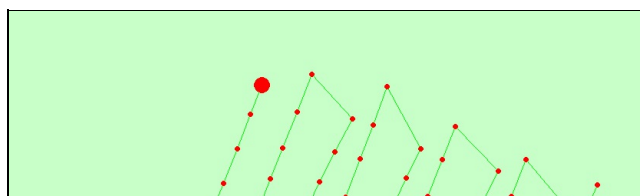


Figure 1: Ortho mosaic and the corresponding sparse digital elevation model (DEM) before densification.

Calibration details

Number of calibrated images:	155 out of 155
Number of geotagged images:	155 out of 155

Geotag position



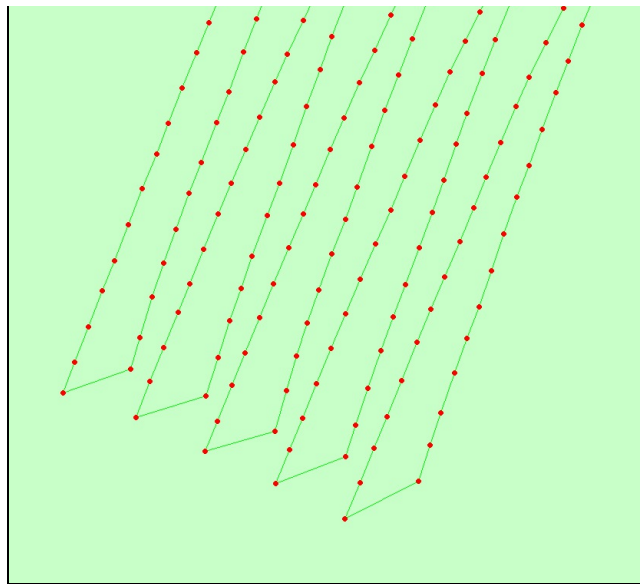


Figure 2: Top view of the geotags. The green line follows the geotag in time starting from the large red dot.

Optimized camera position

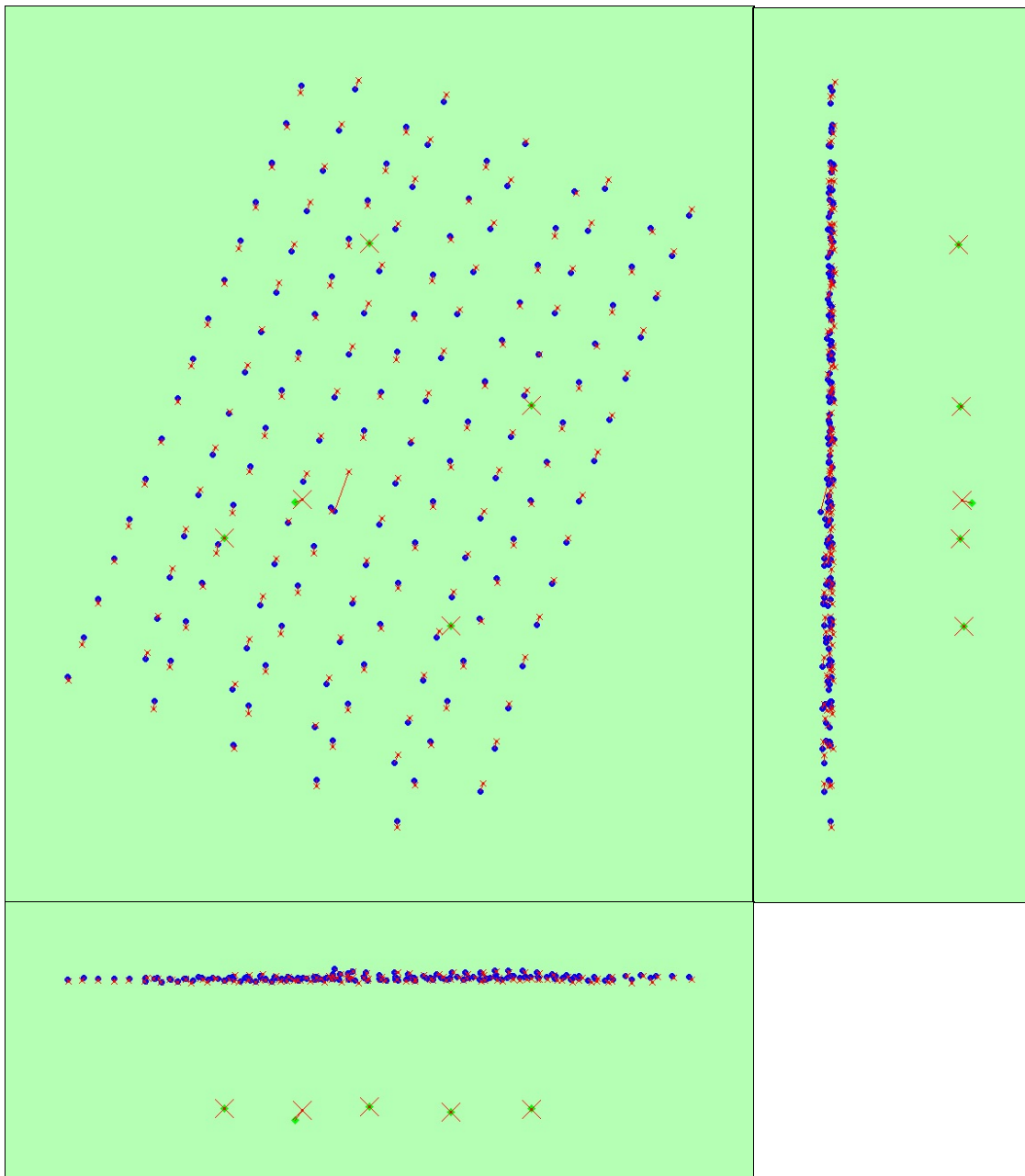


Figure 3: Offset between image geotags (small red crosses) and optimized positions (small blue dots) as well as the offset between the GCPs (large red crosses) and their optimized positions (large green dots) in the top view (XY plane), front view (XZ plane) and side view (YZ plane).

and their optimized positions (large green dots) in the top-view (X1 plane), front-view (X2 plane) and side-view (X3 plane).

Geotag variance

Geotag localisation variance	sigma [m]
Longitude direction (x)	1.00492
Latitude direction (y)	4.14603
Altitude direction (z)	0.778531

Table 1: Relative camera localisation accuracy of the geotags in meters. Please note that this does not correspond to the accuracy on the ground.

Overlap

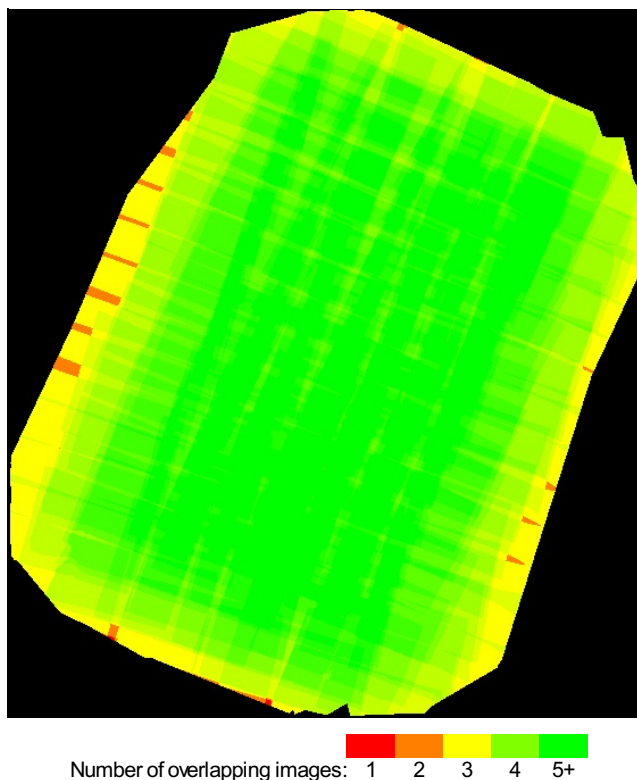


Figure 4: Overlapping score computed for each pixel of the orthomosaic. Red indicates areas where the overlap between the images is too low and could lead to poor results. For good quality results, the overlap should be over 5 images (green) for every pixel of the mosaic.

Bundle Block Adjustment details

number total keypoint observations for bundle block adjustment	346969
number total 3D points for bundle block adjustment	107406
mean reprojection error	0.120858 [pixels]

Internal Camera Parameters GRDIGITAL4_6.0_2736x3648 sensor dimension: 7.44 5.58 [mm]

	Focal length	Principal point X	Principal point Y	RD 1	RD 2	RD 3	TD 1	TD 2
initial values	2945.230 [pix] 6.007 [mm]	1824.000 [pix] 3.720 [mm]	1368.000 [pix] 2.790 [mm]	-0.065	0.062	-0.013	-0.000	0.000
optimized values	2899.485 [pix] 5.913 [mm]	1777.047 [pix] 3.816 [mm]	1273.153 [pix] 2.983 [mm]	-0.060	0.064	-0.019	-0.000	-0.001

2D Keypoints Table

	Number of 2D keypoints per image	Number of matched 2D keypoints per image
Median	7588.000	2203.000
Min	193.000	35.000
Max	29643.000	6110.000

mean	9481.361	2238.510
------	----------	----------

3D points from 2D keypoints matches

	Number of 3D points observed
In 2 images	55602
In 3 images	22764
In 4 images	10000
In 5 images	6334
In 6 images	4312
In 7 images	3009
In 8 images	2354
In 9 images	1465
In 10 images	778
In 11 images	432
In 12 images	309
In 13 images	47

2D Keypoints Graph

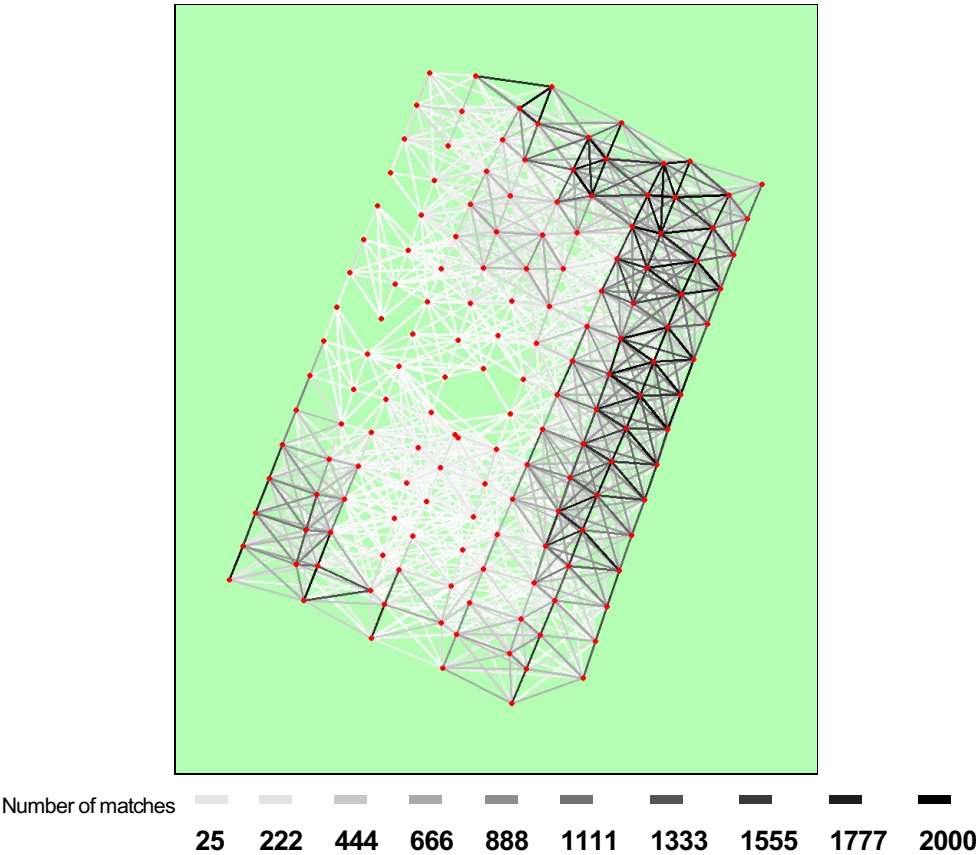
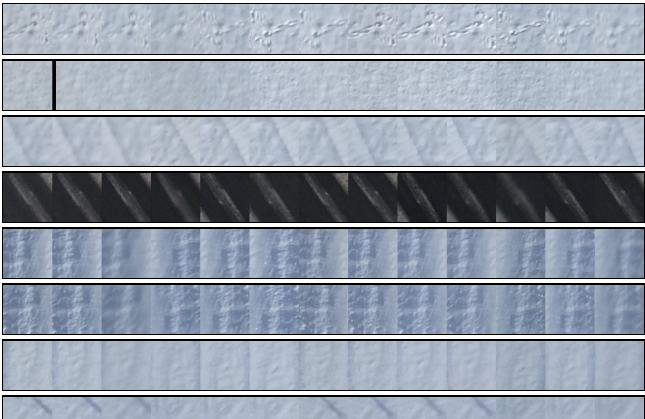


Figure 5: Top view of the geotags with a link between matching images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate low confidence and would require more overlap between the images or better quality images.

Most visible 2D keypoints



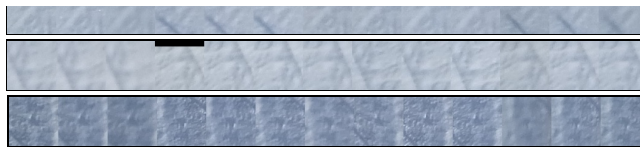


Figure 6: Cropped area of 10 3D points arising from 13 2D keypoints. Each cropped area should represent the same object on the ground.

Geo-location and Ground Control Points

GCP name	error X [m]	error Y [m]	error Z [m]	Measured/Verified
GCP: fp1	0.005	0.005	0.003	11 / 11
GCP: fp3	4.820	1.396	6.789	13 / 13
GCP: fp5	0.002	0.006	0.004	11 / 11
GCP: fp7	0.005	0.011	0.001	12 / 12
GCP: fp9	0.008	0.001	0.001	11 / 11
Mean	0.968	0.284	1.359	
Sigma	1.926	0.556	2.715	

Localisation accuracy of the individual GCP in meters, their mean error distance and the mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of images where the GCP has been measured (clicked on the images) and on how many of them have been automatically verified. 0 out of 5 GCPs have been labeled as inaccurate (see Figure below).

Ground control points

<p>GCP name: fp1 (583160.147,6642657.464,49.187)</p>	<p>R0012032.JPG R0012033.JPG R0012034.JPG R0012041.JPG R0012042.JPG R0012043.JPG R0012063.JPG R0012064.JPG R0012065.JPG R0012072.JPG R0012073.JPG</p>	<p>GCP name: fp3 (583057.649,6642744.459,50.209)</p>	<p>R0011969.JPG R0011970.JPG R0011971.JPG R0011980.JPG R0011981.JPG R0011982.JPG R0012000.JPG R0012001.JPG R0012002.JPG R0012003.JPG R0012011.JPG R0012012.JPG R0012013.JPG</p>
<p>GCP fp1 was not measured in the following images. If the circle is too far away from the real GCP position, this indicates that the GCP should be also measured (clicked) in this image to improve the accuracy.</p>	<p>R0012074.JPG</p>	<p>GCP fp3 was not measured in the following images. If the circle is too far away from the real GCP position, this indicates that the GCP should be also measured (clicked) in this image to improve the accuracy.</p>	<p>R0011949.JPG R0012014.JPG</p>
<p>GCP name: fp5 (583004.404,6642717.935,51.270)</p>		<p>GCP name: fp7 (583215.827,6642809.526,51.121)</p>	

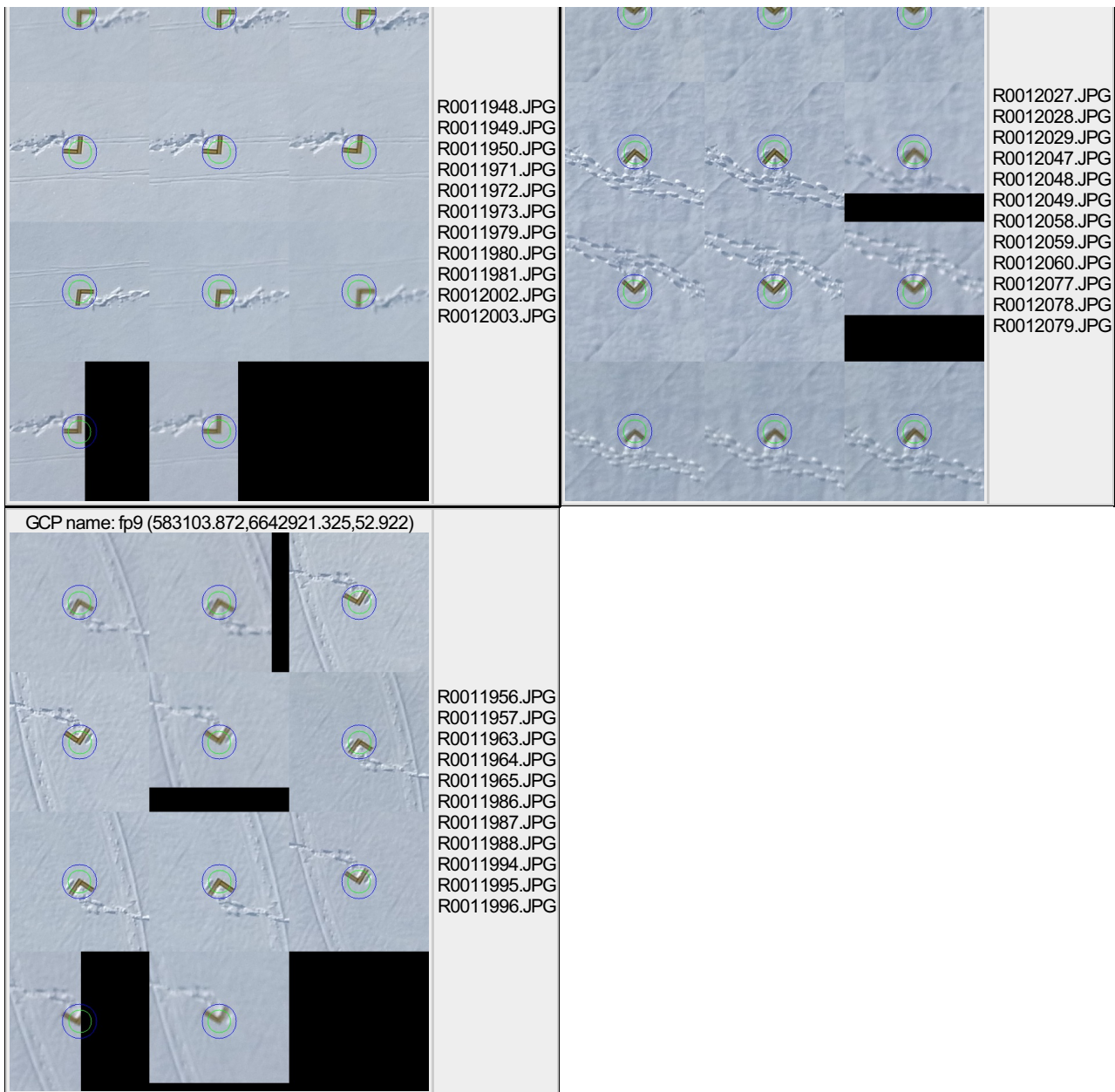
















Figure 7: Images in which GCPs have been measured (blue circle) and in which the 3D point have been projected (green circle). A green circle outside of the blue one indicates either an accuracy issue or a GCP issue.

Quality Check

Image		More than 10'000 keypoints/image	Images have enough visual content to be processed.
		More than 2'000 keypoints/image	<p>Not much visual content could be extracted from the images. This may lead to low number of matches in the images (see Matching) and incomplete reconstruction or low quality results. This can come from different factors:</p> <ul style="list-style-type: none"> image content: large uniform areas such as deserts, snow, fog, ... What to do: In such cases a high overlap is required. Flying at a different altitude may also have a positive influence on the visual content of the images. image quality: image are over/under exposed, blurry or noisy. What to do: Camera parameters might need to be adjusted (shutter speed, exposure time). image size: the likelihood of extracting many features increases with number of Megapixel. What to do: Images under one megapixel have very little number of features and require large amount of overlap (above 80%).
		Less than 2'000 keypoints/image	What to do: Same as above, but even more overlap (above 90%) might be required. If using TIF images as input, such a low number of extracted features may also indicate an issue in reading the image file format. You can try to convert the images to JPG to see if the error persists.
Dataset		More than 95% images calibrated in a single block	All or almost all of the images have been calibrated in a single block. See the Matching Quality for the confidence in the accuracy of the calibrated images.
		Less than 95% images calibrated or multiple blocks	<p>Many images did not get calibrated (A) or multiple individual blocks have been generated (B).</p> <p>A) Uncalibrated images are not used to generate the orthomosaic and the DEM. This can come from different factors:</p> <ul style="list-style-type: none"> Dataset with low overlap or images not taken in a systematic way. Overlap can be assessed in Figure 4 and Figure 5 of the Quality Report. What to do: The flight plan should be done in a grid pattern consisting of multiple lines. The frontal overlap should be at least 60% and the side overlap (across the lines) should be at least 40%. Repetitive or complex dataset (trees, forest, fields). What to do: the overlap might need to be increased to higher values (>80%). Flying at a higher altitude often reduces visual complexity and improves the results, especially in forest and tree environments. Dataset made from multiple flights with images not similar enough (different time of capture, moving objects, different temperature, different lense). What to do: It might be needed to process each flight individually and combine them together on a second step. Dataset containing multiple images shot from the same position, or images taken during the take-off or the landing phase. What to do: These images should be manually removed. Image quality not sufficient: see above. <p>B) Multiple blocks: A block is a set of images that were not calibrated together. If there are multiple individual blocks, it means that there were not enough matches between the different blocks to provide a global optimization (see 2D Keypoints Graph). The different blocks might not be perfectly georeferenced with respect to each other, and it may lead to large seams visible in the DEM or orthomosaic. What to do: Enabling option "re-match" may improve merging of the blocks. Manually removing weak images in that area may improve calibration. Capturing new images with locally or generally more overlap may be required.</p>
		Less than 60% images calibrated	<p>What to do: Same as above. Such a low score may also indicate a severe problem in</p> <ul style="list-style-type: none"> The type of terrain. Water surface, oceans, mirrors and glass surfaces, moving lava, moving landscapes, do not contain visual clues needed to perform calibration and generate DEM and orthomosaic. These terrains/materials need to be combined with normal land/materials to obtain results. Flying at a higher altitude (or combining flights at different altitudes) is one way to map areas close to water. Image acquisition process (wrong geo-tagging, inappropriate flight plan, overlapping not sufficient, corrupted images, ...)

		<ul style="list-style-type: none"> • Project setup (wrong coordinate system definition, wrong images...).
Camera calibration		Optimized focal less than 5% of initial The focal length is a property of the camera, its sensor and optic. It varies with temperature, shocks, altitude and time. The calibration process starts from an initial camera model and optimizes it with respect of the images. It is normal that the focal length is slightly different for each project. An initial camera model should be within 20% of the optimized value to ensure a fast and robust optimization.
		Optimized focal more than 5% of initial What to do: If the dataset completeness is above 50%, the initial parameters need to be optimized again, using the optimized parameters as initial parameters in order to improve the quality and speed-up the processing. If the completeness is low, this may indicate either a problem in the project (overlap too low, image quality too low, wrong geotags), or that the initial camera model was not entered properly. In that case, please check when creating your project that the camera model corresponds to your physical camera, and edit if needed the focal length parameter.
Matching		More than 1'000 matches per calibrated image This indicates that the results are likely to be of high quality in the calibrated areas. The Figure 5 of the Quality Report is useful to assess spatially the strength and quality of the matches.
		Less than 1'000 matches per calibrated image If the number of matches is low in the calibrated images, it may indicate that the results are not very reliable: a few changes in the initial camera model parameters or in the set of images may lead to large changes in the results. Figure 5 of the Quality Report shows the areas with very weak matches. Low number of matches is very often related to low overlap between the images. What to do: see the Dataset discussion to improve the results. As the reconstruction is not stable, removing or adding any image may have a large (positive or negative) impact on the results. You may need to restart the calibration a few times with different settings (camera model, image set) to calibrate all the images. To avoid this situation it is recommended to acquire images with more systematic overlap.
		Less than 100 matches per calibrated image What to do: Same as above. The minimum of matches to calibrate an image is 25.
Georeferencing		GCP used and error less than GSD Geo-reference using at least 3 Ground Control Points. For best results, they should be well distributed on the dataset. Optimal accuracy is usually obtained with 5 GCPs identified each in 5 images. More GCPs or click are usually not necessary.
		No GCP No GCP were entered. That means that the geo-location of the project is done by averaging the position of the optimized geo-tags. GPS devices used for geo-tagging the original images may suffer from a global shift, leading to a global shift in the project of several meters.
		GCP used and error more than 2 GSD Error in the GCP is superior to 2 times the Ground Sampling Distance. This may indicate a severe issue in the dataset, or more likely an error when clicking or specifying the GCPs. Please refer to "geo-location" chapter to visually inspect the GCPs.

Preview orthomosaic and DEM

These are the low resolution preview of the orthomosaic and the elevation model before the point densification. These figures allow a qualitative visual inspection on the quality of the initial calibration. If the orthomosaic is skewed, there might be an error with the project orientation and GCP might be required. If the elevation model contains large seams or artifacts, it might be due of individual clustering of the reconstruction. If there are holes in the orthomosaic and DEM, please check the Reconstruction Quality and the 2D Keypoint Graph.

Geo-tag position

This graph is useful to review the correct geo-tagging of the images. If this graph does not correspond to your flight plan, there might be problems with the matching and the orientation, scale and geo-location of the results.

Optimized camera position

This graph shows the difference between the geo-tags and the optimized camera position. There might be a small offset because of geo-tagging synchronization issue or GPS noise. If the offset is very large for many images, it may affect the quality of the reconstruction and may indicate severe issues in the geo-tagging (missing images, wrong coordinate system, coordinate inversions).

If the side and front view show a bended/curved shape, it may indicate a problem in the camera parameters optimization. This can be improved by

- increasing overlap/image quality
- removing ambiguous images (shot from same position, take-off or landing, too much angle, too low image quality)
- introducing Ground Control Points.

Geo-tag Variance

This indicates the quality of the geo-tagging of the original images. High values may indicate

- high noise in the GPS device or
- poor synchronization with the camera or
- errors in the geotagging process

This does not relate the geo-location of the project, as there might be a large global shift in the geo-location even with very low values

This does not relate the geo-location of the project, as there might be a large global shift in the geo-location even with very low values, which can be detected and corrected only using Ground Control Points.

Overlap

This figure shows the number of overlapping images for each pixel of the orthomosaic. Note that it takes in account only the calibrated images. Red areas indicate too little overlap, and may lead to low quality 3D reconstruction at these areas. The overlap is an important parameter for the overall quality. For precise 3D modeling the overlap should be in green (more than 5 images overlap).

Internal Camera Parameters

See the Camera Optimization Quality in the Quality Check table. In addition, note that the principal point should be around half the resolution of the camera, and that the RD1-3 values should be each smaller than 1. If it is not the case, it may lead to global distortions, see Optimized Camera Position. See the manual of the software on how to update the initial camera parameters.

2D Keypoints Table - 2D Keypoints Graph

See Matching Quality. This table gives an overview on the average number of keypoints and matches. Keypoints are points of interest of the images that can be easily recognized by the computer. The number of keypoints depends on

- the size of the images
- the visual content

For a normal 14MP images, there may be between 5'000 and 50'000 keypoints per image. If the number of keypoint is less than 1'000, the image may not have enough content to be calibrated, see Image Quality. The number of verified matches will be very low if

- number if keypoint is low
- visual content is too repetitive
- the overlap between the images is too low
- there has been too many changes in the scene during the image acquisition (moving shadows, cars, ...).

The minimum of verified matches to calibrate an image is about 25, and the recommended one is at least 1'000 per image. On the 2D Keypoints Graph, it is possible to visualize the areas with weak matching scores. It might be necessary to redo the image acquisition at these areas in order to increase the overlap between the images.

3D points from 2D keypoints matches

Multiple 2D matching keypoints are triangulated together using the camera parameters to produce a 3D point. 3D points arising from 2-3 images are less precise than 3D points arising from higher number of images.

Ground Control Points

GCP are the only way to assess and correct the geo-location of a project. See the Geo-location quality in the Quality Check table. 3 GCPs are the minimum to geo-locate (scale, orientation, position) a project. This way, 5 are recommended as it helps to detect possible errors in introducing/clicking the GCPs. They should be well distributed on the dataset. Optimal accuracy is usually obtained with 5 GCPs identified each in 5 images. More GCPs or Clicks are usually not necessary. The following figure allows to visually inspect the quality of the GCP and to detect errors. The blue circle indicates the location of the clicked GCPs in the images. The green circle indicates the reprojection of the 3D point on the images. If the green circle is inside the blue one, the GCP is counted as visible in the GCP table. If not, it may indicate an error while clicking the GCPs.

If a GCP does not display any blue circles, it may indicate that the images did not calibrate at that area or that there was an error in the coordinates or clicks of the GCP. Please double check the GCP file, and that the GCPs should be visible on the satellite map. If multiple GCP are wrong, it may indicate a problem in the coordinate system of the GCPs.

Summary

Project:	v2_21042013_v1
Camera name:	GRDIGITAL4_6.0_2736x3648
Average Ground Sampling Distance (GSD):	3.26 cm
Area covered:	0.13 sq. km / 12.63ha / 0.05 sq. mi.
Image coordinate system:	WGS84
Ground Control Point (GCP) coordinate system:	ETRS89 / UTMzone 32N
Output coordinate system:	ETRS89 / UTMzone 32N
Processing type:	full
Time for Initial Processing (without report):	08m:32s

Quality Check

Images:	median of 1478 keypoints per image	⚠
Dataset:	110 out of 154 images calibrated (71%)	⚠
Camera optimization quality:	3.36 % relative difference between initial and final focal length	✓
Matching quality:	median of 699 matches per calibrated image	⚠
Georeferencing:	4 GCPs, 0 [m]	✓

Preview

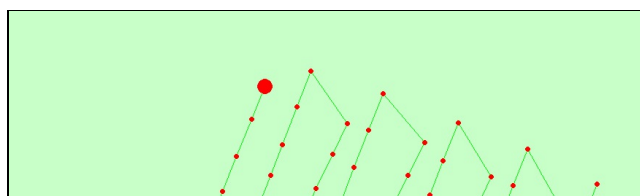


Figure 1: Ortho mosaic and the corresponding sparse digital elevation model (DEM) before densification.

Calibration details

Number of calibrated images:	110 out of 154
Number of geotagged images:	154 out of 154

Geotag position



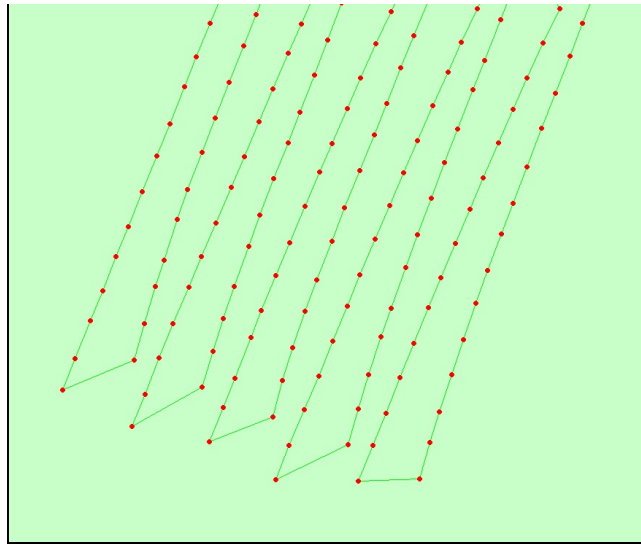


Figure 2: Top view of the geotags. The green line follows the geotag in time starting from the large red dot.

Optimized camera position

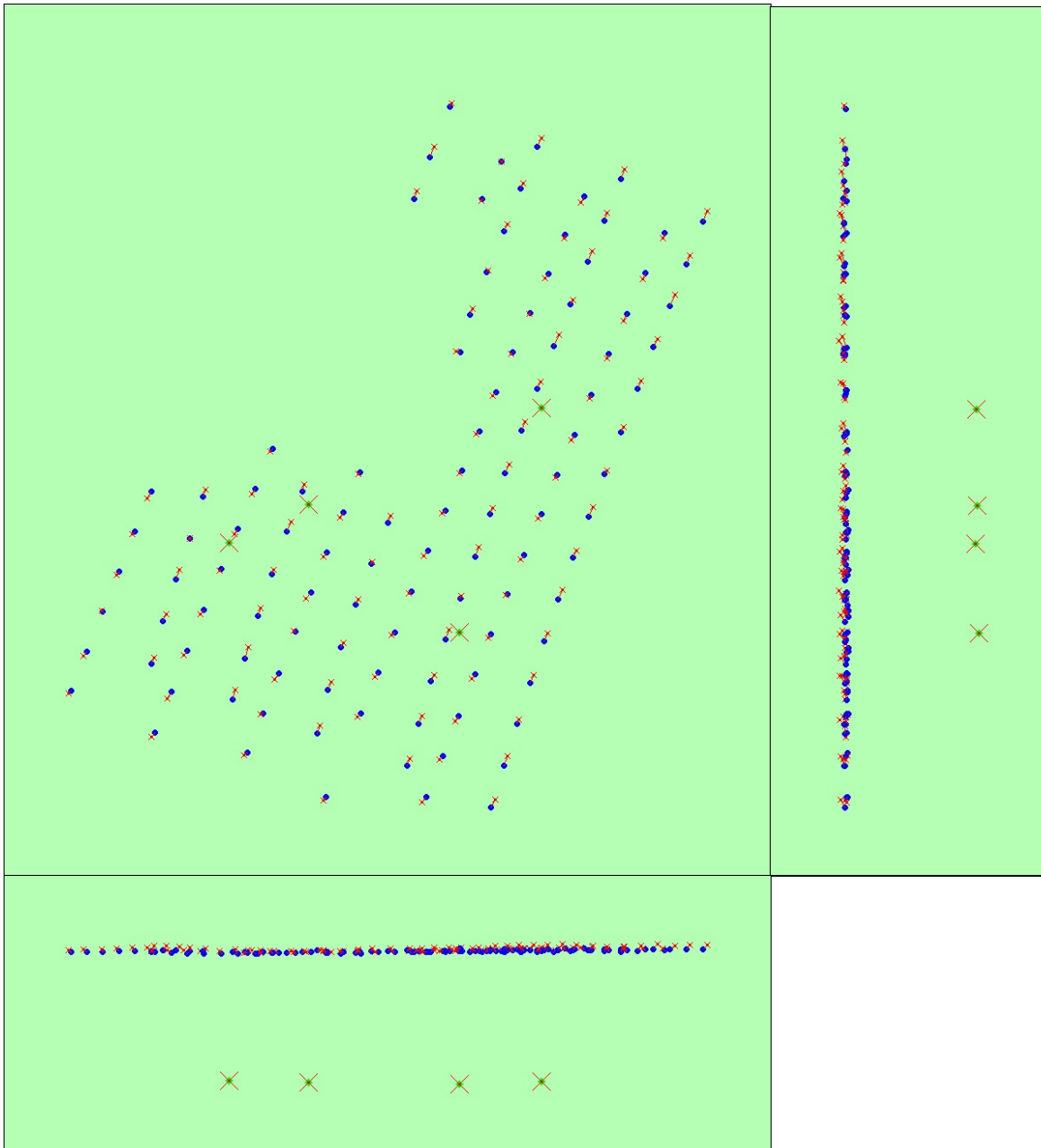


Figure 3: Offset between image geotags (small red crosses) and optimized positions (small blue dots) as well as the offset between the GCPs (large red crosses) and their optimized positions (large green dots) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane) and side-view (YZ plane).

Geotag variance

Geotag localisation variance	sigma [m]
Longitude direction (x)	2.16331
Latitude direction (y)	3.91137
Altitude direction (z)	1.01003

Table 1: Relative camera localisation accuracy of the geotags in meters. Please note that this does not correspond to the accuracy on the ground.

Overlap

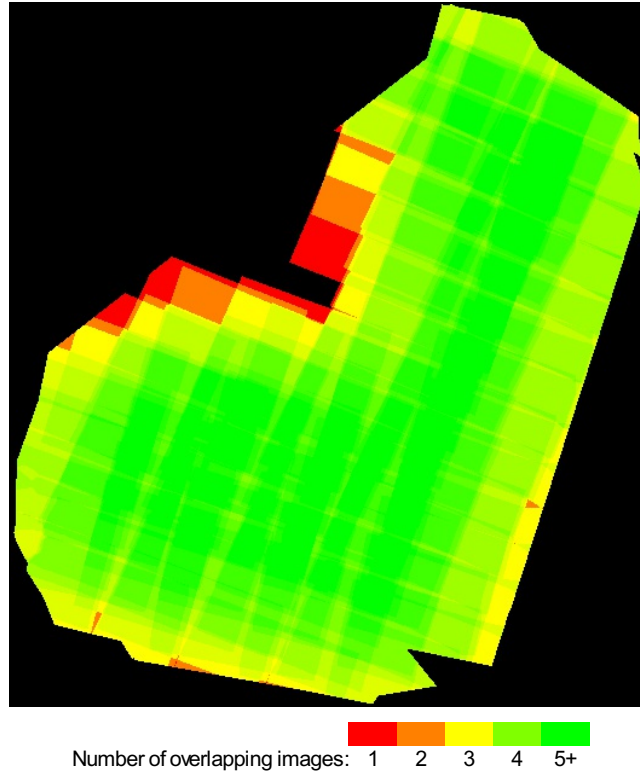


Figure 4: Overlapping score computed for each pixel of the orthomosaic. Red indicates areas where the overlap between the images is too low and could lead to poor results. For good quality results, the overlap should be over 5 images (green) for every pixel of the mosaic.

Bundle Block Adjustment details

number total keypoint observations for bundle block adjustment	79212
number total 3D points for bundle block adjustment	22076
mean reprojection error	0.153224 [pixels]

Internal Camera Parameters GRDIGITAL4_6.0_2736x3648 sensor dimension: 7.44 5.58 [mm]

	Focal length	Principal point X	Principal point Y	RD 1	RD 2	RD 3	TD 1	TD 2
initial values	2945.230 [pix] 6.007 [mm]	1824.000 [pix] 3.720 [mm]	1368.000 [pix] 2.790 [mm]	-0.065	0.062	-0.013	-0.000	0.000
optimized values	2846.070 [pix] 5.804 [mm]	1784.575 [pix] 3.800 [mm]	1278.148 [pix] 2.973 [mm]	-0.058	0.057	-0.015	-0.000	-0.001

2D Keypoints Table

	Number of 2D keypoints per image	Number of matched 2D keypoints per image
Median	1478.000	699.000
Mn	1.000	25.000
Max	21508.000	1924.000
Mean	5000.836	720.109

3D points from 2D keypoints matches

	Number of 3D points observed
In 2 images	10346
In 3 images	4207
In 4 images	2304
In 5 images	1548
In 6 images	1081
In 7 images	769
In 8 images	608
In 9 images	463
In 10 images	362
In 11 images	239
In 12 images	143
In 13 images	6

2D Keypoints Graph

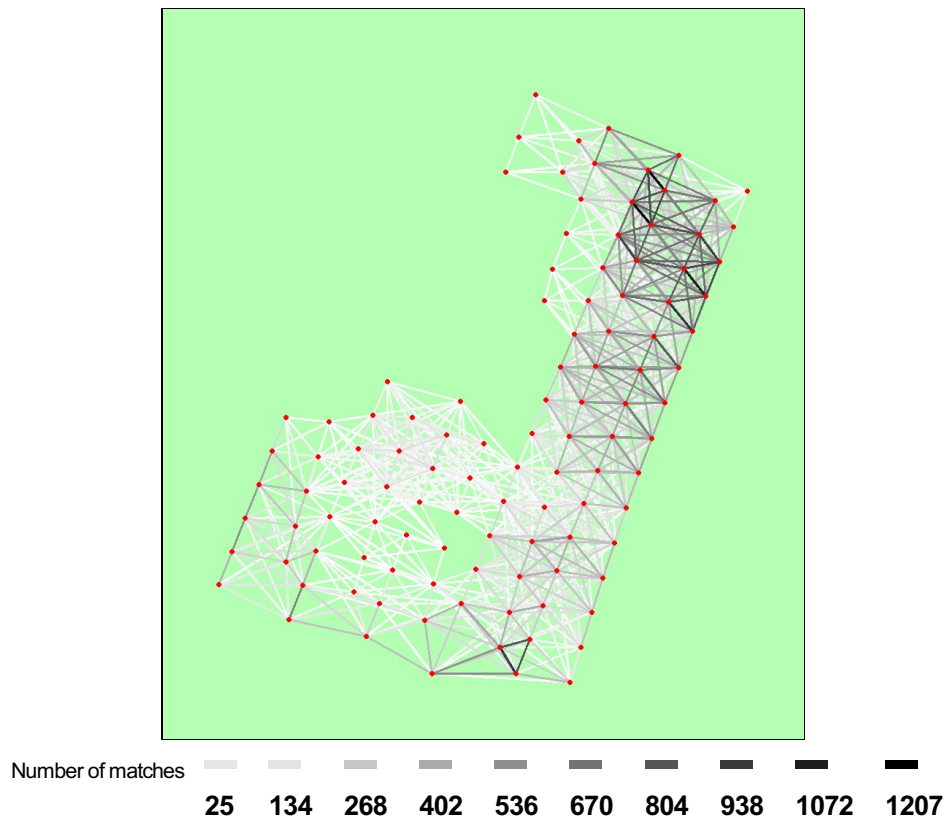


Figure 5: Top view of the geotags with a link between matching images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate low confidence and would require more overlap between the images or better quality images.

Most visible 2D keypoints



Figure 6: Cropped area of 6 3D points arising from 13 2D keypoints. Each cropped area should represent the same object on the ground.

See location and Ground Control Points

Geo-location and Ground Control Points

GCP name	error X [m]	error Y [m]	error Z [m]	Measured/Verified
GCP: fp1	0.001	0.001	0.000	12 / 12
GCP: fp3	0.001	0.003	0.001	12 / 12
GCP: fp5	0.001	0.003	0.000	9 / 9
GCP: fp7	0.000	0.000	0.000	9 / 9
Mean	0.001	0.002	0.000	
Sigma	0.000	0.001	0.000	

Localisation accuracy of the individual GCP in meters, their mean error distance and the mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of images where the GCP has been measured (clicked on the images) and on how many of them have been automatically verified. 0 out of 4 GCPs have been labeled as inaccurate (see Figure below).

Ground control points

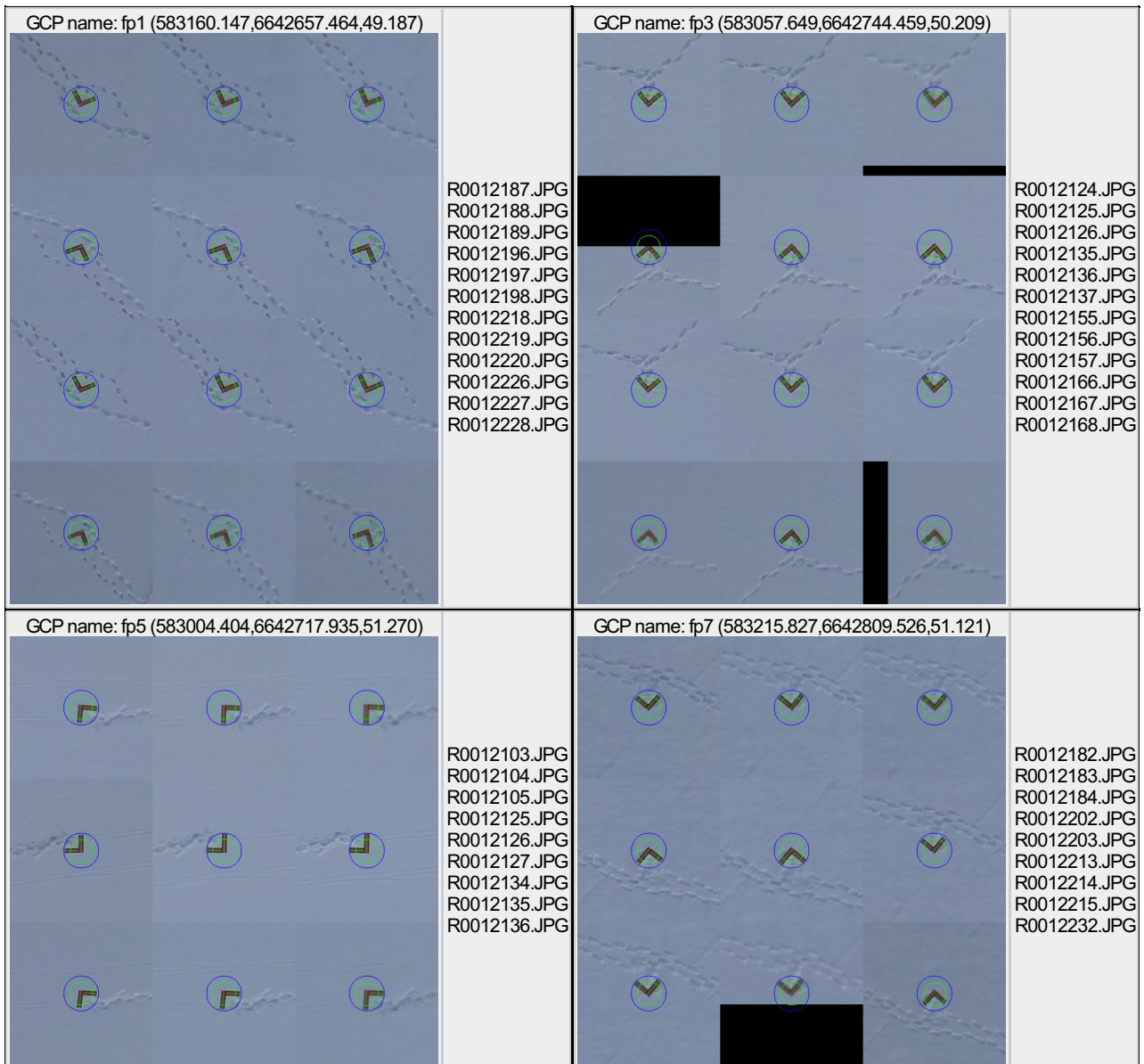


Figure 7: Images in which GCPs have been measured (blue circle) and in which the 3D point have been projected (green circle). A green circle outside of the blue one indicates either an accuracy issue or a GCP issue.

Summary

Project:	v3_21042013_v1
Camera name:	GRDIGITAL4_6.0_2736x3648
Average Ground Sampling Distance (GSD):	3.23 cm
Area covered:	0.16 sq. km / 16.43ha / 0.06 sq. mi.
Image coordinate system:	WGS84
Ground Control Point (GCP) coordinate system:	ETRS89 / UTMzone 32N
Output coordinate system:	ETRS89 / UTMzone 32N
Processing type:	full
Time for Initial Processing (without report):	01m:58s

Quality Check

Images:	median of 2871 keypoints per image	!
Dataset:	143 out of 155 images calibrated (92%)	!
Camera optimization quality:	1.42 % relative difference between initial and final focal length	✓
Matching quality:	median of 887 matches per calibrated image	!
Georeferencing:	5 GCPs, 0.001 [m]	✓

Preview

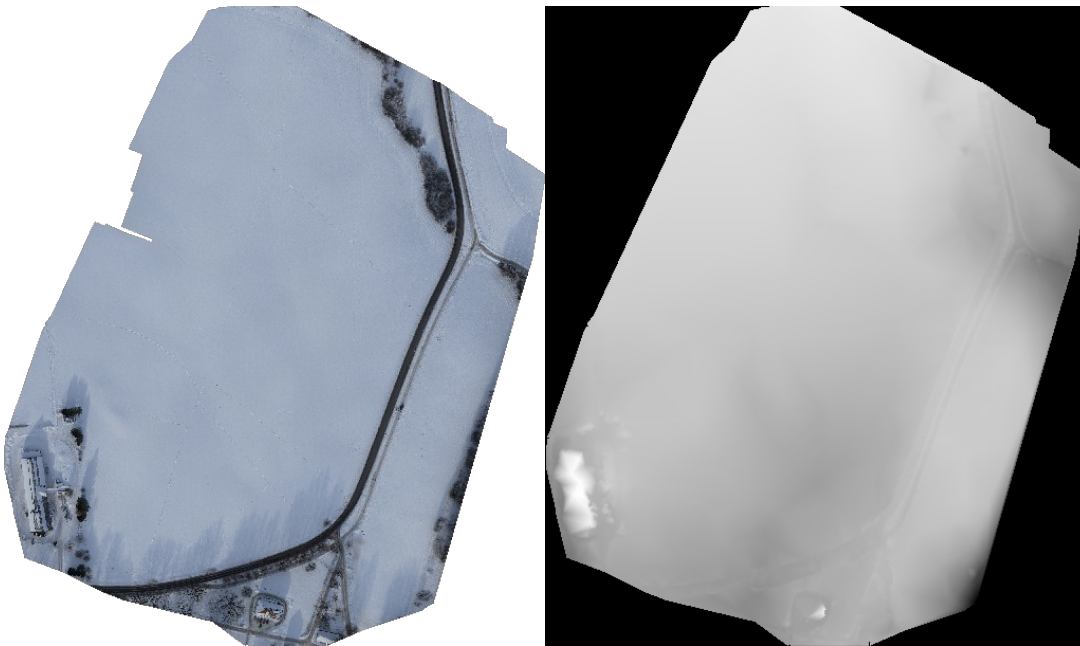
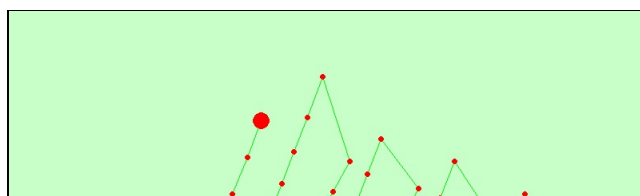


Figure 1: Ortho mosaic and the corresponding sparse digital elevation model (DEM) before densification.

Calibration details

Number of calibrated images:	143 out of 155
Number of geotagged images:	155 out of 155

Geotag position



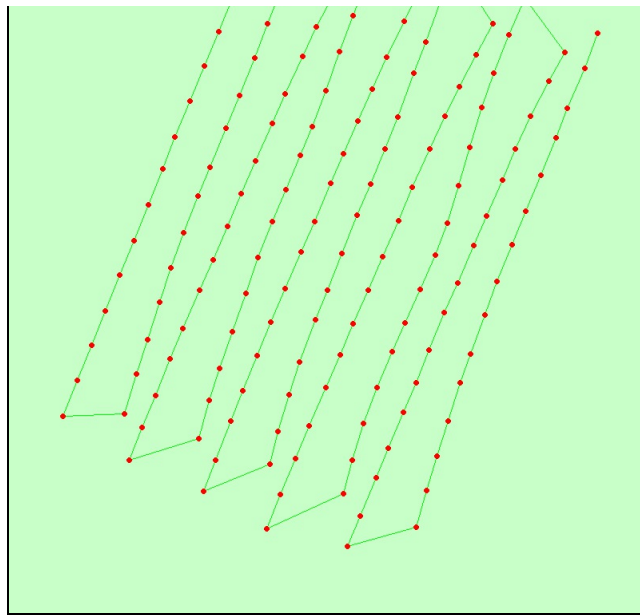


Figure 2: Top view of the geotags. The green line follows the geotag in time starting from the large red dot.

Optimized camera position

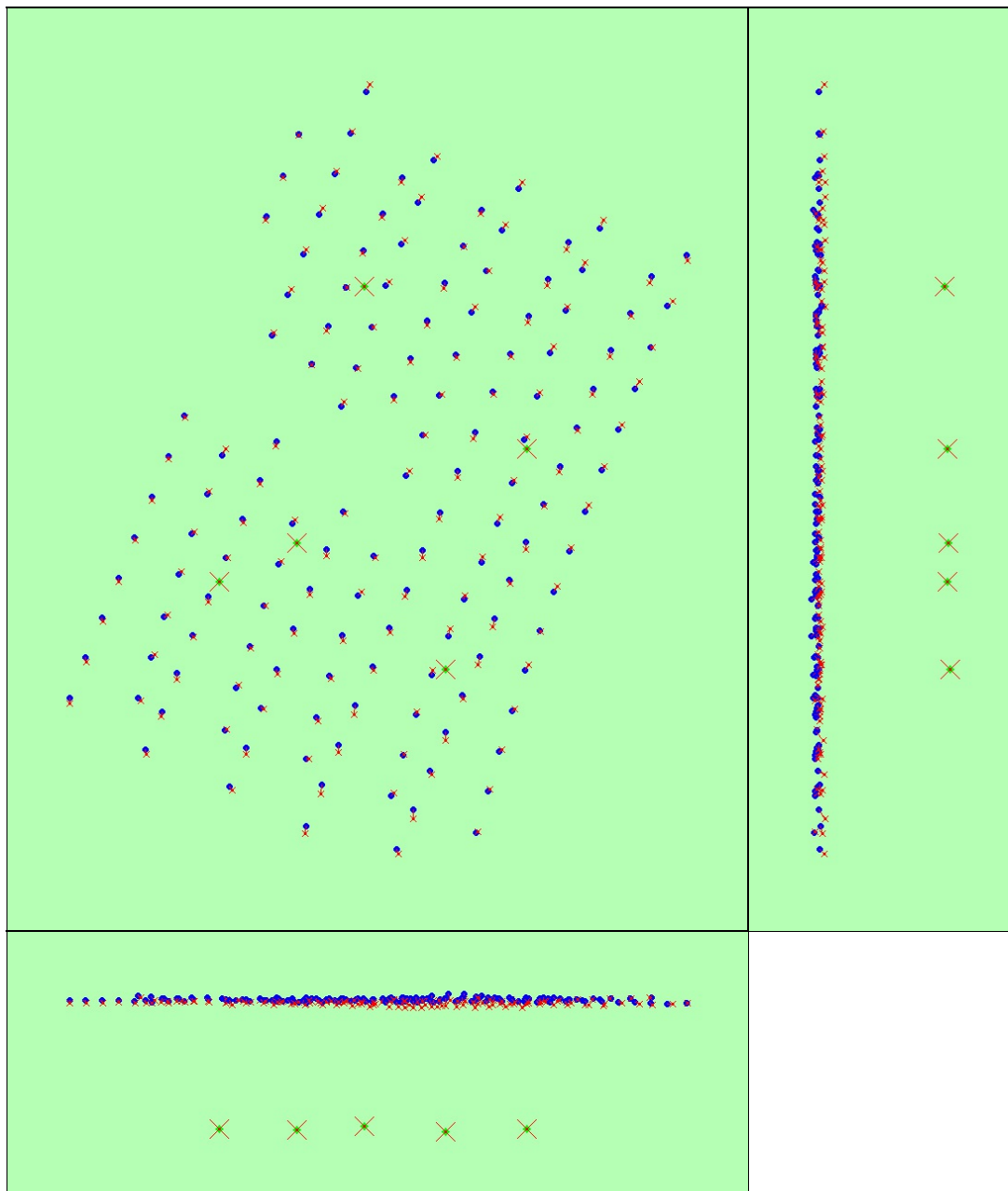


Figure 3: Offset between image geotags (small red crosses) and optimized positions (small blue dots) as well as the offset between the GCPs (large red crosses) and their optimized positions (large green dots) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane) and side-view (YZ plane).

Geotag variance

Geotag localisation variance	sigma [m]
Longitude direction (x)	1.15247
Latitude direction (y)	3.13207
Altitude direction (z)	1.30191

Table 1: Relative camera localisation accuracy of the geotags in meters. Please note that this does not correspond to the accuracy on the ground.

Overlap

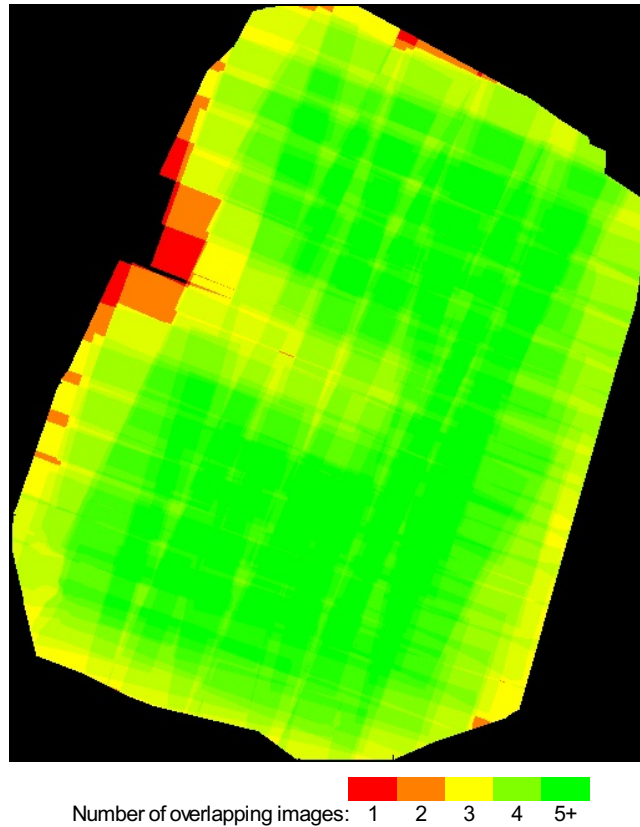


Figure 4: Overlapping score computed for each pixel of the orthomosaic. Red indicates areas where the overlap between the images is too low and could lead to poor results. For good quality results, the overlap should be over 5 images (green) for every pixel of the mosaic.

Bundle Block Adjustment details

number total keypoint observations for bundle block adjustment	163691
number total 3D points for bundle block adjustment	48253
mean reprojection error	0.133327 [pixels]

Internal Camera Parameters GRDIGITAL4_6.0_2736x3648 sensor dimension: 7.44 5.58 [mm]

	Focal length	Principal point X	Principal point Y	RD 1	RD 2	RD 3	TD 1	TD 2
initial values	2945.230 [pix] 6.007 [mm]	1824.000 [pix] 3.720 [mm]	1368.000 [pix] 2.790 [mm]	-0.065	0.062	-0.013	-0.000	0.000
optimized values	2903.311 [pix] 5.921 [mm]	1780.936 [pix] 3.808 [mm]	1271.844 [pix] 2.986 [mm]	-0.060	0.062	-0.017	-0.000	-0.001

2D Keypoints Table

	Number of 2D keypoints per image	Number of matched 2D keypoints per image
Median	2871.000	887.000

Mn	8.000	21.000
Max	27976.000	3517.000
Mean	5592.049	1144.692

3D points from 2D keypoints matches

	Number of 3D points observed
In 2 images	22882
In 3 images	10001
In 4 images	5196
In 5 images	3447
In 6 images	2337
In 7 images	1695
In 8 images	1235
In 9 images	852
In 10 images	326
In 11 images	184
In 12 images	88
In 13 images	10

2D Keypoints Graph

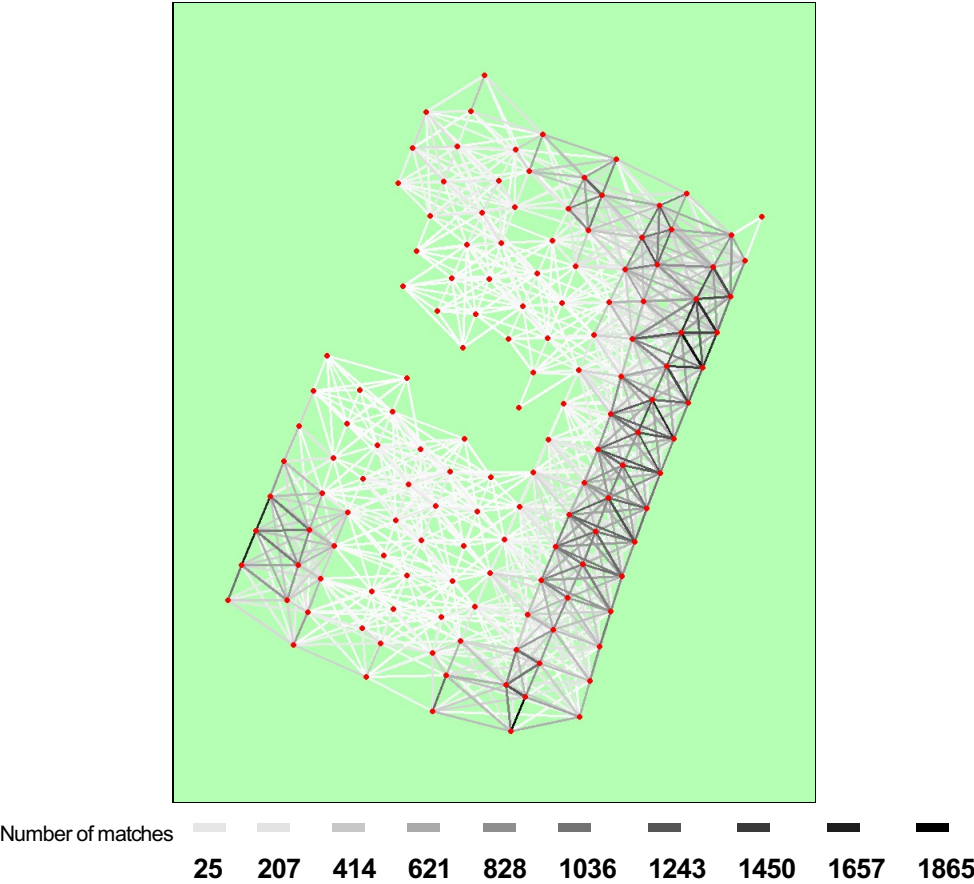


Figure 5: Top view of the geotags with a link between matching images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate low confidence and would require more overlap between the images or better quality images.

Most visible 2D keypoints



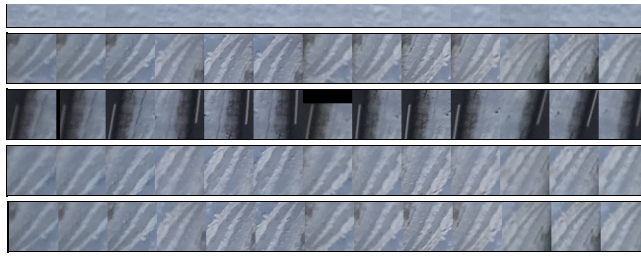


Figure 6: Cropped area of 10 3D points arising from 13 2D keypoints. Each cropped area should represent the same object on the ground.

Geo-location and Ground Control Points

GCP name	error X [m]	error Y [m]	error Z [m]	Measured/Verified
GCP: fp1	0.001	0.003	0.001	13 / 13
GCP: fp3	0.000	0.004	0.000	12 / 12
GCP: fp5	0.002	0.004	0.003	9 / 9
GCP: fp7	0.001	0.003	0.001	12 / 12
GCP: fp9	0.001	0.001	0.000	11 / 11
Mean	0.001	0.003	0.001	
Sigma	0.001	0.001	0.001	

Localisation accuracy of the individual GCP in meters, their mean error distance and the mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of images where the GCP has been measured (clicked on the images) and on how many of them have been automatically verified.
0 out of 5 GCPs have been labeled as inaccurate (see Figure below).

Ground control points

GCP name: fp1 (583160.147,6642657.464,49.187)

R0012341.JPG
R0012342.JPG
R0012343.JPG
R0012350.JPG
R0012351.JPG
R0012352.JPG
R0012372.JPG
R0012373.JPG
R0012374.JPG
R0012375.JPG
R0012381.JPG
R0012382.JPG
R0012383.JPG

GCP name: fp3 (583057.649,6642744.459,50.209)

R0012278.JPG
R0012279.JPG
R0012280.JPG
R0012289.JPG
R0012290.JPG
R0012291.JPG
R0012309.JPG
R0012310.JPG
R0012311.JPG
R0012320.JPG
R0012321.JPG
R0012322.JPG

GCP name: fp5 (583004.404,6642717.935,51.270)

R0012256.JPG
R0012257.JPG
R0012258.JPG
R0012279.JPG
R0012280.JPG
R0012281.JPG
R0012288.JPG
R0012289.JPG
R0012290.JPG

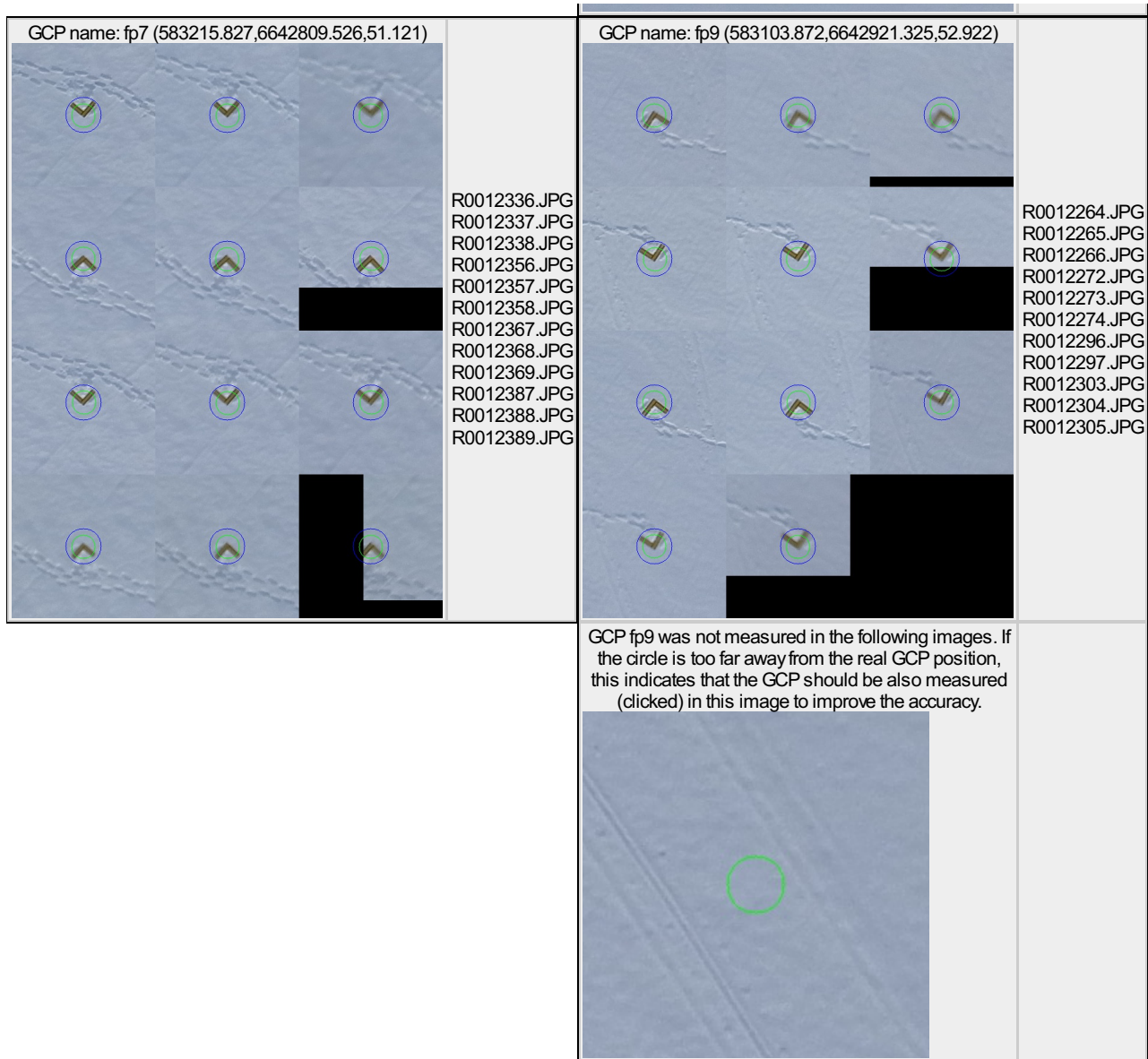


Figure 7: Images in which GCPs have been measured (blue circle) and in which the 3D point have been projected (green circle). A green circle outside of the blue one indicates either an accuracy issue or a GCP issue.