

# LASERSKANNING FOR NASJONAL DETALJERT HØYDEMODELL

## 2 og 5 pkt Østfold og Akershus



# INNHALDSFORTEGNELSE

<b>1. GENERELLE OPPLYSNINGER I PROSJEKTET .....</b>	<b>4</b>
1.1 OPPDRAGSGIVER .....	4
1.2 OPPDRAGET .....	4
1.3 OPPDRAGSTAKER.....	4
1.4 KOORDINATSYSTEM .....	4
1.5 GENERELL BESKRIVELSE AV NASJONAL DIGITAL HØYDEMODELL .....	5
1.6 BESKRIVELSE AV SKANNEBLOKK .....	6
1.7 KARTUTSNITT SKANNEBLOKK .....	7
.....	7
1.8 BESTILLINGSSKJEMA .....	10
1.9 RAPPORT.....	10
1.10 KVALITETSSIKRING .....	11
<b>2. ETABLERING AV KONTROLLPUNKT .....</b>	<b>12</b>
2.1 METODER FOR FREMSKAFFING AV KONTROLLFLATER .....	12
2.1.1 Måling av kontrollflater med RTK-GNSS.....	12
2.2 BENYTTETE AV KONTROLLDATA I SKANNEBLOKKEN .....	12
<b>3. GJENNOMFØRING AV LASERSKANNING .....</b>	<b>14</b>
3.1 BENYTTETE SENSORSYSTEMER.....	14
3.2 INSTRUMENTKALIBRERING .....	14
3.2.1 Leverandørkalibrering .....	14
3.2.2 Installasjonskalibrering .....	15
3.2.3 Prosjektkalibrering .....	15
3.3 DEKNINGSNUMMER .....	15
3.4 KLARMELDING .....	16
3.5 UTFØRELSE AV DATAINNSAMLING.....	16
3.6 AVVIK UNDER DATAINNSAMLING .....	17
3.7 VURDERING AV RESULTAT FOR UTFØRT DATAINNSAMLING.....	17
<b>4. PROSESSERING AV GEOREFERERT PUNKTSKY .....</b>	<b>19</b>
4.1 BEREGNING AV NAVIGASJONSLØSNING .....	19
4.1.1 Vurdering av resultat av navigasjonsløsninger.....	19
4.2 GEOREFERERING AV PUNKTSKY.....	20
4.2.1 Transformasjoner.....	20
4.2.2 Generering av punktsky.....	20
4.2.3 Prosjektkalibrering .....	20
4.2.4 Stripeutjevning .....	20
4.3 KONTROLL AV TETTHET PUNKTSKY .....	21
4.4 KONTROLL AV HOMOGENITET PUNKTSKY.....	22
4.5 KONTROLL AV GRUNNRISSNØYAKTIGHET.....	23
4.6 KONTROLL AV HØYDENØYAKTIGHET .....	23

4.7	SAMLET VURDERING AV UTFØRT GEOREFERING.....	28
<b>5.</b>	<b>KLASSIFISERING AV PUNKTSKY .....</b>	<b>29</b>
5.1	KLASSIFISERING «TERRENG» .....	29
5.2	KLASSIFISERING «STØYPUNKTER» .....	29
5.3	KLASSIFISERING «BRUELEMENTER».....	30
5.4	KLASSIFISERING «UKLASSIFISERT» .....	30
5.5	VURDERING AV UTFØRT KLASSIFISERING .....	30
<b>6.</b>	<b>FREMSTILLING AV HØYDEKURVER.....</b>	<b>31</b>
6.1	UTVELGELSE AV TERRENGPUNKT: .....	31
6.2	UTVELGELSE AV VEKTORDATA: .....	31
6.3	EDITERING AV HØYDEKURVER: .....	31
6.4	ENDELIG FREMSTILLING AV HØYDEKURVER: .....	31
6.5	VURDERING AV HØYDEKURVER.....	32
<b>7.</b>	<b>LEVERANSER.....</b>	<b>35</b>
7.1	ENDELIG LEVERANSE.....	35
7.1.1	<i>Klassifiserte Laserdata.....</i>	<i>35</i>
7.1.2	<i>Prosjektrapport .....</i>	<i>35</i>
7.1.3	<i>Prosjektavgrensning.....</i>	<i>35</i>
7.1.4	<i>Flystriper.....</i>	<i>35</i>
7.1.5	<i>Kontrollflater og kontrollprofiler.....</i>	<i>35</i>
7.1.6	<i>Høydekurver.....</i>	<i>35</i>

## 1. GENERELLE OPPLYSNINGER I PROSJEKTET

### 1.1 Oppdragsgiver

Navn: Statens Kartverk Oslo  
Besøksadresse: Storgt. 33A, Oslo  
Postadresse: PB 8120 Dep, 0032 Oslo  
Prosjektleder: Lukas Sleboda

### 1.2 Oppdraget

Navn: Nasjonal Digital Høydemodell Østfold og Akershus 2015  
Nr/betegnelse: LACH0001  
Skanneblokk: 2 pkt: Nord og Sør, 5 pkt: Nord og Sør  
Kommuner: Alle kommuner i Østfold, Nittedal, Gjerdrum, Ullensaker, Nes, Eidsvoll, Nannestad  
Fylke: Østfold, Akershus  
Terratec prosjektnr: 6525  
Terratec dekningsnr: 40534, 40535, 40536

### 1.3 Oppdragstaker

Navn: TerraTec AS  
Besøksdresse: Vækerøveien 3, 0281 Oslo  
Postdresse: Vækerøveien 3, 0281 Oslo  
Prosjektleder: Berit Morstad  
Fagansvarlig: Petter Solli  
Underleverandører: KPGeo

### 1.4 Koordinatsystem

Datum: Euref 89  
Kartprojeksjon: UTM  
Sone: 32  
Vertikalt høydesystem: NN2000  
Geoidmodell: Href2015A

## 1.5 Generell beskrivelse av Nasjonal Digital Høydemodell

Dette prosjektet er utført med flybåren laserskanning og dataene i dette prosjektet skal brukes som en del av og grunnlag for etablering av en nasjonal digital høydemodell. Det er også tenkt å gjennomføre en skogtaksering i Hobøl kommune i Østfold.

Det er utført laserskanning med punktetthet minimum 2 pkt/m<sup>2</sup> og minimum 5 pkt/m<sup>2</sup>.

Dette prosjektet er utført ihht til bestemmelser i Kartverkets standard; Produksjon av basis Geodata 2015.

Høydekurver er generert ihht produktspesifikasjon for FKB-Høydekurve.

**Teknisk spesifikasjon:** FKB-Laser10

**Skannevinkel:** Maksimum +-20 grader fra loddlinjen.

**Værforhold:** Under datainnsamling skal de atmosfæriske forholdene mellom flyet og bakken være fritt for skyer, tåke og nedbør. I fjellområder kan snø aksepteres. Datainnsamlingen skal ikke utføres ved unormal høy vannstand, forårsaket av kraftig nedbør eller snøsmelting.

**Punktetthet:** Minimum 2 pkt/m<sup>2</sup>. For utvalgte områder kan det bli aktuelt med minimum 5 pkt/m<sup>2</sup>. (Definisjon av punktetthet er gitt i FKB-Laser).

**Skanneblokk:** Levert i to forskjellige blokker for hver punktetthet.

**Skog:** For skanneblokker merket «Skog» skal det tilstrebes homogen datainnsamlingen. Det vil si fortrinnsvis innenfor samme tidsperiode, enten med eller uten løv og fortrinnsvis med samme type laserinstrument.

**Hull i data:** Hull i laserdataene aksepteres kun dersom de er forårsaket av permanente vannoverflater eller flater med lav refleksjon.

**Klassifisering av laserdata:** Lasedata skal klassifiseres i klassene 1(uklassifisert),2 (terrengoverflate), 7 (støy), 10 (brupunkter) og 13(snø/is).

**Høydekurver:** Det skal generes høydekurver med 1 meters ekvidistanse i henhold til FKB-høydekurve.

## 1.6 Beskrivelse av Skanneblokk

Det er utført en datainnsamling og leveranse av en skanneblokkene som inngår i Nasjonal Digital Høydemodell.

Datainnsamlingen, prosessering og leveranse er utført etter kravspesifikasjon i dette prosjektet.

Skanneblokk: Østfold og Akershus

Totalt areal: 6482.8 km<sup>2</sup>

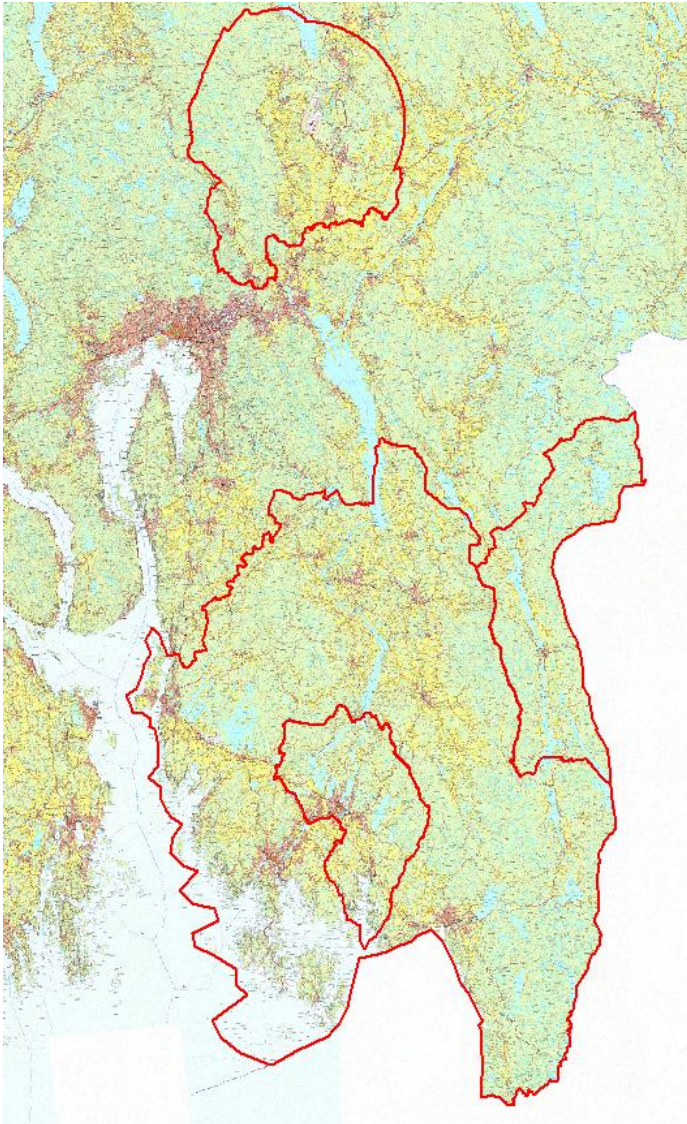
Punktetthet: 2 og 5 pkt/m<sup>2</sup>

Skogleveranse: Hobøl kommune har en skogleveranse

Avvik fra kravspesifikasjon: Det er ikke blitt avtalt avvik fra kravspesifikasjon.

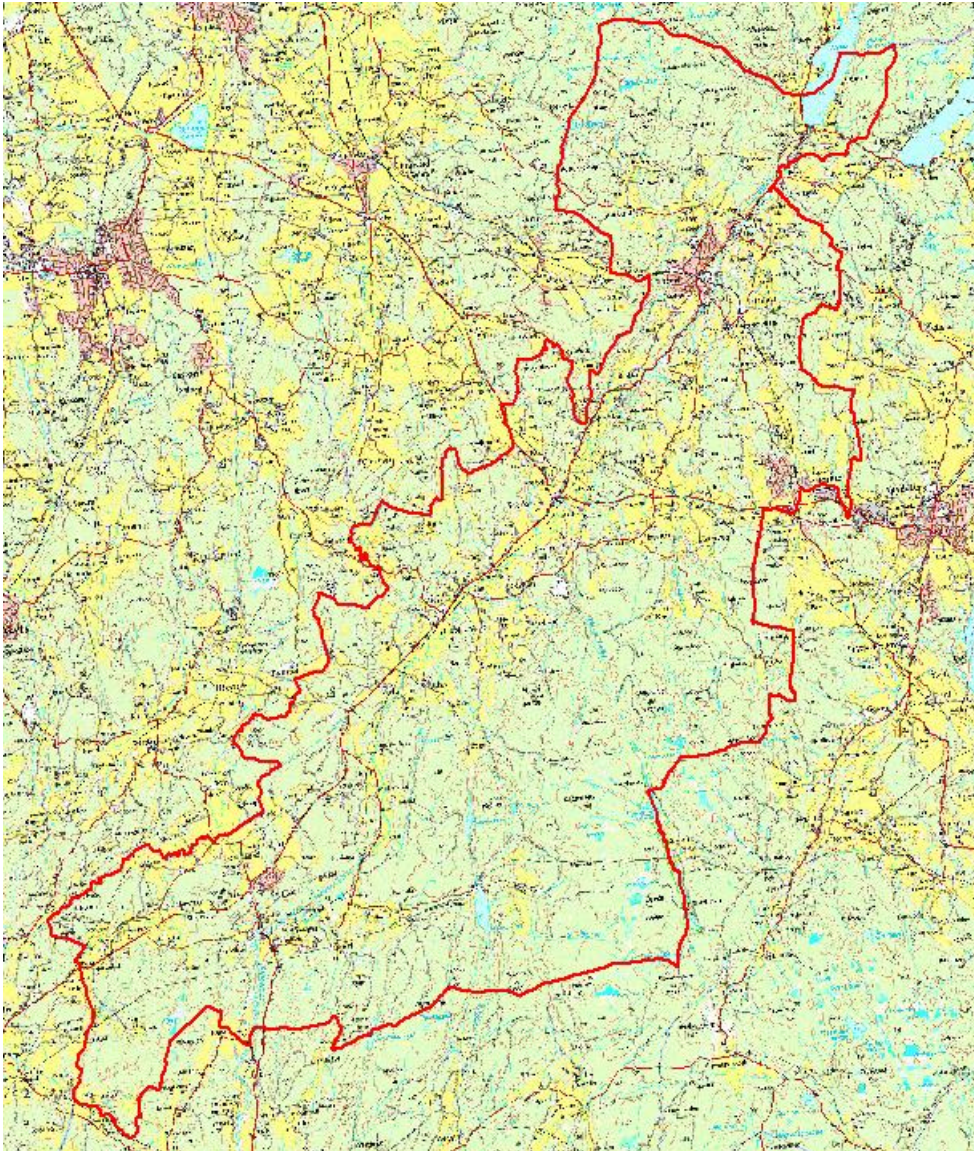
## 1.7 Kartutsnitt Skanneblokk

Østfold og Akershus 2.0pkt



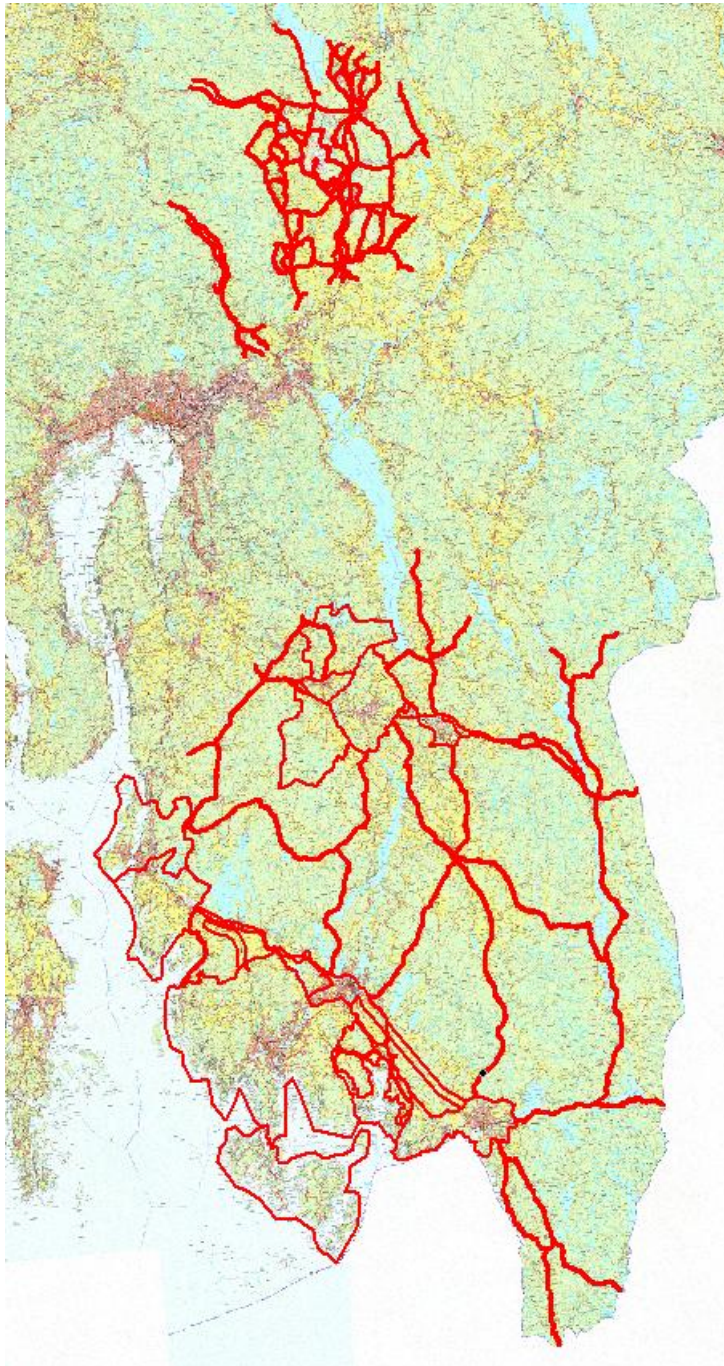


## Skogleveranse 2.0pkt





Østfold og Akershus 5.0pkt



## 1.8 Bestillingsskjema

Statens kartverk Oslo								
Aktivitet nr	Kostnadsgruppe	Aktivitet/leveranse	Område	Aktuelt Opsjon	Estimert mengde	Enhet	Enhetspris	Pris aktuelt
1	FKB Laser 10	Laserskanning, min 2 pkt/m2	2 PUNKT	Aktuelt	4 566,0	pr km²	596	2 721 336
1	FKB Laser 10	Antall kontrollflater	2 PUNKT	Aktuelt	72,0	antall	1 900	136 800
2	FKB Laser 10	Laserskanning, min 2 pkt/m2	OPSJON 2 PUNKT	Aktuelt	596,0	pr km²	596	356 216
2	FKB Laser 10	Antall kontrollflater	OPSJON 2 PUNKT	Aktuelt	6,0	antall	1 900	11 400
3	FKB Laser 10	Laserskanning, min 5 pkt/m2	5 PUNKT	Aktuelt	916,0	pr km²	912	835 392
3	FKB Laser 10	Antall kontrollflater (eventuelle ekstra som ikke dekkes av 2 punkt/m2 kontrollflatene)	5 PUNKT	Aktuelt	3,0	antall	1 900	5 700
4	FKB Laser 10	Laserskanning, min 5 pkt/m2	OPSJON 5 PUNKT	Aktuelt	127,0	pr km²	912	115 824
4	FKB Laser 10	Antall kontrollflater (eventuelle ekstra som ikke dekkes av 2 punkt/m2 kontrollflatene)	OPSJON 5 PUNKT	Aktuelt	3,0	antall	1 900	5 700
5	FKB Laser 10	Laserskanning, min 5 pkt/m2	VEG 5 PUNKT	Aktuelt	279,0	pr km²	912	254 448
5	FKB Laser 10	Antall kontrollflater (eventuelle ekstra som ikke dekkes av 2 punkt/m2 kontrollflatene)	VEG 5 PUNKT	Aktuelt	6,0	antall	1 900	11 400
6	FKB Laser 10	Laserskanning, min 7 pkt/m2	OPSJON 7 PUNKT	Utgår	8,0	pr km²	7 223	
6	FKB Laser 10	Antall kontrollflater (eventuelle ekstra som ikke dekkes av 2 punkt/m2 kontrollflatene)	OPSJON 7 PUNKT	Utgår	3,0	antall	1 900	
7	FKB Laser 10	Skogleveranse	SKOGLEVERANSE	Aktuelt	1,0	Fast pris	7 500	7 500
KONTRAKTSUM								4 460 716

## 1.9 Rapport

Det er utarbeidet en digital rapport for dette prosjektet. Rapporten oversendes oppdragsgiver og blir lagret i TerraTec's arkiv.

Rapport utarbeidet,

Vækerø, 29.07.2016

Olav Gaute Ytterdal

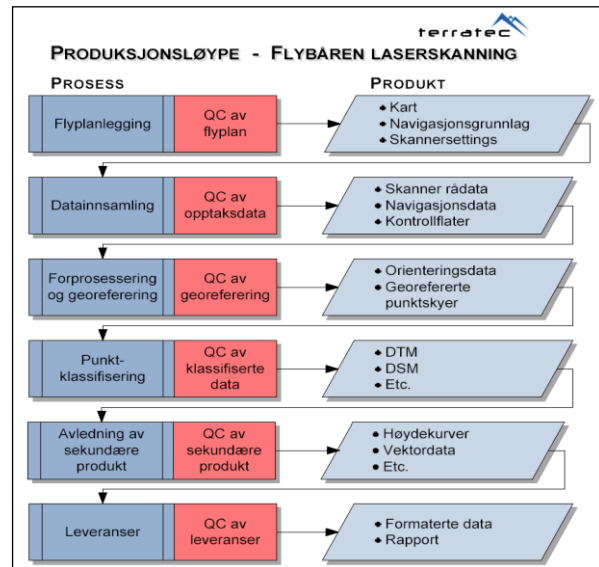
## 1.10 Kvalitetssikring

Kvalitetssikringsopplegget er utført i.h.h.t. TerraTecs kvalitetsstyrings-system. Opplegget for denne type produksjon er vist skjematisk i figuren til høyre. I dette prosjektet er det spesielt lagt vekt på:

- Kalibrering av sensorsystem
- Tverrstriper og flystriper i forskjellige retninger
- Utjevning mellom overlappende striper
- Justering mot kontrollflater

Opplegget er også nærmere beskrevet i kap. 7.3 i dokumentet

«Produksjonsmetoder\_Geodataprojekt\_TerraTec.pdf» som var vedlagt tilbudet i prosjektet.



## 2. ETABLERING AV KONTROLLPUNKT

Det er i kravspesifikasjonen beskrevet at kontrollflater skal utføres i henhold til *Produksjon av basis geodata* og rapporteres i henhold til *Satellittbasert posisjonsbestemmelse*.

- Det skal etableres minimum 6 kontrollflater i hver skanneblokk.
- I skanneblokker med både 2 og 5 pkt/m<sup>2</sup>, skal det etableres minimum 3 kontrollflater i hvert område.
- I skanneblokker med lite infrastruktur kan kravene avvikes. Det kreves da dokumentasjon på kontroll av nøyaktighet.

Det er i dette prosjektet åpnet for å avvike fra kravet i *Produksjon av basis geodata* om innmåling av nye kontrollprofiler for kontroll av grunnrissnøyaktigheten. Det kan benyttes eksisterende FKB-data til dette formålet.

### 2.1 Metoder for fremskaffing av kontrollflater

Kontrollflater skal fungere som en kontroll av absolutt nøyaktighet i høyde. Det er åpnet opp for å benytte både tradisjonell innmåling av kontrollflater gjennom RTK-GNSS og en alternativ metode med å bruke treghetsnavigasjonsutstyr fra bil. Det vil for hver enkelt skanneblokk avgjøres hvilken metode som vil gi best resultat. I enkelte skanneblokk vil en kombinasjon av disse to metodene benyttes.

#### 2.1.1 Måling av kontrollflater med RTK-GNSS

Måling av kontrollflater med nettverks RTK-GNSS (CPOS eller TopNet) utføres ved innmåling av punktene 2 ganger med tidsforskyvning for å redusere korrelasjon mellom målingene.

### 2.2 Benyttede av kontrolldata i skanneblokken

Det er i denne skanneblokken fremskaffet kontrollpunkter og kontrollprofiler på følgende metode:

#### Måling av kontrollflater med RTK-GNSS:

Utført av:	TerraTec AS
Antall flater:	89
Målemetode:	CPOS
Utstyr:	Leica 1200 GPS-mottakere

Det henvises til landmålingsrapport for dokumentasjon av utførelse av landmålingsarbeid.

**Kontrollprofiler:**

Datagrunnlag: FKB  
Objekttype: Vektordata  
Antall: -

Datagrunnlag er fremskaffet av Statens kartverk. Det henvises til Statens kartverk for informasjon om datagrunnlaget.



### 3. GJENNOMFØRING AV LASERSKANNING

#### 3.1 Benyttede sensorsystemer

Det er benyttet flere lasersensorer med tilhørende utstyr i dette prosjektet. Nedenfor vises en tabell med benyttet utstyr.

Konfigurasjon	1	2	4
<b>Lasersensor</b>			
Fabrikat	Leica	Leica	Optech
Type	ALS70 HP	ALS70 HM	ALTM Titan MV
Serienr	7204	7208	50120349
Kalibrering	xxxx	xxxx	xxxx
<b>IMU</b>			
Fabrikat	Honeywell	Honeywell	Trimble
Type	MicroIRS	MicrIRS	IMU-46
<b>Gyromount</b>			
Fabrikat	Leica	Leica	SOMAG
Type	PAV80	PAV80	GSM4000
<b>GNSS</b>			
Fabrikat	Novatel/Topcon	Novatel/Topcon	Trimble
Type	OEM4/Legacy	OEM4/Legacy	xxxxx
Serienr	xxxxx	xxxxx	xxxxx
Loggrate	2 Hz	2 Hz	2 Hz
<b>Fly</b>			
Fabrikat	xxxx	xxxx	xxxx
Type	xxxx	xxxx	xxxx
Kallesignal	xxxx	xxxx	xxxx
Trykkabin	Ja	Ja	Ja

#### 3.2 Instrumentkalibrering

Kalibrering av våre instrumenter utføres av både leverandør av sensorsystemene og TerraTec. Det utføres en leverandørkalibrering, installasjonskalibrering og en kalibrering ved flygning av prosjekt.

##### 3.2.1 Leverandørkalibrering

Det blir utført en kalibrering av sensorene ved fabrikk. Dette utføres ved overtakelse av instrumentet. Videre følger sensoren en vedlikeholdsplan ved periodisk kontroll av verdiene. Utover dette utføres leverandørkalibrering dersom det er oppgradering av systemet hvor det kreves nye verdier. Ved feil eller mistanke om feil i fabrikkkalibrering kontaktes leverandør og behov for ny kalibrering diskuteres.



### **3.2.2 Installasjonskalibrering**

Det utføres en installasjonskalibrering av systemet ved første gang bruk, ved endringer av leverandørkalibrering eller ved endringer av installasjoner. Her blir leverandørkalibrering verifisert. I denne kalibreringen vil vinkelforskjeller mellom komponentene løses ut. Videre blir vektorene mellom GNSS-antenne, IMU-sensor og lasersensor verifisert gjennom estimering i programvaren TerraPos. Ved hjelp landmålte data i terrenget blir også lasersensors avstandskorreksjoner verifisert.

### **3.2.3 Prosjektkalibrering**

Det er foretatt en prosjektkalibrering for hver enkelt flysesjon. I denne prosjektkalibreringen estimeres det verdier for vinkelforskjeller i lasersensor. Det benyttes primært data i området med tverrstripe. Ved små signifikante endringer til gjeldene kalibrering påføres disse datasettet for hver sesjon. Ved større signifikante endringer vil en utvidet analyse utføres for å avdekke misforhold.

Det utføres en initialisering av GNSS/IMU før og etter gjennomføring av laserskanning. Det estimeres verdier av IMU montering under navigasjonsprosesseringen i programvaren TerraPos. Ved avvik mellom teoretiske verdier og estimerte verdier undersøkes dette nærmere.

## **3.3 Dekningsnummer**

Denne rapporten dekker dekningsnummerene: 40534, 40535 og 40536.

### 3.4 Klarmelding

Dekningsnummer: 40534 2.0pkt skogområde

Områdebeskrivelse:

Alle striper

Klarmeldingsdato:

15.04.2015

Dekningsnummer: 40535 5.0pkt

Områdebeskrivelse:

Østfold

Akershus

2.klarmelding begge fylker

Klarmeldingsdato:

15.04.2015

07.05.2015

05.10.2015

Dekningsnummer: 40535 5.0pkt

Områdebeskrivelse:

Østfold

Akershus

2.klarmelding begge fylker

Klarmeldingsdato:

15.04.2015

07.05.2015

29.09.2015

### 3.5 Utførelse av datainnsamling

TerraTec AS har gjennomført laserskanningen i følgende operasjoner:

Dekningsnr: 40534, 40535 og 40536

Område/Antall striper:

Operatør

Dato

40534 / 17 striper

JJ

23.05.2015

40534 / 11 striper

MJ

29.09.2015

40535 / 18 striper

JJ

21.04.2015

40535 / 26 striper

JJ

24.05.2015

40535 / 17 striper

CS

03.06.2015

40535 / 6 striper

CS

04.06.2015

40535 / 14 striper

AP

15.06.2015

40535 / 14 striper

CS

25.06.2015

40535 / 2 striper

JJ

26.09.2015

40535 / 12 striper

AP

14.11.2015

40535 / 13 striper

AP

15.11.2015

40535 / 26 striper

MJ

26.11.2015

40535 / 13 striper

MJ

28.11.2015

40536 / 15 striper

AP

21.04.2015

40536 / 36 striper

AP

22.04.2015

40536 / 23 striper

AP

26.04.2015

40536 / 7 striper

AP

28.04.2015

40536 / 47 striper

AP

02.05.2015

40536 / 18 striper

AP

13.05.2015

40536 / 2 striper

CS

26.06.2015

40536 / 2 striper	ES	16.07.2015
40536 / 35 striper	JJ	27.09.2015
40536 / 111 striper	JJ	28.09.2015
40536 / 31 striper	AP	11.11.2015
40536 / 28 striper	AP	14.11.2015
40536 / 27 striper	AP	15.11.2015
40536 / 16 striper	JJ	22.11.2015
40536 / 1 striper	MJ	01.12.2015

<u>Instrumentindivid</u>	<u>Område.</u>
L204	40535, 40536
L208	40534, 40535, 40536
L349	40535, 40536

### 3.6 Avvik under datainnsamling

Dette har vært et stort prosjekt som har blitt flydd over en lang periode og vi har av den grunn vært utsatt for varierende vær, forandring(bygging) i bakken og forandring av vegetasjon(vår til høst). Dette spiller inn på kvaliteten og har gitt utfordringer i matching. Når det gjelder spesifikke vanskeligheter så ble Hobøl flydd i første runde med litt lav tetthet. Skogleveransen ble levert på bakgrunn av dette datasettet mens den endelige 5pkt leveransen for Hobøl har full tetthet grunnet reflight. De siste linjene i Akershus ble flydd ganske sent på året og der ser vi at det har vært områder med litt varierende lokal tetthet (litt dropouts) grunnet kaldt/vått vær dette har også medført et lite hull som det har blitt rapportert om. Nord i Østfold var det et område som måtte ha mye reflight grunnet dårlig tetthet, men dette har ikke medført noen feil i datasettet. Noen områder av 2pkt har det blitt brukt 5pkt data der 1 av ALS70 sine 2 stråler er blitt brukt for å halvere tetthet.

### 3.7 Vurdering av resultat for utført datainnsamling

Deler av prosjektet ble skannet utenom klarmelding. TerraTec har vurdert disse dataene til å være gode.

På grunn av at det er skannet med to ulike sensorer (L204 og L208) så vil det i noen områder sees intensitetsforskjeller i dataene. Dette er fordi hver skanner har et eget intensitetsspektrum og ulik refleksjon. Dette er kun visuelt og kvaliteten på dataene er like god.



Noen steder kan det se ut som det ligger bakkepunkt innenfor takkant. Dette kan forklares ved at laserstrålen vil treffe grunnmur eller bakke som ligger innunder takkant i ytterkant av hver stripe. Dersom man sjekker høyden på punktene som ser ut til å ligge innenfor Takkant vil man se at denne tilsier at dette er bakkepunkt.

Totalt sett har leveransen blitt utført i samsvar med spesifikasjonene.



## 4. PROSESSERING AV GEOREFERERT PUNKTSKY

### 4.1 Beregning av navigasjonsløsning

Prosessering av orienteringsdata er utført med programvaren TerraPos v2.5, utviklet av TerraTec AS.

I denne prosessen kombineres observasjoner fra treghetssensor (IMU) og GNSS i et Kalmanfilter, altså en såkalt "tett koplet" prosessering. Sammen med en påfølgende baklengs filterrekursjon ("RTS-smoother") gir det en statistisk optimal parameterestimering. Som minimum inngår observasjoner fra GPS og GLONASS - GALILEO og BEIDOU kan inngå dersom observasjoner er tilgjengelige.

Som del av navigasjonsberegningen tas det bl.a. hensyn til GNSS-antennens fasesentersentrisitet og -variasjoner, og sammen med observasjoner fra instrumentets gyrostabiliserte montering (der det blir benyttet) oppnås dermed høyest mulig nøyaktighet på eksentrisiteten mellom GNSS-antenne og IMU. For å finne nominell eksentrisitet for nye monteringer, slik at den kan betraktes som kjent i de endelige INS-beregninger, gjennomføres egne INS-beregninger i TerraPos der nominell eksentrisitet inngår som ukjent. Dette gjøres om mulig for flere datasett før eksentrisiteten "låses".

Før INS-resultatet blir benyttet til punktskygenerering, blir det påført en geodetisk transformasjon fra beregningsdatum (som alltid er den til en hver tid aktuelle ITRF-versjon) til Euref89. Det påføres ingen høydetransformasjoner før punktskygenerering, det benyttes ellipsoidiske høyder relativt GRS80-ellipsoiden.

#### 4.1.1 Vurdering av resultat av navigasjonsløsninger

Alle beregningsresultat som blir benyttet i leveranser blir vurdert. I vurderingen inngår blant annet andelen detekterte og reparerte fasebrudd og restavvikene på kode- og fasemålingene. Størrelse og stabilitet til estimerte sensorfeil for treghetssensoren kontrolleres for å detektere anomalier og eventuelt integrasjonsproblem.

Se vedlegg 1.

Alle navigasjonsløsninger er vurdert som tilfredsstillende. Andelen fasebrudd og restavvik er innenfor forventningen. Estimerte verdier for antenneeksentrisiteter viser at de sammenfaller med de teoretiske verdiene.

## **4.2 Georeferering av punktsky**

### **4.2.1 Transformasjoner**

GNSS-beregning i TerraPOS er utført i WGS84. Transformasjon er utført for levering i de ulike datum prosjektet skal leveres i.

Transformasjon WGS84 – EU89 UTM32

Høydetransformasjon Ellipsoidisk – NN2000

Høydetransformasjonene fra ellipsoidiske til ortometriske høyder er utført med geoidemodell generert i WSK Trans, Href2015a utgitt av Statens kartverk.

### **4.2.2 Generering av punktsky**

Det er generert en punktsky i leverandørens programvare. Her benyttes tilhørende leverandørkalibreringen for utskrift av punktskyer for hver flystripe. Punktskyene blir generert i prosjektets kartprojeksjon, i dette prosjektet Euref89 sone 32.

### **4.2.3 Prosjektkalibrering**

Det er foretatt en prosjektkalibrering for hver enkelt flysesjon. Her er korreksjoner for Heading, Roll og Pitch estimert og deretter påført dersom de er signifikante og pålitelige.

### **4.2.4 Stripeutjevning**

Det er foretatt en stripeutjevning for å løse ut gjenværende tilfeldige avvik mellom flystripene i prosjektet. I denne stripeutjevningen inngår alle flystriper og det er løst ut for dZ og dRoll.

#### **Vurdering av resultater:**

Det har ikke blitt estimert unormale verdier under denne prosessen. Resultater fra denne kalibrering vises i Vedlegg 2

### 4.3 Kontroll av Tetthet Punktsky

Det er utført en analyse av punkttetthet gjennom å måle antall førsteletter innenfor ruter på 10x10m.

Tabell som viser fordeling av punkttetthet innenfor rutene:

Punkttetthet (pkt/m2)	Andel (%)
>2.0	96.9
1.7-2.0	2.0
1.2-1.7	1.1

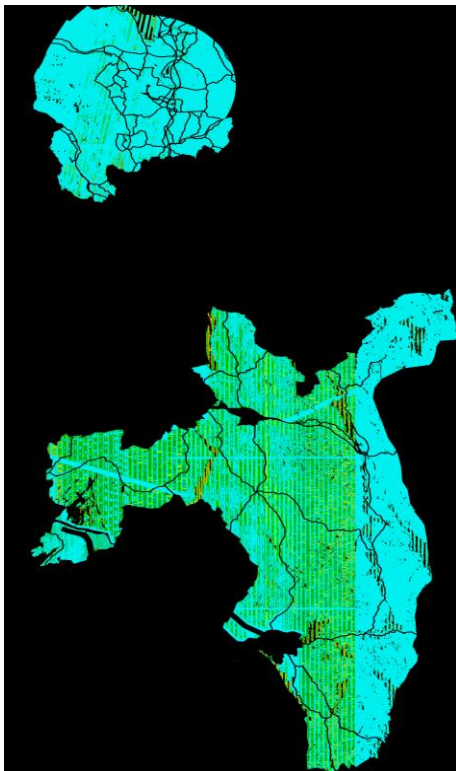
Punkttetthet (pkt/m2)	Andel (%)
>5.0	97.1
4.2-5.0	1.9
3.0-4.2	1.0

#### Vurdering av resultatene:

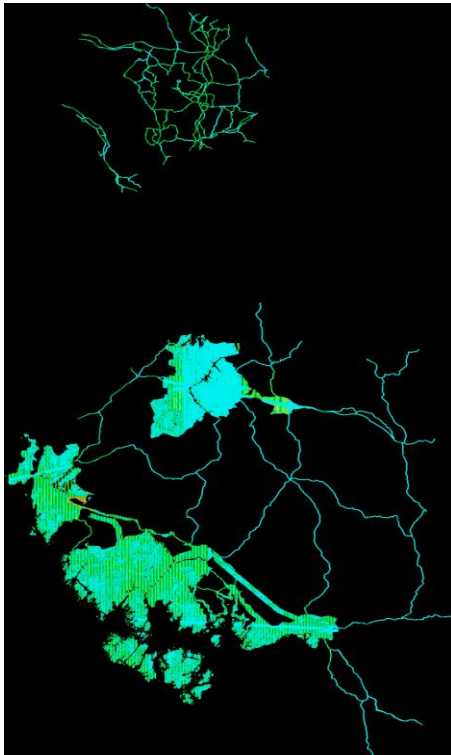
Beregnet resultat av punkttettheten i prosjektområdet dokumenterer at oppnådd punkttetthet er innenfor toleransekravet om en prosentandel på minimum 95%.

Plott som viser punkttettheten i laserdataene: (Geovekst)

**2.0pkt**

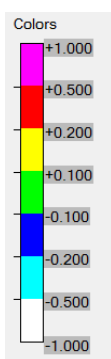


## 5.0pkt



### 4.4 Kontroll av Homogenitet Punktsky

Det er utført en kontroll av homogenitet av nøyaktighet i prosjektet. Dette er utført ved å sammenligne høydeverdier mellom ulike flystriper i overlappende områder. Formålet med denne kontrollen er å verifisere at det ikke er gjenværende systematiske avvik mellom flystriper etter stripeutjevning. Det er beregnet en dZ-verdi som viser avvik mellom flystriper, disse avvikene er gitt farge etter fargepaletten vist nedenfor.



#### Vurdering:

Det har blitt oppsøkt alle mistenkelige områder og foretatt en vurdering av differanser mellom flystriper. Det er ikke funnet områder hvor det mistenkes systematiske avvik mellom flystriper.

#### 4.5 Kontroll av grunnrissnøyaktighet

Det er brukt FKB data som grunnlag for kontrollprofilsjekken. Det er foretatt en sammenligning av mønelinje estimert fra laserdata.

Kontrollprofil	Type profil	Retning(grader)	Målt avvik (m)	Avvik dN(m)	Avvik dE(m)	Avvik dz(m)
KP01	Mønelinje	159	0.02	0.01	0.02	0.17
KP02	Mønelinje	73	0.02	0.02	0.00	0.03
KP03	Mønelinje	259	0.05	0.01	0.05	0.01
KP04	Mønelinje	32	0.09	0.05	0.08	0.00
KP05	Mønelinje	201	0.01	0.01	0.01	0.00
KP06	Mønelinje	163	0.04	0.04	0.01	0.02
KP07	Mønelinje	330	0.02	0.00	0.02	0.03

#### Vurdering av resultatene:

Avvikene mellom FKB-data og laserdata er innenfor det som kan forventes.

#### 4.6 Kontroll av høydenøyaktighet

##### Kontroll mot RTK-GNSS:

Det er gjort beregninger på høydeavvik mellom laserdataene og kontrollflater målt inn med RTK-GNSS. Nedenfor vises statistikk for hver enkelt kontrollflate. Alle beregninger er listet i vedlegg 3.

Kontrollflate	Gjennomsnitt dH (m)	Minimum dH (m)	Maximum dH (m)	RMS (m)	Standardavvik (m)
Block Akershus Nord 2pkt					
KF00001	-0.025	-0.07	0.03	0.036	0.027
KF00002	-0.007	-0.06	0.03	0.03	0.03
KF00090	-0.016	-0.1	0.05	0.035	0.032
KF00089	-0.05	-0.1	0.03	0.057	0.028
KF00003	-0.003	-0.05	0.06	0.026	0.026
KF00004	-0.031	-0.09	0.03	0.047	0.037
KF00005	-0.023	-0.06	0.02	0.028	0.017
KF00006	0.003	-0.06	0.04	0.023	0.024
KF00009	-0.044	-0.14	0	0.052	0.028
KF00007	0.009	-0.02	0.05	0.021	0.019
KF00008	-0.033	-0.08	0.02	0.04	0.024
KF00013	-0.034	-0.08	0	0.039	0.02
KF00010	0.044	-0.01	0.08	0.049	0.022



KF00012	-0.066	-0.15	-0.02	0.071	0.027
KF00011	-0.009	-0.14	0.12	0.076	0.078
KF00094	-0.027	-0.04	0.03	0.031	0.015
KF00014	-0.036	-0.09	0.02	0.048	0.032
Block Østfold Sør 2pkt					
KF00015	-0.066	-0.1	-0.05	0.068	0.013
KF00018	-0.07	-0.12	-0.05	0.072	0.016
KF00022	0.056	0.02	0.08	0.058	0.016
KF00016	-0.066	-0.1	-0.03	0.068	0.017
KF00021	0.013	-0.02	0.04	0.024	0.02
KF00019	-0.031	-0.1	0.02	0.043	0.031
KF00020	-0.086	-0.13	-0.04	0.089	0.024
KF00030	-0.094	-0.14	-0.06	0.095	0.019
KF00029	0.038	0.01	0.07	0.042	0.018
KF00087	-0.066	-0.13	-0.01	0.072	0.029
KF00032	-0.013	-0.06	0.01	0.02	0.016
KF00031	-0.059	-0.1	0	0.064	0.025
KF00034	0.023	-0.03	0.06	0.03	0.019
KF00033	0.009	-0.04	0.05	0.027	0.026
KF00088	0.03	-0.01	0.06	0.037	0.023
KF00038	0	-0.05	0.05	0.026	0.026
KF00037	-0.02	-0.06	0.06	0.039	0.034
KF00035	0.039	0	0.07	0.042	0.016
KF00039	0.005	-0.03	0.05	0.025	0.025
KF00036	-0.07	-0.11	-0.03	0.072	0.018
KF00101	-0.045	-0.09	-0.01	0.049	0.021
KF00057	-0.117	-0.15	-0.06	0.119	0.025
KF00054	-0.008	-0.06	0.06	0.029	0.029
KF00100	-0.094	-0.15	-0.06	0.096	0.021
KF00040	0.027	-0.01	0.06	0.032	0.018
KF00058	0.074	0.03	0.13	0.078	0.027
KF00060	0.021	-0.01	0.06	0.028	0.018
KF00041	-0.035	-0.1	0.01	0.044	0.027
KF00042	0.063	0.02	0.09	0.065	0.018
KF00061	-0.026	-0.08	0.01	0.034	0.022
KF00059	0.058	0.02	0.11	0.063	0.025
KF00062	-0.067	-0.11	-0.02	0.07	0.02
KF00083	-0.008	-0.06	0.04	0.026	0.025
KF00043	0.009	-0.01	0.05	0.016	0.014
KF00064	0.098	0.06	0.15	0.101	0.025
KF00092	0.102	0.06	0.14	0.104	0.021
KF00044	0.015	-0.03	0.07	0.027	0.023
KF00067	-0.073	-0.11	-0.04	0.075	0.018
KF00045	0.109	0.09	0.14	0.11	0.014

KF00046	0.029	-0.01	0.07	0.034	0.018
KF00065	0.154	0.12	0.19	0.155	0.018
KF00068	-0.004	-0.03	0.03	0.017	0.016
KF00066	0.025	0	0.06	0.032	0.02
KF00102	0	-0.04	0.05	0.021	0.021
KF00047	0.009	-0.02	0.06	0.022	0.021
KF00069	-0.036	-0.06	0	0.041	0.02
KF00073	0.022	-0.03	0.08	0.034	0.026
KF00048	0.023	-0.01	0.05	0.027	0.015
KF00072	0.067	-0.01	0.11	0.072	0.028
KF00070	0.034	-0.03	0.08	0.042	0.025
KF00092	0.019	-0.02	0.05	0.025	0.017
KF00049	-0.03	-0.12	0.03	0.041	0.03
KF00071	-0.044	-0.08	0.01	0.048	0.021
KF00051	0.031	-0.02	0.08	0.041	0.027
KF00052	-0.007	-0.04	0.04	0.025	0.024
KF00075	-0.086	-0.13	-0.04	0.089	0.022
KF00053	0.054	0	0.08	0.059	0.022
KF00077	-0.085	-0.14	-0.04	0.088	0.023
KF00076	-0.097	-0.2	-0.06	0.103	0.037
Block Akershus Nord 5pkt					
KF00001	0.018	-0.03	0.06	0.03	0.024
KF00002	-0.038	-0.08	0	0.045	0.024
KF00089	-0.033	-0.11	0.01	0.046	0.032
KF00003	0.011	-0.03	0.04	0.019	0.016
KF00004	-0.02	-0.06	0	0.025	0.016
KF00005	-0.048	-0.08	-0.02	0.05	0.015
KF00009	-0.042	-0.11	-0.01	0.049	0.025
KF00007	0.035	0	0.08	0.04	0.019
KF00008	0.021	-0.04	0.08	0.037	0.031
KF00013	0.005	-0.02	0.04	0.015	0.014
KF00010	0.022	-0.02	0.05	0.027	0.017
KF00012	-0.03	-0.1	0.02	0.042	0.031
KF00011	0.146	0.05	0.29	0.159	0.064
KF00094	-0.01	-0.06	0.02	0.025	0.023
KF00014	0.023	-0.03	0.06	0.033	0.024
Block Østfold Sør 5pkt					
KF00022	0.037	0.01	0.07	0.039	0.014
KF00023	0.15	0.11	0.18	0.151	0.017
KF00021	0.023	-0.01	0.06	0.032	0.022
KF00019	-0.062	-0.11	-0.04	0.064	0.018
KF00024	0.029	0	0.06	0.033	0.016
KF00078	-0.039	-0.09	0.02	0.052	0.034
KF00025	0.065	0.03	0.09	0.067	0.017

KF00080	0.008	-0.05	0.06	0.03	0.029
KF00030	-0.036	-0.09	-0.01	0.041	0.018
KF00079	0.047	-0.01	0.1	0.057	0.033
KF00026	0.028	0	0.04	0.03	0.012
KF00029	0.092	0.06	0.13	0.093	0.016
KF00093	0.045	0.01	0.08	0.049	0.02
KF00087	-0.01	-0.04	0.04	0.024	0.022
KF00028	0.002	-0.07	0.09	0.049	0.05
KF00032	-0.034	-0.07	0.02	0.04	0.022
KF00091	0.071	0.03	0.13	0.074	0.023
KF00031	0.012	-0.02	0.07	0.023	0.02
KF00027	0.042	0.01	0.09	0.047	0.022
KF00034	-0.012	-0.06	0.02	0.021	0.017
KF00033	0.026	0	0.06	0.031	0.016
KF00088	-0.019	-0.07	0.01	0.025	0.016
KF00038	-0.001	-0.05	0.04	0.018	0.018
KF00037	-0.004	-0.03	0.02	0.014	0.014
KF00035	-0.027	-0.05	0	0.03	0.013
KF00039	-0.008	-0.04	0.02	0.021	0.02
KF00036	-0.036	-0.07	0.01	0.04	0.017
KF00057	-0.059	-0.11	-0.02	0.063	0.022
KF00100	-0.017	-0.06	0.02	0.025	0.019
KF00040	0.071	0.04	0.12	0.074	0.019
KF00084	-0.045	-0.1	-0.01	0.05	0.022
KF00060	-0.001	-0.04	0.04	0.019	0.019
KF00041	-0.016	-0.08	0.02	0.03	0.025
KF00042	0.041	0.01	0.08	0.043	0.015
KF00061	0.028	0	0.06	0.032	0.016
KF00059	0.054	0.02	0.09	0.058	0.02
KF00083	-0.017	-0.05	0.02	0.028	0.022
KF00043	-0.056	-0.1	-0.02	0.059	0.019
KF00082	-0.025	-0.08	0.01	0.035	0.024
KF00064	0.052	-0.01	0.12	0.059	0.029
KF00044	0.003	-0.03	0.03	0.018	0.018
KF00067	-0.012	-0.05	0.06	0.029	0.027
KF00045	0.144	0.11	0.17	0.145	0.016
KF00046	-0.014	-0.14	0.04	0.038	0.036
KF00065	-0.062	-0.1	-0.03	0.065	0.019
KF00102	-0.015	-0.04	0.04	0.024	0.019
KF00047	-0.012	-0.05	0.03	0.021	0.018
KF00069	-0.108	-0.15	-0.06	0.11	0.021
KF00073	-0.086	-0.14	-0.01	0.09	0.028
KF00048	-0.006	-0.05	0.03	0.019	0.019
KF00072	0.082	0.04	0.14	0.086	0.023

KF00070	0.026	-0.04	0.07	0.037	0.026
KF00092	-0.014	-0.04	0.01	0.022	0.017
KF00049	0.017	-0.05	0.04	0.027	0.021
KF00071	-0.048	-0.07	-0.02	0.051	0.016
KF00051	0.021	-0.02	0.08	0.032	0.025
KF00052	-0.032	-0.06	0.01	0.036	0.016
KF00075	-0.033	-0.06	0.02	0.038	0.019
KF00053	0.033	-0.05	0.08	0.044	0.03
KF00077	-0.126	-0.16	-0.09	0.128	0.021
KF00076	0.006	-0.01	0.05	0.016	0.016

#### **4.7 Samlet vurdering av utført Georeferering**

Det er brukt FKB data som grunnlag for kontrollprofilsjekken. Av den grunn vil det være litt varierende treff mot disse kontrollprofilene uten at det betyr at det er noe feil med dataen. Det er store områder som har blitt matchet sammen og det er variasjon mellom kontrollflatene, men dette er innenfor det som er forventet.



## 5. KLASSIFISERING AV PUNKTSKY

Laserdata er bearbeidet videre for å fremstille ønskede produkter. Det er benyttet både automatiske og manuelle metoder for å klassifisere punktskyen. Det er utført en klassifisering av punktskyen. I dette prosjektet er laserdata separert i følgende klasser:

- 1) Uklassifisert
- 2) Terreng
- 7) Støy
- 10) Bru
- 13) Snø

### 5.1 Klassifisering «Terreng»

Terrengpunkter er klassifisert i klasse 2, denne klassen omfatter også punkter på vannoverflater(innsjø, hav og elv).

Klassifisering av terrengpunkter er den mest arbeidskrevende delen av klassifiseringen. I denne prosessen utføres først en automatisk filtrering av terrengpunkt gjennom egne definerte algoritmer. Det er forsøkt å finne en algoritme som best mulig fremskaffer terrengoverflaten. Utfordringer med algoritmen er å finne parametere som best mulig fanger opp detaljer på terrengoverflaten, men samtidig ikke inkluderer laserpunkter som er en del av vegetasjonen eller andre objekter som ikke er en del av terrengoverflaten. Faktorer som er styrende for valg av parametere er punkttetthet og topografi. Ved kupert terreng med store høydevariasjoner vil algoritmen som velges være mer aggressiv enn i områder med små høydevariasjoner. Det er derfor valgt ulike algoritmer for ulike deler av landet, men det er også nødvendig med lokale algoritmer innenfor hver skanneblokk. Etter en automatisk filtrering av terrengpunkt er det utført en manuell editering. I denne prosessen inspiseres resultatet av en operatør. Dette utføres ved en systematisk gjennomgang av området gjennom å visualisere en TIN-modell. Denne modellen tolkes visuelt og lokale endringer utføres. I områder hvor den automatiske algoritmen ikke er funnet optimal utføres en lokal filtrering med andre parametere. Videre editeres modellen ved å legge til eller fjerne enkeltpunkter for å danne en best mulig terrengoverflate.

### 5.2 Klassifisering «Støypunkter»

Støypunkter er klassifisert i klasse 7, denne klassen omfatter punkter på hvor lasersensoren har fått registrert signaler fra objekter som ikke er reelle.

Det er i hovedsak to kategorier av støypunkter. Laserpulsene har fått en ekstra signalrefleks(flerveisinterferens) fra ett objekt. Disse punktene vil ligge lavere enn terrengoverflaten og defineres som «low points». Størstedelen av punktene vil filtreres vekk i den automatiske filtreringen av terrengoverflaten. Gjenværende «low points» er omklassifisert i den manuelle editeringsprosessen. Den andre kategorien av støypunkter er punkter som ligger høyere enn omliggende laserpunkter. Dette kan være punkter har fått refleksjon fra fugler, skyer eller andre små partikler i luften. Størstedelen av disse punktene fjernes i ett filter gjennom avstand en algoritme som beregner avstander til

nabopunkter. Videre er det foretatt en manuell inspeksjon for å omklassifisere gjenværende støypunkter.

### **5.3 Klassifisering «Bruelementer»**

Brupunkter er klassifisert i klasse 10, dette gjelder bruer med størrelse over 10m<sup>2</sup>.

Det er benyttet FKB-data som støtte for å oppsøke brukonstruksjoner. Det er utført en vurdering av om FKB-data er korrekt. Andre bruelement funnet i laserdata som ikke inngår i FKB-data er også klassifisert. Alle lasepunkter på bruelementet er klassifisert.

### **5.4 Klassifisering «Uklassifisert»**

Punkter som ikke er klassifisert i noen av klassene beskrevet ovenfor (2,7,10 eller 13) er klassifisert i klasse 1 Uklassifisert. Dette er da punkter som har truffet vegetasjon, bygninger etc.

### **5.5 Vurdering av utført klassifisering**

Det er utført en klassifisering av skanneblokken og vi mener at kvaliteten er god.

Grunnet tilbakemelding har bru og støyklassifikasjon blitt utbedret og gjør kvaliteten enda bedre

## 6. FREMSTILLING AV HØYDEKURVER

Det er fremstilt høydekurver og forsenkningskurver med ekvidistanse 1m basert på den ferdige klassifiserte punktskyen og utvalgte FKB-data. Det er tilstrebet å fremstille høydekurver med ett godt visuelt utseende samtidig å ivareta høy nøyaktighet.

### 6.1 Utvalgelse av Terrengpunkt:

For å redusere datamengden og gi høydekurvene et godt visuelt utseende er det foretatt en utvalgelse av terrengpunkt som inngår i generering av høydekurvene. Utvalgelse av nøkkelpunkt foretas ved å velge ut punkter som gir ett glattere forløp enn ved bruk av samtlige terrengpunkt.

### 6.2 Utvalgelse av Vektordata:

Det er benyttet utvalgte vektordata fra FKB som brytlinjer til fremstilling av høydekurvene. Det er foretatt en utvalgelse basert på nytteverdi og synbarhet/kvalitet av vektorene. Vektordata som åpenbart ikke stemmer med terrenget er forkastet eller editert. Dette gjelder f.eks i området hvor det er utført en terrengendring mellom dato for utførelse av vektordata og laserskanning. Dette gjelder også spesielt vannpolygoner hvor vannstanden er forskjellig fra de ulike datoene for innsamling. Videre er hver objekttype gitt en ulik vektning ved generering av høydemodellen.

### 6.3 Editering av Høydekurver:

Det er foretatt en manuell editering av de fremstilte høydekurvene. Endringer har blitt utført ved spesielt områder med menneskeskapte objekter som f.eks bruer, bygninger, kulverter. Det er foretatt en fjerning av ringkurver under 10 m<sup>2</sup> for bedre visuell fremstilling. Kurver på vann/elv eller i bygninger er fjernet.

Det er registrert topp- og forsenkningspunkter i en egen operasjon.

Det er kontrollert at det ikke er kryssende høydekurver.

Høydekurver i bratte områder/overheng:

Høydekurver i bratte områder spesielt med overheng vil generering av høydekurver være krevende. Vår erfaring er at det er ulike oppfatninger fra kundene hvordan disse områdene ønskes presentert.

- Kryssende kurver tillates i overheng
- Editering av høydekurver slik at de ikke krysser
- Kun 5 meters kurver i bratt terreng.

### 6.4 Endelig fremstilling av Høydekurver:

Det er utført en konvertering av høydekurver til korrekt SOSI-syntaks. Det har blitt utført en klipping til prosjektgrense og oppdeling i leveringsenheter.

Det er ikke blitt utført konnektering av høydekurver. Dette er avtalt med oppdragsgiver.



## 6.5 Vurdering av høydekurver

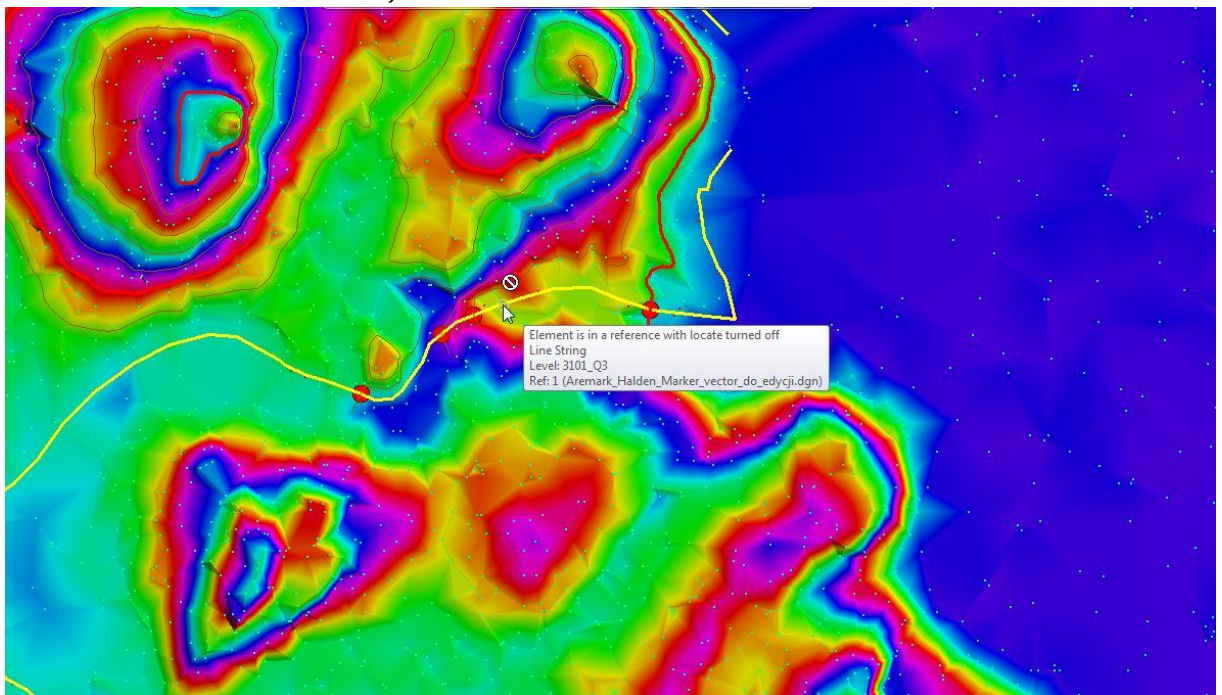
Vår vurdering er at de leverte høydekurver er av god kvalitet. Det har ikke vært oppdaget «unormale» problemer med utførelsen av generering av høydekurvene. Det har likevel vært utført en betydelig mengde arbeid med oppretting av eksisterende vektordata. Dette er hovedsakelig knyttet til vann/innsjø hvor koding i enkelte tilfeller har vært feil og vannstand ikke er på samme nivå som ved laserskanning.

Skanneblokken dekker både urbane områder og uberørte områder. Skanneblokken består av en relativt stor mengde områder med bratt topografi.

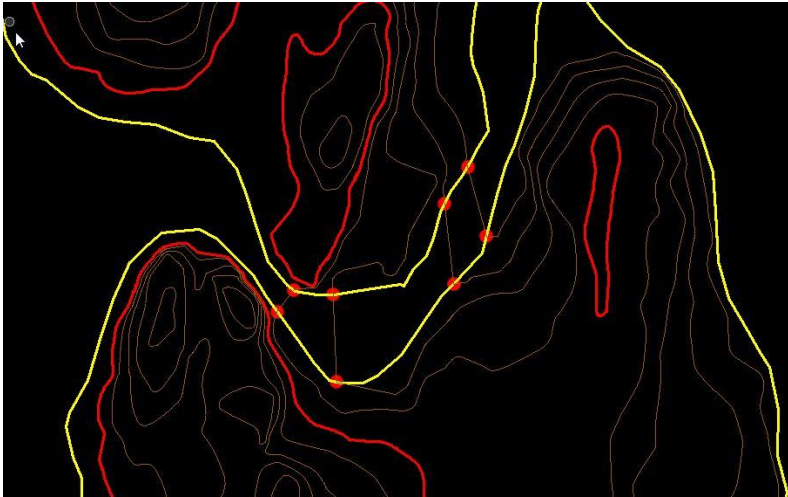
Prosjektet har blitt flydd i to sesonger, vår og høst. Vår datainnsamlingen hadde noen ufullstendige kommuner, for to av dem (Valer Eidsberg) ble det levert ufullstendige høydekurver i første leveranse. Disse kurvene har blitt erstattet med komplett leveranse med ny levering.

Det var en del problemer med kvaliteten på eksisterende vektordata. Vi har vasket noen vektorer med hensyn til kvalitet og segregert det på grupper Q1, Q2 og Q3 hvor du bruker kvalitet attributt. Nedenfor er en liste over eksempler på manuell oppretting / redigering eller handlinger som ble tatt i noen steder. Hovedsakelig knyttet til vann / innsjø vektordata.

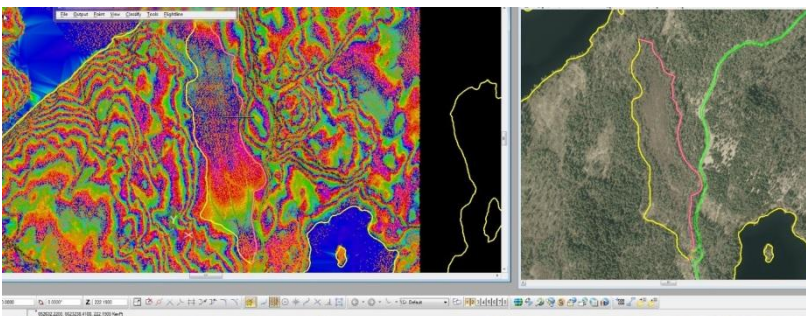
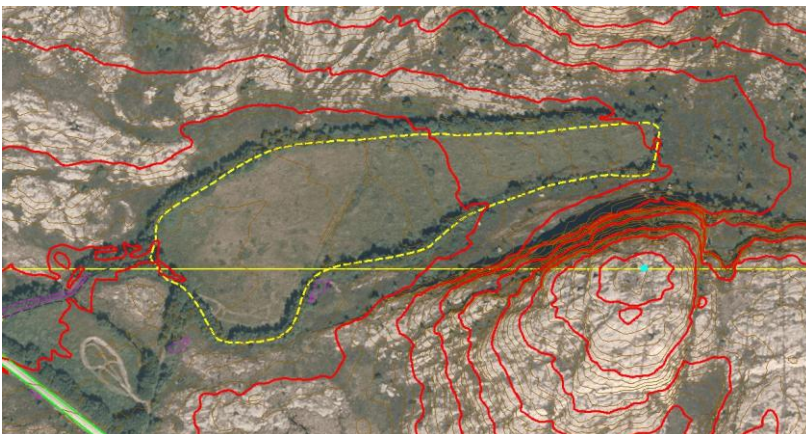
Vektor ofte kodet feil som innsjø:



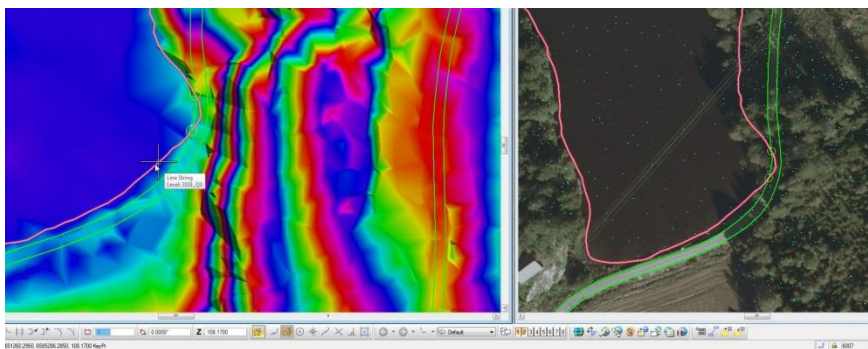
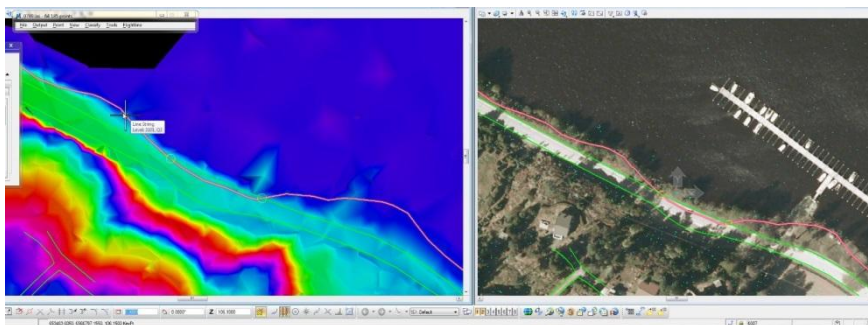
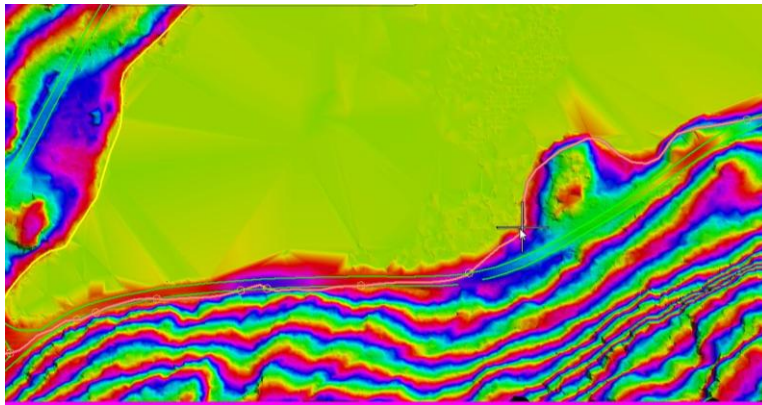




Ikke eksisterende innsjøer ble ignorert (bakke punkter og visuell kontroll med Ortho):



Innsjø vektordata (Q3) ble ofte ignorert under konturprosessen fordi vannstanden ikke er på samme nivå som ved etablering av kartverktordata (basert på DTM og vei vektor kollisjon)





## 7. LEVERANSER

Leveransen er utført i henhold til Produksjon av basis geodata og FKB-Laser. Leveransen omfatter skanneblokkene 2pkt Akershus og 2pk Østfold samt 5pkt Akershus og 5 pkt Østfold.

### 7.1 Endelig leveranse

Endelig leveranse av punktsky og metadata ble levert ved opplastning på FTP.

#### 7.1.1 Klassifiserte Laserdata

Ferdig klassifisert og kvalitetssikret punktsky er levert på LAZ format.

#### 7.1.2 Prosjektrapport

Denne skanneblokken inneholder både 2 og 5 punkt laserskanning.

#### 7.1.3 Prosjektavgrensning

Skanneblokken består av både 2 og 5 punkt skanning og det leveres separate avgrensningsfiler for de to skanningene.

Fil: LACH0001\_2/5\_Prosjektavgrensning.SOS

#### 7.1.4 Flystriper

Skanneblokken består av både 2 og 5 punkt skanning og det leveres separate filer med flystriper på sosi-format for de to skanningene.

Fil: LACH0001\_2/5\_Flystripe.SOS

#### 7.1.5 Kontrollflater og kontrollprofiler

Koordinater for kontrollflater og -profiler er levert. Innmåling og beregning er dokumentert i egen rapport.

Folder: Landmålingsleveranse

#### 7.1.6 Høydekurver

Leveranse av høydekurver ble levert ved opplastning på FTP

Det er levert fil med høydekurver med ekvidistanse 1 meter på sosi-format.

Folder: Høydekurver

