

# Laserskanning for nasjonal detaljert høydemodell

**NDH Jostedalsbreen 2pkt 2020**

## INNHOILDSFORTEGNELSE

<b>1. GENERELLE OPPLYSNINGER I PROSJEKTET .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1</b> OPPDRAGSGIVER .....	4
<b>1.2</b> OPPDRAGET .....	4
<b>1.3</b> OPPDRAGSTAKER .....	4
<b>1.4</b> KOORDINATSYSTEM .....	4
<b>1.5</b> GENERELL BESKRIVELSE AV NASJONAL DETALJERT HØYDEMODELL .....	5
<b>1.6</b> BESKRIVELSE AV SKANNEBLOKK .....	5
<b>1.7</b> KARTUTSNITT SKANNEBLOKK.....	7
<b>1.8</b> RAPPORT .....	7
<b>1.9</b> KVALITETSSIKRING .....	8
<b>2. ETABLERING AV KONTROLLPUNKT .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1</b> METODER FOR FREMSKAFFING AV KONTROLLFLATER .....	8
<b>2.1.1</b> Måling av kontrollflater med RTK-GNSS.....	8
<b>2.1.2</b> Måling av kontrollpunkt fra bil.....	8
<b>2.2</b> BENYTTETE KONTROLLDATA I SKANNEBLOKKEN .....	9
<b>3. GJENNOMFØRING AV LASERSKANNING .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1</b> BENYTTETE SENSORSYSTEMER .....	10
<b>3.2</b> INSTRUMENTKALIBRERING .....	10
<b>3.2.1</b> Leverandørkalibrering.....	10
<b>3.2.2</b> Installasjonskalibrering .....	10
<b>3.2.3</b> Prosjektkalibrering .....	11
<b>3.3</b> KLARMELDING.....	11
<b>3.4</b> UTFØRELSE AV DATAINNSAMLING.....	11
<b>3.5</b> KONKLUSJON AV NAVIGASJON .....	11
<b>3.6</b> AVVIK UNDER DATAINNSAMLING .....	11
<b>3.7</b> VURDERING AV RESULTAT FOR UTFØRT DATAINNSAMLING .....	11
<b>4. PROSESSERING AV GEOREFERERT PUNKTSKY.....</b>	<b>12</b>
<b>4.1</b> REFLEKTANS .....	12
<b>4.2</b> BEREGNING AV NAVIGASJONSLØSNING .....	13
<b>4.2.1</b> Vurdering av resultat av navigasjonsløsninger .....	14
<b>4.3</b> GEOREFERERING AV PUNKTSKY .....	14
<b>4.3.1</b> Transformasjoner .....	14
<b>4.3.2</b> Generering av punktsky.....	14
<b>4.3.3</b> Prosjektkalibrering .....	14
<b>4.3.4</b> Stripeutjevning.....	14
<b>4.4</b> KONTROLL AV TETTHET PUNKTSKY .....	15
<b>4.5</b> KONTROLL AV HOMOGENITET PUNKTSKY .....	15

4.6	KONTROLL AV HØYDENØYAKTIGHET .....	15
4.7	KONTROLL AV PUNKTSKY I BUFFERSONE .....	16
4.8	SAMLET VURDERING AV UTFØRT GEOREFERERING .....	16
<b>5.</b>	<b>KLASSIFISERING AV PUNKTSKY.....</b>	<b>17</b>
5.1	KLASSIFISERING «TERRENG» .....	17
5.2	KLASSIFISERING «STØYPUNKTER» .....	17
5.3	KLASSIFISERING «BRUELEMENTER» .....	18
5.4	KLASSIFISERING «SNØ/IS» .....	18
5.5	KLASSIFISERING «UKLASSIFISERT» .....	18
5.6	KLASSIFISERING «OVERLAPP» .....	18
5.7	VURDERING AV UTFØRT KLASSIFISERING .....	18
<b>6.</b>	<b>FREMSTILLING AV HØYDEKURVER.....</b>	<b>18</b>
<b>7.</b>	<b>LEVERANSER .....</b>	<b>19</b>
7.1	LEVERANSE AV FORELØPIG LEVERANSE .....	19
7.2	KOMMENTARER PÅ FEIL OG MANGLER I FORELØPIG LEVERANSE .....	19
7.3	ENDELIG LEVERANSE .....	19
7.3.1	<i>Klassifiserte Laserdata .....</i>	<i>19</i>
7.3.2	<i>Prosjektrapport.....</i>	<i>19</i>
7.3.3	<i>Prosjektavgrensning .....</i>	<i>19</i>
7.3.4	<i>Flystriper.....</i>	<i>19</i>
7.3.5	<i>Kontrollflater.....</i>	<i>19</i>

## 1. Generelle opplysninger i prosjektet

### 1.1 Oppdragsgiver

Navn:	Statens Kartverk
Besøksadresse:	Kartverksveien 21. Hønefoss
Postadresse:	PB 600 Sentrum, 3507 Hønefoss
Prosjektleder:	Jon Arne Trollvik

### 1.2 Oppdraget

Navn:	Nasjonal Detaljert Høydemodell
Nr/betegnelse:	NDH Jostedalsbreen 2pkt 2020
Skaneblokk:	G01_2p
Terratecprosjektnr:	10047
Terratecdekningsnr:	42406

### 1.3 Oppdragstaker

Navn:	Terratec AS
Besøksadresse:	Vækerøveien 3, 0281 Oslo
Postadresse:	Vækerøveien 3, 0281 Oslo
Prosjektleder:	Bernt Larsen
Fagansvarlig:	Petter Solli
Underleverandører:	-

### 1.4 Koordinatsystem

Datum:	Euref 89
Kartprojeksjon:	UTM
Sone:	32
Vertikalt høydesystem:	NN2000
Geoidmodell:	Href2018B

## 1.5 Generell beskrivelse av Nasjonal Detaljert Høydemodell

Det skal etableres en landsdekkende detaljert høydemodell innen 2022. For å etablere denne høydemodellen vil det bli benyttet eksisterende laserdata av god kvalitet, bildematching i fjellområder uten vegetasjon (separat anskaffelse) og ny laserskanning i perioden 2016-2021. I denne perioden fra 2016-2021 er planen å utføre laserskanning av ca. 230.000 km<sup>2</sup> av Norges landareal. Laserskanningen vil bli utført med minimum 2 pkt/m<sup>2</sup>. Utvalgte områder vil bli laserskannet med 5 pkt/m<sup>2</sup>.

**Teknisk spesifisering:** FKB-Laser10

**Skannevinkel:** Maksimum +/-25 grader fra loddlinjen.

**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), 12 (overlapp), 17 (brupunkter) og 24 (snø/is).

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

## 1.6 Beskrivelse av Skanneblokk

Det er utført en datainnsamling og leveranse av skanneblokk G01\_2p som inngår i Nasjonal Detaljert Høydemodell.

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

Skanneblokk: G01\_2p  
Totalt areal: 1135 km<sup>2</sup>  
Punktetthet: 2 pkt

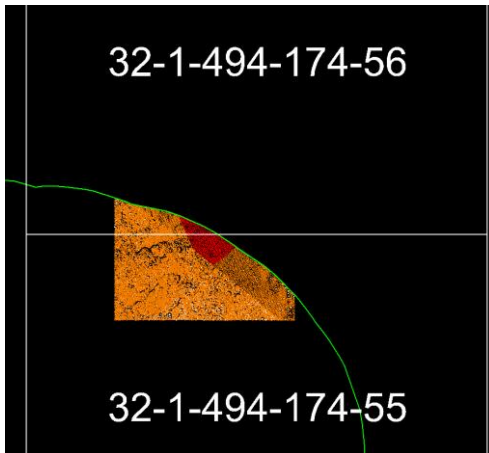
Avvik fra kravspesifisering:

## 01: Benyttet skannevinkel opp til 25 grader

Etter avtale med Statens Kartverk ble gitt tillatelse til å benytte skannevinkel utover 20 grader. Grunnet til dette er at områdene er kupert og dette vil medføre en betydelig forbedring av kvalitet av data.

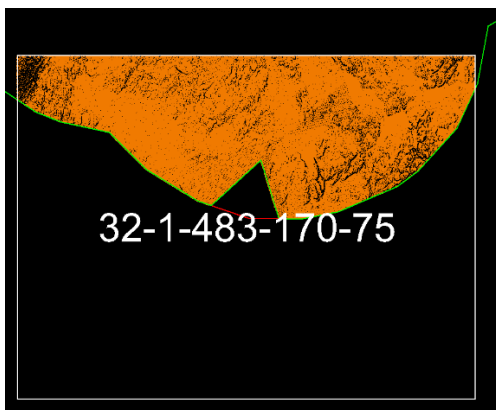
## 02: Benyttet skannevinkel > 25 grader

Buffersonen er ikke hensynstatt under flyplanlegging, det har vært nødt til å benytte skannevinkel opp til 27 grader i ett lite område som dekker filene 32-1-494-174-55 og 32-1-494-174-56. Området er vist i rødt.



## 03: Benyttet skannevinkel > 25 grader

Buffersonen er ikke hensynstatt under flyplanlegging, det oppstod derfor ett lite hull i datasettet i filen 32-1-483-170-75. Prosjektavgrensning er derfor justert i dette området.

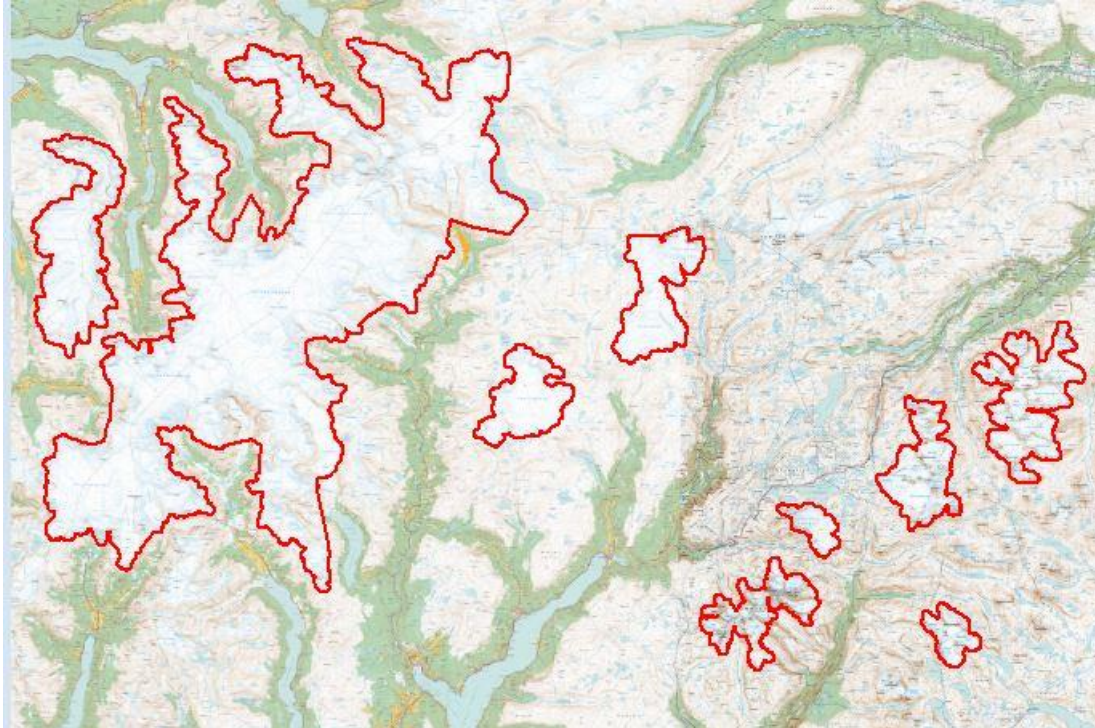


## 04: Benyttet klasse 12 overlap

Datainnsamling er utført over flere dager i august 2020 hvor temperaturen var høy. Det er betydelig snøsmelting mellom dagene. Differanser grunnet snøsmelting kan være opp mot 50cm. Dette gjelder spesielt tverrstiper som dekker mange ulike flydager. Ved å benytte alle flystriper vil dette ha stor negativ effekt både på stripeutjevning og klassifisering. I samråd med Statens Kartverk er derfor alle laserpunkt fra tverrstiper klassifisert til klasse 12.

Det vil forekomme effekter i form av differanser mellom flystriper i andre områder også grunnet snøsmelting, men i mindre grad da tidsforskjell er mindre. For å redusere effekten er det i overlappsoner med stor snøsmelting også klassifisert data til klasse 12. Som hovedregel er den siste flydato benyttet i disse tilfellene.

## 1.7 Kartutsnitt Skanneblokk



## 1.8 Rapport

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

Rapport utarbeidet,

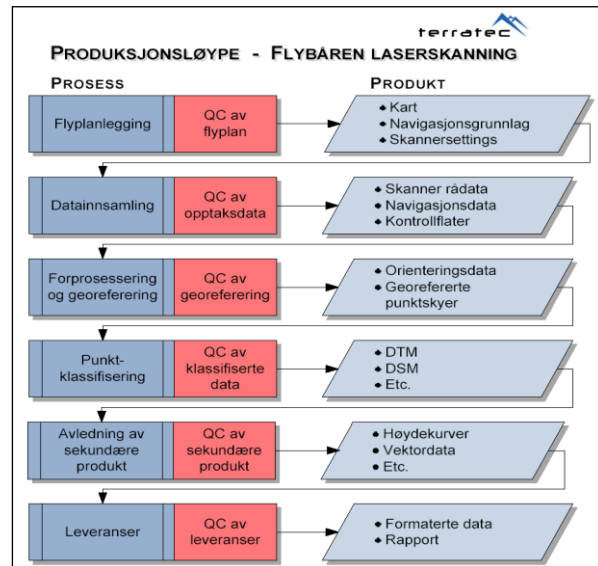
Vækerø, 17.11.2020

André Torsnes

## 1.9 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



## 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.

#### 2.1.2 Måling av kontrollpunkt fra bil

Hjulsporene med akseptert kvalitet tas inn i sin helhet for beregning av differanser mot punktskyen. En del av differansene vil ikke være egnet for kontroll eller justering. Typiske årsaker vi kunne være f.eks.: bilen har kjørt inn i en tunnel eller under en bro, eller at det er



utført inngrep i terrenget i perioden mellom måling og flybåren datafangst. I tillegg kommer naturligvis eventuelle grove feil i måledata.

Differansene må derfor gjennomgå en rensing før et globalt skift kan avledes. Denne rensingen baseres på såkalte robuste statistiske metoder. Robust statistikk har en meget høy toleranse for avvikende data (både antall feil og størrelsen på feilene), og er vesentlig bedre egnet enn f.eks. minste kvadraters metode.

Som et første steg beregnes medianen som et estimat på forventning, og interkvartildistansen som spredningsmål. I praksis vil dette gi gode resultater selv der 30-40 % av data er grove feil. Reell datakvalitet forventes å være betydelig bedre.

I neste steg forkastes data som avviker mer enn +/-1.5 ganger interkvartildistansen. For normalfordelte data svarer disse grenseverdiene til en feilslutningssannsynlighet på ca. 5 %. En ny beregning av median og interkvartildistanser gjøres deretter globalt, og i tillegg isolert for hver av de fire kvadrantene av datasettet. På denne måten verifiseres konsistensen i datasettet, og gjør at avvikende områder kan identifiseres og isoleres.

En operatør vil avgjøre om resultatet er tilfredsstillende, eller om eventuelle avvikende områder må undersøkes nærmere. Prosessen vil da gjentas med nye data som input.

Etter fjerning av grove feil vil datamaterialet være tilnærmet normalfordelt, noe som også kan underbygges av Sentralgrenseteoremet. Midlere differanse vil være et optimalt estimat for skiftet, og standardavviket et realistisk estimat på spredningen. Det er satt opp et automatisk filter som eksporterer punkter som tilfredsstillende krav til høy nøyaktighet.

Vi henviser til [vedlegg 5](#) for egen landmålingsrapport.

## 2.2 Benyttede kontrolldata i skanneblokken

Det er i denne skanneblokken fremskaffet kontrollpunkter på følgende metode:

### Måling av kontrollpunkt fra bil:

Utført av:	Terratec AS
Antall kontrollpunkt:	159220
Målemetode:	Hjulspor bakhjul
Målebil:	KH61641, DP66842

Det henvises til [vedlegg 5](#) for dokumentasjon av utførelse av måling av kontrollpunkt fra bil.

### 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
<b>Lasersensor:</b>		
Fabrikat	Riegl	Riegl
Type	VQ-1560ii	VQ-1560ii
Serienr	S2222735	S2222736
Kalibrering	16.04.2020	18.02.2020
<b>IMU:</b>		
Fabrikat	Trimble Applanix	Trimble Applanix
Type	IMU-57	IMU-57
<b>Gyromount:</b>		
Fabrikat	SOMAG	SOMAG
Type	GSM4000	GSM4000
<b>GNSS:</b>		
Fabrikat	Trimble Applanix	Trimble Applanix
Type	AV-610 ver 6	AV-610 ver 6
Loggrate	5 Hz	5 Hz
<b>Fly:</b>		
Fabrikat	Piper PA-31-350 Chieftain	Piper PA-31 Navajo
Kallesignal	LN-TTA	LN-NAB
Trykkabin	Nei	Nei

#### 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.

**Det henvises til gjeldene leverandørkalibrering i vedlegg 1.**

##### 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 avstandskorleksjoner 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 Klarmelding

Klarmelding: 03.08.2020

## 3.4 Utførelse av datainnsamling

Terratec AS har gjennomført laserskanningen i følgende operasjoner:

Flydato	Konfigurasjon	Skyforhold	Vind	Kommentar
09.08.2020	1	Bra	Ingen turbulens	
10.08.2020	1	Noe skyer	Ingen turbulens	
15.08.2020	2	Noe dis	Ingen turbulens	
16.08.2020	2	Bra	Ingen turbulens	
18.08.2020	2	Noe dis og skyer	Ingen turbulens	

Progresjon av flystriper per flydato er beskrevet i [vedlegg 2](#). Her er også informasjon om flysensor og flyplan på de overnevnte dagene.

## 3.5 Konklusjon av navigasjon

Løsningene er beregnet med Terrapos 2.5.90. Det er ingen datagap i IMU- eller GNSS-dataene under datainnsamling. Den estimerte nøyaktigheten sammen med en rekke kvalitetskontroller i programvaren viser at løsningene er gode og innenfor spesifikasjonene til instrumentet.

Ingen spesifikke feil/hendelser under datafangst, ref. [vedlegg 2](#)

## 3.6 Avvik under datainnsamling

- Ingen avvik

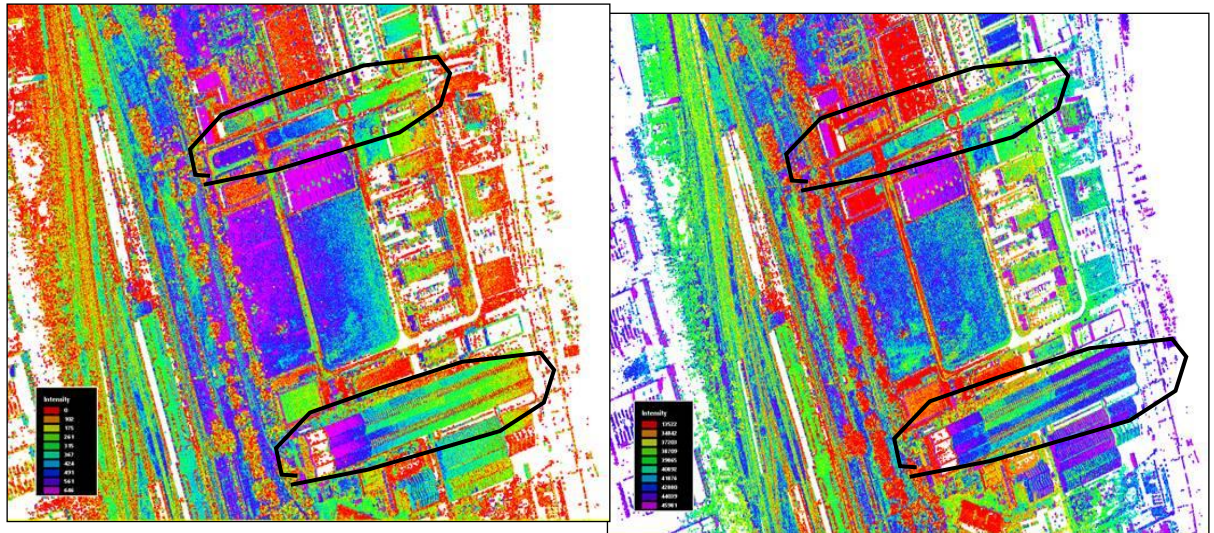
## 3.7 Vurdering av resultat for utført datainnsamling

Det er ikke oppstått noen feil eller vanskeligheter under datainnsamling, og kvaliteten på dataene anses som gode.

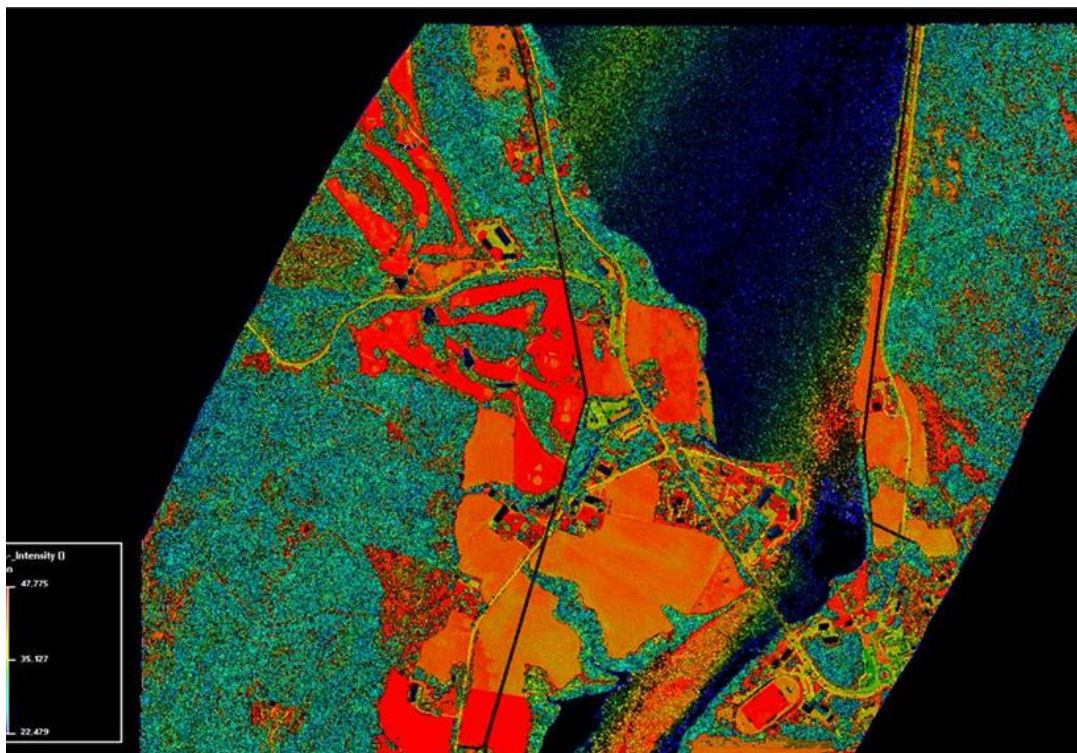
## 4. Prosessering av georeferert punktsky

### 4.1 Reflektans

Dette datasettet har blitt prosessert med reflektans. Reflektans er en moderne metode for å lagre intensitetsverdier. Reflektans (ikke som amplitude) er korrigert for spredning. Dette gir homogene intensitetsverdier for like objekter uavhengig av skannevinkel og avstand fra skanner.



Eksempel på punktsky klassifisert etter intensitetsverdier (Illustrasjon fra Riegl VUX-1). Til venstre vises amplitude, med tydelig variasjon i intensitet ut mot kantene, se for eksempel områder ringet rundt i svart. Til høyre vises samme område med reflektansverdier. En kan se at intensitetsverdiene er mer homogene over samme type overflate.



Reflektansen er stabil både på jorder og i skogen, uavhengig av skannevinkel og avstand.

Reflektans er en egenskap til et objekt og refererer til den optiske styrken som er reflektert på en viss bølgelengde. Riegl's V-type instrumenter har mulighet for å måle reflektansverdi for

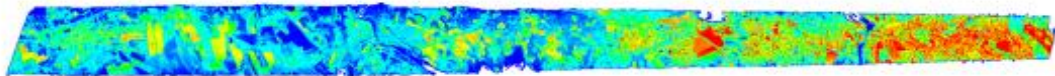


hvert objekt, som et ekstra attributt. Reflektansen som blir samlet inn er en ratio av den faktiske optiske amplituden for det objektet sammenlignet med amplituden til et hvitt flatt objekt på samme avstand med verdien gitt i desibel (dB). Negative verdier indikerer objekter som reflekterer spredte returer, mens positive verdier er objekter med mer direkte samlet returer. Reflektans er uavhengig av avstand, og er derfor et perfekt attributt for mange forskjellige klassifikasjoner og vil derfor være til nytte i videre prosessering.

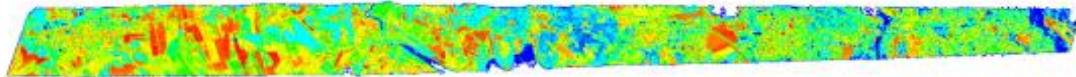


## Resultater testprosessering: stigende/synkende flyhøyde:

Amplitude: avhengig av flyhøyde



Reflektans: I teorien uavhengig av flyhøyde



*Flystripe fløyet med stigende flyhøyde, prosessert med amplitude (over) og reflektans (under). En ser tydelig at der stripa blir bredere (større flyhøyde) går amplitudeverdien ned, mens for reflektansverdier holder de seg relativt homogene over hele flystripa.*

## 4.2 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 fasesentereksentrisitet 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 enhver tid aktuelle ITRF-versjon) til

Euref89. Det påføres ingen høydeformasjoner før punktskygenerering, det benyttes ellipsoidiske høyder relativt GRS80-ellipsoiden.

#### 4.2.1 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.

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.

Viser til vedlegg 2 for en detaljert beskrivelse og resultater av beregnet navigasjonsløsning.

### 4.3 Georeferering av punktsky

#### 4.3.1 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

Høydeformasjoner Ellipsoidisk – NN2000

Høydeformasjoner fra ellipsoidiske til ortometriske høyder er utført med geoidmodell generert i WSK Trans, Href2018B utgitt av Statens kartverk.

#### 4.3.2 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 UTM32.

#### 4.3.3 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.

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

Det har ikke blitt estimert unormale verdier under denne prosessen. Resultater fra denne kalibrering vises i **vedlegg 3**.

#### 4.3.4 Stripeutjevning

Det er foretatt en stripeutjevning for å løse ut gjenværende tilfeldige avvik mellom flystripene i prosjektet. Tverrstriper er utelatt i denne stripeutjevningen. Dette grunnet det er betydelig differanser forårsaket av snøsmelting mellom de ulike innsamlingsdagene. I stripeutjevningen inngår alle flystriper som ikke vil påvirke negativt for å redusere effekter av variasjon av GNSS/IMU.

**Vurdering av resultater:**

Det har ikke blitt estimert unormale verdier under denne prosessen. Resultater fra denne kalibrering vises i [vedlegg 4](#).

**4.4 Kontroll av tetthet punktsky**

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

Tabell som viser fordeling av punkttetthet innenfor rutene:

Punkttetthet (pkt/m <sup>2</sup> )	Andel (%)
>100%	99.6
85-100%	0.3
60-85%	0.1

**Vurdering av resultatene:**

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

**4.5 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.

**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.

**4.6 Kontroll av høydenøyaktighet**

**Kontroll mot kontrollpunkt fra bil:**

Det er gjort beregninger på høydeavvik mellom laserdataene og kontrollpunkter fremskaffet fra hjulsporene til målebil (ref. 2.1.2). Høydejustering er gjort med medianverdien av avviket mellom laserdataene og kontrollpunktene. Justeringen under er påført hele blokken eller per delblokk.

Blokk	Justering (m)
G01_2p	-0.16

Nedenfor vises statistikk for alle kontrollpunktene etter justering av datasettet. Alle beregninger er listet i [vedlegg 6](#).

Kontrollflater	Median dH (m)	Maksimum dH (m)	Minimum dH (m)	Standardavvik (m)
Bil	0.000	0.120	-0.120	0.052

**Vurdering av resultatene:**

Avvikene mellom kontrollflater og laserdata relativt små og innenfor forventningen.

#### 4.7 Kontroll av punktsky i buffersone

Det er utført en kontroll av punktsky i buffersone mot leverte naboblokker i NDH. Dette er utført ved å sammenligne høydeverdier på den automatisk klassifiserte leveransen til dette prosjektet, med høydeverdier for leverte naboblokker i buffersonen. Formålet med denne kontrollen er å verifisere homogenitet i høydemodellen og oppdage eventuelle avvik som kan rettes opp før endelig levering av gjeldende prosjekt. Det er beregnet en dZ-verdi som viser avvik for bakkemodellene i hele buffersonen, samt på harde flater (punkter innenfor vegpolygon fra FKB-data). For analysen på harde flater er samme utregningsmetode og filtrering brukt som for hjulspormetoden for kontrollflater. Verdier fra kontrollen er listet i tabellen under. Positive verdier betyr at dette prosjektet ligger, i gjennomsnitt, høyere enn analyserte naboblokker. Gråskala dZ-grid finnes i vedlegg til leveransen.

Verdier fra kontrollen for hele buffersonen er listet i tabellen under.

Naboblokk	Gjennomsnitt dZ, hele buffersonen (m)
A38_2p (2019)	+0.10
C20_2p (2016)	+0.10
C21_2p (2016)	-0.03
C22_2p (2019)	+0.07
C23_2p (2016)	+0.03

\*alle blokkene har mer eller mindre større områder som ser ut til å være dekket av snø i G01. For alle blokkene har filtreringen ved utregning av gjennomsnittsverdien utelatt det meste av store avvik (områder med snø).

G01 har ingen FKB vegpolygoner innenfor naboblokkavgrensningen til naboblokkene, og det er derfor ikke utført en analyse på harde flater.

**Vurdering av resultatene:**

Toleransekravet for systematisk avvik i høyde er på 10 cm, og beregnet avvik mellom laserdataen i buffersonen er derfor innenfor det som kan forventes.

#### 4.8 Samlet vurdering av utført georeferering

Resultater fra prosjektkalibrering, stripeutjevning og kontroll av høydenøyaktighet, og kontroll av punktsky i buffersone viser ingen avvik eller unormale verdier.

Det er ikke gjort noen sjekk mot grunnriss i denne blokken da det ikke finnes nok referansedata (vektordata for mønelinjer). Nøyaktigheten i grunnriss ligger mest sannsynlig i nærheten av andre NDH-prosjekter.



## 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
- 12) Overlapp
- 17) Bru
- 24) 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 «lowpoints». Størstedelen av punktene vil filtreres vekk i den automatiske filtreringen av terrengoverflaten. Gjenværende «lowpoints» er omklassifisert i den manuelle editeringsprosessen. Den andre kategorien av støypunkter er punkter som ligger høyere enn omliggende laserpunkter. Dette kan være punkter som 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 17, 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 laserpunkter på bruelementet er klassifisert.

## 5.4 Klassifisering «Snø/Is»

Snø/Is er klassifisert i klasse 24, med snø/is menes snødekte områder. Klassifiseringen er utført ved en visuell vurdering av intensitet og utseendet av overflaten fra laserdata.

I områder hvor det er betydelig sprekkdannelse er det arbeidet med å unngå å klassifisere disse sprekke til klasse 24 (snø). Med dette følger DTM dermed toppen av isbreen og ikke ned i sprekke. Ned i sprekke er laserpunkter klassifisert i klasse 1.

Det er i overlappsoner med betydelig snøsmelting benyttet data med seneste datafangst dato inn i klasse DTM. Data fra tidligere innsamlingstidspunkt i overlappsområdene legges til klasse 12 (overlapp).

## 5.5 Klassifisering «Uklassifisert»

Punkter som ikke er klassifisert i noen av klassene beskrevet ovenfor (2, 7, 17 eller 24) er klassifisert i klasse 1 Uklassifisert. Dette er da punkter som har truffet vegetasjon, bygninger etc.

## 5.6 Klassifisering «Overlapp»

Punkter som tilhører tverrstriper som ikke trengs for dekning, klassifiseres til klasse 12. Dette er hovedsaklig for å skjule endringer som skjer mellom flyvningene, som skjer i større grad på isbreer enn i vanlige prosjekter.

## 5.7 Vurdering av utført klassifisering

Det er utført en klassifisering av skanneblokken og kvaliteten vurderes som god. En del av en tverrstripene er ikke klassifisert til overlapp for å dekke noen skyggeområder grunnet kupert terreng.

## 6. Fremstilling av høydekurver

Høydekurver og rapport er en egen leveranse.

## 7. Leveranser

Leveransen er utført i henhold til Produksjon av basis geodata og FKB-Laser. Leveransen omfatter skanneblokk G01\_2p .

Las-filer er inndelt i.h.h.t. kartbladinnndeling 1:1000 (800x600m).

Dekningsoversikt	NDH Jostedalsbreen 2pkt 2020_Projektavgrensing.sos
Flystripe	NDH Jostedalsbreen 2pkt 2020_Flystripe.sos
Homogenitet	NDH Jostedalsbreen 2pkt 2020_Homogenitet.rar
Kontrollflater	NDH Jostedalsbreen 2pkt 2020_kontrollflater.sos

### 7.1 Leveranse av foreløpig leveranse

En automatisk klassifisert punktsky ble levert 29.09.2020 på LAZ-format. Laserdata var georeferert internt og justert til ortometriske høyder. Laserdata ble ikke klippet til prosjektavgrensninger. Inndeling og navngiving i henhold til FKB-laser. Leveransen ble levert direkte til oppdragsgiver på FTP-server.

### 7.2 Kommentarer på feil og mangler i foreløpig leveranse

- Vi henviser til kommentarer i QC-rapport i portal

### 7.3 Endelig leveranse

Endelig leveranse av punktsky og metadata ble levert ved opplastning i forvaltningsløsning for høydedata 23.11.2020.

#### 7.3.1 Klassifiserte Laserdata

Ferdig klassifisert og kvalitetssikret punktsky er levert på LAZ format. Filene er kodet med HREF og VREF og følger inndeling og navngiving i henhold til FKB-Laser.

#### 7.3.2 Prosjektrapport

Det leveres rapport ved endelig leveranse.

#### 7.3.3 Prosjektavgrensing

Det er levert en prosjektavgrensing som omslutter den leverte punktskyen.

Fil: NDH Jostedalsbreen 2pkt 2020\_Projektavgrensing.sos

#### 7.3.4 Flystriper

Det leveres separat fil med flystriper på SOSI-format.

Fil: NDH Jostedalsbreen 2pkt 2020\_Flystripe.sos

#### 7.3.5 Kontrollflater

Koordinater for kontrollflater er levert på SOSI-format. Innmåling og beregning er dokumentert i egen rapport.

Fil: NDH Jostedalsbreen 2pkt 2020\_Kontrollflater.sos

# VEDLEGG

- Vedlegg 1: Leverandørkalibrering
- Vedlegg 2: GNSS-INS
- Vedlegg 3: Prosjektkalibrering
- Vedlegg 4: Stripeutjevning
- Vedlegg 5: Kontrolldatarapport
- Vedlegg 6: Kontroll av høydenøyaktighet