

**ELFORSK**



# DAMMSÄKERHET

Utvärdering av kombinerad topografisk och  
batymetrisk flygburen laserskanning i  
vattenkrafttillämpningar

Rapport 14:11

# Utvärdering av kombinerad topografisk och batymetrisk flygburen laserskanning i vattenkrafttillämpningar

Elforsk rapport 14:11

Ante Erixon, TerraTec Sweden AB

Mars 2014



## Förord

Projektet har utvärderat kombinerad topografisk och batymetrisk flygburen laserskanning i vattenkrafttillämpningar. Grunden till utvärderingen var att tekniken har visat potential att effektivt kunna samla in både terräng- och djupdata i älvdalar och älvsträckor av intresse i vattenkraft- och dammsäkerhetssammanhang.

Terratec har genomfört projektet. Utvärderingen visar att tekniken för insamling av djupdata inte möter de uppställda förväntningarna på djuppenetration och noggrannhet i vattenkrafttillämpningar. Det hänger antagligen samman med att de bottenförhållanden och siktdjup som råder i den svenska älvmiljön skiljer sig från de kustnära havszoner där tekniken tidigare visat goda resultat.

Rapporten är ett resultat inom Elforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsarbete. Elforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsarbete syftar till att långsiktigt stödja kraftindustrins dammsäkerhetspolicy, ge stöd åt fortsatt utveckling av branschens riktlinjer (RIDAS) och att främja kunskaps- och kompetensutveckling inom dammsäkerhetsområdet.

Stockholm mars 2014

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Cristian Andersson', with a long horizontal line extending to the right.

Cristian Andersson

## Sammanfattning

Projektet har utvärderat kombinerad topografisk och batymetrisk flygburen laserskanning i vattenkrafttillämpningar i tre områden i Fjällsjön, Bodumsjön och Åseleälven. Grunden till utvärderingen var att tekniken har visat potential att effektivt kunna samla in både terräng- och djupdata som är av intresse i vattenkraft- och dammsäkerhetssammanhang.

Topografisk skanning kan nyttjas för dokumentation av landområden och batymetrisk skanning kan nyttjas för dokumentation botten-topografi i vatten- och vattendrag. Teknik och noggrannhet för topografisk skanning är väl känd. För batymetrisk skanning finns sedan tidigare goda exempeldata i andra tillämpningar för ned till 20 m djup.

Tekniken som testats i projektet skulle kunna innebära en effektiv möjlighet att samla in terräng- och djupdata med en kombinerad sensor. Syftet har varit att utvärdera teknikens användbarhet i vattenkrafttillämpningar med hjälp av väl kända älvsträckor. Terratec AS har genomfört skanning och utvärdering.

Förväntningarna inför utvärderingen var:

- Förväntad djuppenetration på 15 m i klart vatten (2-3 ggr Secchi-djupet, siktdjupet är helt avgörande för resultatet då metoden är baserad på fortplantning av ljusvågor i vatten)
- Förväntad noggrannhet på 10 cm för botten-topografi och 5 cm för terrängdata under optimala förhållanden
- Förväntad bra data också i grunda områden i strandzoner samt för grunda älvsträckor med strömmande vatten

Slutsatserna från försöken i Bodumsjön, Fjällsjön och Åsele älv är:

- Bottendata ned till ett djup på 1,5 m har registrerats vilket är avsevärt grundare än förväntat
- Siktdjup uppmätt till 2,5 - 3 meter
- Chiroptera-systemet ger dåligt resultat i de aktuella områdena; ej möjligt att nå 2 - 3 ggr siktdjupet
- Resultatet hänger antagligen samman med bottenförhållanden i områdena (mörka, bevuxna eller steniga bottenar med dålig reflexion) i kombination med begränsat siktdjup på grund av akvatiska humusämnen.
- Årstidsberoende för siktdjupet kan inte uteslutas (datainsamlingarna är utförda sent på hösten)
- De flesta tidigare empiriska studierna är baserade på kustnära havszoner. Utvecklade metoder för t.ex. signalanalys för insjöar och älvar kan ge bättre utfall i framtiden.

En bildserie som summerar bakgrund, förväntningar och målsättning, begränsningar, resultat och slutsatser från projektet finns i bilagor till denna rapport liksom rapportering av mätmetod och resultat för respektive teststräcka från försöken.

## Summary - Evaluation of combined topographical and bathymetrical air borne laser scanning in hydro power applications

The project has evaluated combined topographical and bathymetrical air borne laser scanning in hydro power applications in three areas in Fjällsjön, Bodumsjön and Åsele river. The basis for the evaluation was that the technology has shown potential to efficiently collect both topographical land information and depths in rivers and lakes.

For bathymetrical scanning in other applications depths down to 20 m have been documented with good accuracy.

The aim has been to evaluate the technology's potential in hydro power applications through tests in well documented river stretches.

Terratec have done the scanning and the evaluation.

The expectations before the evaluation were:

- Expected depth penetration of 15 m in clear waters (2-3 times the Secchi-depth, the visibility depth is entirely deciding for the result since the method is based on breeding of light in waters)
- Expected accuracy of 10 cm for depths and 5 cm for land information at optimum conditions
- Expected good data quality also in shallow areas and for shallow river stretches with running water

The conclusions from the tests in Bodumsjön, Fjällsjön and Åsele river is:

- Depth data down to 1,5 m has been registered, which is substantially lower than expected
- Visibility depths measured to 2,5 - 3 meters
- The Chiroptera-systemet gives poor result in the current areas; it is not possible to reach 2 - 3 times the visibility depths
- The poor results are probably due to the bottom conditions in the tested areas (dark or unanimous bottoms with poor reflexion) combined with limited visibility depths.
- Season dependency regarding visibility depths cannot be omitted (the data was collected in the autumn)
- Previous empirical studies are based on marine zones. Developed methods for data analysis in lakes and rivers could improve the results in the future

Reports on measurement method and results for the three areas in Fjällsjön, Bodumsjön and Åsele river are attached to this report as well as a slide series that are summing up the project results.

## Innehållsförteckning

|          |                                                                                      |          |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Bildserie – Testprojekt topografisk och batymetrisk laserskanning</b>             | <b>1</b> |
| <b>2</b> | <b>Rapport for testprojekt: Topologisk och Batymetrisk laserskanning - Fjällsjön</b> | <b>2</b> |
| <b>3</b> | <b>Rapport for testprojekt: Topologisk och Batymetrisk laserskanning - Bodumsjön</b> | <b>3</b> |
| <b>4</b> | <b>Rapport for testprojekt: Topologisk och Batymetrisk laserskanning – Åsele älv</b> | <b>4</b> |

# 1 Bildserie – Testprojekt topografisk och batymetrisk laserskanning

Bildserie som summerar bakgrund, förväntningar och målsättning, begränsningar, resultat och slutsatser från projektet.

# Testprojekt topografisk och batymetrisk laserskanning

Ante Erixon, 2014-02-13

# Introduktion

- ✓ Totalleverantör av geodata med tjänster inom flygfotografering, laserskanning, kartering och 3D-visualisering
- ✓ TerraTec AS, etablerat 2004 i Norge
- ✓ Koncernen TerraTec Group innefattar dotterbolag i Sverige, Finland och Estland



## Bakgrund - laserskanning

- Utvecklat för militära ändamål, i civilt bruk sedan 1990-talet
- Kan indelas i topografisk resp. batymetrisk skanning
- Topografisk skanning nyttjas för dokumentation av landområden, kraftledningar, stadsmiljöer m.m.
- Batymetrisk skanning huvudsakligen nyttjat för dokumentation och övervakning av kustnära havszoner

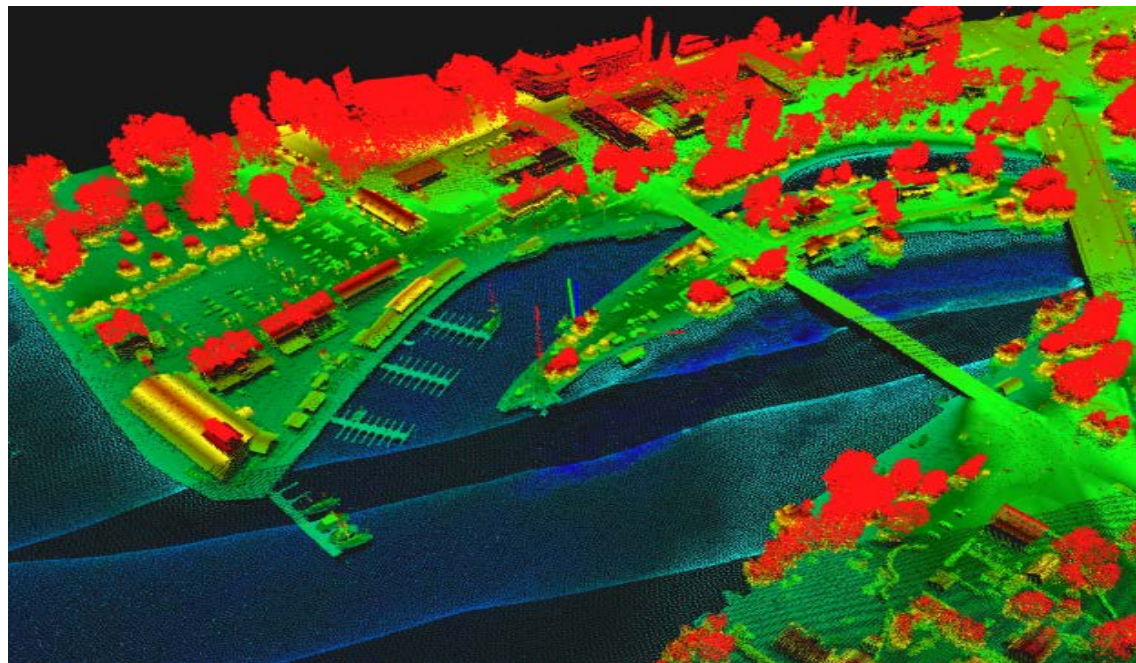
## Bakgrund till projektet

- TerraTec opererar tre topografiska laserskanningssystem
- 2012 initierades ett projekt för praktiskt utvärdering av möjligheten att insamla terräng- och djupdata med en kombinerad sensor
- Testperiod november – december 2012 (2013)
- Testprojektet utförs i samarbete med ett flertal nordiska intressenter med möjligt behov för denna typ av data

## Förväntningar och målsättningar

- Insamling av data för älvar, sjöar och hav (kustnära zoner)
- Förväntad djuppenetration 15 m i klart vatten  
(Siktdjupet är helt avgörande för resultatet då metoden är baserad på fortplantning av ljusvågor i vatten)
- Förväntad noggrannhet 10 cm för vatten och 5 cm för terrängdata under optimala förhållanden
- Förväntan om bra data också i grunda områden i strandzoner samt för grunda älvsträckor med strömmande vatten

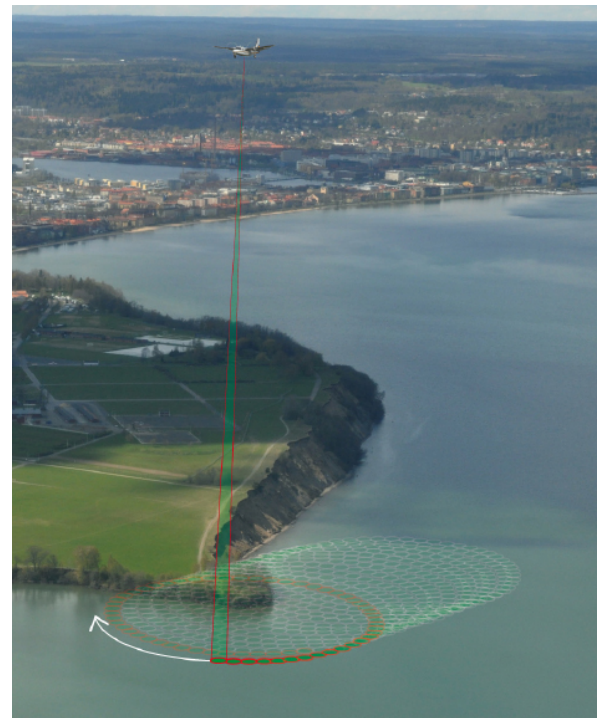
## Samtidig insamling av "topo- och batydata"



Minskad kostnad för datafångst då det ej erfordras två separata flygningar för att fånga terräng resp. djupdata

# Chiroptera-systemet

- Topografisk skanner – röd laser (1064 nm)
- Batymetrisk skanner – grön laser (572 nm)
- Elliptiskt skanningsmönster
  - Mindre känslig för våginterferens
  - Registrerar elektroniskt vågform från två olika infallsvinklar
- Djuppenetration, 2 – 3 ggr Secchi-djupet



# Vilka faktorer påverkar djuppenetrationen?

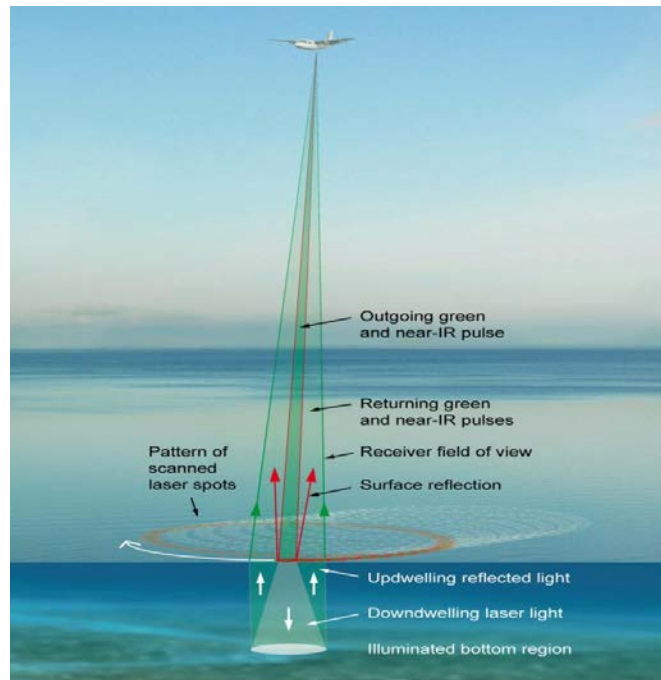
- Turbiditet i vattenmassan (Secchi-djup)
- Bottenförhållanden
  - Mjuka, mörka sediment (silt, lera) ger dålig reflektion
  - Bottenvegetation påverkar reflektion
  - En stenig och oregelbunden bottenyta ger sämre reflektion
- Förhållanden vid vattenytan



# Vilka faktorer påverkar djuppenetrationen?

Förluster av energi sker vid/genom:

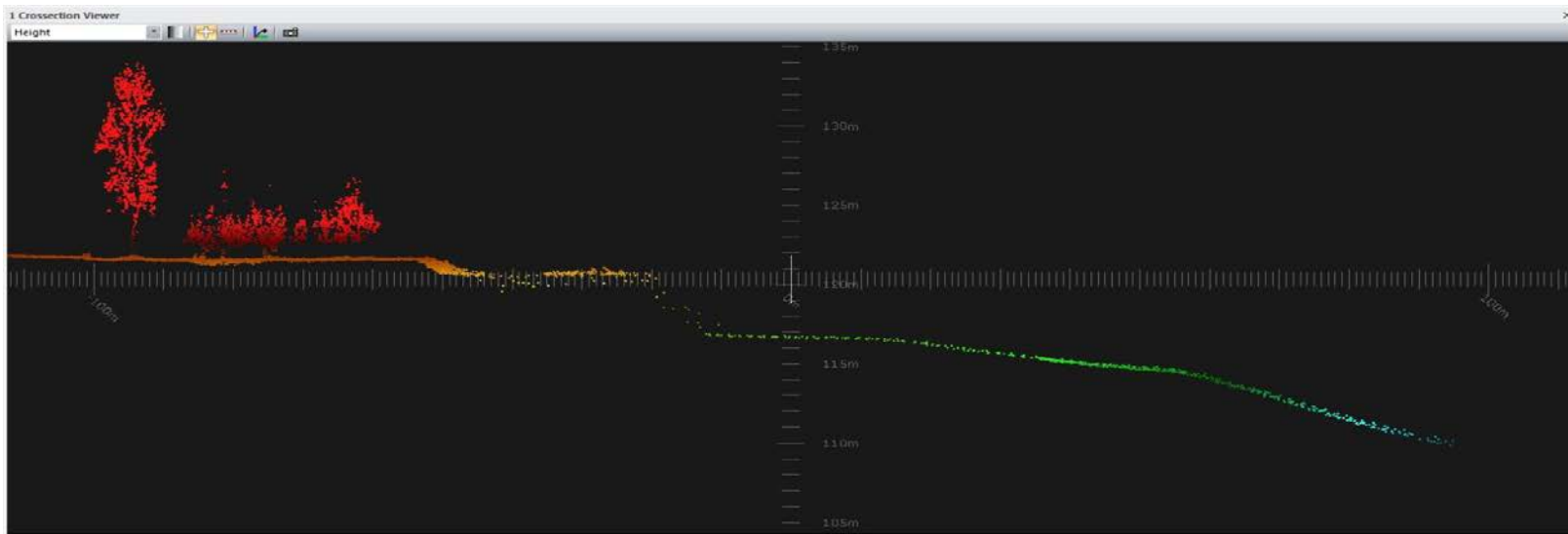
- Passage genom atmosfär
- Ytreflektion när pulsen når vattnet
- Absorption i vattenmassan
- Absorption och isotropisk reflektion från botten
- Intern reflektion från vattenytan vid retur
- Förluster i mottagaren



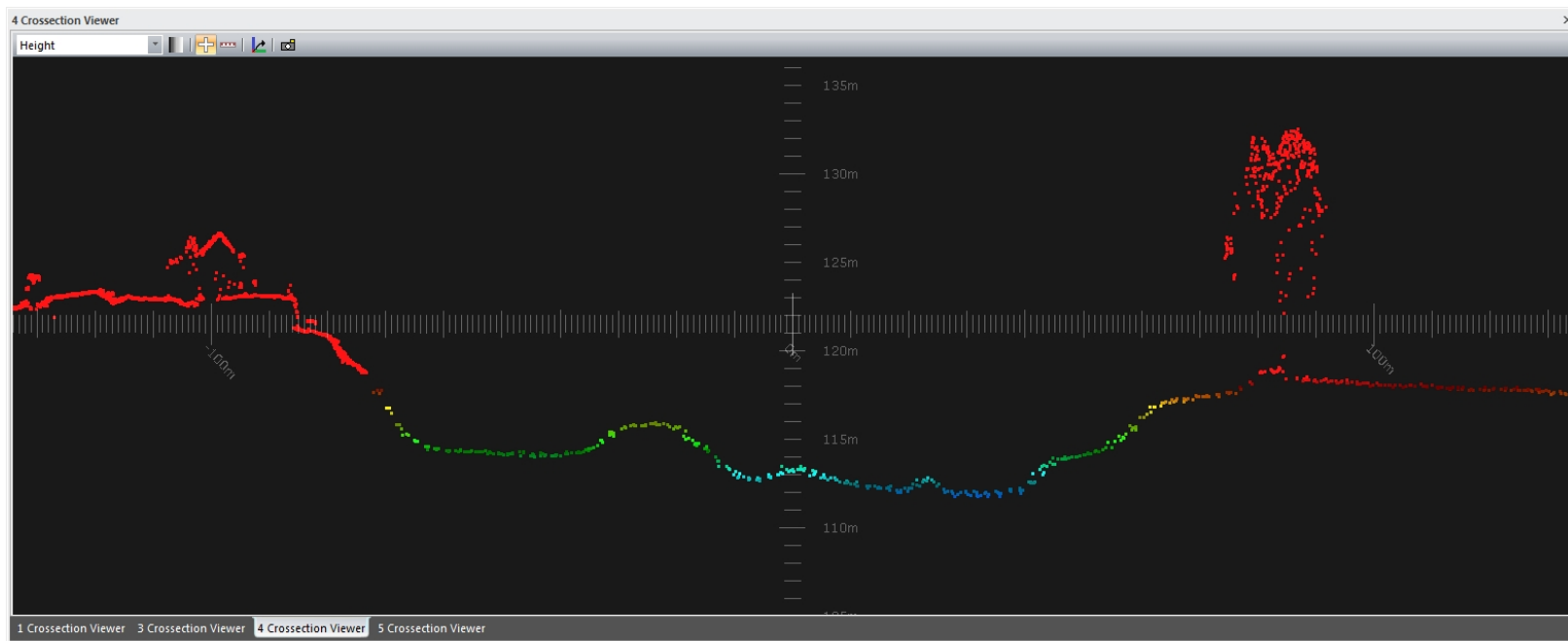
# Djuppenetration - exempel

Vättern  $k=0,2$  : 11-12 meter

Klart vatten  $k=0,1$  : > 20 meter



# Djuppenetration - eksempel



# Bodumsjön, Fjällsjön och Åsele älv

Första datafångst november 2012

- Lägre djuppenetration än förväntat (1,5 m)
- Osäkerhet gällande sensorns effekt och kalibrering
- Förekomst av is i områdena

Andra datafångst oktober 2013

- Siktdjup uppmätt till 2,5 - 3 meter
- Ingen synbar förbättring av djuppenetrationen



# Slutsatser

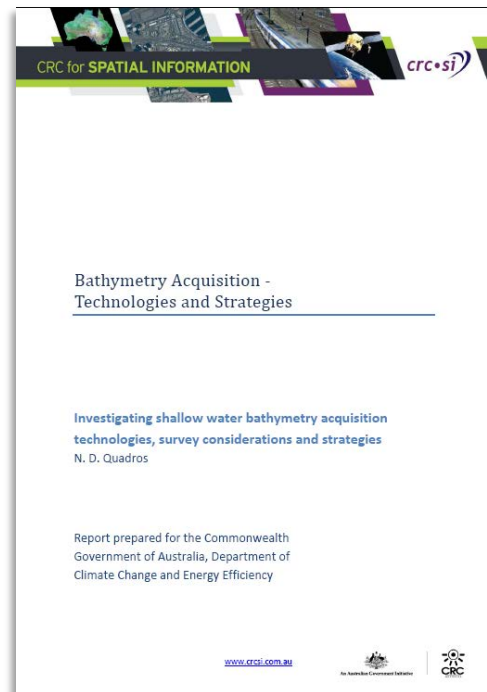
- Chiroptera-systemet har visat sig ge dåligt resultat i de aktuella områdena; ej möjligt att nå 2 – 3 ggr siktdjupet
- Resultatet hänger antagligen samman med bottenförhållanden i områdena i kombination med begränsat siktdjup
- Båda datainsamlingarna utförda sent på hösten, vilken påverkan har årstiden?
- Systemberoende? Hade ett annat system gett ett annat resultat?
- Utvecklade metoder för signalanalys (full vågform) kan ge bättre utfall
- De flesta empiriska studierna är baserade på kustnära havszoner...mer forskning för insjöar och älvar behövs

## Fortsatt läsning:

Rapport framtagen av *Department of Climate Change and Energy Efficiency* – Australien, 2013

- Jämförelse mellan olika system
- Förslag på alternativa metoder (AEMB, AUV, hyperspektrala bilder)
- Riktlinjer och stöd för projektplanering
- Stöd för framtagande av förfrågningsunderlag/upphandling

[www.crcsi.com.au](http://www.crcsi.com.au)





**Tack för Er uppmärksamhet!**



[ante.erixon@terratec.se](mailto:ante.erixon@terratec.se)



+46 70 288 02 86



[www.terratec.se](http://www.terratec.se)



TerraTec AS



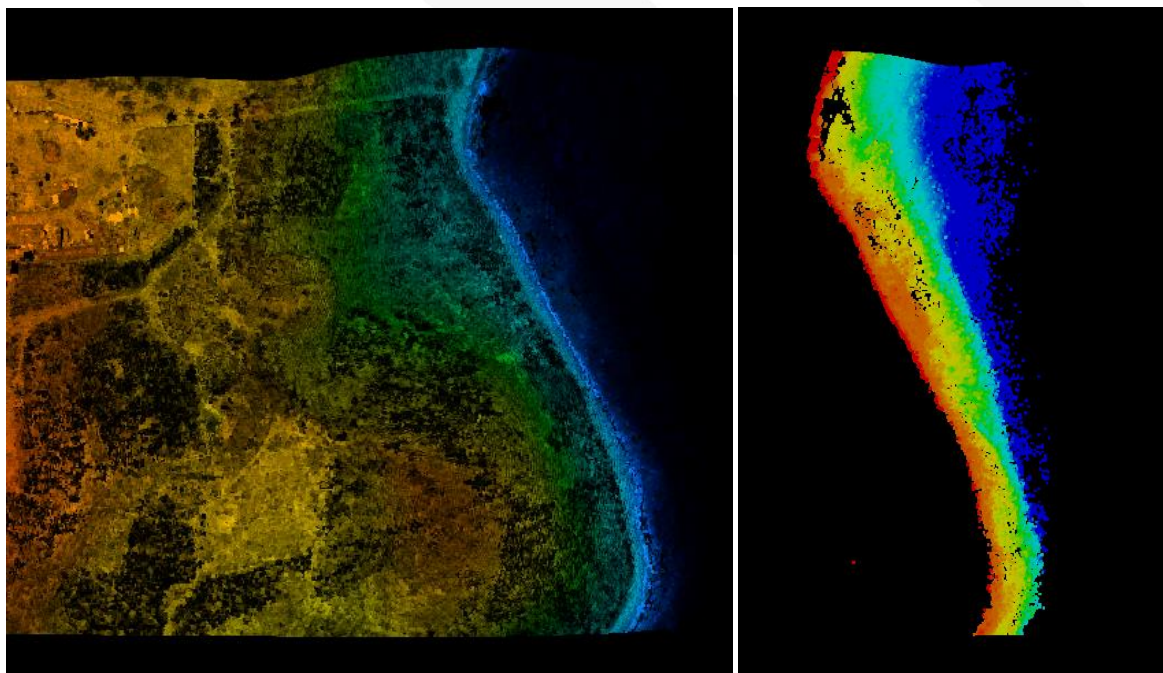
[www.linkedin.com/company/terratec](http://www.linkedin.com/company/terratec)

## 2 Rapport for testprojekt: Topologisk och Batymetrisk laserskanning - Fjällsjön

# RAPPORT FOR TESTPROJEKT: TOPOLOGISK OCH BATYMETRISK LASERSKANNING

40300L Fjällsjön

Projektnr 5661 Testprojekt Chiroptera



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|                                                    |          |
|----------------------------------------------------|----------|
| <b>1. ALLMÄNNA UPPLYSNINGAR OM UPPDRAGET .....</b> | <b>3</b> |
| 1.1 UPPDRAGSGIVARE .....                           | 3        |
| 1.2 UPPDRAGET .....                                | 3        |
| 1.3 UPPDRAGSTAGARE .....                           | 3        |
| 1.4 UPPDRAGETS OMFATTNING .....                    | 3        |
| <b>2. DATAINSAMLING .....</b>                      | <b>3</b> |
| 2.1 UTFÖRANDE .....                                | 3        |
| 2.2 OMRÅDE FÖR DATAINSAMLING .....                 | 4        |
| 2.3 TEKNISK UTRUSTNING .....                       | 4        |
| <b>CHIROPTERA - TECHNICAL SPECIFICATION .....</b>  | <b>4</b> |
| 2.4 REFERENSSYSTEM .....                           | 6        |
| 2.5 AVVIKELSER I SAMBAND MED DATAINSAMLING .....   | 6        |
| 2.6 MARKFILTRERING – LAND OCH SJÖBOTTEN .....      | 6        |
| <b>3. LEVERANS .....</b>                           | <b>7</b> |
| 3.1 MAPPSTRUKTUR I LEVERANS .....                  | 7        |
| <b>4. SAMMANFATTNING AV RESULTAT.....</b>          | <b>9</b> |

Rapport författad av,



Stockholm, 2014-02-03



Ante Erixon  
Projektledare

Olav Gaute Ytterdal  
Projektingenjör

## 1. ALLMÄNNA UPPLYSNINGAR OM UPPDRAGET

### 1.1 Uppdragsgivare

Namn: Elforsk AB  
Besöksadress: Olof Palmes gata 31  
Postadress: 101 53 Stockholm  
Kontaktperson: Cristian Andersson

### 1.2 Uppdraget

Namn: 40300L Fjällsjön

### 1.3 Uppdragstagare

Namn: TerraTec AS  
Besöksadress: Lysaker Torg 12.  
Postadress: Pb. 513, 1327 LYSAKER  
Projektledare: Ante Erixon  
Projektnummer: 5661

### 1.4 Uppdragets omfattning

Uppdraget innefattar laserskanning av Fjällsjön med anslutande vattendrag. Området är skannat med batymetrisk laserskanner från Airborne Hydrography (AHAB) för insamling av laserdata för såväl markyta som sjöbotten. Insamlad laserdata har inte justerats till projektspecifika kontrolltytor och levereras i ellipsoidhöjd.

## 2. DATAINSAMLING

### 2.1 Utförande

TerraTec har genomfört laserskanningen enligt följande:

| <u>Plannummer</u>       | <u>Operatör</u>  | <u>Datum</u> |
|-------------------------|------------------|--------------|
| <u>40300L Fjällsjön</u> | Jonas Gunnarsson | 2013-10-04   |

## 2.2 Område för datainsamling

Områdesbegränsningen för uppdraget redovisas nedan



## 2.3 Teknisk utrustning

### Chiroptera - Technical specification

#### Controller Unit

##### *Control & Data Acquisition System*

|                                    |                                                                                  |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| A/D sampling rate                  | 1.8 GSa/s                                                                        |
| FPGA processing                    | > 170 Gflops                                                                     |
| Range capture                      | Programmable $\geq 4$ range measurements including last<br>Full waveform capture |
| Data Storage                       | Ruggedized removable SSD 250 GB                                                  |
| Mission Planning Software          | IGIplan                                                                          |
| Flight Management System           | CCNS4                                                                            |
| Precise Positioning System         | AEROcontrol                                                                      |
| Inertial Measurement Unit (IMU)    | IMU-IIe                                                                          |
| IMU sampling rate                  | 256 Hz                                                                           |
| IMU accuracy (roll/pitch/heading)  | 0.004 deg / 0.004 deg / 0.01 deg                                                 |
| GPS                                | Dual frequency, 2 Hz                                                             |
| GPS accuracy (horizontal/vertical) | 0.05 m / 0.05 m                                                                  |

Post-processing software

AEROoffice

LiDAR Processing Software

LiDAR Survey Studio (LSS)

### Topographic Scanner

|                                                    |                                                                            |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Wavelength                                         | 1 $\mu\text{m}$                                                            |
| Pulse length                                       | 4 $\pm$ 1 ns                                                               |
| Laser pulse repetition frequency <sup>Note 1</sup> | Up to 400 kHz (flight altitude dependent)                                  |
| Operating altitude                                 | Up to 1500 m AGL (prf dependent)                                           |
| Range accuracy                                     | 2 cm rms flat target                                                       |
| Pointing accuracy                                  | 20 cm rms @ 400 m AGL                                                      |
| Beam divergence                                    | 0.5 mrad                                                                   |
| Laser classification                               | Class IV (FDA CFR 21)                                                      |
| Spot distribution                                  | Palmer scanner, Ellipsoidal scanner pattern, degree of incident 14° to 20° |
| Scan frequency                                     | Programmable up to 70 rps = 140 scans per second                           |
| Scan angle                                         | $\pm$ 20° sideways                                                         |
|                                                    | Optional: Others are available on request                                  |

*Note 1. Optimal settings depend on environmental conditions, such as reflectance, and operating altitude.*

### Bathymetric Scanner

|                                  |                                           |
|----------------------------------|-------------------------------------------|
| Wavelength                       | 0.5 $\mu\text{m}$                         |
| Pulse length                     | 2.5 $\pm$ 1 ns                            |
| Laser pulse repetition frequency | 18 kHz                                    |
|                                  | Optional: Others are available on request |
| Operating altitude               | 250 – 400 m ASL                           |
| Depth range, flat sea bed        | kD < 1.5 @ 10% sea bed reflectivity       |
| k = 0.15                         | D = 10 meter                              |
| k = 0.2                          | D = 7.5 meter                             |

|                      |                                                                            |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| k = 0.25             | D = 6 meter                                                                |
| Depth accuracy       | 15 cm rms flat sea bed                                                     |
| Horizontal accuracy  | 75 cm rms spot center                                                      |
| Beam divergence      | 3 mrad                                                                     |
| Laser classification | Class IV (FDA CFR 21)                                                      |
| Spot distribution    | Palmer scanner, Ellipsoidal scanner pattern, degree of incident 14° to 20° |
| Scan frequency       | Programmable up to 50 rps = 100 scans per second                           |
| Scan angle           | ± 20° sideways<br>Optional: Others are available on request                |

## 2.4 Referenssystem

|               |                    |
|---------------|--------------------|
| Horisontellt: | RT90 2.5 gon V:-15 |
| Vertikalt:    | RH70               |

## 2.5 Avvikelser i samband med datainsamling

Hela området flögs på en dag. Inga avvikelser att rapportera.

## 2.6 Markfiltrering – land och sjöbotten

Insamlad laserdata har genomgått en inledande automatisk filtrering följt av en manuell filtrering med syfte att klassificera fram punkter som träffat mark- resp bottenyta. Levererad laserdata är indelade i fyra klasser:

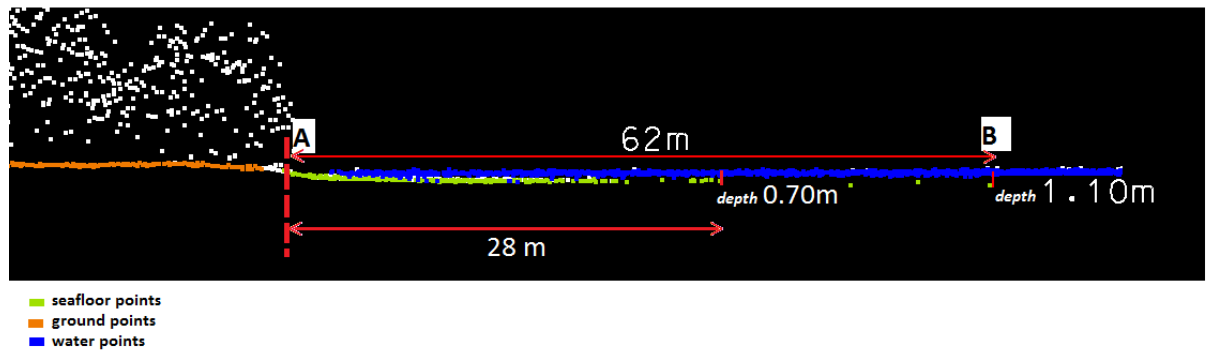
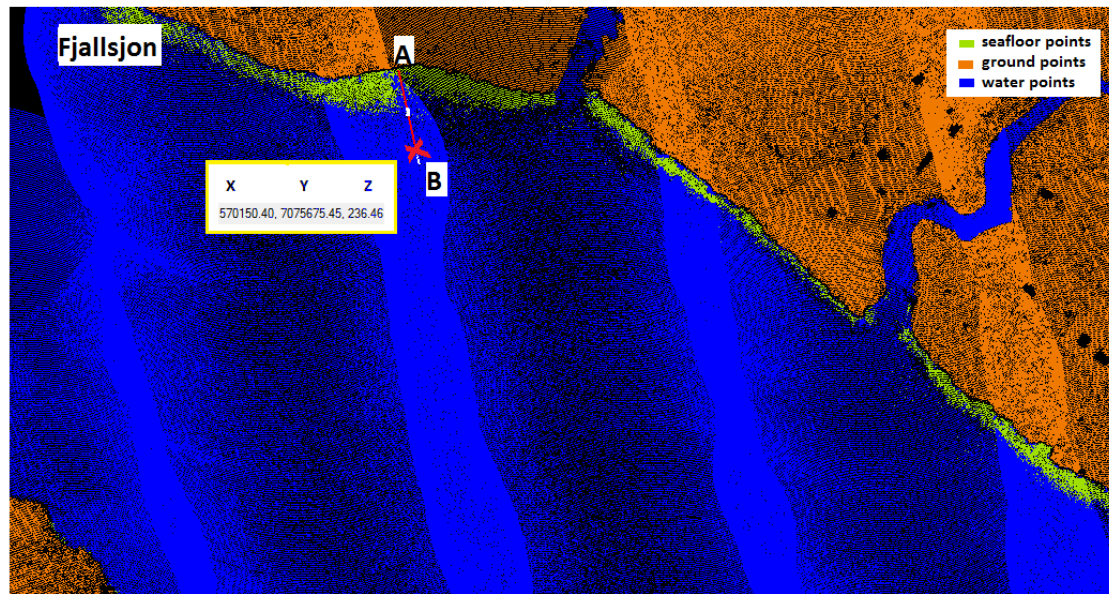
1: Unclassified, d.v.s. alla punkter som varken utgör markpunkter på land eller bottenyta. På land är detta punkter som träffat och registrerat vegetation, byggnader och liknande. I vattenmassan härrör oklassificerade punkter från vattenytan och diverse punkter som returnerats i vattenvolymen.

2: Ground, d.v.s. markpunkter på land

3: Sjöbotten

9: Vatten

Observera att det förekommer grunda områden med en betydande andel "brus" i datasetet vilket gör det svårt att definiera en entydig bottenyta. Detta kan exempelvis utgöras av områden med stora rullstenar, ris och kvistar eller annan vegetation. Den manuella tolkningen och klassificeringen av bottenyta är här utförd efter bästa förmåga och kan möjligt förbättras med stöd av information och kännedom om det faktiska förhållandet i de strandnära zonerna i området. Se även bild nedan.



### 3. LEVERANS

#### 3.1 Mappstruktur i leverans

- 40300\_Fjallsjoen
  - DSM
    - 001.las
    - ....
    - 004.las
  - DTM
    - ASCII
      - 001.xyz
      - ....
      - 04.xyz
    - las

- 001.las
- ....
- 004.las
- 40300\_Fjallsjoen.dgn

Innehåll i leveransen:

40300\_Fjallsjoen.dgn:

DSM:

DTM:

Innefattar översikt av filindelningen i dgn-format.

Alla laserpunkter klassificerade i fyra klasser som beskrivits ovan

Enbart mark- och sjöbottenpunkter, i såväl ASCII xyz-format som .las-format

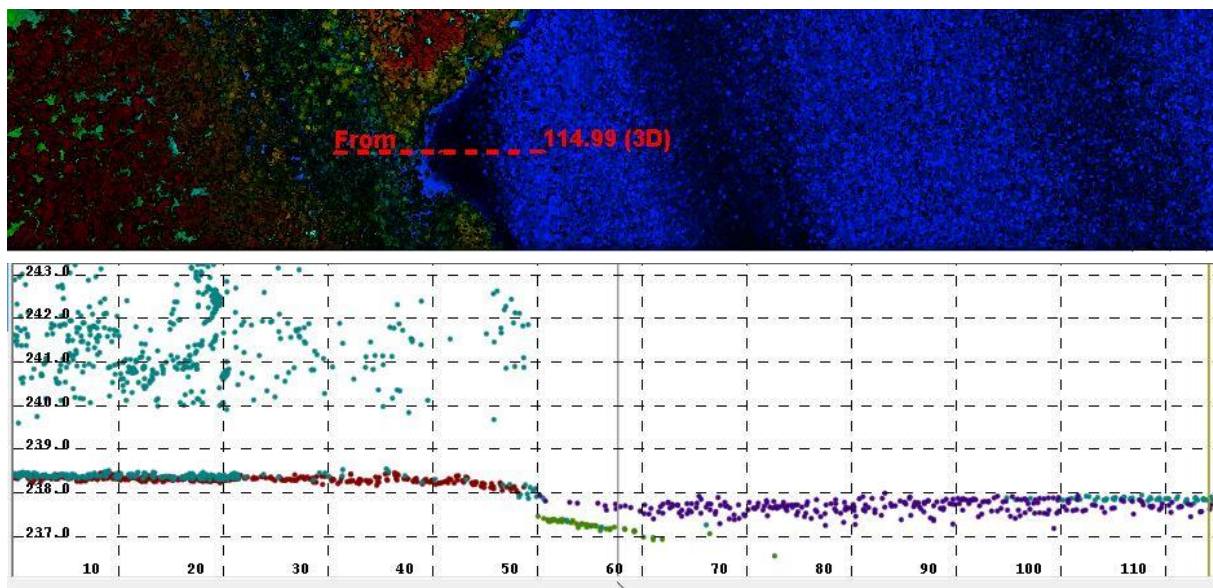
## 4. SAMMANFATTNING AV RESULTAT

Datainsamlingen har planlagts med god geografisk marginal varför levererad data täcker ett något större område än det ursprungligen efterfrågade.

Bottendata ned till ett djup av ca 1,5 meter har registrerats för Fjällsjön. Detta är ett avsevärt sämre resultat än förväntat. Som exempel kan nämnas att TerraTec i anslutning till datainsamlingen över Fjällsjön utfört motsvarande datainsamling över kustområden i Norge där bottenytor på 15 meters djup (10 m i medeltal) registrerats. Möjliga orsaker till den begränsade djuppenetrationen i Fjällsjön är:

- Bottenförhållanden i området (en jämn, väldefinierad bottenyta med låg förekomst av stora stenar och bottenvegetation ger vanligen bättre resultat när det gäller att definiera bottenyta under vatten)
- Dålig reflektion från bottenytan – mörka botten sediment ger ofta väldigt liten eller ingen reflektion alls (jmf nylagd asfalt eller tjärpapp på hustak som påverkar resultat vid laserskanning negativt och ger inga eller mycket få returer)
- Akvatiska humusämnen – förekomst av organiska ämnen i vattnet begränsar siktdjupet för just det aktuella instrumentet under rådande förhållanden att djuppenetrationen blir kraftigt begränsad. Detta indikeras bl.a. av att goda resultat uppnåtts vid samma tid på året med samma instrument och inställningar men i andra akvatiska miljöer, exempelvis i kustnära områden utanför Norge.

Exempel på tvärsnitt av data, i profil:



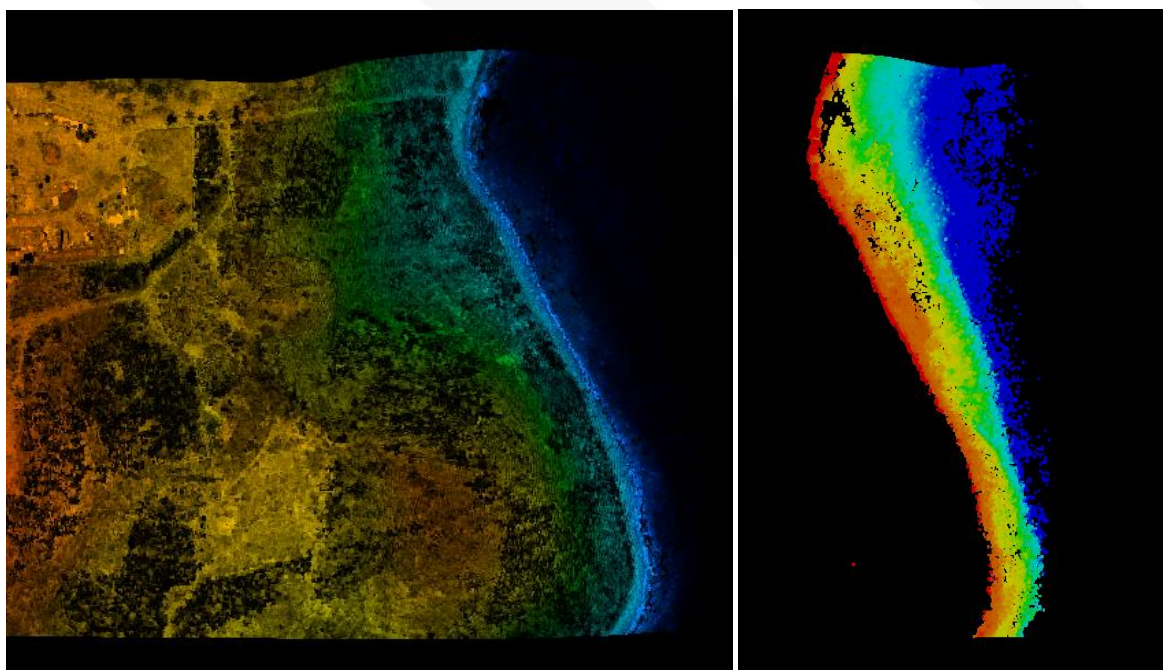
Bilden visar punktdistributionen i profilen, Brunt = mark, ljusblå = oklassificerat, lila = vatten och grön = sjöbotten. Mängden registrerade träffar på sjöbotten varierar i förhållande till lokala förutsättningar.

### 3 Rapport for testprojekt: Topologisk och Batymetrisk laserskanning - Bodumsjön

# RAPPORT FÖR TESTPROJEKT: TOPOLOGISK OCH BATYMETRISK LASERSKANNING

40301L Bodumsjön

Projektnr 5661 Testprojekt Chiroptera



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|                                                    |          |
|----------------------------------------------------|----------|
| <b>1. ALLMÄNNA UPPLYSNINGAR OM UPPDRAGET .....</b> | <b>3</b> |
| 1.1 UPPDRAGSGIVARE .....                           | 3        |
| 1.2 UPPDRAGET .....                                | 3        |
| 1.3 UPPDRAGSTAGARE .....                           | 3        |
| 1.4 UPPDRAGETS OMFATTNING .....                    | 3        |
| <b>2. DATAINSAMLING .....</b>                      | <b>3</b> |
| 2.1 UTFÖRANDE .....                                | 3        |
| 2.2 OMRÅDE FÖR DATAINSAMLING .....                 | 4        |
| 2.3 TEKNISK UTRUSTNING .....                       | 4        |
| <b>CHIROPTERA - TECHNICAL SPECIFICATION .....</b>  | <b>4</b> |
| 2.4 REFERENSSYSTEM .....                           | 6        |
| 2.5 AVVIKELSER I SAMBAND MED DATAINSAMLING .....   | 6        |
| 2.6 MARKFILTRERING – LAND OCH SJÖBOTTEN .....      | 6        |
| <b>3. LEVERANS .....</b>                           | <b>7</b> |
| 3.1 MAPPSTRUKTUR I LEVERANS .....                  | 7        |
| <b>4. SAMMANFATTNING AV RESULTAT.....</b>          | <b>9</b> |

Rapport författad av,



Stockholm, 2014-02-03



Ante Erixon  
Projektledare

Olav Gaute Ytterdal  
Projektingenjör

## 1. ALLMÄNNA UPPLYSNINGAR OM UPPDRAGET

### 1.1 Uppdragsgivare

Namn: Elforsk AB  
Besöksadress: Olof Palmes gata 31  
Postadress: 101 53 Stockholm  
Kontaktperson: Cristian Andersson

### 1.2 Uppdraget

Namn: 40301L Bodumsjön

### 1.3 Uppdragstagare

Namn: TerraTec AS  
Besöksadress: Lysaker Torg 12.  
Postadress: Pb. 513, 1327 LYSAKER  
Projektledare: Ante Erixon  
Projektnummer: 5661

### 1.4 Uppdragets omfattning

Uppdraget innefattar laserskanning av Bodumsjön med anslutande vattendrag. Området är skannat med batymetrisk laserskanner från Airborne Hydrography (AHAB) för insamling av laserdata för såväl markyta som sjöbotten. Insamlad laserdata har inte justerats till projektspecifika kontrolltytor och levereras i ellipsoidhöjd.

## 2. DATAINSAMLING

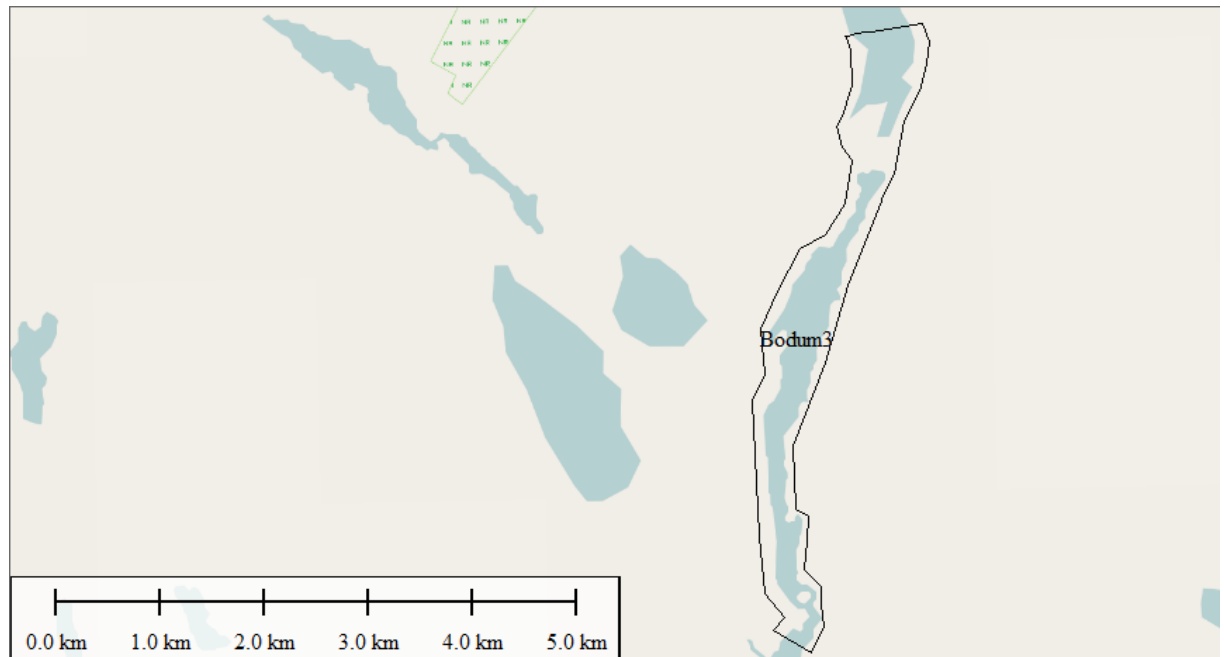
### 2.1 Utförande

TerraTec har genomfört laserskanningen enligt följande:

| <u>Plannummer</u>       | <u>Operatör</u>  | <u>Datum</u> |
|-------------------------|------------------|--------------|
| <u>40301L Bodumsjön</u> | Jonas Gunnarsson | 2013-10-04   |

## 2.2 Område för datainsamling

Områdesbegränsningen för uppdraget redovisas nedan.



## 2.3 Teknisk utrustning

### Chiroptera - Technical specification

#### Controller Unit

##### *Control & Data Acquisition System*

|                                   |                                                                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| A/D sampling rate                 | 1.8 GSa/s                                                                        |
| FPGA processing                   | > 170 Gflops                                                                     |
| Range capture                     | Programmable $\geq 4$ range measurements including last<br>Full waveform capture |
| Data Storage                      | Ruggedized removable SSD 250 GB                                                  |
| Mission Planning Software         | IGIplan                                                                          |
| Flight Management System          | CCNS4                                                                            |
| Precise Positioning System        | AEROcontrol                                                                      |
| Inertial Measurement Unit (IMU)   | IMU-IIe                                                                          |
| IMU sampling rate                 | 256 Hz                                                                           |
| IMU accuracy (roll/pitch/heading) | 0.004 deg / 0.004 deg / 0.01 deg                                                 |
| GPS                               | Dual frequency, 2 Hz                                                             |

|                                    |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| GPS accuracy (horizontal/vertical) | 0.05 m / 0.05 m           |
| Post-processing software           | AEROoffice                |
| LiDAR Processing Software          | LiDAR Survey Studio (LSS) |

### Topographic Scanner

|                                                    |                                                                            |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Wavelength                                         | 1 $\mu\text{m}$                                                            |
| Pulse length                                       | 4 $\pm$ 1 ns                                                               |
| Laser pulse repetition frequency <sup>Note 1</sup> | Up to 400 kHz (flight altitude dependent)                                  |
| Operating altitude                                 | Up to 1500 m AGL (prf dependent)                                           |
| Range accuracy                                     | 2 cm rms flat target                                                       |
| Pointing accuracy                                  | 20 cm rms @ 400 m AGL                                                      |
| Beam divergence                                    | 0.5 mrad                                                                   |
| Laser classification                               | Class IV (FDA CFR 21)                                                      |
| Spot distribution                                  | Palmer scanner, Ellipsoidal scanner pattern, degree of incident 14° to 20° |
| Scan frequency                                     | Programmable up to 70 rps = 140 scans per second                           |
| Scan angle                                         | $\pm$ 20° sideways                                                         |
|                                                    | Optional: Others are available on request                                  |

*Note 1. Optimal settings depend on environmental conditions, such as reflectance, and operating altitude.*

### Bathymetric Scanner

|                                  |                                           |
|----------------------------------|-------------------------------------------|
| Wavelength                       | 0.5 $\mu\text{m}$                         |
| Pulse length                     | 2.5 $\pm$ 1 ns                            |
| Laser pulse repetition frequency | 18 kHz                                    |
|                                  | Optional: Others are available on request |
| Operating altitude               | 250 – 400 m ASL                           |
| Depth range, flat sea bed        | kD < 1.5 @ 10% sea bed reflectivity       |

|                      |                                                                            |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| k = 0.15             | D = 10 meter                                                               |
| k = 0.2              | D = 7.5 meter                                                              |
| k = 0.25             | D = 6 meter                                                                |
| Depth accuracy       | 15 cm rms flat sea bed                                                     |
| Horizontal accuracy  | 75 cm rms spot center                                                      |
| Beam divergence      | 3 mrad                                                                     |
| Laser classification | Class IV (FDA CFR 21)                                                      |
| Spot distribution    | Palmer scanner, Ellipsoidal scanner pattern, degree of incident 14° to 20° |
| Scan frequency       | Programmable up to 50 rps = 100 scans per second                           |
| Scan angle           | ± 20° sideways<br>Optional: Others are available on request                |

## 2.4 Referenssystem

|               |                    |
|---------------|--------------------|
| Horisontellt: | RT90 2.5 gon V:-15 |
| Vertikalt:    | RH70               |

## 2.5 Avvikelser i samband med datainsamling

Hela området flögs på en dag. Inga avvikelser att rapportera.

## 2.6 Markfiltrering – land och sjöbotten

Insamlad laserdata har genomgått en inledande automatisk filtrering följt av en manuell filtrering med syfte att klassificera fram punkter som träffat mark- resp bottenyta.

Levererad laserdata är indelade i fyra klasser:

1: Unclassified, d.v.s. alla punkter som varken utgör markpunkter på land eller bottenyta. På land är detta punkter som träffat och registrerat vegetation, byggnader och liknande. I vattenmassan härrör oklassificerade punkter från vattenytan och diverse punkter som returnerats i vattenvolymen.

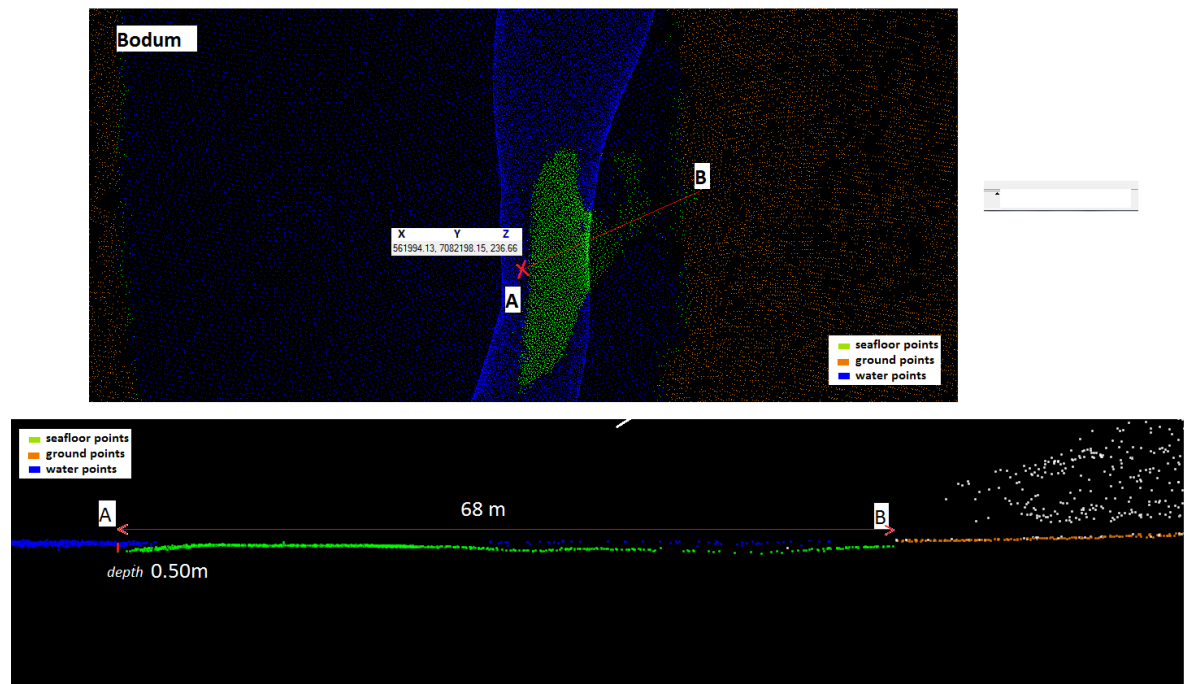
2: Ground, d.v.s. markpunkter på land

3: Sjöbotten

9: Vatten

Observera att det förekommer grunda områden med en betydande andel "brus" i datasetet vilket gör det svårt att definiera en entydig bottenyta. Detta kan exempelvis utgöras av områden med stora rullstenar, ris och kvistar eller annan vegetation. Den manuella tolkningen och klassificeringen av bottenyta är här utförd efter bästa förmåga

och kan möjligt förbättras med stöd av information och kännedom om det faktiska förhållandet i de strandnära zonerna i området. Se även bild nedan.



### 3. LEVERANS

#### 3.1 Mappstruktur i leverans

- 40301\_Bodumsjoen
  - DSM
    - 001.las
    - ....
    - 006.las
  - DTM
    - ASCII
      - 001.xyz
      - ....
      - 06.xyz
    - las
      - 001.las
      - ....
      - 006.las

- 40301\_Bodumsjoen.dgn

## Innehåll i leveransen

|                       |                                                                             |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 40301_Bodumsjoen.dgn: | Innefattar översikt av filindelningen i dgn-format.                         |
| DSM:                  | Alla laserpunkter klassificerade i fyra klasser som beskrivits ovan         |
| DTM:                  | Enbart mark- och sjöbottenpunkter, i såväl ASCII xyz-format som .las-format |

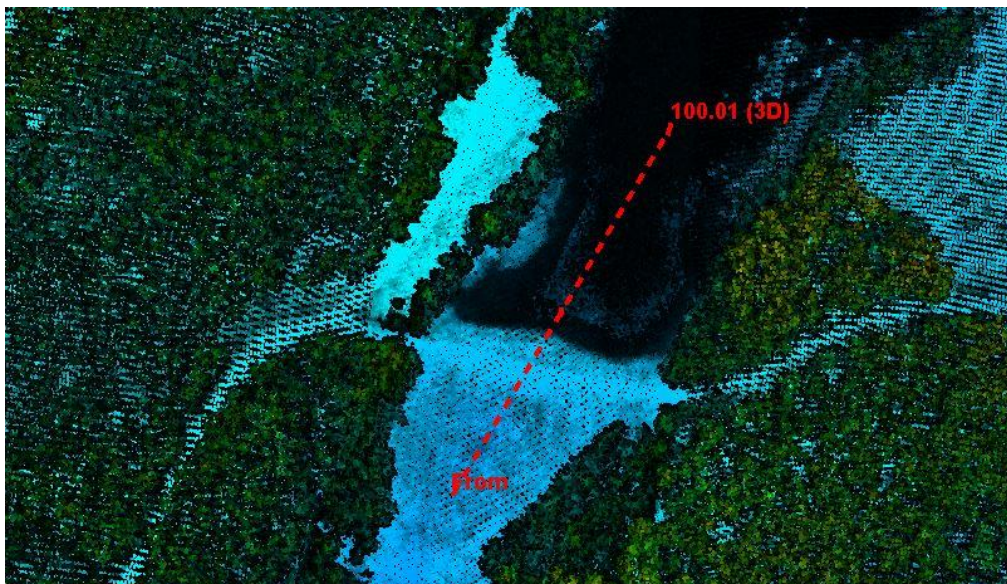
## 4. SAMMANFATTNING AV RESULTAT

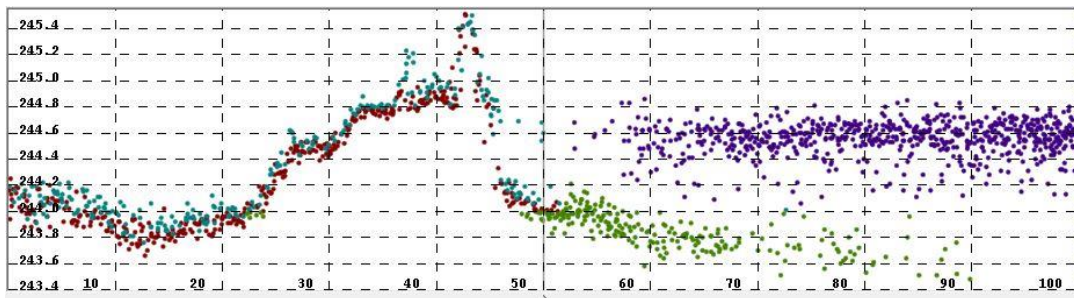
Datainsamlingen har planlagts med god geografisk marginal varför levererad data täcker ett något större område än det ursprungligen efterfrågade.

Bottendata ned till ett djup av ca 1,5 meter har registrerats för Bodumsjön. Detta är ett avsevärt sämre resultat än förväntat. Som exempel kan nämnas att TerraTec i anslutning till datainsamlingen över Bodumsjön utfört motsvarande datainsamling över kustområden i Norge där bottenytan på 15 meters djup (10 m i medeltal) registrerats. Möjliga orsaker till den begränsade djuppenetrationen i Bodumsjön är:

- Bottenförhållanden i området (en jämn, väldefinierad bottenyta med låg förekomst av stora stenar och bottenvegetation ger vanligen bättre resultat när det gäller att definiera bottenyta under vatten)
- Dålig reflektion från bottenytan – mörka bottensediment ger ofta väldigt liten eller ingen reflektion alls (jmf nylagd asfalt eller tjärpapp på hustak som påverkar resultat vid laserskanning negativt och ger inga eller mycket få returer)
- Akvatiska humusämnen – förekomst av organiska ämnen i vattnet begränsar siktdjupet för just det aktuella instrumentet under rådande förhållanden att djuppenetrationen blir kraftigt begränsad. Detta indikeras bl.a. av att goda resultat uppnåtts vid samma tid på året med samma instrument och inställningar men i andra akvatiska miljöer, exempelvis i kustnära områden utanför Norge.

Exempel på tvärsnitt av data, i profil:





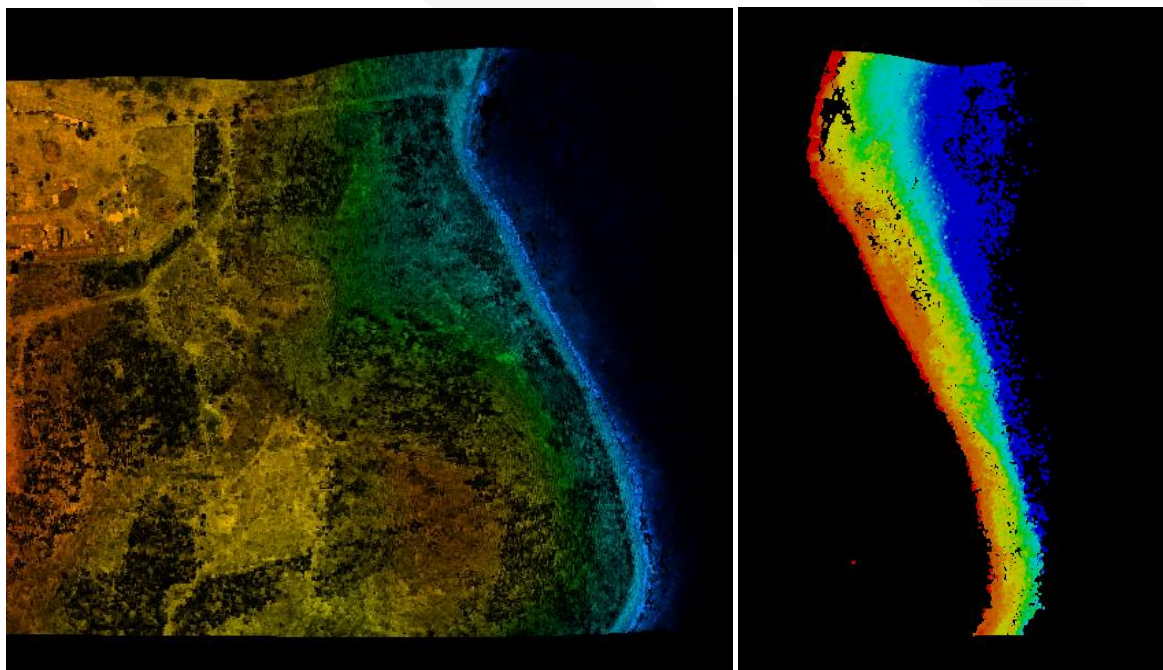
Bilden visar punktdistributionen i profilen, Brunt = mark, ljusblå = oklassificerat, lila = vatten och grön = sjöbotten. Mängden registrerade träffar på sjöbotten varierar i förhållande till lokala förutsättningar.

## 4 Rapport for testprojekt: Topologisk och Batymetrisk laserskanning – Åsele älv

# RAPPORT FÖR TESTPROJEKT: TOPOLOGISK OCH BATYMETRISK LASERSKANNING

40299L Åsele älv

Projektnr 5661 Testprojekt Chiroptera



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|                                                    |          |
|----------------------------------------------------|----------|
| <b>1. ALLMÄNNA UPPLYSNINGAR OM UPPDRAGET .....</b> | <b>3</b> |
| 1.1 UPPDRAGSGIVARE .....                           | 3        |
| 1.2 UPPDRAGET .....                                | 3        |
| 1.3 UPPDRAGSTAGARE .....                           | 3        |
| 1.4 UPPDRAGETS OMFATTNING .....                    | 3        |
| <b>2. DATAINSAMLING .....</b>                      | <b>3</b> |
| 2.1 UTFÖRANDE .....                                | 3        |
| 2.2 OMRÅDE FÖR DATAINSAMLING .....                 | 4        |
| 2.3 TEKNISK UTRUSTNING .....                       | 4        |
| <b>CHIROPTERA - TECHNICAL SPECIFICATION .....</b>  | <b>4</b> |
| 2.4 REFERENSSYSTEM .....                           | 6        |
| 2.5 AVVIKELSER I SAMBAND MED DATAINSAMLING .....   | 6        |
| 2.6 MARKFILTRERING – LAND OCH SJÖBOTTEN .....      | 6        |
| <b>3. LEVERANS .....</b>                           | <b>7</b> |
| 3.1 MAPPSTRUKTUR I LEVERANS .....                  | 7        |
| <b>4. SAMMANFATTNING AV RESULTAT .....</b>         | <b>9</b> |

Rapport författad av,



Stockholm, 2014-02-03



Ante Erixon  
Projektledare

Olav Gaute Ytterdal  
Projektingenjör

## 1. ALLMÄNNA UPPLYSNINGAR OM UPPDRAGET

### 1.1 Uppdragsgivare

Namn: Elforsk AB  
Besöksadress: Olof Palmes gata 31  
Postadress: 101 53 Stockholm  
Kontaktperson: Cristian Andersson

### 1.2 Uppdraget

Namn: 40299L Åsele älv

### 1.3 Uppdragstagare

Namn: TerraTec AS  
Besöksadress: Lysaker Torg 12.  
Postadress: Pb. 513, 1327 LYSAKER  
Projektledare: Ante Erixon  
Projektnummer: 5661

### 1.4 Uppdragets omfattning

Uppdraget innefattar laserskanning del av Åsele älv. Området är skannat med batymetrisk laserskanner från Airborne Hydrography (AHAB) för insamling av laserdata för såväl markyta som sjöbotten. Insamlad laserdata har inte justerats till projektspecifika kontrolltytor och levereras i ellipsoidhöjd.

## 2. DATAINSAMLING

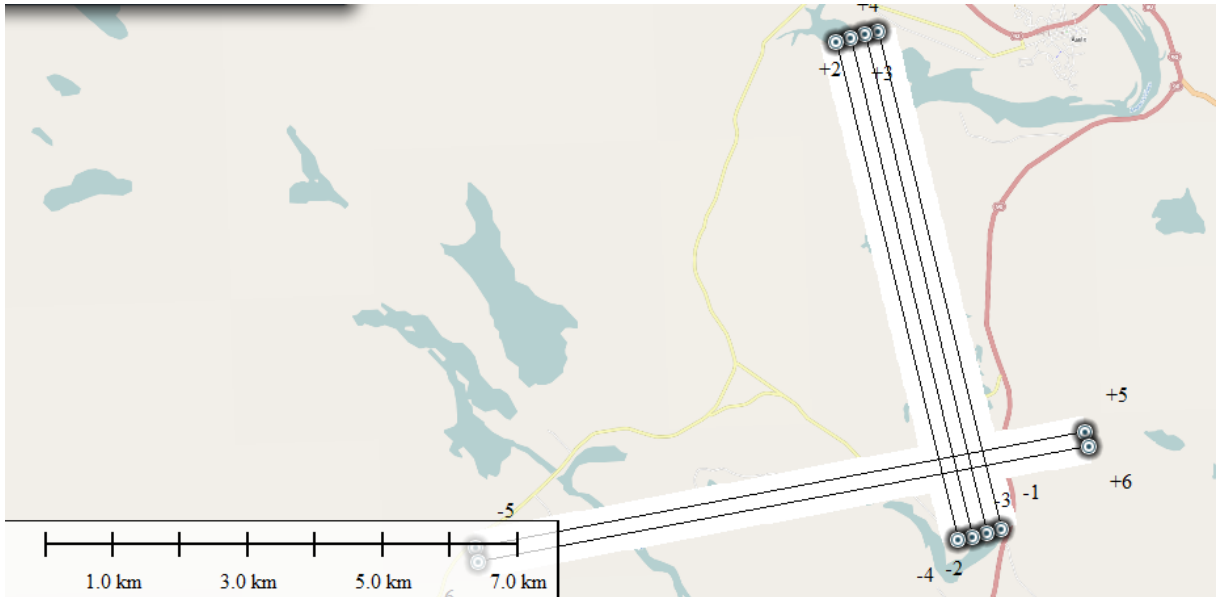
### 2.1 Utförande

TerraTec har genomfört laserskanningen enligt följande:

| <u>Plannummer</u>       | <u>Operatör</u>  | <u>Datum</u> |
|-------------------------|------------------|--------------|
| <u>40299L Åsele älv</u> | Jonas Gunnarsson | 2013-10-04   |

## 2.2 Område för datainsamling

Områdesbegränsningen för uppdraget redovisas nedan



## 2.3 Teknisk utrustning

### Chiroptera - Technical specification

#### Controller Unit

##### Control & Data Acquisition System

|                                   |                                                         |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|
| A/D sampling rate                 | 1.8 GSa/s                                               |
| FPGA processing                   | > 170 Gflops                                            |
| Range capture                     | Programmable $\geq 4$ range measurements including last |
|                                   | Full waveform capture                                   |
| Data Storage                      | Ruggedized removable SSD 250 GB                         |
| Mission Planning Software         | IGIplan                                                 |
| Flight Management System          | CCNS4                                                   |
| Precise Positioning System        | AEROcontrol                                             |
| Inertial Measurement Unit (IMU)   | IMU-IIe                                                 |
| IMU sampling rate                 | 256 Hz                                                  |
| IMU accuracy (roll/pitch/heading) | 0.004 deg / 0.004 deg / 0.01 deg                        |
| GPS                               | Dual frequency, 2 Hz                                    |

|                                    |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| GPS accuracy (horizontal/vertical) | 0.05 m / 0.05 m           |
| Post-processing software           | AEROoffice                |
| LiDAR Processing Software          | LiDAR Survey Studio (LSS) |

### Topographic Scanner

|                                                    |                                                                            |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Wavelength                                         | 1 $\mu\text{m}$                                                            |
| Pulse length                                       | 4 $\pm$ 1 ns                                                               |
| Laser pulse repetition frequency <sup>Note 1</sup> | Up to 400 kHz (flight altitude dependent)                                  |
| Operating altitude                                 | Up to 1500 m AGL (prf dependent)                                           |
| Range accuracy                                     | 2 cm rms flat target                                                       |
| Pointing accuracy                                  | 20 cm rms @ 400 m AGL                                                      |
| Beam divergence                                    | 0.5 mrad                                                                   |
| Laser classification                               | Class IV (FDA CFR 21)                                                      |
| Spot distribution                                  | Palmer scanner, Ellipsoidal scanner pattern, degree of incident 14° to 20° |
| Scan frequency                                     | Programmable up to 70 rps = 140 scans per second                           |
| Scan angle                                         | $\pm$ 20° sideways                                                         |
|                                                    | Optional: Others are available on request                                  |

*Note 1. Optimal settings depend on environmental conditions, such as reflectance, and operating altitude.*

### Bathymetric Scanner

|                                  |                                           |
|----------------------------------|-------------------------------------------|
| Wavelength                       | 0.5 $\mu\text{m}$                         |
| Pulse length                     | 2.5 $\pm$ 1 ns                            |
| Laser pulse repetition frequency | 18 kHz                                    |
|                                  | Optional: Others are available on request |
| Operating altitude               | 250 – 400 m ASL                           |
| Depth range, flat sea bed        | kD < 1.5 @ 10% sea bed reflectivity       |
| k = 0.15                         | D = 10 meter                              |

|                      |                                                                            |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| k = 0.2              | D = 7.5 meter                                                              |
| k = 0.25             | D = 6 meter                                                                |
| Depth accuracy       | 15 cm rms flat sea bed                                                     |
| Horizontal accuracy  | 75 cm rms spot center                                                      |
| Beam divergence      | 3 mrad                                                                     |
| Laser classification | Class IV (FDA CFR 21)                                                      |
| Spot distribution    | Palmer scanner, Ellipsoidal scanner pattern, degree of incident 14° to 20° |
| Scan frequency       | Programmable up to 50 rps = 100 scans per second                           |
| Scan angle           | ± 20° sideways<br>Optional: Others are available on request                |

## 2.4 Referenssystem

|               |                    |
|---------------|--------------------|
| Horisontellt: | RT90 2.5 gon V:-15 |
| Vertikalt:    | RH70               |

## 2.5 Avvikelser i samband med datainsamling

Hela området flögs på en dag. Inga avvikelser att rapportera.

## 2.6 Markfiltrering – land och sjöbotten

Insamlad laserdata har genomgått en inledande automatisk filtrering följt av en manuell filtrering med syfte att klassificera fram punkter som träffat mark- resp. bottenyta.

Levererad laserdata är indelade i fyra klasser:

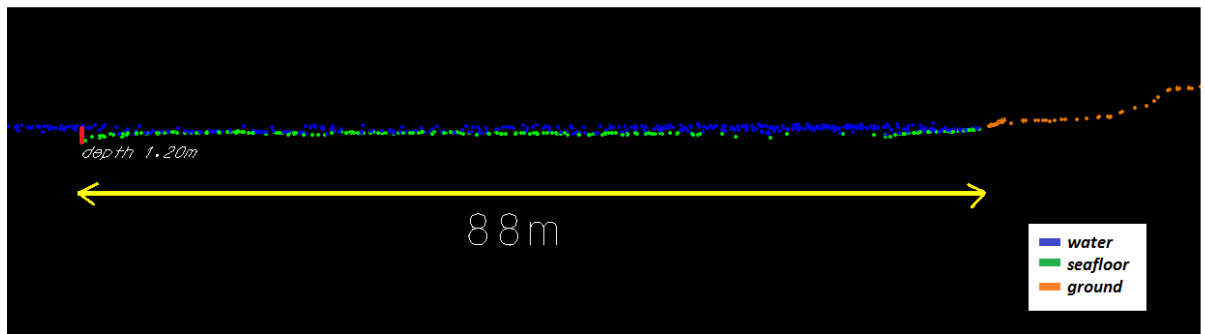
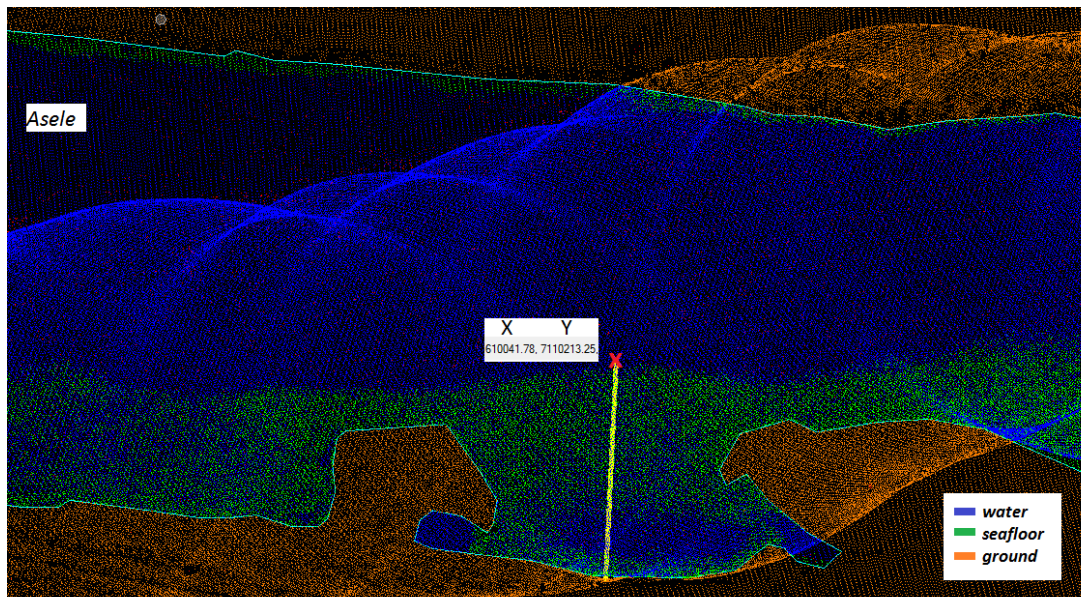
1: Unclassified, d.v.s. alla punkter som varken utgör markpunkter på land eller bottenyta. På land är detta punkter som träffat och registrerat vegetation, byggnader och liknande. I vattenmassan härrör oklassificerade punkter från vattenytan och diverse punkter som returnerats i vattenvolymen.

2: Ground, d.v.s. markpunkter på land

3: Sjöbotten

9: Vatten

Observera att det förekommer grunda områden med en betydande andel "brus" i datasetet vilket gör det svårt att definiera en entydig bottenyta. Detta kan exempelvis utgöras av områden med stora rullstenar, ris och kvistar eller annan vegetation. Den manuella tolkningen och klassificeringen av bottenyta är här utförd efter bästa förmåga och kan möjligt förbättras med stöd av information och kännedom om det faktiska förhållandet i de strandnära zonerna i området. Se även bild nedan.



### 3. LEVERANS

#### 3.1 Mappstruktur i leverans

- 40299\_Åsele Elv
  - DSM
    - 001.las
    - ....
    - 006.las
  - DTM
    - ASCII
      - 001.xyz
      - ....
      - 06.xyz

- las
  - 001.las
  - ....
  - 006.las
- 40299\_Asele Elv.dgn

Innehåll i leveransen:

40299\_Asele Elv.dgn:

Innefattar översikt av filindelningen i dgn-format

DSM:

Alla laserpunkter klassificerade i fyra klasser som beskrivits ovan

DTM:

Enbart mark- och sjöbottenpunkter, i såväl ASCII xyz-format som .las-format

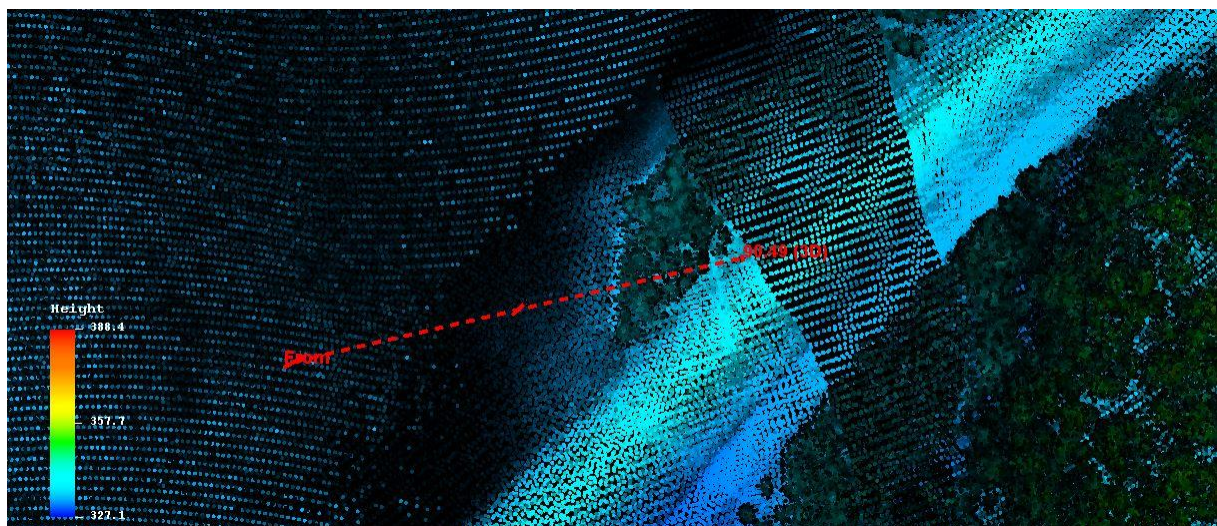
## 4. SAMMANFATTNING AV RESULTAT

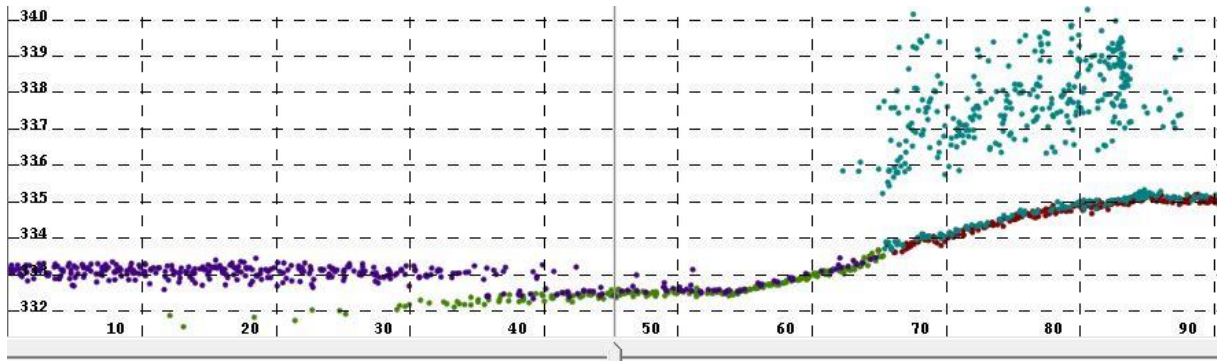
Datainsamlingen har planlagts med god geografisk marginal varför levererad data täcker ett något större område än det ursprungligen efterfrågade.

Bottendata ned till ett djup av ca 1,5 meter har registrerats för Åsele älv. Detta är ett avsevärt sämre resultat än förväntat. Som exempel kan nämnas att TerraTec i anslutning till datainsamlingen över Fjällsjön, Bodumsjön och Åsele älv utfört motsvarande datainsamling över kustområden i Norge där bottenytor på 15 meters djup (10 m i medeltal) registrerats. Möjliga orsaker till den begränsade djuppenetrationen i Åsele älv är:

- Bottenförhållanden i området (en jämn, väldefinierad bottenyta med låg förekomst av stora stenar och bottenvegetation ger vanligen bättre resultat när det gäller att definiera bottenyta under vatten)
- Dålig reflektion från bottenytan – mörka bottensediment ger ofta väldigt liten eller ingen reflektion alls (jmf nylagd asfalt eller tjärpapp på hustak som påverkar resultat vid laserskanning negativt och ger inga eller mycket få returer)
- Akvatiska humusämnen – förekomst av organiska ämnen i vattnet begränsar siktdjupet för just det aktuella instrumentet under rådande förhållanden att djuppenetrationen blir kraftigt begränsad. Detta indikeras bl.a. av att goda resultat uppnåtts vid samma tid på året med samma instrument och inställningar men i andra akvatiska miljöer, exempelvis i kustnära områden utanför Norge.

Exempel på tvärsnitt av data, i profil:





Bilden visar punktdistributionen i profilen, Brunt = mark, ljusblå = oklassificerat, lila = vatten och grön = sjöbotten. Mängden registrerade träffar på sjöbotten varierar i förhållande till lokala förutsättningar.



# ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31

Telefon: 08-677 2530. Telefax 08-677 2535

[www.elforsk.se](http://www.elforsk.se)