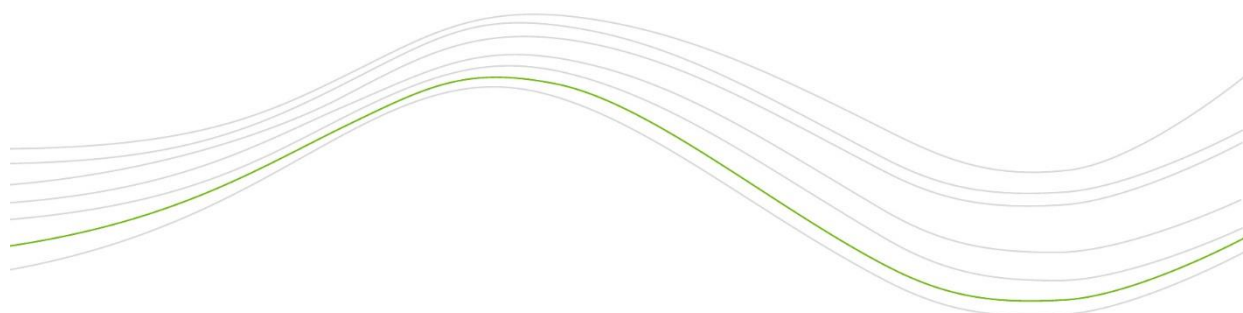


Rapport 19-04811-23

# Ny høydereferansemodell i Longyearbyen



**Informasjon om rapporten:**

**Tittel:** Rapport om ny høydereferansemodell i Longyearbyen

**Dato:** 01. aug. 2024

**Rapport nr.:** 19-04811-23

**ISSN-nr. el. ISBN-nr.:** 978-82-7945-476-2

**Forfattere:** Olav Vestøl (redaktør), Harald Faste Aas, Jostein Børve Hernes  
Oddvar Tangen, Anne Urset

**Klassifisering:** Fri

**Oppsummering:** Rapporten presenterer feltarbeidet i Longyearbyen i august 2023 som bestod av nivellement og GNSS-måling. Videre beskriver rapporten realiseringen av et nytt høydegrunnlag i Longyearbyen basert på nivellement og vannstandsmålinger, dokumenter beregning av (1) ellipsoidiske høyder på de innmålte GNSS-punktene; (2) en ny høydereferansemodell; og (3) i tillegg EUREF89-koordinater på grunnlagspunkter i både Longyearbyen og Ny-Ålesund

**Nøkkelord:** nivellement, geoide, høydereferansemodell, justeringspunkt, kollokasjon og vannstandsmåling

**Forsidefoto:** Anne Urset

**Godkjent av:** Kristian Breili

Denne rapporten skal refereres som:

Kartverket, 2020. *Ny høydereferansemodell i Longyearbyen*. Utarbeidet av Olav Vestøl (redaktør), Harald Faste Aas, Jostein Børve Hernes  
Oddvar Tangen, Anne Urset  
Kartverkets rapportserie, 10-04811-21.

## Sammendrag

Denne rapporten dokumentere feltarbeidet som ble utført i Longyearbyen august 2023 og de etterfølgende beregningene som resulterte i en ny høydereferansemodell for Svalbard.

Feltarbeidet besto av boltsetting og etterfølgende nivellering av et nivellementsnett i Longyearbyen, samt GNSS-måling i mange av nivellementspunktene. Feltarbeidets varighet var litt over ei uke og var et samarbeid mellom Kartverket, Polarinstituttet og Lokalstyret i Longyearbyen.

For å oppnå en felles vertikal referanse mellom Ny-Ålesund og Longyearbyen, ble det brukt vannstandsmålinger fra 2018, og vi overførte høydene fra Ny-Ålesund til Longyearbyen. Dette resulterte i at det som tidligere har vært oppfattet som et vertikalt grunnlag i Longyearbyen ble redusert med 5.9 cm.

Med en felles vertikal referanseramme i Ny-Ålesund og Longyearbyen kunne justeringspunkter fra begge steder utnyttes til å lage en felles høydereferansemodell. Som underliggende gravimetrisk geoidmodell ble tre alternative modeller vurdert som erstatning for ArcGP2006, som til nå har vært benyttet. Som ny underliggende geoidmodell valgte vi den europeiske modellen EGG2015. Den resulterende høydereferansemodell har fått betegnelsen *Href\_Svalbard\_EUREF89\_EGG2015\_2024*.

Nærmest som et forsøk, har vi også analysert vannstandsmålinger innsamlet av Polarinstituttet på Halvmåneøya fra sommeren 1985 til sommeren 1986. Målingene er knyttet til et fastmerke som er koordinatbestemt med GNSS og derfor har en ellipsoidisk høyde. Resultatet var så oppløftene at vi valgte å ta med dette punktet blant justeringspunktene.

## **Innholdsfortegnelse**

|     |                                                     |    |
|-----|-----------------------------------------------------|----|
| 1   | Bakgrunn.....                                       | 1  |
| 2   | Dagens vertikale referanseramme i Longyearbyen..... | 2  |
| 3   | Ny vertikal referanseramme for Longyearbyen.....    | 4  |
| 3.1 | Beregning av normalhøyder.....                      | 6  |
| 3.2 | Målinger.....                                       | 6  |
| 3.3 | Utgangshøyde og nye beregnede høyder .....          | 7  |
| 4   | Beregning av ellipsoidiske høyder .....             | 8  |
| 4.1 | Longyearbyen .....                                  | 8  |
| 4.2 | Ny-Ålesund .....                                    | 10 |
| 5   | Beregning av grunnrisskoordinater.....              | 11 |
| 5.1 | Longyearbyen .....                                  | 11 |
| 5.2 | Ny-Ålesund .....                                    | 12 |
| 6   | Høydereferansemodell for Svalbard.....              | 13 |
| 6.1 | Juseringspunkt i Longyearbyen .....                 | 14 |
| 6.2 | Justeringspunkter i Ny-Ålesund .....                | 15 |
| 6.3 | Beregning av endelig høydereferansemodell.....      | 16 |
| 6.4 | Halvmåneøya .....                                   | 18 |

## 1 Bakgrunn

I forbindelse med en ny kartlegging av Longyearbyen er det behov for en definert og entydig vertikal referanseramme. Før gjennomføringen av feltarbeidet som denne rapporten beskriver, var det lite av pålitelige høydefastmerker, og det fantes ikke noe nivellementsnett som dekket hele området og heller ingen geoidmodell som var tilpasset en vertikal referanseramme.

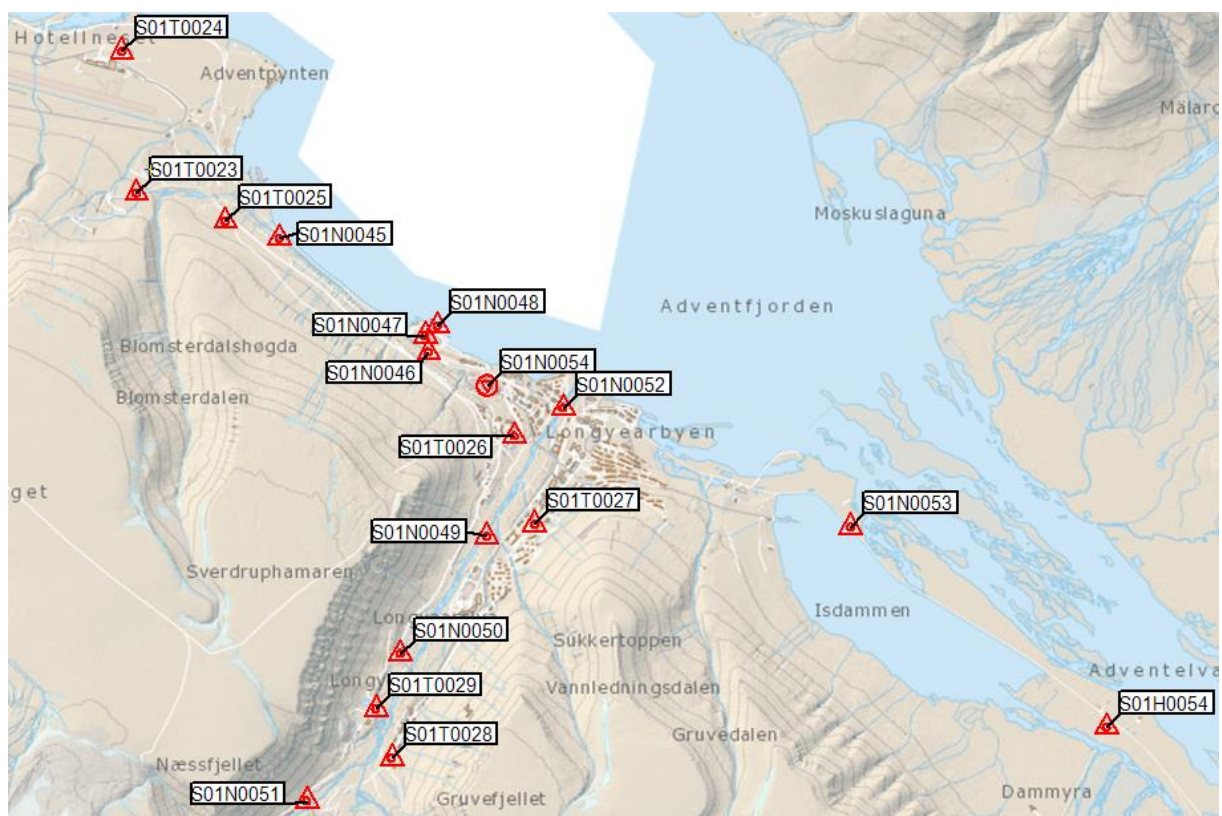
EUREF89 er innført i Longyearbyen ved at to permanente referansestasjoner, Lokalstyrelsens stasjon LOBY i sentrum og Kartverkets stasjon LYRS på Platåfjellet. Begge har EUREF89-koordinater. Øvrige fastmerker har upålitelige koordinater, dels fordi de ikke er bestemt i en samlet utjevning, men mest fordi merkene ikke står i fjell og derfor flytter på seg.

I august 2023 ble det utført feltarbeid i Longyearbyen. Et sammenhengende nivellementsnett ble etablert og samtidig ble det utført GNSS-målinger på en rekke grunnlagspunkter, hvorav mange var punkter i nivellementsnettet.

Målet med feltarbeidet var å skaffe til veie nivellerte punkter med pålitelig ellipsoidisk høyde, såkalte justeringspunkter, som en kan tilpasse en gravimetrisk geoidmodell til. Resultatet blir en høydereferansemodell (Href) som kan brukes i kartleggingsprosjektet og videre inngå som en del av den geodetiske infrastrukturen i Longyearbyen.

Det ble underveis, i forbindelse med definisjonen av den vertikale referanserammen, naturlig også å bringe inn den geodetiske infrastrukturen i Ny-Ålesund

Både feltarbeidet og denne rapporten er et fellesprosjekt mellom Lokalstyret i Longyearbyen, Polarinstituttet og Kartverket. Selve kartleggingsprosjektet er ledet av Kartverkets regionalkontor i Tromsø, mens Geodesidivisjonen ledet feltarbeid og rapportskriving.



Figur 1 Punkter som er berørt av prosjektet. De fleste var eksisterende punkter, mens S01N0045, S01N0046, S01N0049, S01N0050, S01N0051 og S01N0053 ble etablert som en del av prosjektet. S01H0054 var midlertidig og finnes ikke lenger. Alle punktene har i prosjektet fått tildelt gradteigsnummeret S01.

## 2 Vertikale referanseramme i Longyearbyen ved prosjektets start

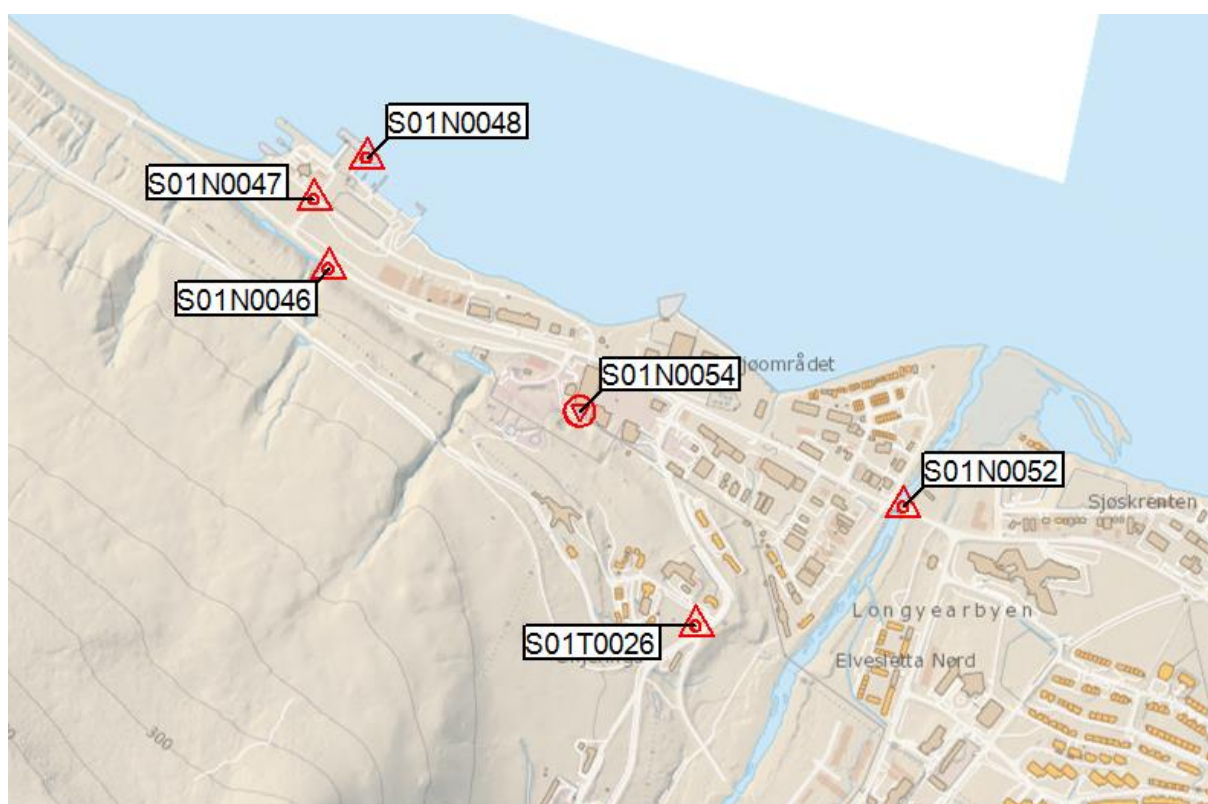
I Longyearbyen har vi funnet fire eldre punkter som tidligere er nivellerte. Punktene er i Polarinstituttets arkiv og høydene har utgangspunkt i vannstandsmålinger. Punktet S01N0054, i pipa på kraftstasjonen, er det eldste med høyde 5.083. Det ble satt ned og nivellert i 1984.

Tabell 1 Eksisterende punkter med kjente nivellerte høyder (H) og ellipsoidiske høyder (h). NP og KV indikerer henholdsvis Norsk polarinstitutt og Kartverket

| Punkt    | Andre navn  | Nord (m)    | Øst (m)    | H (m)  | Kilde |  | H (m)  | Kilde |
|----------|-------------|-------------|------------|--------|-------|--|--------|-------|
| S01N0047 | NP177, KUM  | 8683945,372 | 513619,065 | 2,184  | NP    |  |        |       |
| S01N0054 | Pipa        | 8683578,000 | 514080,000 | 5,083  | NP    |  |        |       |
| S01T0026 | NP124, SYSS | 8683206,116 | 514280,580 | 34,938 | NP    |  | 66,667 | KV    |
| S01N0048 |             | 8684017,000 | 513710,000 | 2,989  | NP    |  |        |       |

Polarinstituttet har fra 1995 fram til 2009 nesten årlig utført nivellement fra pipa (S01N0054) til to punkter på kaia, S01N0047 og S01N0048. S01N0047 er i en kum med kumlokk. Oppi kummen er det ei nedgravd betongsøyle med en bolt i toppen. S01N0048 er i selve fundamentet til kaia. Disse målingene viser liten variasjon mellom S01N0054 og S01N0047 med avvik fra gjennomsnittet mindre enn 2 mm alle år, unntatt 1998 da avviket var 4 mm. Videre til S01N0048 i kaia derimot, viser målingene endringer med stadig lavere høyder. Fra 1995 til 2007 har høyden i S01N0048 relativt S01N0054 blitt 3 cm lavere.

**Ut fra Polarinstituttets målinger fra 1995-2009 og egne målinger nå i 2023, kan vi ikke påstå relative bevegelser mellom S01N0054 og S01N0047.** Derimot er det tydelig at S01N0048 synker: 3 cm fra 1995 til 2007 og ytterligere 12 mm fra 2007 til 2023.



*Figur 2 Kartet viser punkter ved havna som er sentrale for å bestemme den vertikale referanseramme i Longyearbyen.*

Polarinstituttet nivellerte også opp til S01T0026, «Sysselmanssøyla», i 1984, 1994, 1995 og 1996. Relativt S01N0054 viser den seg å være ganske stabil. Målingen i 1994 skiller seg ut med 6 mm avvik fra 1984-målinga, ellers er avvikene fra 1984-målinga i 1995 og 1996 under 1.1 mm. Våre målinger i 2023 indikerer en liten endring på 5 mm fra 1984.

Ut fra dette har vi valgt punktene S01N0047 og S01N0054 som fundamentalpunkt for fysiske høyder i Longyearbyen, og i praksis er det disse punktene som tidligere har utgjort den vertikale referanserammen for Longyearbyen.

### 3 Ny vertikal referanseramme for Longyearbyen

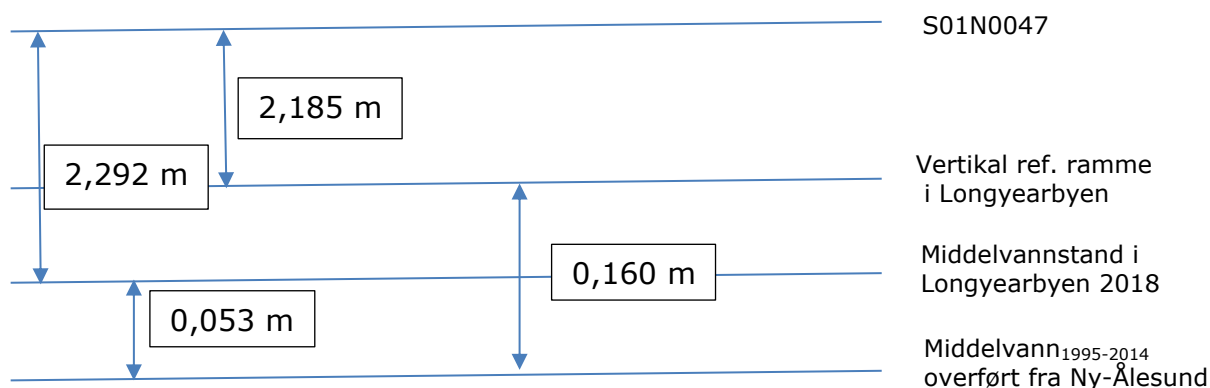
Det er ønskelig å ha samme vertikale referanseramme i Longyearbyen som i Ny-Ålesund. Sjødivisjonen i Kartverket gjennomførte sommeren 2018 en vannstandsmåling i Longyearbyen:

**Tidsrom:** 30.05.2018 16:20 til 08.10.2018 10:30

**Middelvannstand relativt S01N0047 i Longyearbyen:** -2,292 m

**Middelvannstand relativt Middelvann<sub>1995-2014</sub> i Ny-Ålesund:** 0,053m

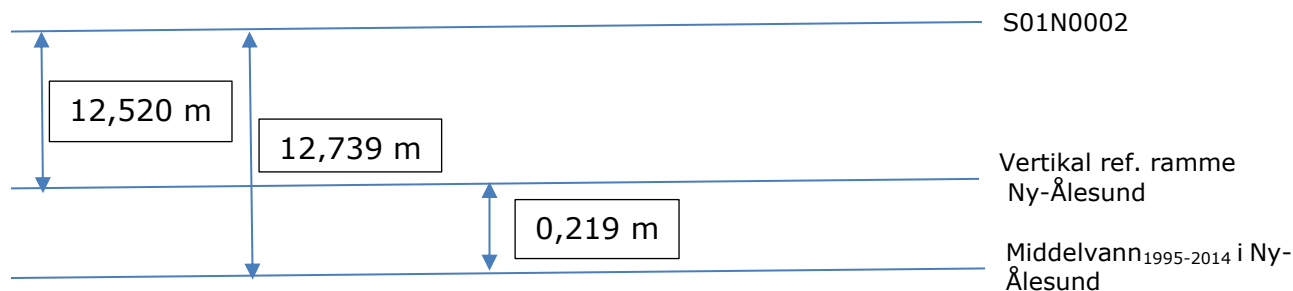
Med utgangspunkt i høyden 5,083 m i S01N0054 og årets målinger blir høyden i S01N0047 2,185 m. Vannstandsmålingene er henført til samme punkt og følgelig ligger null-nivået til den vertikale referanseramme  $(2,292 \text{ m} + 0,053 \text{ m}) - 2,185 \text{ m} = 0,160 \text{ m}$  over Middelvann<sub>1995-2014</sub>, hvis vi antar at middelvannstanden relativt Middelvann<sub>1995-2014</sub> er den samme i Longyearbyen som i Ny-Ålesund for denne tidsperioden.



Figur 3 Vannstandsmålinger i Longyearbyen 2018. Skissen viser beliggenheten til S01N0047 relativt til (1) middelvann over perioden mai-oktober 2018 og (2) den vertikale referanserammens nullnivå. I tillegg vises beliggenheten til Middelvann<sub>1995-2014</sub> overført fra Ny-Ålesund relativt til de samme to referansenivå.

Ny-Ålesund er det en permanent stasjon slik at middelvannet for referanseperioden 1995-2014, Middelvann<sub>1995-2014</sub>, kan nøyaktig bestemmes. Ifølge Sjødivisjonen i Kartverket ligger Middelvann<sub>1995-2014</sub> 12,739 m under S01N0002<sup>1</sup>, som er TGBM (Tide Gauge BenchMark). Høyden i S01N0002 er 12,520 m og følgelig ligger den vertikale referanseramma  $(12,739 \text{ m} - 12,520 \text{ m}) = 0,219 \text{ m}$  over Middelvann<sub>1995-2014</sub>.

<sup>1</sup> Info fra Torbjørn Taskjelle i Kartverket Sjø, september 2023



Figur 4 Vannstandsnivåer i Ny-Ålesund. Skissen viser beliggenheten til S01N0002 relativt til Middelvann<sub>1995-2014</sub> og null-nivået til den vertikale referanserammen for Ny-Ålesund

Vannstandsmålingene i 2018 viser altså en forskjell på  $(0,219 \text{ m} - 0,160 \text{ m}) = 0,059 \text{ m}$  mellom de vertikale referanserammene forhold til Middelvann<sub>1995-2014</sub> i Longyearbyen og Ny-Ålesund. Basert på erfaringer fra Fastlands-Norge er det liten variasjon mellom Middelvann<sub>1995-2014</sub> og en geoide over en avstand som tilsvarer den mellom Longyearbyen og Ny-Ålesund. Vi velger derfor å bruke Middelvann<sub>1995-2014</sub> for å sammenkoble de vertikale referanserammene i Longyearbyen og Ny-Ålesund.

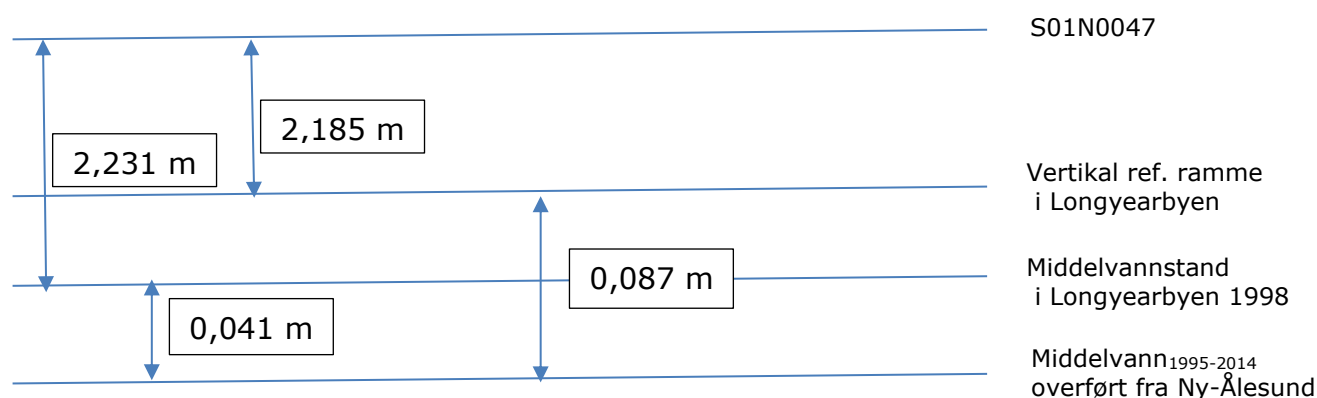
Bestemmelsen av Middelvann<sub>1995-2014</sub> i Longyearbyen har en viss usikkerhet. Basert på erfaringer fra Fastlands-Norge kan en anslå usikkerheten til 2-3 cm. Til tross for denne usikkerheten velger vi likevel å endre den vertikale referanseramma i Longyearbyen ved at høyden i **S01N0047 endres fra 2,185 til  $(2,185 - 0,059) = 2,126 \text{ m}$** , slik at differansen mellom Middelvann<sub>1995-2014</sub> og den vertikale referanserammen blir 0,219 m begge steder.

Det er også utført andre vannstandsmålinger i Longyearbyen. Polarinstituttet har en måleserie fra august 1998 til august 1999 med følgende resultat:

**Tidsrom:** 10.08.1998 13:00 til 11.08.1999 19:00

**Middelvannstand relativt S01N0047 i Longyearbyen:** -2,231 m

**Middelvannstand relativt Middelvann<sub>1995-2014</sub> i Ny-Ålesund:** 0,041m



Figur 5 Vannstandsmålinger i Longyearbyen august 1998- august 1999. Skissen viser beliggenheten til S01N0047 relativt til (1) middelvann over observasjonsperioden og (2) den vertikale referanserammens nullnivå. I tillegg vises beliggenheten til Middelvann<sub>1995-2014</sub> overført fra Ny-Ålesund relativt til de samme to referansenivå.

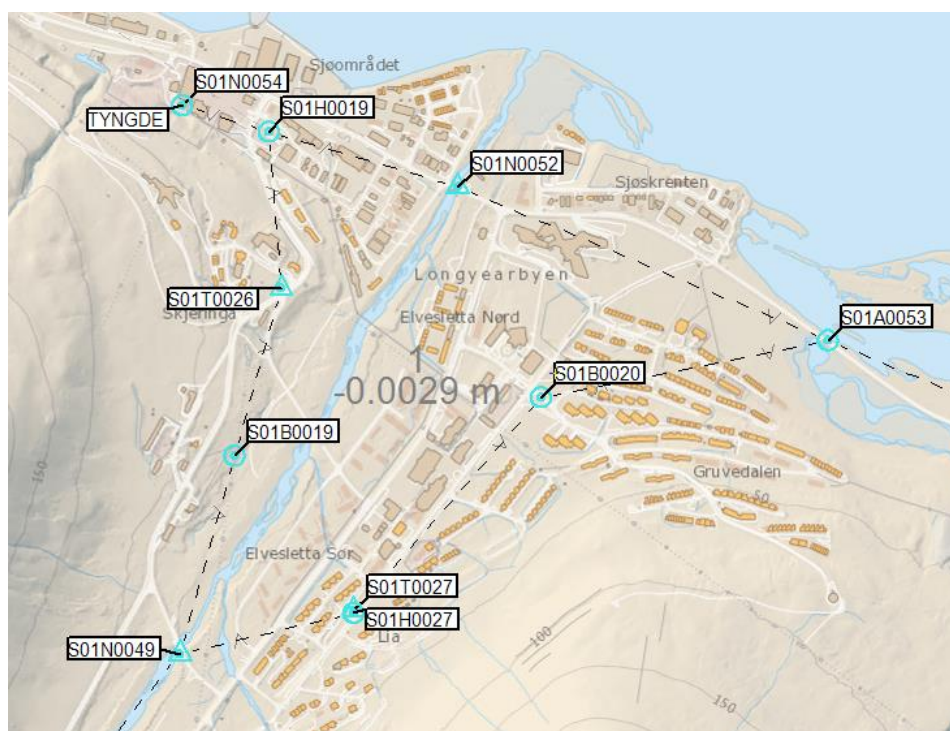
Målingene fra 1998/1999 gir en forskjell mellom Middelvann<sub>1995-2014</sub> og den vertikale referanserammen på  $(2,231 \text{ m} + 0,041 \text{ m} - 2,185 \text{ m}) = 0,087 \text{ m}$  og avviker  $(0,087 \text{ m} - 0,160 \text{ m}) = -0,073 \text{ m}$  fra 2018-målingene. Vi tror dette kan skyldes landhevning i 20-årsperioden fra 1998 til 2018. En landhevningsskjell på 3,65 mm/år kan forklare avviket, og en slik verdi er ikke urimelig.

Selv om målingene fra 1998 til 1999 dekker et helt år, velger vi likevel ikke å benytte disse målingene ettersom landhevning over 20 år kan medføre systematiske feil.

### 3.1 Beregning av normalhøyder

Alle nivellementsmaålingene er utført begge veger og middelverdien framkommer i Tabell 2. Under måling ble fram- og tilbakemaålingene kontrollert. Hvis differansen mellom dem var større enn 2 mm multiplisert med kvadratroten av avstanden i kilometer, ble strekningen målt begge veger en gang til. En slik ommåling ble utført for to strekninger. I slike tilfeller brukes gjennomsnittsverdien av alle fire målinger, med mindre én skiller seg vesentlig ut fra gjennomsnittet.

Utenom kontrollen som oppstår som følge av at strekningene måles begge veger, har vi ytterlige en kontroll ved at målingene i sentrum utgjør ei sløyfe. Denne har en sløyfefeil på 2,9 mm.



Figur 6 Nivellementsstøyfen i sentrum av Longyearbyen viser en feil på 2,9 mm.

### 3.2 Målinger

De nivellerte høydeforskjellene i Tabell 2 gjøres om til geopotensialdifferanser ved at de multipliseres med middelverdien av tyngden i

målingenes start- og sluttpunkt. Tyngdeverdien finnes i kolonne 2 i Tabell 4. For enkelhets skyld har geopotensialdifferansen enheten gpu – **geopotential unit**.

*Tabell 2* Målinger, standardavvik og utjevningskorreksjoner. Standardavvikene i kolonne 5 er målingenes antatte nøyaktighet mens målingenes beregnede utjevningskorreksjoner er listet i siste kolonne.

| Fra punkt | Til punkt | Nivellert<br>høydeforskjell<br>(m) | Geopot. diff.<br>(gpu) | Std. avvik<br>(gpu) | Avstand<br>(m) | Utg.korr.<br>(gpu) |
|-----------|-----------|------------------------------------|------------------------|---------------------|----------------|--------------------|
| S01T0024  | S01N0045  | -16,60133                          | -16,3185               | 0,0011              | 1986           | 0,0000             |
| S01N0045  | S01N0046  | 1,98346                            | 1,9497                 | 0,0011              | 1478           | 0,0000             |
| S01N0046  | S01N0054  | 1,45677                            | 1,43194                | 0,0011              | 1152,0         | 0,0000             |
| S01N0054  | S01T0026  | 29,85885                           | 29,34984               | 0,0010              | 668,0          | 0,0000             |
| S01T0026  | S01N0049  | 6,4872                             | 6,3766                 | 0,0010              | 852            | -0,0005            |
| S01N0049  | S01N0050  | 37,33518                           | 36,6984                | 0,0011              | 1340           | 0,0000             |
| S01N0050  | S01T0029  | 47,2008                            | 46,3954                | 0,0010              | 571            | 0,0000             |
| S01T0029  | S01N0051  | 28,6208                            | 28,1322                | 0,0010              | 921            | 0,0000             |
| S01N0045  | S01T0025  | 38,90125                           | 38,2383                | 0,0011              | 1226           | 0,0000             |
| S01N0045  | S01T0023  | 57,62314                           | 56,6410                | 0,0011              | 1445           | 0,0000             |
| S01N0046  | S01N0047  | -1,44109                           | -1,4165                | 0,0010              | 168            | 0,0000             |
| S01N0047  | S01N0048  | 0,76075                            | 0,7478                 | 0,0010              | 139            | 0,0000             |
| S01T0026  | S01N0052  | -26,59645                          | -26,1430               | 0,0010              | 920            | 0,0005             |
| S01N0052  | S01N0053  | -4,37936                           | -4,3047                | 0,0016              | 2428           | 0,0000             |
| S01N0053  | S01H0054  | 1,19722                            | 1,1768                 | 0,0016              | 2489           | 0,0000             |
| S01N0049  | S01T0027  | -5,49364                           | -5,4000                | 0,0010              | 502            | -0,0005            |
| S01T0027  | S01N0052  | -27,58712                          | -27,1168               | 0,0016              | 2221           | -0,0013            |
| S01N0050  | S01T0028  | 36,46482                           | 35,8426                | 0,0010              | 934            | 0,0000             |

### 3.3 Utgangshøyde og nye beregnede høyder

For å kunne beregne nivellementsnettet i geopotensialer, må først utgangshøyden gjøres om til geopotensial ved å multiplisere med normaltyngden som vist i Tabell 3

*Tabell 3* Kjent høyde i S01N0047

| Punktnr. | Høyde | Normaltyngde<br>(kgal) | Geopot.<br>(gpu) |
|----------|-------|------------------------|------------------|
| S01N0047 | 2,126 | 0,9830008              | 2,090            |

Punktenes beregnede geopotensialverdier omgjøres til høyder ved å dividere med normaltyngden som vist i Tabell 4. Normaltyngden er beregnet ut fra breddegrad og høyde etter internasjonale retningslinjer for GRS80 ellipsoiden. Tyngdene i andre kolonne er interpolerte verdier basert på faktiske målinger. De brukes til omgjøring fra nivellerte høydeforskjeller til geopotensialforskjeller i Tabell 2. (De interpolerte tyngdeverdiene er ikke påført terrengkorreksjon på grunn av manglende terrengmodell for Svalbard. Antatt nøyaktighet er 5 mgal).

Tabell 4 Beregnede geopotensialverdier og omregning til normalhøyder. Kolonne 3 viser utjevnete geopotensialer og kolonne 4 viser geopotensialenes beregnede standardavvik..

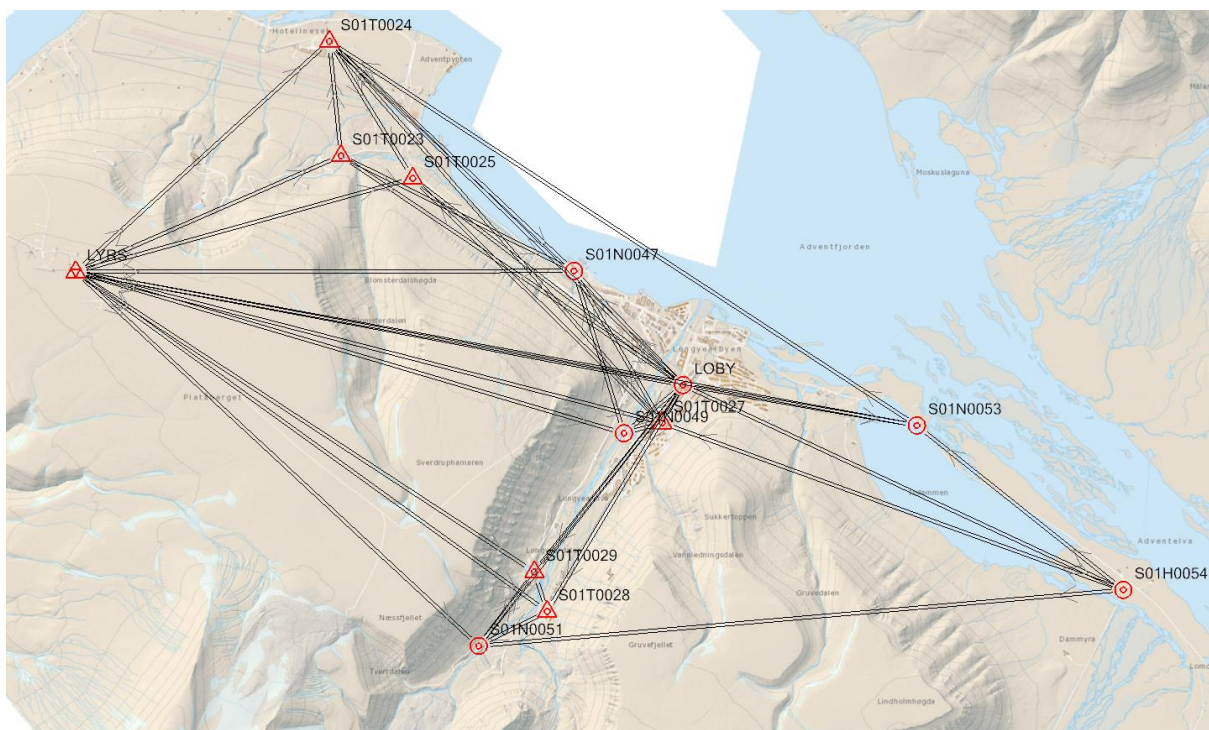
| PunktID  | Tyngde (kgal) | Geopot. (gpu) | Std. (gpu) | Normaltyngde (kgal) | Normalhøyde (m) |
|----------|---------------|---------------|------------|---------------------|-----------------|
| S01N0045 | 0,9829612     | 1,557         | 0,002      | 0,9830011           | 1,584           |
| S01T0024 | 0,9829617     | 17,875        | 0,002      | 0,9830015           | 18,184          |
| S01N0046 | 0,9829581     | 3,507         | 0,001      | 0,9830008           | 3,568           |
| S01N0054 | 0,9829561     | 4,938         | 0,002      | 0,9830007           | 5,023           |
| S01T0026 | 0,9829496     | 34,288        | 0,002      | 0,9830006           | 34,881          |
| S01N0049 | 0,9829477     | 40,664        | 0,002      | 0,9830003           | 41,367          |
| S01N0050 | 0,9829407     | 77,363        | 0,003      | 0,9830001           | 78,701          |
| S01T0029 | 0,9829307     | 123,758       | 0,003      | 0,9829999           | 125,898         |
| S01N0051 | 0,9829235     | 151,89        | 0,003      | 0,9829997           | 154,517         |
| S01T0025 | 0,9829544     | 39,795        | 0,002      | 0,9830011           | 40,483          |
| S01T0023 | 0,9829518     | 58,198        | 0,002      | 0,9830012           | 59,204          |
| S01N0048 | 0,9829583     | 2,838         | 0,001      | 0,9830008           | 2,887           |
| S01N0052 | 0,9829547     | 8,146         | 0,002      | 0,9830006           | 8,287           |
| S01N0053 | 0,9829542     | 3,841         | 0,003      | 0,9830003           | 3,907           |
| S01H0054 | 0,9829553     | 5,018         | 0,003      | 0,9829998           | 5,105           |
| S01T0027 | 0,9829486     | 35,264        | 0,002      | 0,9830004           | 35,874          |
| S01T0028 | 0,9829323     | 113,205       | 0,003      | 0,9829998           | 115,163         |

## 4 Beregning av ellipsoidiske høyder

### 4.1 Longyearbyen

I de fleste nivellerte punkter er det også målt med GNSS. Nesten hver dag var tre antenner utplassert og det ble beregnet to vektorer mellom dem, pluss tre

vektorer fra LYRS og tre vektorer fra LOBY – totalt åtte vektorer. Antennene ble forflyttet hver kveld slik at hver vektor fikk en måletid på om lag et døgn.



Figur 7 Vektornettet observert august 2023

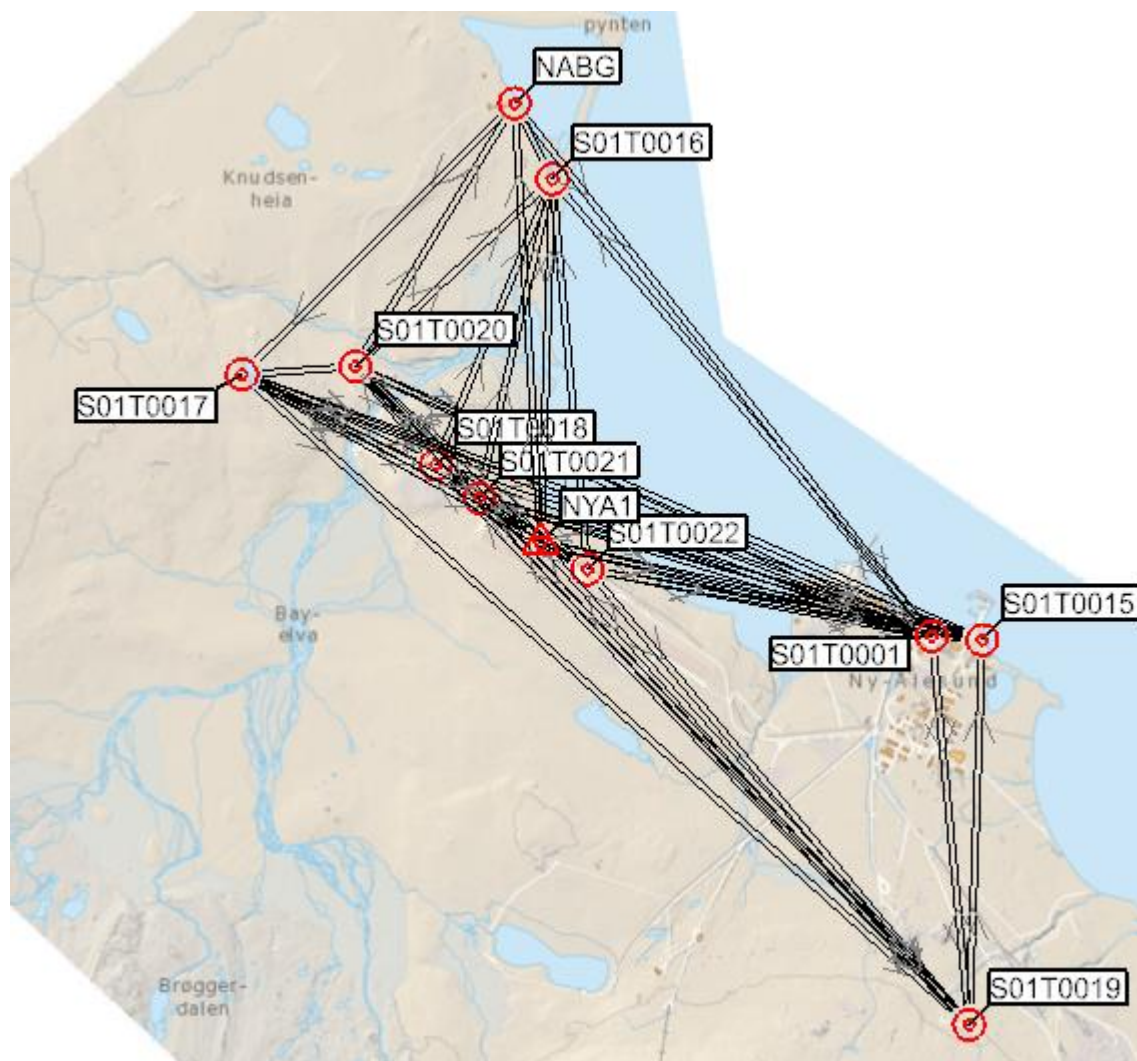
Stasjonen på LYRS ble holdt fast med verdien **495,680 i EUREF89**. Beregningen er utført i utjevningsprogrammet GUNDA og kontrollert med et annet Matlab-basert høydeutjevningsprogram. Forskjellene på opptil 2 mm kan tilskrives ulike vektingsmodeller, og er innenfor usikkerheten.

Tabell 5 Endelige ellipsoidiske høyder i EUREF89 i Longyearbyen.

| Fastmerke | Annet navn | Høyde (h) | Std. Avvik (h) |
|-----------|------------|-----------|----------------|
| S01N0049  |            | 73,177    | 0,003          |
| S01N0047  | NP177      | 33,896    | 0,003          |
| S01H0054  |            | 36,884    | 0,003          |
| S01N0051  |            | 186,403   | 0,003          |
| S01N0053  |            | 35,686    | 0,003          |
| S01T0027  | SUKK       | 67,679    | 0,003          |
| S01T0029  | SVER       | 157,760   | 0,003          |
| S01T0024  | S083       | 49,908    | 0,003          |
| LOBY      |            | 68,883    | 0,002          |
| S01T0025  | FFLY       | 72,243    | 0,003          |
| S01T0028  | NYBY       | 147,030   | 0,003          |
| S01T0023  | VANN       | 90,963    | 0,003          |

## 4.2 Ny-Ålesund

For å lage en felles høydereferansemodell for Ny-Ålesund og Longyearbyen, - og kanskje hele Svalbard, trenger vi pålitelige ellipsoidiske høyder. Som del av dette prosjektet er det beregnet ellipsoidiske høyder på punkter som er eller kan bli nivellert i Ny-Ålesund.



Figur 8 Vektornett på Ny-Ålesund. Vektorene er beregnet i WaSoft ut fra en rekke kampanjemålinger som ble utført i 2022 eller tidligere. Nettet av vektorer er dannet til dette prosjektet for å beregne offisielle koordinater i EUREF89. Mange av vektorene opptrer flere ganger. Totalt er det 83 vektorer i nettet.

Stasjonen NYA1 ble holdt fast med ellipsoidisk høyde **84,136 m**. Beregningen er utført i utjevningsprogrammet GUNDA og kontrollert mot Gemini. Forskjellene utgjør maksimalt 1 mm.

Tabell 6 Endelige ellipsoidiske høyder i EUREF89 i Ny-Ålesund.

| Fastmerke | Annet navn | Høyde (h) | Std. Avvik (h) |
|-----------|------------|-----------|----------------|
| S01T0016  | BRAN       | 36,193    | 0,001          |
| S01T0017  | FLYM       | 81,075    | 0,001          |
| S01T0018  | FLYV       | 64,626    | 0,001          |
| S01T0019  | GRAV       | 83,173    | 0,001          |
| S01T0015  | KAIA       | 41,834    | 0,001          |
| S01T0001  | KLOK       | 48,344    | 0,001          |
| S01T0020  | OBSV       | 54,248    | 0,001          |
| S01T0021  | QPKT       | 74,303    | 0,001          |
| S01T0022  | SNYE       | 75,578    | 0,001          |
| NABG      |            | 42,761    | 0,001          |

## 5 Beregning av grunnrisskoordinater

Det er beregnet grunnrisskoordinater både i Longyearbyen og i Ny-Ålesund. I Ny-Ålesund har det lenge eksistert ulike versjoner av EUREF89-koordinater. Det er uheldig, så vi har benyttet dette prosjektet til å rydde opp ved å dokumentere en beregning som lagres i Kartverkets punktarkiv og som blir de offisielle EUREF89-verdiene i Ny-Ålesund.

### 5.1 Longyearbyen

Resultatet nedenfor er fra en utjevning av vektornettet i Figur 7 med Kartverkets program GUNDA. Som kjentpunkt har vi brukt de permanente stasjonene LYRS og LOBY med koordinater som listet i Tabell 7.

Tabell 7 Kjente stasjoner ved beregning av grunnrisskoordinater i Longyearbyen

|      | Nord        | Øst        |
|------|-------------|------------|
| LYRS | 8683937,569 | 509048,138 |
| LOBY | 8682898,899 | 514619,304 |

Koordinatene i LOBY er framkommet ved å transformere en ukeløsning i ITR2014 til EUREF89. Målingene som ligger til grunn for ITRF-løsninga er innsamlet en uke i august 2023. Til transformasjonen har vi benyttet Kartverkets transformasjonsprogram SkTrans.

Koordinatene i LYRS er de offisielle EUREF89-koordinatene tidligere framkommet ved en transformasjon fra ITRF2014 i SkTrans.

Ved beregningen kan det påvises en signifikant målestokksfaktor på 2,6 ppm og en signifikant rotasjon på 0,03 mgon. Dette har årsak i uoverensstemmelse mellom koordinatene i LYRS og LOBY. Årsaken til denne uoverensstemmelsen kan skyldes både tilfeldig usikkerhet i koordinatbestemmelsene, usikkerhet i

bevegelsesmodellene som benyttes under transformasjonen eller ha en annen ukjent årsak.

Det kan være uheldig å ha denne målestokksfaktoren i nettet, men det er også uheldig og endre på koordinater som har vært betraktet som offisiell i en lengre periode. Ettersom målestokksfaktoren er forholdsvis liten og det er muligheter for en større oppdatering av grunnlagsnettet i nær framtid, velger vi å beholde de eksisterende koordinatene i LYRS og LOBY

*Tabell 8 Resultat etter utjevning av vektornettet i Longyearbyen*

| Fastmerke | Nord (m)    | Øst (m)    |
|-----------|-------------|------------|
| S01H0054  | 8681020,374 | 518658,056 |
| S01N0047  | 8683945,460 | 513618,910 |
| S01N0049  | 8682456,605 | 514077,469 |
| S01N0051  | 8680506,448 | 512745,101 |
| S01N0053  | 8682528,231 | 516763,981 |
| S01T0023  | 8685002,166 | 511482,130 |
| S01T0024  | 8686050,699 | 511374,771 |
| S01T0025  | 8684794,494 | 512140,030 |
| S01T0026  | 8683206,134 | 514280,579 |
| S01T0027  | 8682551,432 | 514428,423 |
| S01T0028  | 8680821,367 | 513373,129 |
| S01T0029  | 8681185,088 | 513255,768 |

## 5.2 Ny-Ålesund

Resultatet nedenfor er fra en utjevning av vektornettet i Figur 8 med bruk av Kartverkets program GUNDA. Som kjentpunkt er brukt den permanente stasjonen NYA1 med følgende koordinater:

|      | Nord (m)    | Øst (m)    |
|------|-------------|------------|
| NYA1 | 8763915,055 | 432836,424 |

For å komme rundt et krav i GUNDA-programmet om minst to kjente punkter i et vektornett, ble koordinater for S01T0001 og S01T0021 innført som observerte størrelser med svak vekt.

Utjevningsberegningen ga koordinatene i Tabell 9

*Tabell 9 Resultat etter utjevning av vektornettet i Ny-Ålesund*

| Fastmerke | Nord (m)    | Øst (m)    |
|-----------|-------------|------------|
| S01T0016  | 8765171,192 | 432877,091 |
| S01T0017  | 8764495,355 | 431803,611 |
| S01T0018  | 8764184,118 | 432474,827 |
| S01T0019  | 8762248,073 | 434318,137 |

|          |             |            |
|----------|-------------|------------|
| S01T0015 | 8763578,493 | 434364,371 |
| S01T0001 | 8763591,586 | 434190,063 |
| S01T0020 | 8764522,997 | 432195,328 |
| S01T0021 | 8764069,059 | 432623,691 |
| S01T0022 | 8763822,299 | 432998,837 |
| NABG     | 8765433,168 | 432746,524 |

## 6 Høydereferansemodell for Svalbard

De gravimetriske geoidmodellen som ligger til grunn for høydereferansene på land, for eksempel NKG2015 og NMA2013, dekker ikke Svalbard. I stedet har det vært vanlig å benytte en arktisk gravimetrisk geoidmodell kalt ArcGP2006. Dette er en modell utviklet innenfor rammen av Arctic Gravity Project (ArcGP) og Dansk Romsenter har vært en sentral aktør. Modellen bygger på både tyngdedata og altimetridata. Geoidmodellen har en rutenettstørrelse på 5' x 10' og er referert til WGS84 ellipsoiden. På Svalbard er usikkerheten i modellen beregnet til 10-15 cm.

For å tilpasse modellen Middelvann, slik det var definert i 2006, valgte Kartverket å trekke fra 0,896m. Dette ble gjort ved å bruke vannstandsmåleren i Ny-Ålesund og ellipsoidiske høyder på nærliggende punkter. Verdien i modellen ble på den måten lik differansen mellom Middelvann og ellipsoiden i Ny-Ålesund og fikk navnet **ArcGP2006-sk**.

Det har etter 2006, da ArcGP2006 ble publisert, kommet mange nye globale geoidmodeller som dekker Svalbard. Tre av disse er testet mot de justeringspunktene som er etablerte i Ny-Ålesund og Longyearbyen og dokumentert nærmere nedenfor.

*Tabell 10 Gjennomsnitt og RMS av avvik mellom geoidmodellene og differanser mellom ellipsoidiske høyder og normalhøyder i justeringspunkter. Enhet er meter.*

|                           | ARCGP-2006-sk | EIGEN-6C4 | EGG2015 | XGM2019e |
|---------------------------|---------------|-----------|---------|----------|
| Gjennomsnitt totalt       | -0,017        | 0,069     | -0,302  | 0,054    |
| RMS totalt                | 0,079         | 0,080     | 0,026   | 0,013    |
|                           |               |           |         |          |
| Gjennomsnitt Ny-Ålesund   | -0,112        | -0,029    | -0,332  | 0,036    |
| RMS Ny-Ålesund            | 0,017         | 0,016     | 0,012   | 0,003    |
|                           |               |           |         |          |
| Gjennomsnitt Longyearbyen | 0,030         | 0,119     | -0,287  | 0,062    |
| RMS Longyearbyen          | 0,049         | 0,047     | 0,016   | 0,005    |

Vi ser av Tabell 10 at både EGG2015 og XGM2019e passer mye bedre med justeringspunktene enn ARCGP-2006-sk. Det store gjennomsnittlige avviket for EGG2015-modellen er uproblematisk ettersom det er en fast verdi som vil korrigeres bort når en lager høydereferansemodeller. Årsaken til det faste avviket skyldes at modellen er innpasset til den europeiske vertikale referanserammen EVRF2017 som på Svalbard avviker fra middelvann med om lag 30 cm. Etter videre forsøk med EGG2015 og XGM2019e sammen med fotogrammetriske modeller som

viser vannstanden, har vi endt opp med å bruke **EGG2015**, og høydereferansemodellen for dette kartleggingsprosjektet vil være basert på EGG2015. (XGM2019e yter bedre på justeringspunktene, men dårligere når vi bringer inn fotogrammetriske modeller.)

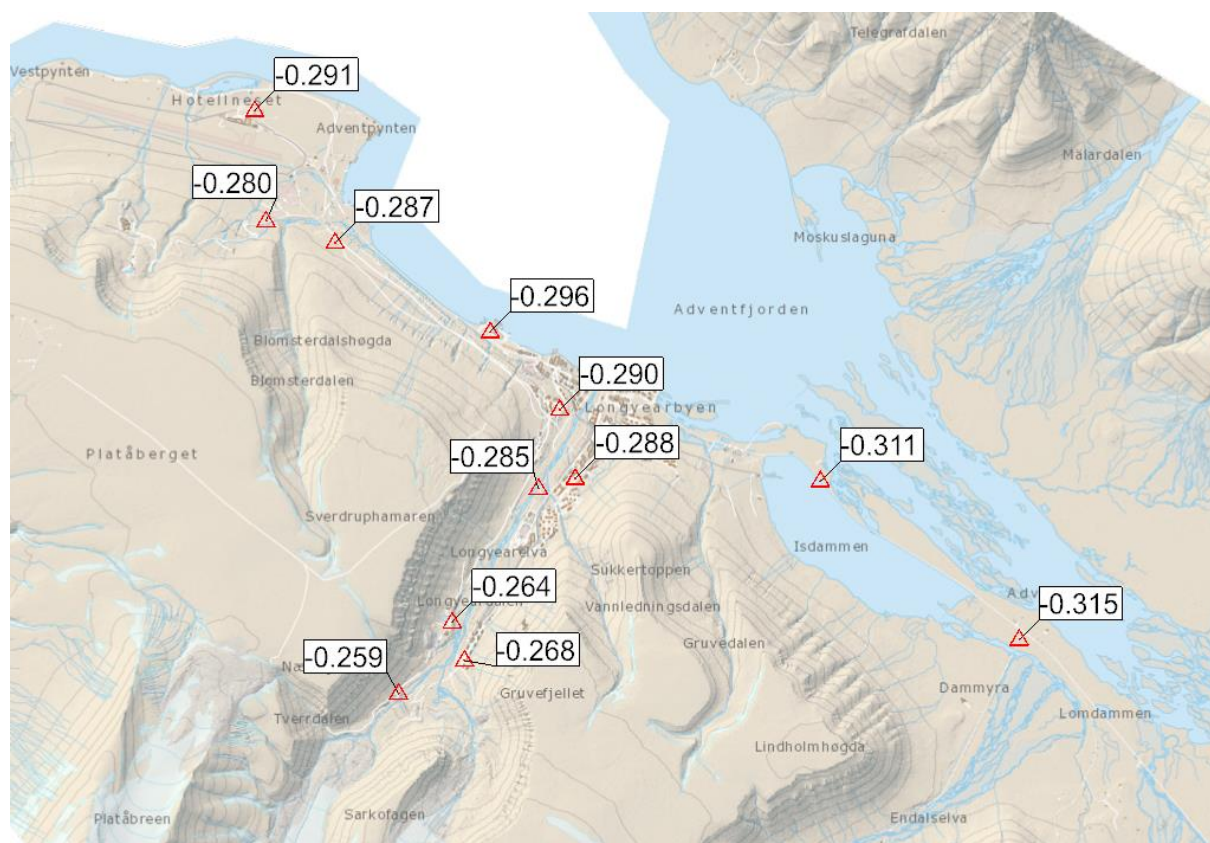
## 6.1 Juseringspunkt i Longyearbyen

Basert på målingene i 2023, omtalt tidligere i dokumentet, får en 11 justeringspunkter i Longyearbyen:

*Tabell 11 Justeringspunkt i Longyearbyen. De to siste kolonnene viser avviket mellom geoidmodellene og geoidehøyden som kan avledes fra differanse mellom ellipsoidisk høyde (h) og normalhøyde (H). Enhet er i meter.*

| Fastmerke | Høyde (h) | Høyde (H) | h ÷ H  | Geoidmodeller |         | Avvik         |         |
|-----------|-----------|-----------|--------|---------------|---------|---------------|---------|
|           |           |           |        | Arcgp-2006-sk | EGG2015 | Arcgp-2006-sk | EGG2015 |
| S01H0054  | 36,884    | 5,105     | 31,779 | 31,842        | 32,094  | -0,063        | -0,315  |
| S01N0047  | 33,896    | 2,126     | 31,770 | 31,757        | 32,066  | 0,013         | -0,296  |
| S01N0049  | 73,177    | 41,367    | 31,810 | 31,766        | 32,095  | 0,044         | -0,285  |
| S01N0051  | 186,403   | 154,517   | 31,886 | 31,774        | 32,145  | 0,112         | -0,259  |
| S01N0053  | 35,686    | 3,907     | 31,779 | 31,805        | 32,090  | -0,026        | -0,311  |
| S01T0023  | 90,963    | 59,204    | 31,759 | 31,735        | 32,039  | 0,024         | -0,280  |
| S01T0024  | 49,911    | 18,184    | 31,727 | 31,732        | 32,018  | -0,005        | -0,291  |
| S01T0025  | 72,243    | 40,483    | 31,760 | 31,741        | 32,047  | 0,019         | -0,287  |
| S01T0026  | 66,670    | 34,881    | 31,789 | 31,768        | 32,079  | 0,021         | -0,290  |
| S01T0027  | 67,679    | 35,874    | 31,805 | 31,771        | 32,093  | 0,034         | -0,288  |
| S01T0028  | 147,030   | 115,163   | 31,867 | 31,773        | 32,134  | 0,094         | -0,267  |
| S01T0029  | 157,760   | 125,898   | 31,862 | 31,765        | 32,126  | 0,097         | -0,264  |

Det er ikke noen tydelig trend i avvikene, men en kan ane en liten stigning oppover Longyeardalen og en tilsvarende avtagende tendens innover Adventsdalen.



Figur 9 Avvik i justeringspunktene i Longyearbyen. GNSS/nivellement verdi ÷ EGG2015verdi

## 6.2 Justeringspunkter i Ny-Ålesund

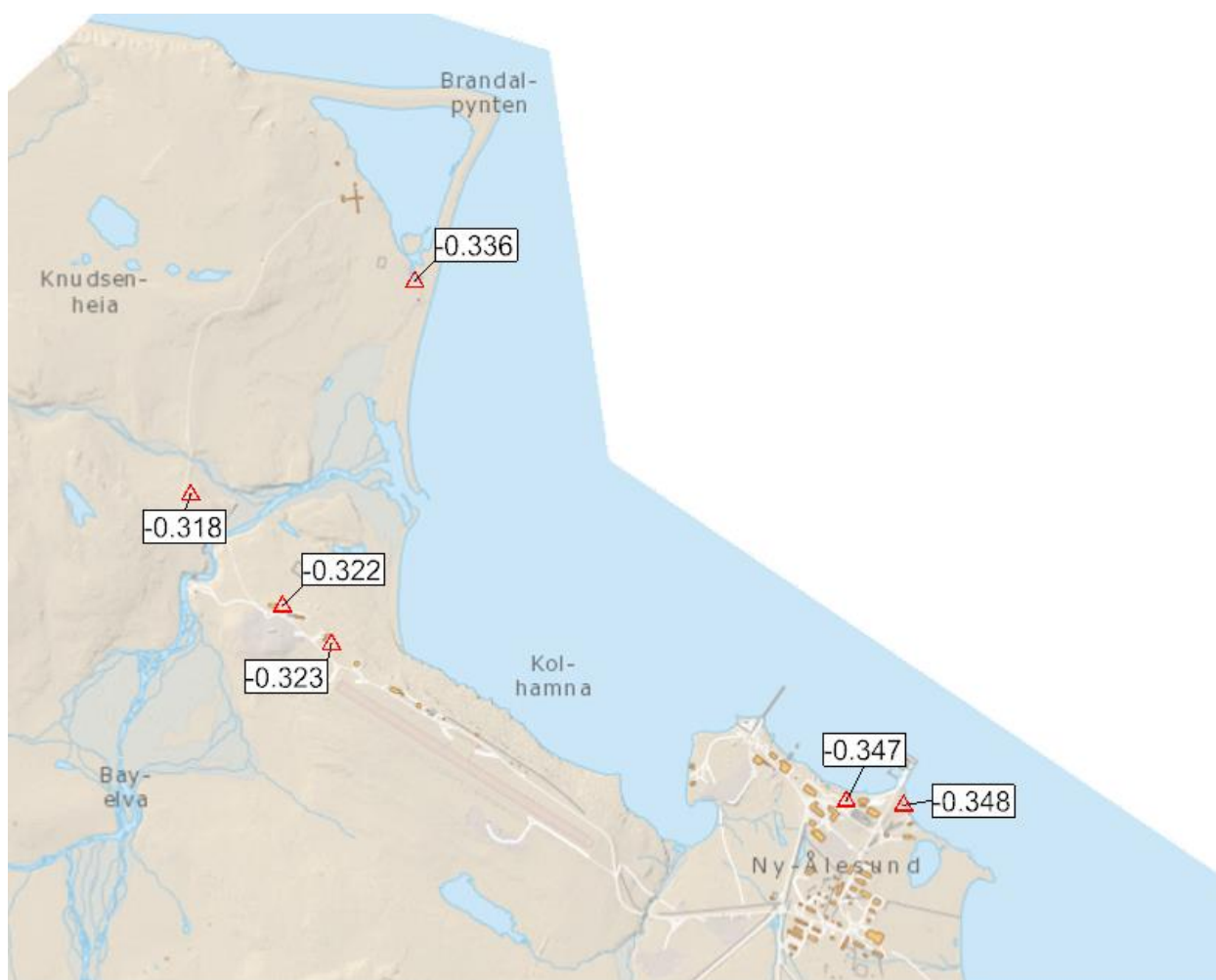
Fra før finnes en rekke fastmerker i Ny-Ålesund som har ellipsoidiske høyder i EUREF89 og som samtidig er nivellert. De fysiske høydene (H) er hentet fra Kartverkets arkiv og har fungert som vertikal referanseramme i Ny-Ålesund lenge. De ellipsoidiske høydene er beregnet og lagret i Kartverkets arkiv som en del av dette prosjektet.

Tabell 12 Justeringspunkt i Ny-Ålesund. De to siste kolonnene viser avviket mellom geoidmodellene og geoidehøyden som kan avledes fra differanse mellom ellipsoidisk høyde (h) og normalhøyde (H). Enhet er meter.

| Fastmerke | Høyde (h) | Høyde (H) | h ÷ H  | Geoidmodeller |         | Avvik         |         |
|-----------|-----------|-----------|--------|---------------|---------|---------------|---------|
|           |           |           |        | Arcgp-2006-sk | EGG2015 | Arcgp-2006-sk | EGG2015 |
| S01T0015  | 41,834    | 6,896     | 34,938 | 35,074        | 35,286  | -0,136        | -0,348  |
| S01T0016  | 36,193    | 1,220     | 34,973 | 35,088        | 35,309  | -0,115        | -0,336  |
| S01T0018  | 64,626    | 29,622    | 35,004 | 35,101        | 35,326  | -0,097        | -0,322  |
| S01T0020  | 54,248    | 19,236    | 35,012 | 35,103        | 35,330  | -0,091        | -0,318  |
| S01T0021  | 74,303    | 39,303    | 35,000 | 35,099        | 35,323  | -0,099        | -0,323  |
| S01T0001  | 48,343    | 13,400    | 34,943 | 35,076        | 35,290  | -0,133        | -0,347  |

|          |        |       |        |        |        |        |        |
|----------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| S01T0030 | 44,088 | 9,118 | 34,970 | 35,088 | 35,311 | -0,118 | -0,341 |
| S01T0031 | 44,681 | 9,712 | 34,969 | 35,089 | 35,311 | -0,120 | -0,342 |

Vi ser heller ikke her en klar trend i avvikene fra geoidmodellen, men kan ane litt lavere verdier i «Byen».



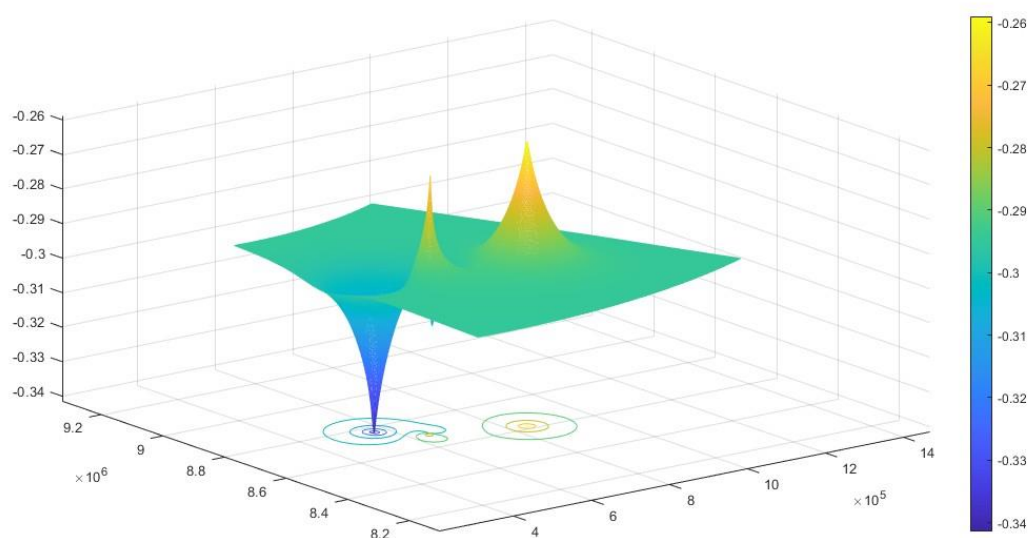
Figur 10 Avvik i justeringspunktene i Ny-Ålesund. GNSS/nivellement verdi ÷ EGG2015 verdi.

### 6.3 Beregning av endelig høydereferansemodell

Høydereferansemodellen for Svalbard er beregnet ved at geoidmodellen EGG2015 tilpasses i justeringspunktene i en minste kvadraters kollokasjonsberegning. Det beregnes en trend, som her blir en konstant verdi lik -0.295 m, og korreksjoner i form av «signaler». Både trend og signaler adderes til modellverdien. Denne korrigerte modellen kalles en høydereferansemodell.

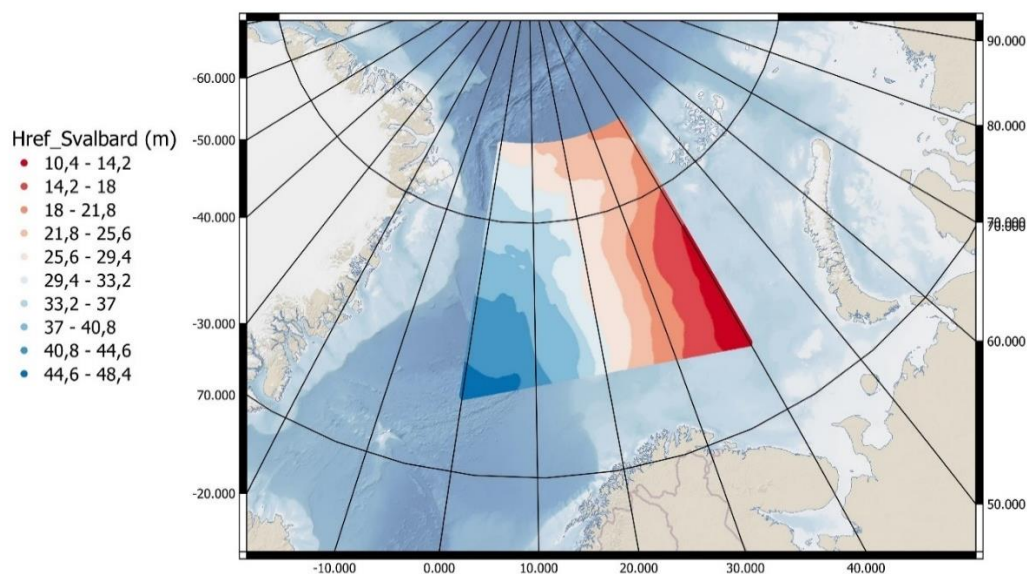
Selve kollokasjonsberegninga er utført i to trinn. I første trinn er signalets standardavvik 3 cm og korrelasjonsfunksjonens halveringsdistanse 35 km. I andre

trinn er verdiene redusert til henholdsvis 1 cm og 5 km. Begge ganger består trenden av kun en konstant og målingenes støy settes til 1 cm.



*Figur 11 Illustrasjon av trend og signaler som påføres den gravimetriske modellen EGG2015. Signalet lengst øst stammer fra et justeringspunkt på Halvmåneøya. Se avsnitt 6.4.*

Den høydereferansemodellen vi ender opp med har en utstrekning mellom 0-40° østlig lengde og 73-83° nordlig bredde (se Figur 12). Den har fått navnet **Href\_Svalbard\_EUREF89\_EGG2015\_2024** og er tilgjengelig på ulike filformater.



Figur 12 Høydereferansemodellen på Svalbard etter tilpasning i justeringspunktene. (Med de store variasjonene av geoidhøydene i modellen er korreksjonen i justeringspunktene ikke synlige.)

## 6.4 Halvmåneøya

Det ble fra sommeren 1985 til sommeren 1986 utført sammenhengene vannstandmålinger på Halvmåneøya med en selvregistrerende vannstandsmåler, (Anderaa WL-5 trykkmåler). Målingene ble henført til et punkt på land målt med GPS ved at det ved oppstart sommeren 1985 og avslutning sommeren 1986 ble utført minst et døgn med stangavlesninger med kjent nullpunkt og nivellement til GPS-punktet. Disse stangavlesningene ble deretter jamført med de selvregistrerte og alle selvregistrerte målinger kunne på denne måten henføres til GPS-punktet.

Det er ikke skrevet noen rapport om dette arbeidet, men det er lagret en del dokumenter som gir nyttig informasjon.

| Tidsseriemåling Halvmåneøya |                       |                  |
|-----------------------------|-----------------------|------------------|
| Juli/Aug - 85               |                       |                  |
| Middelverdien               | registrator           | 2601.75          |
| - Reduksjon                 | (reg - stang)         | 1329.58          |
| = middelverdi               |                       | <u>1272.17</u>   |
| Boltehøyd:                  | $1548.3 \div 1272.17$ | = <u>2.761 m</u> |
| Juli 1986                   |                       |                  |
| Middelverdi                 |                       | 2601.75          |
| - Reduksjon                 |                       | 1132.75          |
| Mv. stang.                  |                       | <u>1469.00</u>   |
| Boltehøyd:                  | $17.455 \div 14.690$  | = <u>2.765 m</u> |

Figur 13 Det for oss mest sentrale arket fra feltarbeidet på Halvmåneøya 1985/1986. Verdien 2601.75 er registrert midlere vannstand i perioden. Verdiene 1329.58 og 1132.75 er reduksjonsverdier fra registrator til målestangens nullnivå, og 1548.3 og 1745.5 er nivellert høydeforskjell fra målestangens nullnivå til GPS-punktet S023 på land. (Bortsett fra verdien 2601.75 er alle tall dokumentert på andre løse ark i Polarinstituttets arkiv.)

GPS-bolten som det er nivellert til har betegnelsen S023 i Polarinstituttets punktarkiv. Ifølge dokumentet vist i Figur 13, er dette punktet 2,761 m eller 2,765 m over middelvannet for denne perioden og det stemmer overens med 2,8 m, som er oppgitt høyde i Polarinstituttets punktarkiv.

Siden dette punktet også har ellipsoidisk høyde fra GPS-målinger, kan en bruke dette punktet for å kontrollere geoidmodellen, dog med en ikke ubetydelig usikkerhet.

For den aktuelle perioden viser vannstandsmåleren i Ny-Ålesund en vannstand på 7 cm over gjennomsnittet for perioden 1995-2014. (Middelvann<sub>1995-2014</sub>). Korrigerer vi for dette, får S023 på Halvmåneøya en høyde 2.82 cm over Middelvann<sub>1995-2014</sub>.

Den ellipsoidiske høyden på S023 er ifølge Polarinstituttets punktarkiv 30.027 m og ved å subtrahere høyden over vertikal referanse, framkommer en størrelse som kan sammenlignet med modellverdien som vist i Tabell 13:

*Tabell 13 Høydeverdier på S023 sammen med modellverdier for punktet. Verdien 0.219 er redegjort for i Figur 4*

|                                                       | Høyder (m) | Geoidehøyder (m) |
|-------------------------------------------------------|------------|------------------|
| S023 ellipsoidisk høyde                               | 30,027     |                  |
| S023 høyde over Middelvann <sub>1995-2014</sub>       | 2,820      |                  |
| Vertikal ref. over Middelvann <sub>1995-2014</sub>    | 0,219      |                  |
| Vertikal ref. over ellipsoiden (30.027-(2.820-0.219)) |            | 27,426           |
| Geoidehøyde EGG2015                                   |            | 27,682           |
| Avvik                                                 |            | -0,256           |

Avviket i tabellen er sammenlignbart med verdiene i Figur 1 og Figur 10 og viser at geoidmodellen EGG2015 stemmer bra også på Halvmåneøya. Vi har derfor valgt å benytte punktet på Halvmåneøya som justeringspunkt for høydereferansemodellen på Svalbard.



Figur 14 Halvmåneøya ligger øst for sørtippen av Edgeøya



# Kartverket

[www.kartverket.no](http://www.kartverket.no)

Postadresse: Postboks 600 Sentrum, 3507 Hønefoss

Telefon: 32 11 80 00

Telefaks: 32 11 81 01

E-post: [post@kartverket.no](mailto:post@kartverket.no)

Organisasjonsnummer: 971 040 23

