

Innføring av nytt høydesystem i Norge

Olav Vestøl

Olav Vestøl: A new height system in Norway

KART OG PLAN, Vol. 64, pp. 91–96. P. O. Box 5003, N-1432 Ås. ISSN 0047-3278

In cooperation with the other Nordic countries a new Nordic height system is about to be realized. A new Norwegian height system will differ minimally from this Nordic height system. This article discusses the parameters defining the new height system, and some of the system's features.

Key words: Height system, vertical datum, levelling, NN1954, EVRF2000

Olav Vestøl, Geodetic Institute, Norwegian Mapping Authority, P.O.B. 15, N-3504 Hønefoss Norway.
E-mail: olav.vestol@statkart.no

Innledning

Alle de nordiske land arbeider med å innføre nye nasjonale høydesystem¹. I regi av *Nordisk Kommissjon for Geodesi* (NKG) prøver en å samkjøre virksomheten i de nordiske og baltiske land og å realisere et felles nordisk datum. I Europa har *IAG subcommission EU-REF* allerede introdusert et europeisk datum EVRF2000. Jeg vil i denne artikkelen prøve å redegjøre for hva Statens kartverk har gjort og vil gjøre ved innføring av nytt høydesystem i Norge.

Status

De ulike land i Norden har ikke nådd like langt i arbeidet. Lengst har, naturlig nok, Danmark kommet. De fullførte sitt 3. gangs nivellement i 1992 og beregnet sitt nye høydesystem DVR90 i 2001. I Sverige ble nivellementsnettets ferdig målt i 2002 og de planlegger å beregne nytt høydesystem i 2004. Finland fullførte i 2003 målingen av sitt 1. ordensnett for 3. gang og har et meget presist og pålitelig nivellementsnett. Det er usikkert når de vil beregne et nytt høydesystem, men 2006 er nevnt.

Norges nivellementsnett skiller seg ut fra det danske, svenske og finske ved å mangle en oppdeling i første, andre og tredje gangs

måling. Noen linjer er likevel målt både to og tre ganger, men målingene fra ulike tidsepoker utgjør ikke selvstendige nett. Etter en plan fra 1999 skulle vi være ferdig med nivellementet i 2005. Etter budsjettkutt ser det ikke ut til at denne fristen holder. Trolig kan vi ikke beregne nytt høydesystem før i 2007.

NKG planlegger en felles nordisk utjevning som realiserer et felles høydesystem i 2005.

For å forsøke å samordne aktiviteten i Norden, Europa og de ulike land i Norden, fattet NKG på sin hovedforsamling i oktober 2002 følgende resolusjon:

The Nordic Geodetic Commission recommends the representatives of the National Mapping Authorities and Geodetic Institution in NKG to be active for the adoption of a unified Nordic height system with minimum differences from national height systems and from the European Vertical Datum.

Da Sverige ikke kan vente på en felles nordisk utjevning, jobber en arbeidsgruppe i NKG med å beregne et foreløpig nordisk datum som utgangspunkt for det svenske nasjonale datum.

1. Med høydesystem menes et nytt vertikalt datum med tilhørende nasjonale nett der fastmerkene er beregnet i dette datum.

Vertikalt datum

Før vi går videre, må vi se på hvilke parametre som bestemmer et vertikalt datum:

Fundamentalpunkt

Dette er et fastmerke med gitt utgangspotensial. I det europeiske datum EVRF2000 er Normaals Amsterdams Peil (NAP) valgt som fundamentalpunkt og utgangspotensialet W_0 er satt lik normalpotensialet U_0 .

Geoidetype

Jordskorpen, og dermed også geoiden, deformeres på grunn av tiltrekning fra sol og måne. Gjennomsnittlig deformasjon over ett år kalles permanent tidejord. Avhengig av hvordan en korrigerer tyngdedataene for denne effekten, får vi ulike geoidetyper:

Tidejordsfri geoid	Eliminerer permanent tidejord
Middelgeoid	Beholder permanent tidejord
Nullgeoid	Eliminerer permanent tidejords effekt fra sol og måne, men beholder den indirekte effekt forårsaket av en deformert jordskorpe.

Forskjellene i geoid høyde for de ulike geoidetyper avhenger av breddegraden. For eksempel vil vi mellom Lindesnes og Nordkapp få en differanse på 5.2 cm mellom middelgeoiden og nullgeoiden. Den tidejordsfri geoiden gir en verdi som ligger mellom disse, nærmest nullgeoiden

Høydetype

Vi snakker i dag om to typer: Ortometriske høyder eller normalhøyder. (Andre typer finnes, men har kun historisk interesse.) Både ortometriske høyder og normalhøyder tar utgangspunkt i geopotensialet. Dividerer vi med midlere tyngde i det virkelige tyngdefelt, får vi ortometriske høyder, mens divisjon med midlere normaltyngde gir normalhøyder. Ortometriske høyder har geoiden som referanseflate, mens normalhøydene refereres til en såkalt kvasigeoid.

Referanseår og landhevningmodell

På grunn av landhevning må alle målinger henføres til et felles referanseår. Hvis ikke

landhevningen innføres som ukjent i høydeutjevningen, trenger vi en landhevningmodell. I Norden har vi flere publiserte modeller:

Ekman 1996	Basert på vannstandsmålere og nivellement før 1980.
Lambeck	Som over pluss geofysiske data.
Bifrost	Basert på permanente GPS-stasjoner
Nasjonale modeller	Både finske og norske.

I tabellen nedenfor ser vi hvilke parametre som er valgt for noen aktuelle datum.

Tabell 1 Aktuelle vertikale datum

System	Fundamental punkt	Høyde type	Ref. år	Geoidetype	Landh. modell
NN1954	Tregde	Sfæroidisk-ortometrisk	1916-1957	Middelgeoid	Ingen
Ny Nordisk	NAP*	Normalhøyder	2000?	Nullgeoid	?
EVRF 2000	NAP	Normalhøyder	1960**	Nullgeoid***	Gamle
Sverige	NAP*	Normalhøyder	2000	Nullgeoid	Lambeck ?

* Etter ny realisering av NAP i Norden

** Norge, Sverige og Finland korrigert til 1960

*** I definisjonen, men ikke konsekvent i realiseringen

Nordisk strategi

Den umiddelbare tanke ville være å benytte EVRF2000 som utgangspunkt for nye nasjonale høydesystem. Når denne tanke ikke får gjennomslag i de nordiske landene, har det sammenheng med følgende:

Referanseår

EVRF2000 har 1960 som referanseår. Flere land som har landhevning, har ikke korrigert sine målinger, og de som har korrigert, har brukt gamle og usikre modeller. Like viktig er det faktum at det forventes at et nytt datum gir høyder som refererer til nåtid, ikke 40 år tilbake i tid.

Geoidetype

Målingene som ligger til grunn for EVRF2000, er ikke konsekvent referert til nullgeoiden, selv om den inngår i datumsdefinisjonen.

Innføring av nytt høydesystem i Norge

Svakheter i nettet

Realiseringen av EVRF2000 i Norge, Sverige og Finland er unøyaktig og upålitelig ettersom tilknytningen til Europa er basert på ei lang høydeoverføring mellom Danmark og Sverige. Se figur 1. Denne overføringen ble utført i 1939 og 1980/81 ved å måle væske-søylen i en slange som forbandt overføringsstedene. En ser også at det er ingen forbindelse mellom Finland og Baltikum. Videre er det verdt å merke seg at Norge, Sverige og Finland ikke har oversendt data fra 3. gangs nivellement, som for Norges del blir målinger etter 1975.

På bakgrunn av dette ønsker NKG, i overensstemmelse med EUREF, å beregne den «Nordiske blokk» i UELN² 95/98-nettet på nytt. For å styrke nettet i Norden planlegger NKG å bruke vannstandsmålere og oseanografiske modeller sammen med GPS og geoidemodeller for å opprette en høydeforbindelse over Finskebukta og mellom Finland og Sverige. Overføringen mellom Danmark og Sverige er allerede styrket ved direkte nivellement over den nye Øresundsbroen.

NKG vil få tilgang på de nasjonale nettene i UELN 95/98 fra NAP via Tyskland, Polen og Baltikum. Sammen med de nasjonale nettene i Skandinavia og Finland vil den «Nor-

diske blokk» beregnes på nytt av NKG som en ny realisering av EVRS2000³ i Norden.

NN2000

Howdan kan vi forvente at det nye norske høydesystemet, som vi foreløpig kaller NN2000, blir?

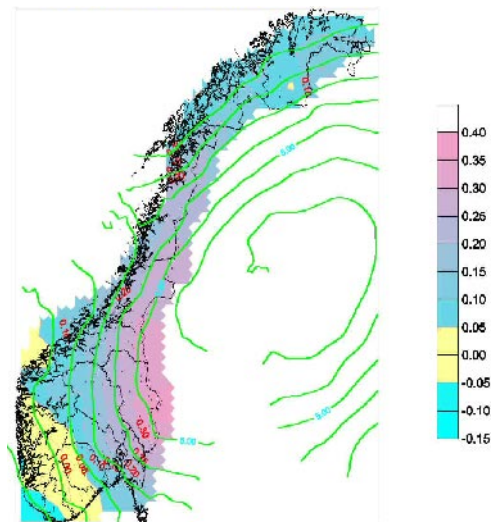
Vi ser først på endringene i forhold til NN1954, og deretter på endringene i forhold til middelvann.

Hvis vi tar utgangspunkt i vårt fundamentaltalpunkt i Tregde og sammenligner høydene, finner vi at høyden i EVRF2000 er 7,2 cm lavere enn i NN1954. Det er grunn til å forvente at ved nyberegning av den «Nordiske blokk» vil denne differansen reduseres noe p.g.a. forskjell i landhevningverdier mellom Tregde og Amsterdam.

Ved beregningen av NN2000 er Tregdes verdi i EVRF2000 benyttet som utgangspunkt. Videre er landhevningen innført som ukjent, og nye høgder er beregnet med minste kvadraters kollokasjon. Det er beregnet normalhøyder, og referanseåret er 2000. Det er verdt å merke seg at middelgeoiden er benyttet, ikke nullgeoiden som antakelig vil bli benyttet i endelig beregning av NN2000.



Figur 1 UELN-95/98 nettet som realiserer EVRF2000



Figur 2 NN2000 ÷ NN1954 (i meter)
De grønne linjene angir landhevningverdier.

2. United European Levelling Network.

3. European Vertical Reference System. EVRS2000 er definert av IAG subcommision EUREF.

Vi ser, naturlig nok, størst avvik der landhevingen er størst. Men bildet viser også avvik fra dette, f. eks. Nordvestlandet og Finnmark. Deformasjoner i NN1954 kan være årsaken.

Da NN1954 ble realisert, var middelvannsverdier langs kysten, slik de var bestemt på det tidspunkt, bestemmende for utgangshøyden i fundamentpunktet. Senere er middelvannet ved vannstandsmålerne nybestemt og avviket til NN1954 beregnet⁴.

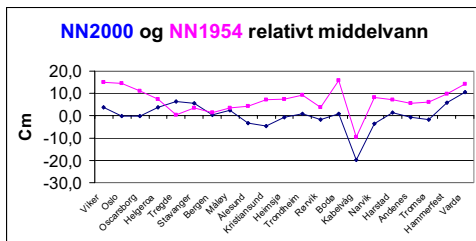
Den røde grafen i fig. 3 viser avviket til middelvannet slik det ble beregnet i 1998 basert på de siste 19 årene⁵. Vi ser at avviket er stort i Oslofjorden, i Lofoten og øst i Finnmark. Dette kan skyldes:

- Landheving
- Systematiske feil i NN1954
- Grove eller tilfeldige feil i NN1954
- Variasjoner i middelvann relativt geoiden
- Kombinasjoner av disse

Det er vanskelig å skille årsakene fra hverandre. Bytter vi ut NN1954 med NN2000 og samtidig henfører middelvannet til 2000, blir imidlertid bildet enklere. Landheving kan vi se bort ifra, de systematiske feil forventes fjernet, og vi står igjen med grove eller tilfeldige feil og variasjoner i middelvann relativt geoiden slik den blå grafen i fig. 3 viser.

Vi ser at 0-nivået i NN2000 avviker forholdsvis lite fra middelvann. Et unntak er Kabelvåg. Her synes middelvannet å ligge 20 cm over geoiden, eller 20 cm høyere enn i Bodø. Nivellementet ut til Kabelvåg har ingen sløyfekontroll og inneholder en overføring over Hadsselfjorden. Vi kan ikke se bort fra en grov observasjonsfeil. Etter planen skal ei ny linje måles når fastlandsforbindelsen til Lofoten er klar.

Nordover langs Sørlandskysten til Oslo skal en forvente variasjoner i middelvannet p.g.a. lavere saltinnhold og vanntemperatur.



Figur 3 Beliggenheten til høydesystemenes 0-nivå over middelvann.

Dette stemmer overens med den blå grafen i fig. 3, som viser 7 cm høyere middelvann i Oslo enn i Tregde.

Nivellementsnettet i Norge

Realiseringen av et nytt høydesystem finner sted ved at nivellementsnettet nyberegnes. Fra nivellementsnettet er det utført mange sidenivellement (signalnivellement) til Stamnettet, Landsnettet og det klassiske trigonometriske nettet. Høydene i disse nett må nyberegnes som trinn to i realiseringen av det nye høydesystemet.

Kvaliteten på det nye høydesystemet er avhengig av kvaliteten på nivellementsnettet og hvor godt vi klarer å bestemme landhevingen som har foregått siden 1916, da målingene startet. Figur 4 viser 1. ordens nivellementsnettet i Norge. Linjer som er målt flere ganger, gir informasjon om landhevingen. Vi ser at de fleste linjene er målt kun en gang⁶, men linjene som danner en sløyfe er ofte målt med mange års mellomrom og inneholder således landhevninginformasjon likevel.

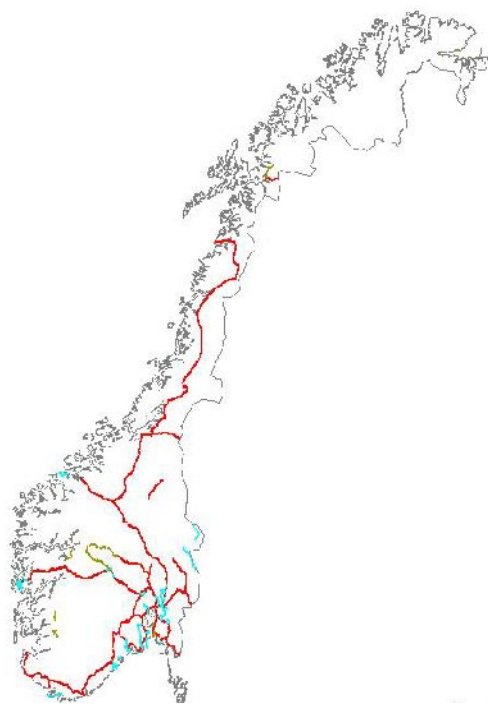
Selv om linjene er målt over et tidsrom på nesten 90 år og med ulike typer av nivellerinstrument og stenger, viser tester at målingene etter 1970 ikke er vesentlig bedre enn de eldre. Likevel står de siste årene i en særstilling da digitale instrument og strekkodestenger er tatt i bruk.

4. Alle vannstandsmålerne har et tilhørende fastmerke (TGBM) som er knyttet til nivellementsnettet. Hit henføres høyden over det registrerte middelvann, og avviket til datumshøyden beregnes.
5. De astronomiske forandringer som påvirker middelvannet har perioder på 18,6 år.
6. Med en gangs måling menes en gang fram og tilbake. Ingen linjer i det nasjonale 1. ordens nettet er målt kun en veg. Med to- eller tre gangs måling menes at samme linje er målt på nytt fram- og tilbake mange år senere. (Vanligvis minst 30 år.)

Innføring av nytt høydesystem i Norge



Figur 4 Norges 1. ordens nivellementsnett. **Rødt:** Målt en gang. **Blått** målt 2 ganger. **Grønt** målt tre ganger



Figur 5 Øvrige nivellementslinjer. **Rødt:** Jernbaneverkets målinger. **Blått:** 2. ordens linjer målt av SK. **Grønt:** Andre linjer målt av SK.

I tillegg til et 1. ordens nivellementsnett har vi Jernbaneverkets nivellement. I perioden 1960-1986 ble alle hovedlinjene nivellet. Disse målingene ser ut til å ha bra kvalitet, og de innmålte fastmerkene kan brukes som høydegrunnlag i landsnettet. Statens kartverk har påtatt seg å beregne alle Jernbaneverkets fastmerker i det nye høydesystemet.

Statens kartverk har også noen nivellementslinjer som ikke inngår i 1. ordens nettet. Disse er sammen med Jernbaneverkets målinger vist i fig. 5.

Hvorfor skifte høydesystem?

Behovet for å kunne presentere høydeinformasjon i et internasjonalt vertikalt datum melder seg stadig oftere. Eksisterende høydesystem, NN1954, har, som vist i tabell 1, særnorske egenskaper som gjør det uegnet for bruk i en stadig mer globalisert virkelig-

het. Å transformere fra NN1954 til internasjonale datum er vanskelig med en enkel formel, på grunn av de særnorske egenskapene og direkte feil i nivellementsnettet.

Hvis vi ser på figur 2, og antar at det nye system NN2000 gir sanne høyder over geoiden, ser vi at NN1954 har høydefeil fra -15 cm til $+40$ cm i forhold til geoiden. Denne høydefeilen vil øke for hvert år som går og mest langs svenskegrensa, der landhevingen er over 5 mm/år. Når Sverige og Finland endrer sine høydesystem, vil vi oppleve sprang over grensa tilsvarende høydefeilen i NN1954.

En forventer i framtida å kunne beregne stadig bedre geoidmodeller basert på tyngdedata fra satellittene Grace og Champ. For best mulig å kunne nyttiggjøre seg modellene til høydebestemmelse, bør en ha et homogent høydesystem som refererer høydene til geoiden.

Internt i en kommune vil nytten av å skifte høydedatum avhenge av kvaliteten til de lokale høyder. Innen 2007 forventes Landsnettet å være etablert i alle kommuner, og fastmerkene i dette nettet – og det øvrige trigonometriske nettet – vil ha renoverte høyder i NN1954. Når nytt høydesystem innføres, vil disse fastmerkene sammen med punktene i det nasjonale nivellementsnett få nye høyder. Oppmålingsetaten får altså tre høydesett å forholde seg til:

- Høyder før landsnettsetablering.
- Nye høyder etter landsnettsetablering
- Nye høyder etter nytt høydesystem

Det er vanskelig å si noe generelt om høydeendringen som følger av landsnettsetableringen. De eksisterende høydene er i stor grad basert på zenitdistanser av varierende kvalitet. Når et eksisterende trigonometrisk punkt blir oppgradert til Landsnettspunkt, blir høyden bestemt med GPS og en HREF-modell som angir «geoidehøyden⁷». Når det nasjonale nivellementsnett vil høydeendringen bli liten, men ellers kan forskjellen bli over 10 cm. Et annet moment er at NVE sine nivellement, som tidligere ble brukt i høyde-regningen, etterhvert er forkastet som høydegrunnlag. De har vist seg å være upålitelige.

Høydeendringen ved innføringen av nytt høydesystem vil være av en annen karakter. Har en et renoveret høydenett, kan en i mange tilfeller forventet at endringen er konstant over store områder, ja endog hele kommunen. Men det finnes unntak. Et eksempel er områder der det er avdekket grove feil i nivellementsnett. Et annet er områder som fikk landsnett før HREF-modellene ble tatt skikkelig i bruk.

Kommuner som har egne høydefastmerker, i nett eller polygondrag, som de ønsker å

benytte sammen med høyder i Landsnettet, må forvise seg om at inhomogeniteten ikke er for stor. I ikke-akseptable tilfeller må høydene nyberegnes eller eventuelt transformeres. Nytt av dette arbeidet er størst når nyberegningen eller transformasjonen leder til høyder i et nytt homogent høydesystem.

Kommuner langs grensa til Sverige og Finland vil ha en spesiell nytte av nytt høydesystem ettersom det da oppnås minimale avvik til høydesystemene i nabolandene.

Det er god grunn til å tro at høydebestemmelse til de fleste praktiske formål i framtida vil bestå av satellittmåling sammen med høydereferansemodeller. Det forventes at slike modeller blir nøyaktigere når de refereres til et nytt homogent høydesystem.

Referanser

Ekman Martin: Latitud, longitud, höyd och djup.

Kartografiske Sällskapet (ISBN 91-631-3170-6)

Ihde Johannes, Augath Wolfgang: Definition and Realization of Vertical Reference Systems – The European Solution EVRS/EVRF 2000-. *FIG XXII International Congress Washington, D.C. USA, April 19-26 2002.*

Mäkinen Jaakko, Linberg Martin, Schmidt Klaus, Takalo Mikko, Lilje Mikael, Engsager Karsten, Eriksson Per-Ola, Jepsen Casper, Olsson Per-Anders, Saaranen Veikko, Svensson Runar and Vestøl Olav: Future height systems in the Nordic countries, their relation to the EVRS2000 and to INSPIRE GIS standards. *I Proceedings of the Technical Working Group of the IAG Subcommittee for the European Reference Frame (EUREF), Toledo, June 3, 2003.*

Vestøl Olav: Land uplift determination by use of least square collocation. *I Proceedings of the 14th General Meeting of the Nordic Geodetic Commission, Esboo, Finland, October 1-5, 2002.*

7. Høydereferansemodellene (HREF) gir strengt tatt ikke geoidehøyden, men forskjellen mellom den ellipsoidiske høyden i EUREF89 og NN1954-høyden.