

# Bruk av høydereferanseflater

Asbjørn Eilefsen

*Asbjørn Eilefsen: Use of height reference models*

KART OG PLAN, Vol. 68, pp. 100–105. P.O.B. 5003, NO-1432 Ås, ISSN 0047-3278

The Norwegian Public Roads Administration needs accurate and reliable height determinations for building roads, bridges and tunnels. GNSS gives us basically heights above the ellipsoid. When we first started to use GNSS for height determination, we computed NN1954 heights to estimate local parameters for deflection of the vertical. This can be difficult in large projects, especially in areas with demanding topography. There is much to indicate that GNSS and a height reference model will become the most widespread technique for heights determination in the future. The height reference model describes the relationship between the ellipsoid height system and the national heights. The Norwegian Public Roads Administration uses this method today. It provides heights determinations simply and with satisfactory quality.

*Key Words:* Road construction, Height determination with GNSS, Height reference models, Accuracy, Experience

*Asbjørn Eilefsen, Chief Engineer, Norwegian Public Roads Administration, Directorate of Public Roads, P.O.B. 8142 Dep, NO-0033 Oslo, Norway. E-mail: asbjorn.eilefsen@vegvesen.no*

## Innledning

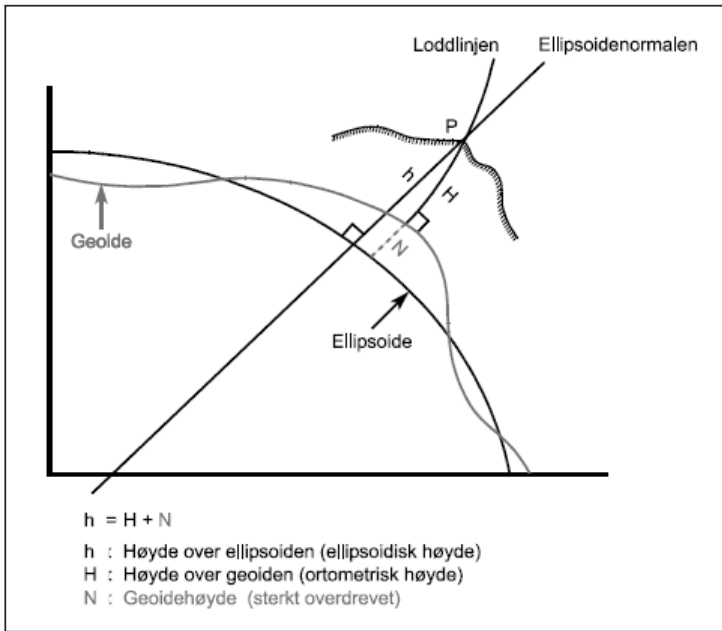
Høyder er viktige for Statens vegvesen til flere oppgaver. Det er spesielt i forbindelse med anleggsprosjekter det stilles strenge krav til høyde kvaliteten. Særlig bru prosjekter når bru en blir bygget fra begge sider og ofte ved bruk av ferdige moduler. Maskinstyring med bruk av GNSS stiller også meget høye krav til et homogent høydenett. Likeledes stiller bygging av tunneler også forholdsvis strenge krav til høydenøyaktigheten.

Før GPS alderen ble nivellement og vertikalkvinkelmålinger benyttet til høydebestemmelse. Disse målingene refererer seg til geoiden (fig.1) og gir oss ortometriske høyder (NN1954). GNSS-målinger refererer seg til ellipsoiden (Euref89). Geoidehøyden er differansen mellom ellipsoiden og geoiden. Denne er i utgangspunktet ukjent og varierer, avhengig av topografiske forhold. I Norge varierer geoidehøyden mellom 18 og 48 meter (fig. 5). I områder med «rolig» topografi er vanligvis geoiden jevn, mens den i områder med fjorder og fjell kan være «urolig» med store variasjoner.

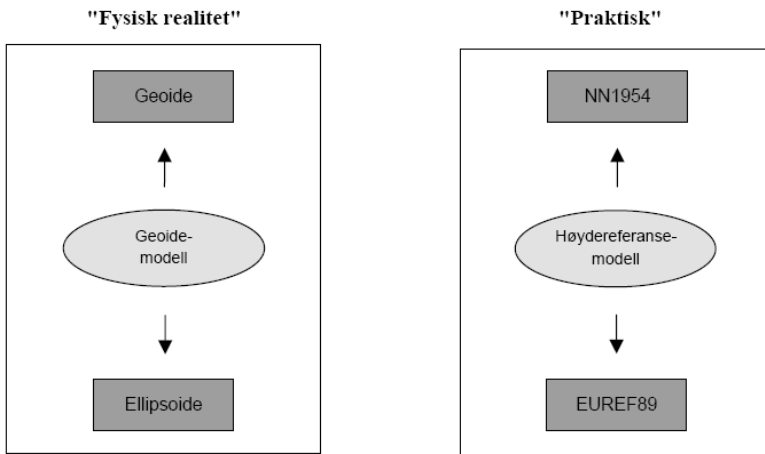
GPS ble en revolusjonerende teknikk for posisjonering og koordinatbestemmelse, og

ble benyttet til både grunnriss og høydebestemmelse, spesielt over litt lengre avstander. En utfordring var at GPS refererte seg til ellipsoiden og ga ellipsoidiske høyder. For høydebestemmelse med GPS var det vanlig å estimere loddavviket i området. Loddavviket er vinkelforskjellen mellom loddlinjen og ellipsoidnormalen på stedet. Loddavviket ble vanligvis angitt med en nord-sør komponent og en øst-vest komponent. Metoden estimerer en flate beregnet ut fra punkter hvor både den ortometriske og ellipsoidiske høyden er kjent. En svakhet er at det ikke blir tatt hensyn til krumninger i geoiden.

Da GPS ble tatt i bruk i siste halvdel på 80-tallet og første halvdel av 90-tallet, kjente vi ikke fullt ut til utfordringene med å benytte GPS-målinger til høydebestemmelse. I områder med jevn topografi og for relativt små områder gikk det vanligvis bra. En tommelfingerregel som ble benyttet i Statens vegvesen var at innenfor områder på ca 10 x 10 km gikk det vanligvis greit med bruk av et sett loddavviksparametre, men at resultatet ville være avhengig av topografiske forhold, dvs geoideforløpet.



Figur 1. Forholdet mellom ellipsoide og geoid.

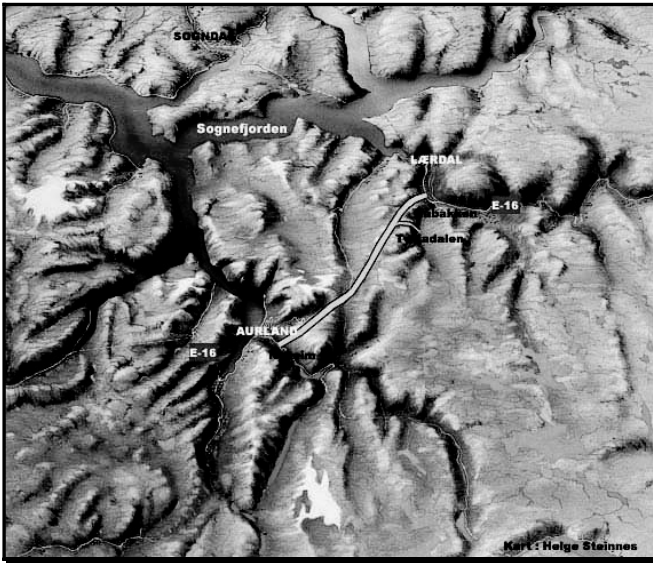


Figur 2. Geoidmodell og høydereferansemodell, med tilhørende begrep.

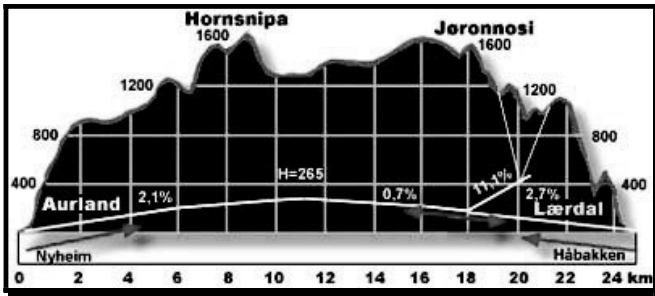
### Lærdalstunnelen

I 1992 vedtok Stortinget at stamvegen mellom Oslo og Bergen skulle gå over Filefjell. Det ble bestemt at Lærdalstunnelen, verdens lengste vegtunnel, på 24,5 km skulle bygges mellom Lærdal og Aurland. Dette er et område med høye fjell, daler og fjorder, med høyder fra havnivå til opp i 1600 moh (fig. 3 og 4). Det overordna punktgrunnet

i Lærdal og Aurland var fra 70-tallet. Bygginga av tunnelen satte krav om et homogent og godt grunnlag. Det ble derfor bestemt at grunnlaget skulle renoveres. Renoveringa ble gjort som et Geovekst-prosjekt i 1993. Det ble målt ca 200 vektorer av Statens kartverk med assistanse fra Statens vegvesen. Disse ble knytta opp til høyere ordens punkter og det som var å oppdrive av nivelle-



Figur 3. Kart over Lærdalstunnelen



Figur 4. Tverrsnitt av Lærdalstunnelen

mentsfastmerker i området. Det var store variasjoner i geoideforløpet og høydebestemmelsen var krevende. Videre ble det estimert flere sett loddavviksparametre for best mulig tilpasning til geoiden. Det viste seg at det var vanskelig å avgrense delområdene for loddavvikssettene.

I forbindelse med kartlegging i Lærdal ble det gått et polygondrag fra Håbakken (tunnelutslag i Lærdal) til et tverrutslag på tunnelen i Tynjadalen. Polygondraget gikk mellom nybestemte GPS-punkter. Beregningen i grunnriss var ok, men høydeberegningen ga i forhold til de GPS-bestemte høydene et avvik på 28 cm i Tynjadalen. Hva var årsaken til dette store avviket? Var det feil i de nybestemte GPS-punktene eller feil i draget? For å kontrollere høydene ble det gått et presisjonsnivellement fra nivellementsfastmerke

ved Håbakken til punktene i Tynjadalen. Nivellementet ga samme resultat som polygondraget. Konklusjonen ble at det måtte være noe feil med høgdene på de GPS-bestemte punktene.

Det ble bestemt at man måtte se nærmere på høydeberegningen. Kirsti Lysaker (student ved NLH) skrev hovedoppgaven «Høgdeproblem ved bruk av GPS i Lærdal – Aurland». I den forbindelse ble det utført flere suppleringsmålinger med GPS. I tillegg ble det gått et presisjonsnivellement over fjellet mellom Lærdal og Aurland. Nivellementet viste god overensstemmelse mellom høydegrunnlagene i Lærdal og Aurland, men viste et avvik på ca 40 cm i et GPS-bestemt punkt på fjellet. Alle målingene, inkl nivellement og suppleringsmålinger, ble benyttet i en endelig beregning som ble utført av Geodesidi-

visjonen ved Statens kartverk. Dette resultatet ble brukt under byggingen av tunnelen og til kartlegging i området. Mange av de involverte var spente ved gjennomslaget på tunneldrifta i september 1999. Gjennomslaget viste et avvik på ca 5 cm i høyde – noe man måtte si seg godt fornøyd med. Målingene og beregningene i forbindelse med Lærdalstunnelen lærte oss mye om utfordringene ved høydebestemmelse med GPS, og man skjønnte viktigheten av å lage og benytte geoidmodeller. Hvis det skal settes litt på spissen, ble Lærdalstunnelen slutten på loddavvikene og starten på geoid- og høydereferansemodellene i Norge.

### Høydereferansemodell

Det har vært vanlig å benytte uttrykket geoidmodell på modellen som beskriver differansen mellom geoiden og ellipsoiden. Nå skal vi se litt på forskjellen mellom en geoidmodell og en høydereferansemodell.

En geoidmodell er en modell som angir hvor høyt geoiden ligger over en valgt ellipsoide. Geoidmodellen beskriver altså nivåforskjellen mellom en matematisk definert flate – ellipsoiden – og en potensialflate i jorden tyngdefelt – geoiden.

En høydereferansemodell er en geoidmodell som er tilpasset et ellipsoidisk (Euref89) og et tyngderelatert (NN1954) høydesystem og således angir høydedifferansen mellom dem. Geoidmodellen beskriver en fysisk realitet, mens høydereferansemodellen har en mer praktisk tilnærming (fig. 2). Forskjellen mellom dem er at høydereferansemodellen blant annet tar hensyn til landhevning og måleunøyaktighet, noe geoidmodellen ikke gjør.

Statens kartverk er ansvarlig for utarbeidelse av høydereferansemodeller i Norge. Disse kalles ofte for HREF-modeller. Den første offisielle HREF-modellen kom i 1996. Etter hvert som landsnettet er blitt etablert og nye nivellement er blitt målt, oppdateres høydereferansemodellen. Den får betegnelsen HREF med et årstall bak. Har det kommet flere modeller samme år, får de i tillegg en bokstav, slik at f.eks HREF2008A er den første offisielle modellen i 2008.

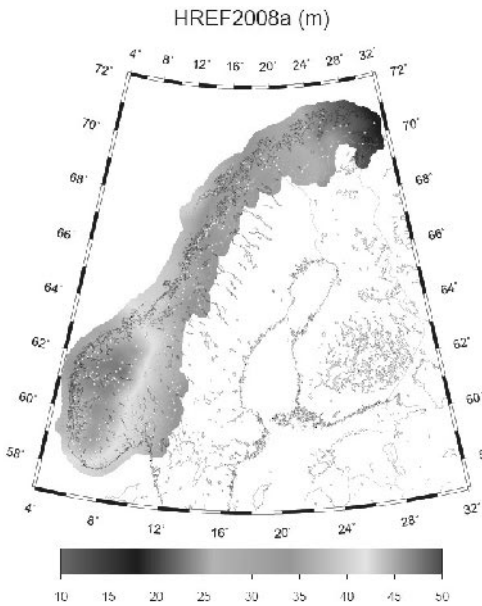
Mye tyder på at bruk av GNSS og høydereferansemodell vil være den mest utbredte teknikk for høydebestemmelse i fremtiden.

### Hva blir nøyaktigheten på høydebestemmelsen?

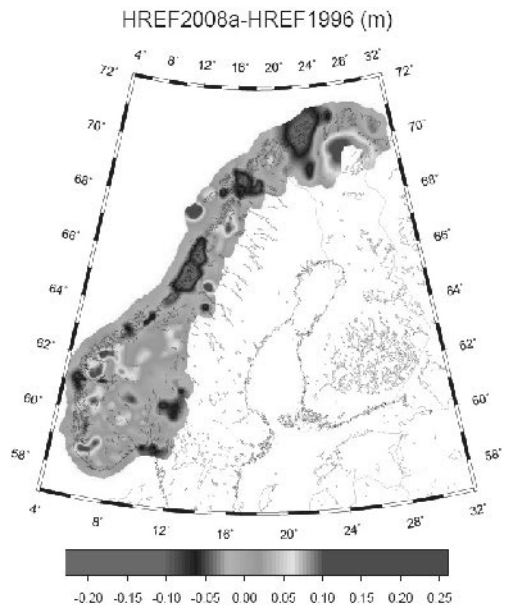
Påliteligheten til høydebestemmelsen blir på denne måten et resultat av påliteligheten til de ellipsoidiske GNSS bestemte høydene og påliteligheten til høydereferansemodellen. Kvaliteten på de ellipsoidiske høydene kan vi beregne i en pålitelighetsanalyse, mens for høydereferansemodellen må vi anta verdier ut fra erfaring. Modellen blir kalibrert mot fellespunkter med kjente ellipsoidiske og NN1954 høyder. Punktene som blir benyttet i beregningen av modellen kalles justeringspunkter og punkter som blir benyttet for kontroll kalles kontrollpunkter. Høydebestemmelsen fremkommer da ved at den ellipsoidiske høyden blir korrigert med «geoidhøyden» som blir interpolert i høydereferansemodellen.

HREF-modellens relative pålitelighet vil variere både med avstanden mellom punktene og punktenes beliggenhet relativt til justerings- og kontrollpunktene. For eksempel vil modellen være veldig pålitelig mellom to punkter 25 km fra hverandre hvis begge er nær et justerings- eller kontrollpunkt, mens det motsatte er tilfelle hvis begge er langt fra. På den annen side vil påliteligheten mellom to nærliggende punkt, f.eks 1 km fra hverandre, være uavhengig av avstanden til nærmeste justerings- eller kontrollpunkt. Erfaring viser at den absolutte nøyaktigheten i de fleste områder vil være bedre enn 5 cm og bedre enn 2,5 cm ved en avstand på mindre enn 10 km til justerings- og kontrollpunkter.

Statens kartverk har lagt ut informasjon om de ulike modellene på internett. Man kan velge om man vil se på en modell eller om man også vil se på differansen mellom to modeller. Informasjon finnes henholdsvis på [www.geodesi.no/href/jhref.html](http://www.geodesi.no/href/jhref.html) og [www.geodesi.no/href/jhref-diff.html](http://www.geodesi.no/href/jhref-diff.html). Figur 5 og 6 viser eksempel på plott, henholdsvis HREF2008A med avlagte justeringspunkter og differansen mellom HREF1996 og HREF2008A.



Figur 5. Plott av høydereferansemodellen HREF2008a med justeringspunktene avlagt.



Figur 6. Plott som viser differansen mellom HREF2008a og HREF1996.

### Bruk av HREF-modellen SanntidsGNSS

I forbindelse med sanntids GNSS i Euref89 benyttes HREF-modellen. Dette gjelder ved bruk av egen basestasjon eller i et referansenettverk, f.eks CPOS. For noen instrumentmerker kan ikke HREF-modellen benyttes direkte, men må omformateres. Modellen for hele landet kan legges inn i måleboka, noe som er hensiktsmessig da målepersonell kan operere over store områder. Dermed slipper man å legge inn en ny modell avhengig av hvor man har måleprosjektet. HREF-modellen kan kobles direkte til det koordinatsystemet som skal benyttes, f.eks Euref89 UTM sone 32. Dette gjør at målepersonellet får Euref89 UTM koordinater med ortometriske høyder i sann tid, noe som er fordelaktig, både ved innmåling og ved utsetting.

### Transformasjoner

HREF-modellen benyttes i transformasjonsprogram, f.eks i WSKTRANS og i VG-Trans. Modellen benyttes ved transformasjon av ellipsoidiske høyder i Euref89 til NN1954-høy-

der – og motsatt veg. Modellen benyttes også ved transformasjon fra geodetiske koordinater og fra kartesiske koordinater til koordinater i kartplanet. Man kan transformere enkeltpunkter, ulike filformat og ulike baseformat, avhengig av hvilke transformasjonsprogram som benyttes.

### Nettutjevning

Høydereferansemodellen benyttes ved nettutjevning i høyde. «Geoidehøyder» genereres for alle punktene i prosjektet. Disse blir generert fra HREF-modellen som programmet benytter disse «geoidehøydene» i utjevningen til å beregne ortometriske høyder på de nyberegnete punktene. Bruk av HREF-modellen er spesielt fordelaktig på prosjekter med forholdsvis stor utstrekning og i områder med «urolig» topografi (store høydeforskjeller). For små prosjekter i områder med «rolig» topografi har vi erfart at resultatene blir forholdsvis like om man beregner høyden med bruk av HREF-modell eller om man benytter loddavvik.

### **Erfaringer**

Statens vegvesen ønsker å implementere siste versjon av HREF-modellen i aktuell programvare og i GNSS-instrumentene. De nye versjonene har vanligvis små lokale endringer i høydemodellen, men siden Vegvesenet arbeider over hele landet, er det fordelaktig å ha en oppdatert modell.

Vegvesenet har god erfaring med å benytte HREF-modellen til bestemmelse av høyder. Det er vanligvis god overensstemmelse mellom HREF-modellen og landsnetthøydene. I noen områder har det likevel forekommet problemer, f.eks ved Sognefjorden. Årsaken til dette er at nivellementsnettet blir utvidet og fortettet. HREF-modellen blir da vanligvis oppdatert med de nye høydene. Dette gjør at HREF-modellen ikke lenger samsvarer med landsnetthøydene. Det kan skape problemer i forbindelse med måling og beregninger. Et annet problem er at ulike versjoner av HREF-modellen benyttes i oppmålings- og geodatamiljøet. Dette gjør at man kan få ulike høyder på nybestemte punkter, avhengig av hvilke versjon av modellen som benyttes – noe som ikke er bra. I dag må modellen kjøpes fra Statens kartverk. Kanskje en fritt tilgjengelig modell ville gjøre at flere benyttet siste versjon og man dermed kunne unngått ulike resultat som skyldes høydemodellen. Noen år er det blitt gitt ut unødvendig mange versjoner av høydemodellen, opptil 5-6 versjoner. Kanskje det

bør maksimalt gis ut en pr år? Det er også viktig at Kartverket gir ut informasjon om modellene, spesielt når det er forhold som det bør taes hensyn til. Informasjonen som er gjort tilgjengelig på internett (omtalt over) er et godt tiltak. Det hadde også vært gunstig om dokumentasjon fra programvare og instrumenter opplyste om hvilke versjon av modellen som benyttes. Krav om å benytte siste versjon av HREF-modellen i standarder og fra oppdragsgivere kan også vær aktuelt for å redusere problemet.

### **Konklusjon**

Bruk av GNSS med ellipsoidiske høyder og høydereferansemodell vil trolig være den mest vanlige teknikk for høydebestemmelse i fremtiden. Statens vegvesen benytter HREF-modellen til Statens kartverk til GNSS-målinger og beregninger. Erfaringene er generelt bra og nøyaktigheten er tilfredsstillende. Et nytt høydedatum står på trap-pene. Det skal gi et homogent høydenett uten lokale deformasjoner for hele Norge. På litt lengre sikt vil man da forhåpentligvis få en HREF-modell som blir gjeldende for lengre tid. De nye høydedatumet får betegnelsen NN2000. Dette vil gjøre at hverdagen for oppmålingspersonellet blir enklere og kvaliteten på måleresultatet vil kunne bli enda bedre.