



PM

Om landhöjning och landhöjningsmodellen NKG2016LU

Olika sätt att observera landhöjning

Den postglaciala landhöjningen i de nordiska och baltiska länderna är ett sedan länge känt och väl studerat fenomen. I Sverige har landhöjningen sedan 1700-talet konstaterats ur tidsserier av vattenståndsobservationer längs kusterna. Under 1900-talet genomfördes i Sverige tre nationella avvägningskampanjer (noggrann höjdbestämmning) och ur skillnaden mellan dessa kunde landhöjningen skattas, även inne i landet. Sedan 1990-talet har Lantmäteriet ett stort (och ökande) antal fast monterade GNSS-mottagare (referensstationer) som dygnet runt, året runt bestämmer sin position. Ur dessa tidsserier fås vid varje station jordskorpan rörelse i tre dimensioner.

Olika sätt att ange landhöjning

Precis som i fallet med positioner så måste även rörelser (som landhöjning) anges relativt någonting. Beroende på val av referens skiljer vi normalt mellan tre sätt att ange landhöjningen: 1) absolut landhöjning, 2) avvägd (engelska: levelled) landhöjning eller 3) apparent landhöjning.

Med *absolut landhöjning* menar vi jordskorpan vertikala rörelse relativt jordens centrum, eller egentligen relativt ett globalt referenssystem för positionsangivelse som har origo i (eller nära) jordens centrum. Satellitnavigeringssystem, så kallade GNSS (Global Navigation Satellite Systems), dit t.ex. GPS hör, anger positioner i ett sådant referenssystem. Lantmäteriets fasta referensstationer registrerar därför den absoluta landhöjningen.

Landhöjningen orsakar förändringar i jordens tyngdkraftsfält (tungt mantelmaterial flyter in under landhöjningsområdet och fyller på när jordskorpan rör sig uppåt). Detta gör att ostörda vattenytor (som ju alltid ställer in sig vinkelrätt mot tyngdkraften) sakta med tiden ändrar form. Havet och därmed vår referensyta för höjdangivelser, den så kallade geoiden, följer så att säga med landet upp men inte i samma takt som markytan. Havsnivå-/geoidhöjningen uppgår till cirka 6 % av landhöjningen. Med avvägning mäter vi höjden över geoiden (som är nollnivån i våra höjdsystem) och upprepad avvägningen ger det vi kallar *avvägd landhöjning* eller landhöjningen relativt den av nutida climateffekter opåverkade havsytan.

Med *apparent landhöjning* menar vi den landhöjning vi registrerar med kontinuerliga eller upprepade vattenståndsobservationer över ett visst längre tidsintervall, det vill säga hur jordskorpan rör sig relativt havets verkliga

medelnivå för intervallet ifråga. Förutom den havsnivåändring som orsakas av landhöjningen i sig ingår här även nutida klimatrelaterade havsnivåändringar. Om takten på den långsiktiga havsnivåförändringen ändras så ändras alltså även den apparenta landhöjningen.

Olika typer av landhöjningsmodeller

Vi skiljer mellan två principiellt olika typer av landhöjningsmodeller:

1) empiriska och 2) geofysiska eller GIA-modeller (GIA = Glacial Isostatic Adjustment).

Empiriska modeller är direkt baserade på observationer av landhöjningen. Observationerna analyseras och kombineras med relevanta statistiska metoder. Mellan och utanför observationspunkterna interpoleras och extrapoleras värden fram.

Geofysiska modeller är modeller i mer egentlig mening. De består typiskt av en jordmodell som i sin tur består av ett antal parametrar som beskriver jordens fysiska struktur och en ismodell som beskriver hur den senaste inlandsisen varierat i tid och rum. En uppsättning grundläggande fysikaliska ekvationer beskriver hur jorden (jordmodellen) reagerar på en lastförändringar (ismodellen) i form av deformationer av jordskorpan, ändringar av tyngdkraftsfältet och omfördelning av vattenmassor etcetera.

Nordiska Kommissionen för Geodesi (NKG)

NKG är ett aktivt och framgångsrikt samarbetsorgan för geodesiorganisationer i Norden och Baltikum. I vissa specifika sammanhang deltar även andra länder.

NKG2016LU

NKG2016LU är en så kallad semi-empirisk landhöjningsmodell som lanserades av NKG under 2016. Med semi-empirisk menas förenklat att det i botten är en empirisk modell, baserad på upprepad avvägning och GNSS-data från fasta referensstationer, kombinerad med en geofysisk GIA-modell som används för interpolation och extrapolation mellan och utanför observationspunkterna.

NKG2016LU levereras (till exempel av Lantmäteriet) som ett grid och har lanserats i två olika versioner, dels som absolut landhöjning (NKG2016LU_abs) och dels som avvägd landhöjning (NKG2016LU_lev). NKG har beslutat att inte leverera NKG2016LU som apparent landhöjning. Orsaken till detta är bland annat att det råder osäkerhet kring huruvida den pågående havsnivåökningen är konstant eller om den varierar i tid och/eller rum. En varierande havsnivåändring ger varierande apparent landhöjning beroende på vilket tidsintervall som används.

Osäkerheten i NKG2016LU varierar något inom området. Grovt kan man säga att där vi har mycket observationer (ungefär de nordiska och baltiska länderna) är standardosäkerheten (1σ) i det globala referenssystemet

(ITRF2008) runt 0,2 mm/år (Vestøl et al, 2019). Det finns även en viss osäkerhet i själva referenssystemets stabilitet och med allt sammanvägt skulle man kunna säga att den totala/absoluta standardosäkerheten i modellen är runt 0,6 mm/år.

NKG2016_LU och havsnivåvariationer

Givet att man ur vattenståndsdata från vill studera eventuella klimatrelaterade havsnivåförändringar bör man först kompensera för landhöjningen och med den förknippade havsnivåförändringar, det vill säga den avvägda landhöjningen (NKG2016LU_lev).

På samma sätt är det den avvägda landhöjningsmodellen som ska användas om man har tillgång till exempel till predikterade klimatrelaterade havsnivåförändringar och vill studera framtida vattenstånd längs kusten – givet att de predikterade värdena inte redan är kompenserade för landhöjningseffekten.

Referenser

Vestøl, O., Ågren, J., Steffen, H. et al. (2019): *NKG2016LU: a new land uplift model for Fennoscandia and the Baltic Region*. J Geod 93, 1759-1779 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00190-019-01280-8>.