



Hav eller land?

Hur man försökt lösa och hantera mysteriet med
landhöjningen i Norden under 500 år

Martin Ekman

Sommarinstitutet för Historisk Geofysik, Åland

Hav eller land?

**Hur man försökt lösa och hantera mysteriet med
landhöjningen i Norden under 500 år**

Martin Ekman

Sommarinstitutet för Historisk Geofysik, Åland

Sommarinstitutet för Historisk Geofysik, Åland

Sommarinstitutet för Historisk Geofysik är författarens enmans-institut, som bedriver forskning, utger publikationer och ibland ger föreläsningar inom ämnesområdet historisk geofysik. För mer information, eller för publikationer i serien "Small Publications in Historical Geophysics" utgiven av institutet, se

www.historicalgeophysics.ax

Tidigare böcker av författaren publicerade av institutet:

"The changing level of the Baltic Sea during 300 years: A clue to understanding the Earth" (2009)

"Where on Earth are we? Using the sky for mapping the Nordic countries 1500 – 2000" (2011)

"The man behind 'degrees Celsius': A pioneer in investigating the Earth and its changes" (2016)

"Vår plats på jorden – Hur man använt himmel och jord för att kartlägga Sverige under 500 år" (2019)

© Martin Ekman 2021

ISBN 978-952-94-5269-9

Typografi och layout av författaren

Omslag grundat på figur 8-3 och 3-5 av Anders Ekman och författaren

Tryckoriginal av Kjell Söderlund

Tryckt av Gävle Offset

Publicerad av Sommarinstitutet för Historisk Geofysik, Äppelträdgården E, Haraldsby, AX – 22 410 Godby, Åland. Se även ovan.

Innehåll

Förord	7
1. Inledning: Is, vatten, land, människor	8
2. Övergivna hamnar och flyttade städer	10
2.1 Ingrid's runsten och en oväntad rymning	10
2.2 Flyttning av hamnstäder	13
3. Vattenminskning eller landhöjning?	16
3.1 Svar på ett frågeformulär	16
3.2 Solande sälar och ett värde på hastigheten	18
3.3 Historien och framtiden	20
3.4 Vad är det som händer?	25
4. Landhöjning – men varför?	28
4.1 Medelvattenmärken här och där	28
4.2 Ett nyfiket besök från England	29
4.3 Den svårbegripliga Östersjön	32
4.4 Avkylning eller uppvärmning?	33
5. Istid och landhöjning – men hur?	36
5.1 Tanken om en istid	36
5.2 En vaktmästares överraskning	38
5.3 En idé mött av tystnad	39
5.4 Fyrrar och vattenstånd	41
5.5 Högsta kustlinjen	46
5.6 Är jorden fast eller flytande?	49
5.7 Vattenstånd och strandlinjer igen	50
6. In i jorden	54
6.1 Vid frukostbordet	54
6.2 Jorden som en trögflytande vätska	56

6.3	Kan kontinenterna röra sig?	58
6.4	Landhöjningsmönster från vattenstånd och strandlinjer	59
6.5	Landhöjningsmönster från satelliter	63
6.6	Tyngdkraften också	66
6.7	En överblick	68
7.	Ut i rymden	70
7.1	Jorden och dess grannar	70
7.2	Jorden som en leksakssnurra	71
7.3	Polcirkelns förflyttning och jordbanans omformning	72
7.4	Istider och däremellan landhöjning	73
8.	Åter till kust och människor	76
8.1	Riksdagshusets räddning	76
8.2	Försvårat fiske	78
8.3	Instängda vikar	79
8.4	Växande öar	80
8.5	Hamnproblem	83
8.6	Gränsproblem	85
8.7	Vattenståndsmätare utan vatten	87
9.	Men nu börjar också havet stiga ...	90
9.1	Smältande fjällglaciärer	90
9.2	Världens längsta vattenståndsserie	92
9.3	De stora isarna, världshavet och Östersjön	96
9.4	En återblick: Historien, nuet och framtiden	98
	Appendix: En som lever på landhöjningen	101
	Referenser	103
	Illustrationer	107
	Register	108

Förord

Landhöjningen efter istiden är ett särpräglad fenomen som förekommer hos oss i Norden, och i övrigt nästan bara i en föga bebodd del av Canada. Det här är en bok om detta märkliga fenomen, om hur människorna vid våra kuster försökt hantera det och om hur forskarna försökt förstå det. Det är en bok om hur vårt hörn av världen tilldragit sig internationellt intresse, och en bok om hur man brottats med problemet i 500 år.

Boken spänner över vida fält: från jordens inre till ut i rymden, från fiske till riksdagshus, från istid till klimatuppvärmning. Den vill också ge en inblick i hur människor med vetenskapliga metoder och via nyfikenhet, noggrannhet och uthållighet lyckats lära sig allt detta. Och kunskaperna om landhöjningen visar sig värdefulla när man nu också behöver förstå den begynnande havshöjningen och relationen mellan land, hav och is på jorden.

Boken riktar sig till en vid krets av läsare, till intresserade av såväl naturvetenskap som historia och samhälle. Den är tänkt att förklara även komplicerade geofysiska frågor så att de skall bli begripliga för omvärlden.

Boken bygger delvis på min tidigare bok "The changing level of the Baltic Sea during 300 years: A clue to understanding the Earth". Den som skulle vilja ha mer av geofysik och mer av tabeller och formler kan titta där. Inspiration till boken kommer även från egen forskning inom området och kontakt med kolleger under gångna år.

Två personer har betytt mycket genom att läsa hela manuskriptet och ge konstruktiva kommentarer: Holger Steffen och Per-Anders Olsson, båda landhöjningsforskare. Stort tack till er båda! Dessutom ett tack till personalen vid de olika arkiv och bibliotek jag genom åren fått möjlighet att använda.

Martin Ekman

1. Inledning: Is, vatten, land, människor

Mitt i Norden, ute i Östersjön, ligger Åland. Men för 20 000 år sedan fanns det inte. Det som vi idag känner som Åland var då täckt av en mäktig is, en is som var mer än 1 000 meter tjock. Inte heller för 10 000 år sedan fanns det. Isen var då borta men Åland låg dolt under havet, mer än 100 meter under havsytan. Idag har vi ett Åland som består av tusentals öar mitt i Östersjön, och på flera av dem bor människor. Om 10 000 år finns kanske inte detta Åland längre. Det som var en mångfald av öar kan då bilda en sammanhängande landmassa förenad med fastlandet. Och om 20 000 år finns kanske inte heller detta. Då kan det som en gång var Åland åter vara täckt av en tjock is.

Ja, så ser den märkliga utvecklingen ut under loppet av några tiotusentals år, inte bara på Åland utan också i stora delar av Sverige och Finland – om inte människans klimatpåverkan förändrar framtiden, men det återkommer vi till. Någonstans i mitten av denna tidsperiod lever vi nu, med människor utspridda längs kuster och på öar på väg upp ur havet, just nu med en hastighet av upp till en meter per århundrade.

Denna landhöjning efter istiden nyskapar och omskapar hela tiden de kuster och öar som människor, djur och växter lever på. Grund kommer upp och förvandlas till öar, öar förvandlas till halvöar, havsvikar snörs av och förvandlas till insjöar, andra havsvikar förvandlas till fast mark. Landhöjningen förändrar gradvis livsförutsättningarna.

Kustmänniskor och öbor i vår del av världen har därför i alla tider tvingats hantera praktiska följder av landhöjningen: Vad gör man med båthus, hamnar och farleder som håller på att bli obrukbara på grund av det flyende havsvattnet? Hur hanterar man en hamnstad när den blir allt svårare att nå med fartyg? Från 1700-talet blev detta mystiska fenomen även en fråga för vetenskapliga människor vid universitet och akademier, först i Sverige och sedan även internationellt: Vad är det som händer med landet och havet? Varför händer det? Hur går det till? Och vad kommer att ske i framtiden?

Det är de här frågorna som denna bok handlar om. Den handlar om hur man genom historien både försökt hantera de praktiska problemen och försökt lösa de vetenskapliga frågorna. Detta kommer att föra oss åt flera olika håll. Vi kommer i början att hålla oss på jordytan och havsytan, men sedan också att ge oss in i jordens inre och ut i rymden. Vi kommer att se hur man lärt sig förstå att himlakroppar påverkar jorden så istider kommer och går, att belastning och avlastning av denna is åstadkommer strömmar inuti jorden och tillhörande landhöjning, och att detta skapar nytt land ur havet som påverkar livsvillkoren för oss människor. Och vi kommer också att se hur detta bland annat lett till att Stockholm grundades, och till att riksdagshuset nyligen måste räddas från förstörelse. Kort sagt: En kombination av säregna samhällsproblem och vetenskaplig nyfikenhet genom århundradena! Och så på slutet det senaste: Håller människan själv nu på att ändra klimatet så att en havshöjning delvis hinner ifatt landhöjningen? Eller på vissa håll övertrumfar den?

Men vår historia börjar med det tidigaste dokumentet om förhållandet mellan land och hav – en runsten från vikingatiden.

2. Övergivna hamnar och flyttade städer

2.1 Ingrids runsten och en oväntad rymning

Det äldsta existerande dokumentet som innehåller någon information om Östersjöns nivå är troligen en runsten från vikingatiden. Den står i Runby vid Upplands Väsby norr om Stockholm. Runinskriften är gjord på uppdrag av vikingakvinnan Ingrid omkring år 1050; se figur 2-1. Hon informerar läsaren om att hon här har låtit anlägga en "laðbro", med all sannolikhet en lastbrygga. Hennes text lyder, med moderniserad stavning:

"Ingrid lät lastbrygga göra och sten hugga efter Ingemar, mannen sin, och efter Dan och efter Banke, sönerna sina."

Ingrids text högs in i ett flyttblock från istiden, beläget nära en vikingatida segelled. På den andra sidan av stenblocket lät hon meddela att "detta skall stå som ett minne så länge människor lever". Idag, ett tusen år senare, finns stenblocket fortfarande där och Ingrids runor finns fortfarande där att läsa. En sak finns emellertid inte längre där: vattnet som lastbryggan måste ha byggts vid! Vattnet är nu flera kilometer bort. Med dagens kännedom om landhöjningen kan man beräkna att



Figur 2-1. Ingrids runristning om en lastbrygga vid Mälaren cirka 1050, nu långt ifrån vattnet.

landet sedan 1050 här har höjts med nära 5 meter. Om vi rekonstruerar strandlinjen vid den tiden visar det sig, att Ingrids runsten är belägen vid vad som då var den inre delen av en skyddad vik förbunden med en av vikingatidens viktiga segelleder. Det här måste alltså ha varit en utmärkt plats för en liten hamnanläggning.

Mälaren med sina segelleder var under vikingatiden en vik av havet. Men mot slutet av vikingatiden skedde en gradvis förändring. Där Stockholm idag ligger började Mälaren på grund av landhöjningen snöras av ifrån havet. Under Olof Skötkonungs tid, omkring år 1010, inträffade här en speciell händelse kopplad till detta, åtminstone om vi får tro Snorre Sturlassons senare redogörelse. Vad som hände enligt honom var följande.

Den norske blivande kungen Olaf Haraldsson (Olaf den helige) kom med sin flotta av vikingaskepp in i Mälaren och till den svenske kungen Olof Skötkonung i Sigtuna. När den norska vikingaflottan senare ville lämna Mälaren hade den svenske kungen spärrat av den enda förbindelsen med Östersjön, vid Norrström norr om nuvarande Gamla stan i Stockholm, och satt dit vakter. Norrmännen lyckades då på kort tid gräva en kanal genom den låga åsen längre söderut, ungefär vid nuvarande Slussen söder om Gamla stan, och ta sig ut med sina skepp den vägen – till den svenske kungens stora förargelse!

Kan denna säregna händelse verkligen ha ägt rum - kan berättelsen vara realistisk? För att den skall kunna vara det måste landhöjningen å ena sidan ha gått så långt att åsen söder om nuvarande Gamla stan alls nått upp i närheten av vattenytan, å andra sidan inte gått så långt att den nått för högt över vattenytan. Moderna beräkningar visar att åsen vid denna tid precis nått över vattenytan, så att grävandet av en kanal både var nödvändigt för att komma ut och var möjligt att genomföra tillräckligt snabbt. Från landhöjningssynpunkt är därför berättelsen fullt realistisk: Den norska vikingaflottan skulle faktiskt ha kunnat rymma ur Mälaren på detta sätt.

Två århundraden senare, omkring 1250, grundlades Stockholms slott här av Birger Jarl, på den ö som bildats och vuxit mellan Mälarens utlopp på ömse sidor. Detta speciella läge, det som idag är Gamla stan, gav möjlighet att kontrollera utloppen och därmed all in- och utfart till



Figur 2-2. Stockholm, Gamla stan med Kungl. Slottet, grundlagt omkring 1250 där Mälaren av landhöjningen avsnörts från Östersjön. Delar av det ursprungliga slottet ingår i det nuvarande. (Teckning av Erik Dahlbergh cirka 1660.)

och från Mälaren; se figur 2-2. Det var alltså landhöjningen och dess gradvisa avsnörning av havsviken Mälaren till en insjö, som skapade förutsättningarna för att grunda Stockholms slott på denna plats – och därmed det som under Birger Jarls son, Kung Magnus Ladulås, började utvecklas till Sveriges huvudstad.

Det bör nämnas att Mälaren under lång tid efter detta varit en sorts mellanting mellan insjö och havsvik. Sedan Mälaren av landhöjningen hindrats att ha fri förbindelse med havet i Östersjön, har erosion av utloppen gjort att vattennivån i Mälaren ändå inte följt med landet upp utan hela tiden hållit sig nära den i Östersjön. Vid långvariga västliga vindar, när mycket vatten transporteras från Nordsjön in i Östersjön, kunde därför Östersjöns nivå ibland bli högre än Mälarens. Utloppen förvandlades vid dessa tillfällen till inlopp, där vattnet från Östersjön strömmade in i Mälaren i stället för tvärtom. Idag är dock detta mycket ovanligt eftersom Mälaren genom en fördämning numera är en reglerad sjö.

Två århundraden efter Stockholms grundande börjar själva landhöjningen, och problem den leder till, att dyka upp i skriftliga dokument.

2.2 Flyttning av hamnstäder

Det första skrivna dokumentet som direkt handlar om landhöjningen och dess konsekvenser är daterat 1491. Detta år reste fyra borgare från den dåvarande staden Östhammar vid Upplandskusten till det styrande riksrådet för att klaga över att deras hamn inte längre var möjlig att nå med båt. Det här var under den nordiska Kalmarunionen vid en tid då det svenska riksrådet leddes av ärkebiskopen Jacob Ulfsson i Uppsala, och de fyra borgarna reste därför dit. Som svar på klagomålen från Östhammars representanter utfärdade Jacob Ulfsson och riksrådet en förordning, i vilken hamnproblemen beskrivs, här i sin språkliga originalform:

”I någre förledne åhr ähr jorden opwext ther [där] före bynn utt till siön, så att ther som för någre åhr een skuthe kunne framkomme af siöön och in i Östhamers stadh, af fem eller sex lester [cirka 15 ton], ther kan eij nu een fijskere båått framkomme. Och ähnnu förwexer och förhöges jorden åhrom [varje år] meer.”

Liknande klagomål hade framförts flera gånger, och representanterna anhöll om tillstånd att flytta hela staden. Det beviljades. Förordningen beordrade Östhammars befolkning att överge staden och att grunda en ny stad, Öregrund, på en plats 10 km därifrån med en bättre hamnmöjlighet. Det bör nämnas att det nuvarande Östhammar är en något senare stad än Öregrund, men på en plats i närheten av den ursprungliga.

Det här är det första fall vi känner av en flyttning av en stad för att hamnen på grund av landhöjningen blivit alltför svår att använda. Det ursprungliga Östhammar med sin hamn anlades troligen på 1100-talet. Vid slutet av 1400-talet måste då befolkningen här ha genomlevt en landhöjning på nära 2 meter, fullt tillräckligt för att förstöra deras grunda hamn. Idag är det som var hamnen enbart torra land. I den ersättande staden Öregrund finns fortfarande en av de ursprungliga byggnaderna kvar, nämligen kyrkan, från den tid då landhöjningen tvingade staden att flytta hit för att få en ny hamn; se figur 2-3.

Ett liknande men ändå lite annorlunda problem visade sig vid Kastelholms slott på Åland. Detta slott hade anlagts i slutet av 1300-talet på en liten holme, skild från huvudön av bara ett smalt sund. På 1500-talet hade landhöjningen gjort att sundet blivit så uppgrundat att det krävdes



Figur 2-3. Öregrunds stad med sin hamn efter flytten 1491 på grund av landhöjningen. Hamnen och kyrkan från flyttåret finns kvar idag. (Teckning av Erik Dahlbergh cirka 1665.)

åtgärder. Kungen, Gustaf Vasa, noterade detta och bestämde 1546 att det skulle fördjupas genom grävning. På detta sätt kunde det fortsätta att fylla en funktion som vallgrav. I det långa loppet gick det dock inte att motarbeta landhöjningen och därmed inte heller att upprätthålla vallgraven. Idag är den helt torrlagd, men man kan se var den gick.

Ett århundrade senare blev det nödvändigt med flyttning av ännu en hamnstad, denna gång längre norrut. Nu gällde det Luleå. Även här begärde borgarna och borgmästaren att få tillstånd att flytta staden, och detta beviljades. Drottning Christina utfärdade 1648 en förordning, i vilken hon fastslog att staden måste flyttas eftersom den var belägen långt ifrån vattnet.

Det ursprungliga Luleå med sin hamn härstammade från 1300-talet. Vid mitten av 1600-talet måste detta område ha genomgått en landhöjning på nära 3 meter, fullt tillräckligt för att göra det nödvändigt för befolkningen att flytta staden och dess hamn. Den nya staden tog med sig det gamla namnet. Den tidigare staden finns alltså kvar som en gammal marknadsplats med namnet Gammelstad, nu belägen inne i landet.

Men på 1600-talet nöjde sig inte alla berörda med att reagera på vad som hände. Några började också vilja förstå vad som hände.

3. Vattenminskning eller landhöjning?

3.1 Svar på ett frågeformulär

Vid slutet av 1600-talet började viss vetenskaplig verksamhet spira i Sverige, närmast vid Uppsala Universitet och några statliga myndigheter i Stockholm. En tidig naturforskare känd för sin strävan att grunda slutsatser på insamlade iakttagelser i naturen var Urban Hiärne. (Han var även far till inte mindre än 26 barn.) Från Stockholm skickade han 1694 ut ett frågeformulär till landshövdingar, biskopar och andra i olika delar av Sverige och Finland, som ju då tillhörde Sverige. Vad som bland annat intresserade honom var eventuella förändringar i naturen med tiden, som mottagarna ombads inrapportera. En av frågorna handlade om relationen mellan land och vatten.

Det mest upplysande svaret inkom från Elias Brenner, en historiker (och kunglig miniatyrmålare) uppvuxen nära Bottniska viken på den finska sidan, vid Vasa. Han redogjorde med konkret tydlighet för utvecklingen av kustområdena där:

"Från åldrige tider haar man märkt och förfarit huru som stora fiärdar widh hafwet efter handen meer och meer landas, så at mångenstädes ännu uthi manna minne är, at der man för 70 eller 80 åhr [sedan] medh skutor och farkostar fritt seglat, der nu åhrligen många 100 lass höö bergas. ... Nu omsider haar man ock befunnit at sielfwa fahrwatnet i hafwet ofta en mijl eller meer uthi siön efter handen blifwer osäkrare, hwilket åtskillige styrmän måst erfara i det at deras farkoster kommit at fästa och lida skada på de ställen der man aldrig tilförne några klippor eller grund anträffat."

Där tidigare generationer varit vana att segla eller ta sig fram med båt fanns alltså på många håll inte längre något vatten, eller åtminstone för lite vatten; se figur 3-1. Brenner noterar dessutom att "några ey uthan orsak kommit på de tankar at hela den nordiske tracten af werlden meer och meer upländes och watnet förminskas".



Figur 3-1. Havsvik som gradvis förvandlas till land av landhöjningen.

Hiärne sammanställde de insända svaren 1706. Han fann då att detta fenomen med minskande vatten längs kusten kunde observeras på flera håll runt Östersjön. Han drog slutsatsen att Östersjöns yta sjönk.

Här inställer sig nu en fundamental fråga: Är det landet som stiger eller är det vattnet som sjunker? Det var inte lätt att veta. Man kan notera att när representanterna från Östhammar tog upp sitt hamnproblem 200 år tidigare tycks de ha sett på det som en höjning av landet. I dokumentet står "förhöges jorden". Men när Hiärne skriver om fenomenet betraktar han det istället som en minskning av vattnet, han talar om "Östersjöns aftagande". Varför såg de saken på olika sätt?

Förmodligen har de som beskrivit fenomenet från sin egen hamn sett på det som ett mera lokalt fenomen, och då kunde tanken på en landhöjning ligga nära till hands. Hiärne däremot hade försökt skaffa sig en helhetsbild av Östersjön så han såg på det som ett mera allmänt fenomen, och då kunde tanken på en vattenminskning ligga närmast. Vid den här tiden kunde man inte veta vilket det var fråga om. Det skulle dröja mer än 100 år att få grepp om detta. Och än idag är det inte lätt att utreda precis hur mycket det är landet som rör sig och hur mycket det är havet.

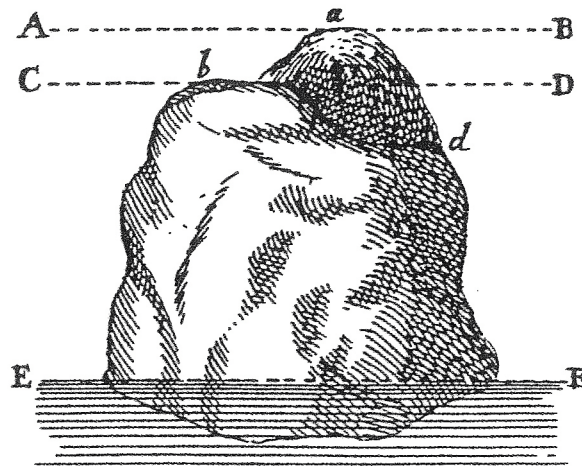
Nåväl, Hiärne uppfattade det alltså som en vattenminskning. Han kom också med ett förslag till förklaring. Alla floder som ständigt tömde sitt vatten i Östersjön skapade ett överskottsvatten som flöt ner mot utloppen, Öresund och Bälten, och vidare ut genom dem. Det åstadkom erosion av utloppen, vilket ledde till en fortgående sänkning av havsnivån i Östersjön. Ett alternativ av mera spekulativ natur var att det fanns hål i havsbotten genom vilka vattnet kunde sippra ner i jordens innandömen, en ganska spridd idé vid denna tid. Den sågs dock redan då som ogrundad av den geografikunnige historikern Petrus Lagerlöf och andra. Det skulle komma flera förslag till förklaring av detta mystiska fenomen framöver.

Men för att förstå fenomenet behövde man skaffa sig kunskaper. Kunde man bevisa att relationen mellan land och vatten verkligen förändrades? Hur fort gick det - med vilken hastighet sjönk vattnet eller steg landet?

3.2 Solande sälar och ett värde på hastigheten

För att belägga att Östersjöns nivå gradvis förändrades skulle man behöva finna ett sätt att bestämma medelvattenytans nivå vid någon viss tid för länge sedan, och så jämföra den med en modern bestämning. En både användbar och originell metod för att göra detta presenterades av Anders Celsius 1743 i Kungl. Vetenskapsakademiens nystartade publikationsserie. Han kom på att man kunde använda sig av solande sälar.

Celsius, idag mest känd för sin temperaturskala, hade grundat ett observatorium vid Uppsala Universitet och var en pionjär i utforskandet av jorden och dess förändringar. Han hade också gjort resor längs Bottniska vikens kust, och kände till att det fanns så kallade sälstenar här och där längs kusten. Sälstenar är stora stenblock eller släta klippor ute i vattnet där sälar brukar vistas och sola sig eller vila. Celsius insåg två betydelsefulla saker. För det första: För att det skulle vara möjligt för sälarna att ta sig upp på stenen måste dess topp ligga nära medelvattenytan. För det andra: Eftersom en sälsten kunde vara viktig som en plats att skjuta sälar på med harpun kunde det i vissa fall finnas skriftliga dokument om ägandet av stenen.



Figur 3-2. Celsius skiss av sälstenen vid Iggön norr om Gävle som han använde för att beräkna hastigheten hos vattenminskningen/landhöjningen 1743. Resultatet ledde honom till att hävda omfattande förändringar i Östersjöområdet av fördelningen mellan land och hav genom tiderna.

Celsius lyckades nu finna fyra sälstenar användbara för att påvisa landhöjningen/vattenminskningen. De var belägna på vitt skilda platser längs Bottniska vikens kuster, två av dem på den svenska sidan och två på den finska sidan. Dessa sälstenar var särskilt omnämnda och värderade i gamla arvsdokument och köpebrev. Men i senare skattehandlingar var samma stenar klassificerade som obrukbara, därför att de var alltför högt över vattnet eller på torra land. Celsius slutsats var att medelvattenytan måste sjunka. Människor hade, utan att veta om det, registrerat fenomenet i juridiska dokument!

En av de övergivna sälstenarna visade sig speciellt användbar för vetenskapligt ändamål, eftersom den kunde identifieras och mätas. Den här sälstenen var belägen norr om Gävle, vid Iggön. Celsius engagerade här en lokal matematiklärare, Johan Rudman, som först besökte stenen och sände en kartskiss med stenen särskilt markerad. Celsius ger en omsorgsfull och målande skildring av hur han sedan använder denna sten, med hänvisningar till sin bifogade ritning av den, se figur 3-2:

”Här bodde fordom en bonde, utaf ymnigt fiskande kallad Rik-Nils, som fångade skälar [sälar] på denne stens kulla a, hvarest i förstone skälen

kunde klifva up, då hafvet var svalstilt i lugnt väder ock stod jämt med AB. Men sedan när vatnet i hans tid blef mindre ock föll till CD, så låg skälen på b. Ock efter[som] då kullen a förhindrade Rik-Nils, som kom från ön at slå harpon [harpun] i skälen, så brände han utur stenen hela stycket ända till d, om vinteren då vatnet gemenligen är lågast, hvartil ännu synes klart teken, ock dessutan af alla Rik-Nilses efterkommande är intygat. Rik-Nilses söner köpte sedan denne ön af Cronan ock hafva fåt derpå skattebref af Konung Jan [Johan] III år 1583 den 24 Martii. ... Stenen har blifvit bränd af fadren vid pass 20 år förrän sönerne köpte ön, neml. år 1563. Men år 1731 om sommaren, då vatnet var någorlunda vid sin medelmåttiga högd, fants hafshorizontal-linean EF vara 8 fot under CD, som vatnet således siunkit undan på 168 år."

Med denna originella metod lyckades Celsius göra den allra första bestämningen av hastigheten hos det fenomen som vi idag känner som landhöjningen, även om Celsius såg på det som en vattenminskning. Uttrycker man hans 8 fot på 168 år i mera välbekanta enheter blir det 1.4 cm/år. Moderna metoder visar att det rör sig om 0.8 cm/år i dessa trakter. Celsius värde är alltså av rätt storleksordning, 1 cm/år.

Likafullt är Celsius värde på hastigheten för stort med nästan en faktor två. Varför? Det kan bero på två olika omständigheter, eller en kombination av bägge. För det första kan sälarna ha använt stenen främst under perioder då vattenståndet i Östersjön till följd av långvariga västvindar varit upp till en halv meter över det normala. För det andra kan sälarna ganska lätt ha tagit sig upp på en topp av en sten som denna även en halv meter över vattenytan. Genom att inte ta hänsyn till dessa effekter kom Celsius att anta att sälstenens topp sammanföll med medelvattenytan när den i verkligheten bör ha varit tre kvarts meter ovanför. Idag är det rätt svårt att känna igen denna sälsten från 1500-talet – figur 3-3 visar att den ligger uppe på land i en skog!

3.3 Historien och framtiden

Celsius nöjde sig inte med att visa att nivåförändringen i Östersjön verkligen pågick och med vilken hastighet den gjorde det. Han gick ett steg längre. Han vidgade tidsperspektivet genom att fråga sig själv vad denna vertikala hastighet kunde betyda om man såg såväl bakåt i tiden som framåt, vad den kunde betyda för historien och för framtiden. Han



Figur 3-3. Sälstenen vid Iggön idag, nu i en skog till följd av den fortgående landhöjningen.

ställde upp en tabell som visade den totala nivåförändringen för upp till 10 000 år, förutsatt att förändringen alltid hade gått eller skulle gå med samma hastighet. Med den som utgångspunkt försökte han först blicka bakåt i historien:

”Om man hade sig bekant här i Sverige de förnämsta orters högd öfver hafshorizonten ... så skulle man vara i stånd at sägia efter denna uträkningen hvilka orter i fordna tider ståt under vatten, ock huru vår geographie set ut til ex. för två tusend år tilbakas då vatnet stod 45 alnar [28 meter] högre. ... Man skulle finna fordom ... at intet allenast Scandinavien varit en ö, utan ock at dess södra del beståt af mindre öar.”

Sedan försökte han blicka in i framtiden:

”Våra skärgårdar måtte blifva alt mera upfylde med öar ock klippor, så at losarne [lotsarna] böra åtminstone hvart 20:de år mäta diupet af segel-lederne, ock intet lita på det deras förfäder giordt. Ändteligen skulle med tiden hela Öster-sjön utsiunka.”

Celsius resultat väckte ett betydande vetenskapligt intresse. Stöd kom först från hans kollega i Uppsala, Carl von Linné. Vid sin resa på Gotland hade han stött på en serie vallar, alla parallella med kusten, som han tolkade som gamla strandlinjer som successivt hade förlorat kontakten med havet på grund av vattenminskningen. Längre norrut, vid Härnösand, hade en av Celsius och Linnés tidigare elever, Nils Gissler, studerat liknande serier av strandvallar och insåg att de kunde ha skapats av svåra stormar. Stormar med tillräcklig förmåga att kasta upp strandmaterial inträffade kanske några gånger per århundrade. Höjdskillnaden mellan vallarna verkade då passa någorlunda till Celsius värde på vattenminskningen; se figur 3-4.

Men ännu mer betydelsefullt var intresset för Celsius resultat från ett helt annat håll. Några år efter att Celsius uppsats blivit publicerad ombads författaren Olof Dalin av Riksdagen att skriva ett stort verk över Sveriges historia. Dalin var liksom Celsius en fritänkande person och inkluderade nya tankegångar och slutsatser i sin historia. Han anammade snabbt Celsius vida perspektiv på vattenminskningen, inklusive hans numeriska värden. När man slog upp Dalins omfångsrika historiebok för att börja läsa löd den allra första meningen:



Figur 3-4. Strandvallar som successivt förlorat kontakten med havet.

"Norden stod ännu til större delen under watn och war liksom en skiärgård i mångfaldiga små öyar delt, när dess mäst högländte orter blefvo intagne af det folkeslag, hvilkets historia jag nu ärnar skrifva."

Naturvetenskapen hade gjort sitt inträde i historieskrivningen! Den nya historieboken bidrog till ett snabbt genombrott för föreställningen om en fortgående vattenminskning och dess långsiktiga konsekvenser.

Men bokens utgångspunkt väckte också misstro. Frågan togs till och med upp av ledamöter i Riksdagen. Kunde det verkligen accepteras att centrala delar av Sverige inte ens hade existerat för några tusen år sedan? Och hur gick detta ihop med Bibelns skapelseberättelser? En av ledamöterna, den kombinerade naturforskaren och prästen Johan Browallius, författade en skrift där han vädrade sin skepsis. Han hävdade att många av de iakttagelser av en vattenminskning som rapporterats var alltför osäkra och kunde förklaras som vad vi idag skulle kalla slumpmässiga och systematiska fel. På detta sätt försvarade han samtidigt den bibliska synen på tillvaron på jorden. Men det hjälpte inte i längden. För de flesta var det tydligt att någonting hände – men vad?

Celsius gjorde en till sak av avgörande betydelse. I sin ovan citerade uppsats berättar han att han har låtit hugga in ett särskilt märke för att visa medelvattenytans nivå, i en sälsten belägen vid ön Lövgrund i Gävlebukten. Detta medelvattenmärke består av en horisontell linje med året "1731" ovanför; se figur 3-5. Märket inhöggs enligt Celsius instruktioner av Rudman, samma person som han engagerat tidigare. Celsius skriver att han har låtit göra märket "på det at våra efterkommande måtte få veta detta aftagandet [av havsnivån] nogare". Detta långsiktiga initiativ skulle mycket riktigt visa sig värdefullt för kommande generationer. Stenen är idag känd som Celsiusstenen (lokalt även som Rudmansstenen).

Det var förutseende att välja just denna sten för framtida behov. Befolkningen hade berättat att man bara 50 år tidigare, omkring 1680, hade skjutit sälar på den, så toppen låg bara lite över medelvattenytan. Samtidigt sträckte sig stenen djupt ner i vattnet, och dessutom var sidan på stenen nästan lodrät. Den skulle därmed vara lämplig för mätningar för lång tid framåt. 100 år senare skulle en nyfiken forskare resa ända



Figur 3-5. Celsiusstenen vid Lövgrund i Gävlebukten. Celsius medelvattenmärke 1731 högst upp, senare märken för vart århundrade därunder, illustrerande den gradvisa landhöjningen. Det finns plats för ett sista märke 2031

från England för att mäta upp märket och dra en viktig slutsats, något vi återkommer till i nästa kapitel.

Idag kan man visa att 1731 års medelvattenmärke är placerat lite för högt, drygt 10 cm, men det ligger helt inom osäkerheten i att uppskatta medelvattenytan utan att ha tillgång till en mångårig serie av vattenståndsobservationer. Numera finns det, utöver 1731 års linje, även linjer för 1831 och 1931. År 2031 kommer man att kunna göra en fjärde linje, men det blir den sista – efter det kommer stenen att ohjälpligt att stå på torra land.

3.4 Vad är det som händer?

Nu när det var ganska väl belagt att något gradvis hände, och ungefär med vilken hastighet, inställde sig frågan: Vad händer – sjunker vattnet eller stiger landet?

Idén om vattenminskning hade redan tidigare framförts av Hiärne. Han hävdade, som vi sett, att Östersjöns nivå troligen sjönk genom erosion av utloppen. Mindre välgrundade var väl två andra tankegångar som ändå hade viss spridning och återgavs av Celsius. Den ena var den tidigare nämnda tanken om hål i havsbotten där vattnet kunde sippra ner. Den andra var tanken att en del vatten helt enkelt försvann genom att växterna drack upp det. Hur som helst hade själva idén om vattenminskning i någon form en stark ställning.

Men så kom 1765 två uppsatser som båda hävdade att det kanske inte alls var fråga om en vattenminskning utan snarare om en landhöjning. Den ena uppsatsen var skriven av Ephraim Otto Runeberg, lantmätare i Finland (och nära släkting till skalden Runeberg). Hans huvudargument för en landhöjning byggde på iakttagelser av berggrunden, särskilt i gruvor. Av strukturen hos berget i gruvorna kunde man se att rörelser i berggrunden måste ha ägt rum. Alltså skulle någon sorts höjning av landet vara en möjlighet. Den andra uppsatsen var skriven av Bengt Ferner, en efterföljare till Celsius i Uppsala. Hans argumentering för en höjning av landet var liknande.

Troligen via Bengt Ferner kom nu det märkliga fenomenet i Norden och frågan om vattenminskning eller landhöjning att väcka internationellt intresse. Ferner gjorde en lång studieresa i Europa och träffade bland annat en del forskare som en generation tidigare fått besök av Celsius. (Dessutom passade han på att gå på teater; på tre år såg han hela 135 föreställningar.) I Italien träffade han en matematiker, Paolo Frisi, som blev intresserad av landhöjningsfrågan. Men Frisi ansåg att en landhöjning var osannolik eftersom det saknades stora jordbävningar i Norden. Istället förordade han en vattenminskning, och framlade 1785 en ny tankegång för detta. Han utgick ifrån att jorden gradvis svalnade. Avsvalningen skulle göra att jorden krympte. Krympningen skulle leda till att jordens rotationshastighet ökade, enligt samma princip som får en

konståkare på skridskor att snurra fortare när hen drar in armarna mot kroppen. När jorden snurrade fortare skulle den ökade centrifugalkraften få världshavet att ändra form. Det skulle bli mer vatten kring ekvatorn och mindre vatten vid polerna, alltså en vattenminskning på nordliga latituder.

Men efter en tid kom ett motbud igen. Genom studiet av vulkaner hade en uppfattning spridit sig om att inre processer i jorden spelade en stor roll i bildningen av berggrunden och i jordens utveckling. När fysikern John Playfair i Skottland 1802 skrev om sådana saker tog han upp vattenminskningen också. Han fann det från sitt perspektiv naturligt att behandla vattenminskningen som en landhöjning istället. Hans poäng var att en landhöjning är mer trolig eftersom den lättare kan tänkas vara ett regionalt fenomen och inte lika mycket kräver en global förändring.

Ja, uppenbarligen är det mycket svårt att skilja mellan en sänkning av havsnivån och en höjning av landet. Det finns ju ingen fast punkt i tillvaron att relatera till! Redan Runeberg hade påpekat att "man om ingen fast punct på jordens yta kan vara förvissad".

Och samtidigt som man kunde fundera över vad som pågick ställdes man inför fenomenets praktiska konsekvenser. En sådan som blev alltmer påtaglig ju mer åren gick var de växande landområden som tillkom längs kusterna, särskilt där det var långgrund. Vem ägde den nya marken som gradvis kom fram? Denna svårbesvarade fråga gav upphov till ägotvister. Från Österbotten på finska sidan, med sina flacka stränder, rapporterades "egotvister sig årligen yppa om det tilökte landet" och ofta hamna i domstol.

Men den mest grundläggande frågan verkade vara den knepigaste: Hur skulle man kunna avgöra vad det är som rör sig – är det vattnet eller landet, det vill säga havet eller berggrunden? I princip fanns det nu tre olika alternativ:

1. En allmän vattenminskning i Östersjön.
2. En latitudberoende vattenminskning mot norr.
3. En regional landhöjning i Norden.

För att kunna avgöra vilket av dessa tre som beskriver verkligheten krävdes fler observationer, och då handlade det om observationer både på flera platser och med långa tidsperspektiv.

4. Landhöjning – men varför?

4.1 Medelvattenmärken här och där

I sin uppmärksammade uppsats 1743 hade Celsius, som vi sett, beskrivit hur han för kommande generationer låtit hugga in ett medelvattenmärke i den stora sälstenen vid Lövgrund utanför Gävle. Inspirerad av detta meddelade en ung naturvetare, Samuel Chydenius, några år senare att han låtit hugga in ett liknande medelvattenmärke i en klippa längre norrut, vid Ratan utanför Umeå. (Han drunknade tragiskt nog några år därefter när han mätte vattendjup i älvar i Finland.) Sedan spred sig bruket att rista in medelvattenmärken bland dåtidens nyfikna forskare. Redan vid mitten av 1750-talet fanns medelvattenmärken på sju olika platser längs Östersjöns kuster, tre på den finska sidan och fyra på den svenska. Och lite senare tillkom ett på den svenska sidan av Kattegatt. Alla dessa märken skulle man kunna använda efter, säg, ett halvt århundrade eller mer för att se vad som under den tiden hade hänt med havsyntans nivå.

Märkena placerades i allmänhet på en nivå som motsvarade lokala lotsars eller andra mångåriga kustbors uppfattning om medelvattnet på platsen. Denna uppfattning grundade sig naturligt nog på deras sammanlagda minnen från de senaste årtiondena och kan därför antas ha givit en något för hög nivå, men det gör inte alltför mycket om man sedan har ett tidsspänn som är långt nog. Andra osäkerheter i den ganska primitiva metoden att uppskatta medelvattennivån kan också anses hanterbara om man låtit det gå tillräckligt lång tid.

En bit in på 1800-talet, 1823, gjordes en första sammanställning av med vilken hastighet vattenminskningen/landhöjningen hade fortgått sedan märkena huggits in mer än 50 år tidigare. Den som försökte sig på detta var Carl Peter Hällström, som annars ägnade sig åt kartläggningsarbeten längs kusterna. Han använde sig av dels andras inrapporterade mätningar, dels egna mätningar, av märkenas aktuella höjd över medelvattnenytan, men koncentrerade sig på dem i Bottniska viken. Han fann att platserna i Bottniska viken han undersökte alla visade ungefär samma förändring, 4 fot på 100 år, motsvarande drygt 1 cm/år.

Han noterade också att hans enda plats i södra Östersjön visade en klart mindre förändring men bedömde det resultatet som osäkert eftersom det var ensamt. Försiktigtvis drog Hällström därför inga bestämda slutsatser av sina resultat, även om hans samtida vid Kungl. Vetenskapsakademien, kemisten Jacob Berzelius, lutade åt att de tydde på en landhöjning. Idag kan vi se att resultaten överensstämmer ganska bra med våra moderna värden, men att det skulle ha behövts observationer från fler platser med en större spridning för att göra det möjligt att dra slutsatser. Ännu var alltså inte frågan om vattenminskning eller landhöjning avgjord.

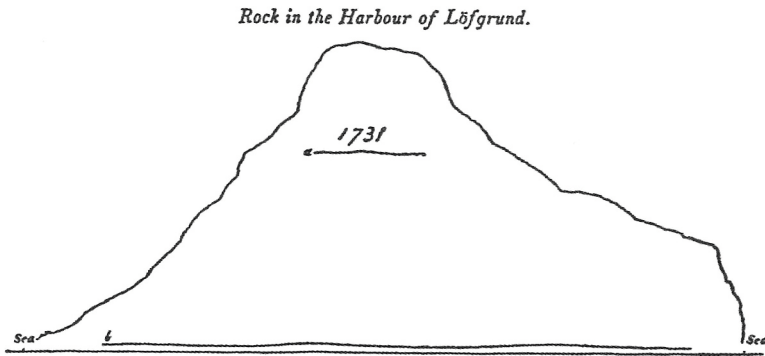
4.2 Ett nyfiket besök från England

Ungefär vid denna tid höll en geolog i London, Charles Lyell, på att publicera ett stort verk om jorden och dess utveckling, som snabbt fick en ledande ställning. I hans föreställningsvärld ingick inte möjligheten av ett så gåtfullt fenomen som en landhöjning i Norden. Men nyfikenheten tog överhanden, så när han skrivit klart sitt bokverk beslöt han 1834 att göra en resa till Sverige för att själv studera det omtalade fenomenet.

Lyell skriver om början av sin resa att han då var skeptisk till idén om en landhöjning. Han hävdar att en sådan "långsam, konstant och omärklig höjning av ett omfattande landområde är en process så annorlunda" att den kräver mer belägg än normalt för att man skall kunna acceptera den.

När Lyell kom fram till Sverige började han i söder. Han åtföljdes under sin resa av en svensk som behärskade engelska och fungerade som tolk. I Skåne kan han inte se några spår av en landhöjning och inte heller finna några personer som känner till en sådan. Han fortsätter norrut längs Östersjökusten. Vid Kalmar stöter han på påstående om en landhöjning/vattenminskning men förhåller sig tvivlande. Men när han så kommer till Stockholm blir det annorlunda. Här finner han både spår av en nivåförändring i naturen och människor som säger sig känna till en sådan förändring. Dessutom träffar han Hällström och Berzelius med sina kunskaper om saken. Och när han kommer ännu lite längre norrut, till Öregrund, träffar han åtskilliga kustmänniskor som är så säkra på sin sak att de inte kan förstå varför man ska behöva undersöka det:

"Så stark är övertygelsen hos fiskarna här, och hos de sjöfarande invånarna i allmänhet, att en gradvis nivåförändring äger rum om tre fot



Figur 4-1. Lyells teckning av Celsiusstenen med dess medelvattenmärke från 1731, som vid Lyells besök 1834 hade höjt sig med nära 3 fot.

eller mer per århundrade, att de inte tycks ha något som helst intresse av en bekräftelse på detta med hjälp av konstgjorda märken.”

Lyell reser sedan vidare till Gävle och tar sig där ut till resans ändpunkt, Löfgrund med Celsius medelvattenmärke från 1731. Här mäter han, 103 år senare, höjden på märket över vattenytan; se figur 4-1. Han får det till 2 fot och 6 ½ tum, men lotsen som medföljer honom bedömer att siffran behöver ökas med åtminstone 4 tum på grund av vindens effekt, så resultatet blir nära 3 fot på 100 år. Det är nästan samma som fiskarna hävdar! I mera välbekanta enheter blir det drygt 8 mm/år. Moderna metoder visar att det i detta område rör sig om 7 mm/år. Lyells värde är alltså bara drygt 1 mm/år för stort. I förra kapitlet nämndes att Celsius märke är placerat drygt 10 cm för högt. Det kan alltså helt förklara att Lyell får ett värde som är en aning för stort. Av det kan man också sluta sig till att lotsens bedömning av vattennivån vid Lyells besök tycks ha varit helt korrekt, om av tur eller skicklighet må vara osagt. Om Lyells besök hade ägt rum idag hade han mötts av åsynen i figur 4-2.

Nu hade Lyell uträttat det viktigaste. På sin återresa tog han vägen över till Kattegatts kust. Där besökte han Marstrand, fann även här kustbor som var bekanta med en nivåförändring, och noterade själv en sådan med hjälp av ett gammalt vattenmärke.

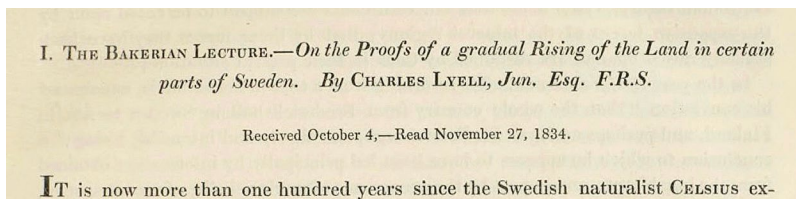
När Lyell var klar med sin resa och återkommen till London presenterade han året därpå sina intryck och sina slutsatser för Brittiska



Figur 4-2. Celsiusstenen i sin helhet idag.

Vetenskapsakademien; se figur 4-3. Han hade studerat naturen, hört vittnesmål från befolkningen, mätt gamla medelvattenmärken och även tagit del av Hällströms resultat från flera sådana märken. Han konstaterar att han på grund av allt detta ändrat uppfattning och hävdar nu att landet faktiskt höjer sig:

"Vad gäller påståendet att landet i vissa delar av Sverige gradvis höjer sig, tvekar jag inte att instämma i det efter mitt besök. ... Det finns inget tvivel om att hastigheten hos nivåförändringen är mycket olika på olika platser."



Figur 4-3. Titeln på Lyells uppsats om landhöjningen presenterad för Brittiska Vetenskapsakademien 1834, med Celsius omnämnd redan på första raden i texten.

Det avgörande här var alltså att observationerna visade att hastigheten hos fenomenet var så olika på olika ställen. Genom att ställa denna kunskap mot de tre alternativa beskrivningarna av verkligheten som gavs i slutet på förra kapitlet kunde man äntligen besvara frågan om vad som händer. Vi kan sammanfatta det på följande sätt:

1. En allmän vattenminskning i Östersjön – nej, det stämmer inte.
2. En latitudberoende vattenminskning mot norr – nej, det stämmer knappast.
3. En regional landhöjning i Norden – ja, det stämmer av allt att döma.

Celsius hade just för att efterkommande bättre skulle kunna mäta hastigheten hos fenomenet initierat huggandet av medelvattenmärken längs kusten. Nu hade alltså hans långsiktiga initiativ burit frukt. Tack vare detta hade man visat att det inte var någon vattenminskning som pågick utan en landhöjning. Celsius hade nog blivit förvånad över resultatet!

Lyell skriver avslutningsvis: "Jag tillåter mig att gratulera den vetenskapliga världen till att detta förunderliga fenomen varje dag väcker ökad uppmärksamhet." Men nu ställdes man också inför en ny fråga: Varför höjer sig landet? Ja, det var inte så lätt att förstå. Och för att förstå det behövdes fler och bättre observationer – och det var inte heller så lätt att åstadkomma.

4.3 Den svårbegripliga Östersjön

I takt med ökat intresse för landhöjningen spred sig bruket att hugga in medelvattenmärken längs kusterna. Ja, det spred sig nästan som en epidemi. Efter 1800-talets mitt kunde man räkna till mer än 60 medelvattenmärken. Det borde ju räcka mer än väl. Men det fanns problem med det här.

Det första problemet var, som nämnts tidigare, att det inte var lätt att uppskatta medelvattennivån när märket skulle huggas in. På flera håll ägnades inte tillräcklig omsorg åt det. I en del fall var det också oklart hur märket hade tillkommit.

Det andra problemet var, inte överraskande, att det inte heller var lätt att uppskatta medelvattennivån vid ett senare tillfälle när man

ville mäta märkets höjd över denna. Man försökte ibland ta hänsyn till lufttryck och vind för att lyckas, men här kom en av Östersjöns egenheter in och spelade den lokale observatören ett spratt.

Det var känt att såväl lufttryck som vindar påverkade havsnivån i Östersjön märkbart. Om man då observerade vattennivån på en plats vid både normalt lufttryck och svag eller ingen vind borde nivån sammanfalla ungefär med medelvattennivån, tänkte man sig. Dessvärre stämde detta inte. Havsnivån i Östersjön påverkas på ett speciellt sätt av långvariga vindar. Om det blåser från omkring väst under flera veckor fylls hela Östersjön med inströmmande Nordsjövatten och kan nå en nivå på en halv meter över det normala. Om det omvänt blåser från omkring ost under flera veckor strömmar Östersjövatten ut i Nordsjön och nivån kan bli en halv meter under det normala. Även om det inte är någon vind en viss dag på en viss plats kan vattenståndet alltså ändå vara högt eller lågt på grund av tidigare vindar på annat håll.

Om man hade haft det här klart för sig hade man insett vikten av att ha ett mycket långt tidsperspektiv vid uppmätning av medelvattenmärken, säg bortåt ett århundrade. Då hade inverkan av osäkerheten i bedömningen av medelvattennivån spelat en begränsad roll vid beräkningar av landhöjningens hastigheter på olika platser. Men nu förstod man inte detta, och för att snabbt få fram flera resultat frestades man att använda alltför korta tidsperioder. Det här ledde till att ju fler märken som upprättades och observerades, desto mindre framträdde något mönster i resultaten. Det mönster som skulle kunna bidra till en förståelse av orsaken till landhöjningen kom att döljas bakom en mängd opålitliga data blandade med pålitliga.

4.4 Avkylning eller uppvärmning?

Hur som helst stod man nu alltså inför en ny fråga: Vad kunde orsaken bakom den förunderliga landhöjningen vara – varför höjde sig landet?

Som nämnts tidigare hade Berzelius på Kungl. Vetenskapsakademien redan av Hällströms siffror och annat fått intrycket att det borde vara fråga om en landhöjning. Redan innan Lyell reste omkring i Sverige, 1830, lade Berzelius fram en hypotes om hur det kunde komma sig att landet

höjdes. Han utgick från att jorden från ett ursprungligt tillstånd sakta svalnade. Medan jorden svalnade krympte den. När jorden krympte tvingade den jordskorpan att deformeras. Inom somliga områden måste den då höjas. Tydligt var Norden ett sådant höjningsområde.

Lyell själv lade 1835 fram en helt annan hypotes om orsaken till landhöjningen. Han utgick från den värme som tycktes finnas i jordens inre. Den inre värmen skulle få jordskorpan att utvidgas. När jordskorpan utvidgades måste den höjas inom somliga områden. Om man antog att en del av jordskorpan var drygt 100 km tjock och att dess temperatur stigit med, säg, 400°C skulle det enligt honom leda till en höjning med bortåt 800 m. Genom det här skulle man kunna förklara landhöjningen i Norden.

Blickar vi tillbaka lite kan vi notera hur svårigheten att förstå den egendomliga nivåförändringen i Norden ledde till en lustig blandning av oförenliga idéer. Vi finner en och samma orsak som förklaring till två motsatta fenomen: Frisi hävdade (som sades i förra kapitlet) att en avsvälning och krympning av jorden skulle åstadkomma en vattenminskning – Berzelius hävdade att samma avsvälning och krympning skulle åstadkomma en landhöjning! Vi finner också två motsatta orsaker som förklaring till ett och samma fenomen: Enligt Berzelius berodde en landhöjning på en avsvälning och krympning av jorden – enligt Lyell berodde samma landhöjning på en uppvärmning och utvidgning av jorden!

Ja, det var inte lätt att förstå varför landet höjdes, och inte heller varför fenomenet verkade vara särskilt påtagligt i Norden. Några årtionden senare kom det ett nytt förslag på temat med avkylning och uppvärmning. Men den här gången visade det sig vara mer fantasifullt än någon kunnat föreställa sig. Den var geologen Thomas Jamieson i Skottland som 1865 utnyttjade den nya och omdebatterade föreställningen om en istid i det förgångna. Han framkastade tanken att en sådan tjock is över Norden kanske hade kunnat trycka ner jordskorpan, och att när isen sedan smält så höjdes jordskorpan igen.

I princip fanns det nu tre olika förklaringar att välja på till varför landet höjs:

1. Avkylning och krympning av jordskorpan.
2. Uppvärmning och utvidgning av jordskorpan.
3. Bortsmältning av ett istäcke från jordskorpan efter en istid.

För att kunna avgöra frågan krävdes, som vanligt, fler och säkrare observationer. Och för att det mest fantasifulla alternativet skulle komma ifråga behövdes också mer kunskap om den tänkta istiden.

5. Istid och landhöjning – men hur?

5.1 Tanken om en istid

När tanken om en istid först dök upp hade den ingenting med landhöjningen att göra. Den utgick från den is som finns som glaciärer i fjällen. Glaciärerna hade tydligen förmågan att de kunde transportera stora flyttblock och bygga upp långa moränvallar när de rörde sig. En tidig glaciärforskare i Norge, Jens Esmark, noterade 1824 att såväl flyttblock som moränvallar gick att finna inte bara uppe i fjällkedjan utan över nästan hela landet; se figur 5-1. Hans slutsats blev att Norge en gång i tiden måste ha varit täckt av is. En kollega i Tyskland, Albrecht Bernhardt, påpekade att Esmarks resonemang kunde utsträckas till hela Skandinavien och nordligaste Tyskland.

Ett mer långtgående perspektiv presenterades något senare vid ett uppmärksammat föredrag i Schweiz. Det hölls och publicerades 1837 av glaciärforskaren där Louis Agassiz. Han och andra hade studerat



Figur 5-1. Flyttblock långt från dagens glaciärer, något som inspirerade till idéer om en tidigare nedisning.

fördelningen av flyttblock och moräner kring Alperna och fann att ett stort område där måste varit täckt av is. Han vidgade sedan perspektivet och kom till en radikal slutsats: En stor del av Europa och norra halvklotet hade varit täckt av is under någon period i jordens historia. Jorden hade genomgått en istid. Detta var att gå alltför långt för flera av åhörarna – enligt samtida skildringar himlade somliga med ögonen under föredraget. Likväl hade ett par av hans kolleger nyligen kommit med liknande funderingar.

Denna idé om en istid presenterades bara ett par år efter att Lyell varit i Sverige och övertygats om en landhöjning där. Redan en landhöjning hade varit svår att acceptera, och en istid var ännu värre. Lyell och de flesta andra geologer opponerade sig mot denna till synes osannolika och alltför fantasifulla hypotes. En rimligare hypotes var enligt dem att strömmande havsvatten, och särskilt isberg flytande i vattnet, avsatt flyttblock och moränmaterial, som sedan landhöjningen kunnat lyfta upp.

Nästan samtidigt med detta uppmärksammade en tidigare elev till Berzelius, Nils Gabriel Sefström, att berggrunden i Sverige på många ställen var full av inristade räfflor. Dessa räfflor tycktes ofta ha en gemensam riktning. Sefström tog sig nu för att systematiskt undersöka detta. Han och hans utsända bestämde riktningen hos räfflorna på ett par hundra platser utspridda i den södra halvan av Sverige, och även på några platser i Norge och Finland. Resultatet blev ett mönster: Räfflorna gick i allmänhet i riktningen nord-syd, med en viss tendens åt mera nordost-sydväst i väster och mera nordväst-sydost i öster. Detta skulle så småningom visa sig vara en viktig upptäckt till stöd för en istid, men inte heller han kunde tänka sig ett istäcke som orsak utan såg istället för sig något våldsamt flöde av vatten.

Två årtionden senare gjorde en tidig polarforskare resor till både Spetsbergen, Island och Grönland för att studera de stora isarna där och deras effekter; se figur 5-2. Det var Otto Torell, senare mångårig chef för den ganska nybildade Sveriges Geologiska Undersökning, som reste till dessa rätt utforskade områden. Genom att jämföra vad han observerade där med observationer i Sverige och övriga Norden kunde han visa att hela Norden måste ha varit täckt av en tjock is. Inte bara flyttblocken



Figur 5-2. Inlandsis på Spetsbergen studerad av Torell 1858; med hjälp av den kunde han visa att hela Norden måste ha varit nedisat.

och moränvallarna, utan även räfflorna i berggrunden, hade skapats av ett omfattande och sakta rörligt istäcke. Av isräfflornas riktning i berggrunden kunde han också sluta sig till att isen hade vuxit och rört sig utåt från fjällkedjan åt alla håll. (Rullstensåsarnas koppling till isen insågs först längre fram.)

Man kunde nu tänka sig att saken vore klar, men fullt så enkelt var det inte. Torell publicerade resultaten 1859 i en avhandling på svenska. Några år senare skickade han in en utvidgad version på franska till en pristävling utlyst av den holländska vetenskapssocieteten och vann för detta en guldmedalj. Han begärde då att få tillbaka manuskriptet innan det skulle tryckas för att göra en del förbättringar och tillägg. Tyvärr blev han aldrig riktigt nöjd och färdig med dem; manuskriptet blev liggande resten av hans liv och kom aldrig att tryckas och spridas internationellt. Detta kan ha bidragit till att fördröja istidens internationella acceptans.

5.2 En vaktmästares överraskning

Om jorden verkligen hade genomgått en istid behövdes också en förklaring till hur en sådan kunde uppkomma. Ganska snart efter att

Agassiz hade presenterat sin ifrågasatta idé om en istid föreslog en privatlärare i matematik i Frankrike, Joseph Adhémar, en astronomisk förklaring. Den byggde på att jordens rotationsaxel gradvis ändrar riktning i rymden, och detta tillsammans med att jordens bana kring solen är lite oval skulle kunna påverka årstiderna och klimatet på jorden så att man ibland fick istider.

Den här förklaringen visade sig otillräcklig men innehöll ett frö till vad som komma skulle. Vid ett tekniskt institut i Skottland hade man anställt en vaktmästare. Som sådan hade han tillgång till institutets bibliotek. Vaktmästaren, James Croll, började studera böcker där som han fann intressanta. Dit hörde särskilt böcker i matematik, fysik och astronomi. Efter flera år av självstudier i biblioteket kombinerade han sina nu gedigna kunskaper i dessa ämnen till en teori för klimatvariationer och istider i jordens historia. När den publicerades 1864 väckte den förvåning eftersom den avancerade författaren var helt okänd för omvärlden. Vaktmästaren blev plötsligt en vetenskaplig kändis!

Crolls teori för uppkomsten av istider byggde på tre egenheter i hur jorden rör sig, alla beroende på störningar i jordens rörelse orsakade av månen, solen och planeterna. Den första är en variation i jordaxelns riktning, den andra är en variation i jordbanans lutning, och den tredje är en variation i jordbanas form. Dessa variationer har perioder på mellan 20 000 och 100 000 år, beräknade astronomiskt redan tidigare. Tillsammans skulle de enligt Croll påverka klimatet på jorden och ge upphov till återkommande istider. För att istiderna skulle uppkomma krävdes enligt honom även en förstärkningsfaktor, utlöst av klimatets förändring. En sådan kunde vara ökad återreflektion av solljus till följd av utökat snötäcke, och även ändrade vindar och havsströmmar.

Crolls grundläggande förklaring till istider har i stort sett visat sig vara riktig. Det kunde man naturligtvis inte veta då, men existensen av en tänkbar förklaring gjorde ändå att en istid framstod som mer trovärdig, åtminstone för somliga.

5.3 En idé mött av tystnad

Vid samma tid, 1865, satt geologen Thomas Jamieson i Skottland och skrev på en annan uppsats. I en liten anmärkning nämner han en idé han just fått:

"Det är värt att notera att i Skandinavien och Nordamerika, liksom i Skottland, har vi belägg för en att en sänkning av landet har följt tätt inpå närvaron av den stora istäcket, och egendomligt nog är den höjd upp till vilken man funnit marina fossil i alla dessa länder nästan densamma. Det har slagit mig att den enorma tyngden av is placerad på landet kan ha haft något att göra med denna sänkning. Agassiz anser att isen har varit mer än en kilometer tjock i vissa delar av Amerika, och allt tyder på en stor tjocklek i Skandinavien och norra Storbritannien. Vi vet inte vilket tillstånd den materia befinner sig i som den fasta jordskorpan vilar på. Om den är i ett smält tillstånd skulle en sänkning kunna äga rum på grund av en sådan orsak, och sedan skulle avsmältningen av isen förklara höjningen av landet, som tycks ha följt på minskningen av glaciärerna."

Här har vi för första gången den förklaring till landhöjningen som vi idag anser vara den riktiga. Landhöjningen orsakas av en avlastning av en tjock is som smälte vid slutet av en istid för länge sedan.

Jamiesons idé möttes i stort sett av tystnad. Den måste ha förefallit väl fantasifull. Problemet var att den led av två svårigheter. Den första svårigheten var att istidens existens ännu inte var allmänt accepterad. Den andra svårigheten var att jordens inre smälta tillstånd inte heller var särskilt accepterat. För att förklaringen skulle fungera måste man acceptera både en istid och en mer eller mindre flytande jord, och det var det få som gjorde.

Många geologiskt inriktade förespråkade med tanke på vulkanerna en flytande jord men hade svårt att acceptera en istid. Många geofysiskt inriktade, å andra sidan, förespråkade en istid men hade svårt att acceptera en flytande jord. Att geologer inte gärna accepterade en istid kunde hänga samman med att de hade svårt att ta till sig de fysikaliska och astronomiska förklaringarna till påstådda drastiska klimatförändringar. Att geofysiker inte gärna accepterade en flytande jord kunde hänga samman med att de nyligen dragit vissa slutsatser av tidvattnets beteende. Det sistnämnda kräver en kort förklaring.

Två år tidigare, 1863, hade nämligen William Thomson, senare känd som Lord Kelvin, intresserat sig för tidvattnet kring de brittiska öarna och på andra håll i världshaven. De betydande variationerna i tidvattnet sade enligt honom något om jordens inre. Om jorden var flytande borde jorden själv deformeras av tidvattenkraften, och då skulle det tidvatten

man kunde observera på jordens yta vara mycket mindre. Alltså kunde jordens inre knappast vara flytande utan måste vara fast.

Situationen var alltså ganska låst. Förenklat uttryckt: Anhängare av en istid tvivlade på en flytande jord, anhängare av en flytande jord tvivlade på en istid. Det gjorde en isavlastning som förklaring till landhöjningen svårsåld. Och fortfarande fanns ju de andra föreslagna förklaringarna till landhöjningen, de som byggde på en fortgående avkylning eller uppvärmning av jorden. För att lösa det här och förstå orsaken till landhöjningen krävdes fler och bättre observationer – just det som tidigare inte hade varit så lätt att åstadkomma.

5.4 Fyrar och vattenstånd

Vid mitten av 1800-talet blev det känt i vetenskapliga kretsar att man sedan 1774 för praktiskt bruk observerat vattenståndet i Stockholms sluss, på senare år regelbundet en gång om dagen; se figur 5-3. Det var

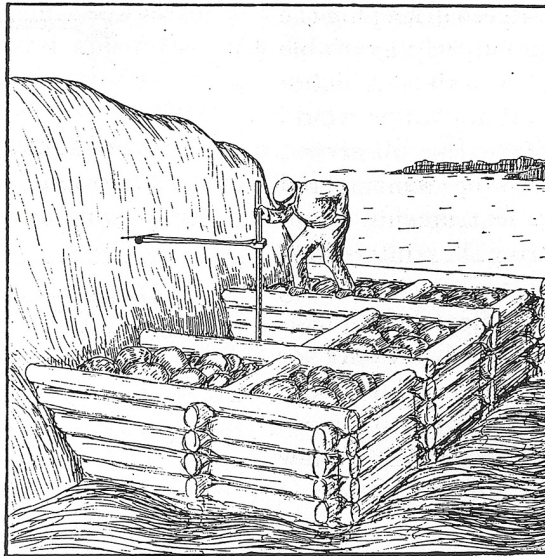


Figur 5-3. Stockholms sluss i slutet av 1700-talet. Bilden visar den del av slussen där vattenståndet i havet observerades med början 1774. (Litografi efter målning av Johan Petter Cumelin cirka 1795.)

tydligt att en lång serie av sådana observationer kunde användas för såväl beräkningar av landhöjningen som studier av vindens inverkan på havsnivån.

Med inspiration delvis från Stockholms sluss igångsattes 1849 dagliga observationer av vattenståndet på flera platser längs svenska kusten. Ansvaret för observationerna lades på Fyrväsendet, men blev senare överflyttat till den nybildade myndigheten Nautisk-Meteorologiska Byrån. Fyrmästare vid ett dussin utvalda fyrar, nästan alla på öar, fick i uppdrag att varje dag avläsa vattenståndet i havet på en vertikal skala särskilt uppsatt för ändamålet. Dessutom skulle man observera vind och annat. Några år därefter påbörjades liknande observationer längs finska kusten.

Vattenståndsskalan, pegeln, som fyrapersonalen avläste var antingen på något sätt direkt fästad i berg, eller fästad i en kaj eller brygga vars nivå kunde kontrolleras mot ett märke i berg; se figur 5-4. Detta var väsentligt för att man efter årtiondens observationer skulle kunna vara säker på att man fick fram ett pålitligt värde på landhöjningen och inte ett värde som kanske var stört av rubbningar av skalan. Dessutom skulle skalan vara placerad så att den hjälpligt skyddades från vågor när man avläste den.



Figur 5-4. Avläsning av vattenstånd vid pegel i skärgården i mitten av 1800-talet.

Med åren visade det sig att det inte var så lätt att hindra pegeln från att rubbas. Våldsamma stormar kunde gå hårt åt skalan. Än värre var det med is på vintrarna. Havsisen är ju rörlig och ispress eller isskruvning kunde sabotera skalan. Det var inte alltid lätt för fyrpersonalen att ordna en ny skala inplacerad på exakt rätt nivå igen.

Någon sällsynt gång kom det myndighetspersoner från Stockholm eller från Helsingfors ut till fyrplatserna på öarna för att kontrollera verksamheten med vattenståndet. Vid dessa besök hände det att man på vissa fyrar blev avslöjad med besvärande brister. I ett fall saknades vattenstånd för den senaste månaden; observatören hade tänkt fylla i påhittade siffror i efterhand. I ett annat fall fann man vattenstånd i februari månad även med datumen 29, 30 och 31. Inte så förtroendeingivande!

Det fanns också fyrplatser där man fick beröm för skötseln av vattenståndet. Den mest välskötta av alla var Grönskär längst ut i Stockholms skärgård; se figur 5-5. På denna kala klippa i havet, fritt utsatt för stormarnas vågor, bodde fyrmästaren Carl Gustaf Pihl med sin familj.



Figur 5-5. Grönskär med fyr och fyrbostäder längst ut i Stockholms skärgård. Här observerades vattenståndet dagligen från 1849 och framåt.

Även en del familjemedlemmar arbetade på fyren. Pihl tycks ha varit en både omsorgsfull och pliktrogen människa. Vattenståndsjournalerna är förda med vacker handstil, år ut och år in – se figur 5-6 – och bara sällsynta gånger har han eller någon familjemedlem inte lyckats

Månad		År 1849									
Termometer.		Vattenhöjden.								Anmärkingar.	
Rt. C. m.		Rt. C. m.		Rt. C. m.		Rt. C. m.		Rt. C. m.			
Tum och linier.		Grad.		Decimal.		Decimal.		Decimal.			
		Fot.		tum.		Fot.		tum.			
25,20	0	"	"	15	3	"	-			Stark bläst	
25,16	0	"	"	15	2	"	-			Bläst	
25,68	-0½	"	"	14	7	"	-			Vito	
25,90	-0½	"	"	14	7	"	-			Vito	
25,59	+0½	"	"	14	7	"	-			Vito	
25,40	+1	"	"	14	6	"	-			Stark bläst	
24,45	+0¾	"	"	15	"	"	-			Snöstorm, hagel och regnbyar	
25,02	+0¾	"	"	14	9	"	-			Snö bläst	
25,51	+0¾	"	"	14	8	"	-			Bläst	
25,52	+0¾	"	"	14	7	"	-			Vito	
25,45	-0½	"	"	14	8	"	-			Vito	
24,92	+0¾	"	"	15	"	"	-			Snöblandad regn under natten. Bläst på dagen	
25,34	0	"	"	15	1	"	-			Snö storm med tätis följgas	
25,86	+0½	"	"	14	9	"	-			Storm med följgas	
26,05	+0½	"	"	14	7	"	-			Bläst	
25,75	+0½	14	6	14	5	14	5			Snö bläst	
25,86	+0½	14	6	14	6	14	6			Vito dito stormen med följande	
25,97	+0½	14	5	14	5	14	5			Snö bläst	
25,86	0	14	4	14	4	14	4			Vito dito	
25,74	-0½	14	4	14	3	14	2			Stark bläst	
26,02	+0½	14	1	14	1	14	1			Snö bläst	
26,12	+0½	14	"	14	"	14	"			Snö bläst	
26,17	+0½	14	1	13	8	13	8			Bläst	
26,10	+0½	13	8	13	6	13	4			Snö bläst	
26,00	+0½	13	4	13	3	13	4			Snö bläst på förmiddagen	
25,91	0	13	5	13	4	13	4			Bläst	
25,95	+1	13	3	13	3	13	2			Vito	

observera vattenståndet när vädret varit alltför hårt. En februaridag tvingas fyrmästaren notera i marginalen:

”Tillfölje av svår nordlig storm med stark snöyra har vattenmätningen ej kunnat verkställas.”

Fullt förståeligt! Vattenstånden från Grönskär stämmer också bra överens med dem från Stockholms sluss och utgör ett värdefullt komplement till dem.

En mångårig serie av dagliga vattenståndsobserverationer möjliggjorde av naturliga skäl en mycket noggrannare beräkning av landhöjningen än de gamla medelvattenmärkena. Man beräknade först årsmedelvärden av vattenståndet, och sedan använde man serien av årsvattenstånd för att beräkna den nedåtgående trenden i vattenståndet. Denna trend motsvarar landhöjningen. Det här underlättades av en ny och användbar matematisk eller statistisk metod, minsta kvadrat-metoden, för att ur den långa serien av data beräkna det sannolikaste värdet på trenden. Dessutom fick man ett mått på osäkerheten i resultatet. Första gången metoden tillämpades vid en beräkning av landhöjningen var på den långa vattenståndsserien från Stockholms sluss. Den som gjorde det var en student i Helsingfors som råkat i konflikt med universitetet där och därför just flyttat till Stockholm; han hette Adolf Erik Nordenskiöld och blev senare känd polarforskare.

Nu borde allt vara ordnat för att med tiden få noggranna värden på landhöjningen längs kusterna, och därigenom skönja ett mönster i värdena som skulle kunna avslöja orsaken bakom landhöjningen. Men än en gång visade sig detta vara svårare än man trodde. De gamla medelvattenmärkena hade haft fördelen att vara stabilt fixerade i berg men nackdelen att inte tillåta dagliga avläsningar av vattenståndet. De nya peglarna hade fördelen att tillåta dagliga avläsningar av vattenståndet men nackdelen att ofta inte vara så fixerade i berg att de tålde stormar och is. Efter några årtionden visade det sig att bara några av vattenståndsstationerna kunde ge pålitliga värden på landhöjningen. De var alltför få för att kunna förmedla något tydligt mönster i värdena. (Däremot gav de bra kunskaper om vindens inverkan på havsnivån.) Fortfarande när 1800-talet närmade sig sitt slut visste man därför inte vad som orsakade den märkliga höjningen av landet.

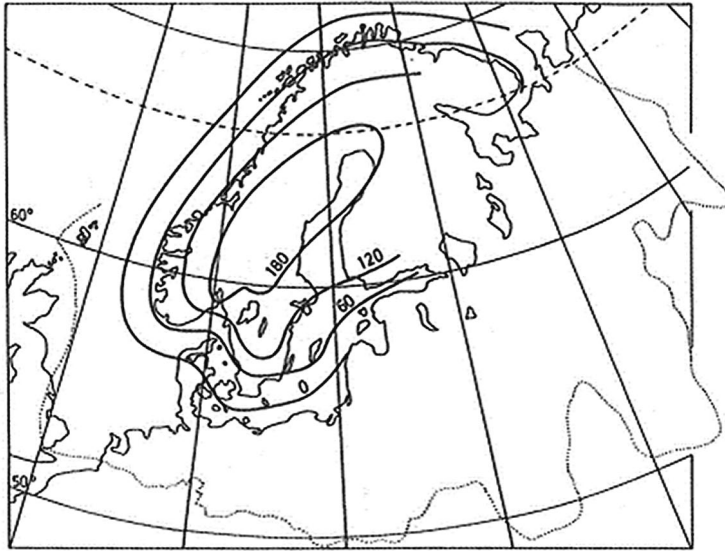
5.5 Högsta kustlinjen

Det skulle kunna finnas en annan möjlighet att få en bild av ett eventuellt mönster i landhöjningens geografiska fördelning. Istället för att mäta landhöjningens nuvarande hastighet kunde man söka efter spår i naturen från gångna tiders strandlinjer, nu belägna högre upp och inne i landet. På en del ställen bildade de till och med utbredda fornstränder i form av klapperstensfält (stenåkrar); se figur 5-7. Om man kunde bestämma forna strandlinjers höjd över havet och på något sätt också datera dem, skulle man kunna få en bild av hur mycket landet höjts på olika ställen under en viss tidsrymd. Även om gamla strandlinjers höjd kunde bestämmas när man väl hittade dem, fanns det dock ingen möjlighet att bestämma deras ålder. Så inte heller detta var en framkomlig väg.

Men – det fanns en möjlighet att kringgå problemet med strandlinjernas ålder. De nådde ju upp till en viss nivå, ovanför vilken vattnet aldrig gått, den högsta kustlinjen. Om man kunde identifiera den



Figur 5-7. Forntida strand på Åland, nu belägen högt över havet som kan anas i bakgrunden.



Figur 5-8. De Geers karta 1888 över högsta kustlinjens nivå i Norden (omritad med höjder i m). Detta var den första kartan över landhöjningen och visade att fenomenet väsentligen sammanföll med det område som varit täckt av is under istiden.

högsta kustlinjen och bestämma dess höjd på ett tillräckligt antal platser i Norden så spelade dess ålder inte så stor roll. Ett rimligt antagande var helt enkelt att den högsta kustlinjen var grovt sett lika gammal överallt; den var från tiden för isavsmältningen.

Den som insåg detta var en ganska nyanställd person vid Sveriges Geologiska Undersökning, Gerard De Geer. Han började dels göra egna bestämningar av högsta kustlinjens höjd i södra Sverige, dels samla in sådana uppgifter från andra i andra delar av Sverige och från Norge, Finland och Danmark. Totalt lyckades han få in höjduppgifter från ett tjugotal platser i Norden. Höjderna bestämdes i allmänhet med hjälp av barometer. Och nu trädde ett mönster fram; se figur 5-8. Landets höjning var störst i närheten av svenska Bottenhavskusten, mindre åt alla håll utåt därifrån och nästan obefintlig längs Atlantkusten och södra Östersjökusten. Det högsta värdet noterades i Ångermanland, där högsta kustlinjen på Skuleberget nådde omkring 270 meter över havet. Idag anses den ha nått nära 290 meter (och ingår nu i ett världsarv); se figur 5-9.



Figur 5-9. Den maximala högsta kustlinjen på Skuleberget i Ångermanland.

Det som var påfallande med detta mönster var att området med landhöjning sammanföll med det centrala området med nedisning under istiden, och att landhöjningen var som störst där isen bedömdes ha varit som tjockast. De Geer leds 1890 till en avgörande slutsats:

”Under nämnda förutsättningar synes det därför icke vara lätt att undgå den slutsats till vilken Jamieson redan år 1865 kommit, nämligen att den ofantliga isbelastningen småningom förorsakat en lokal sänkning av jordskorpan, vilken antages befinna sig i ett ganska känsligt jämviktsläge, och att trakten först efter isens avsmältning ånyo sakta höjde sig, om den också sällan lyckades fullt uppnå sin ursprungliga nivå.”

Dessutom hade De Geer funnit en del av ett liknande mönster i östligaste Nordamerika, som också varit nedisat, vilket ytterligare stärkte saken. Landhöjningen måste av allt att döma vara en följd av istiden.

Om vi jämför det funna mönstret med de tre olika tänkbara förklaringarna till landhöjningen i slutet av förra kapitlet kan vi sammanfatta det hela på följande sätt:

1. Avkylning och krympning av jordskorpan – nej, osannolikt.
2. Uppvärmning och utvidgning av jordskorpan – nej, osannolikt.
3. Bortsmältning av ett istäcke från jordskorpan efter en istid – ja, högst sannolikt.

Men i och med detta ställdes man nu inför nästa fråga: Om landhöjningen faktiskt är en följd av istiden, hur går egentligen denna landhöjning till? Det blev nödvändigt att närma sig frågan om vad som händer under jordskorpan, i jordens inre, och då hamnade man i ett knepigt dilemma.

5.6 Är jorden fast eller flytande?

En landhöjning orsakad av en inlandsis, som först tryckt ner jordskorpan och sedan efter avsmältning släpper upp den igen, kräver att jorden under sin skorpa är mer eller mindre flytande. Redan Jamieson hade som nämnts noterat att jorden måste vara i ett smält tillstånd för att landhöjningen skulle fungera.

Men nästan samtidigt hade Kelvin som nämnts hävdats motsatsen, att jorden måste vara en fast kropp, med motiveringen att tidvattnet annars skulle vara mindre än det var. Nu hade Kelvin en elev, George Darwin (son till Darwin med arternas uppkomst), som undersökte detta närmare. Han analyserade 1882 det så kallade långperiodiska tidvattnet, som inte är påverkat av diverse lokala förhållanden, för att se hur det förhöll sig till vad man kunde beräkna från månen och solen. Det visade sig att det verkliga tidvattnet var bara en aning mindre än vad det borde vara rent astronomiskt. Alltså måste jorden vara en fast kropp. Visserligen visade resultatet att den fasta jorden var lite elastisk, men ändå att den hade en stelhet ungefär som stål.

Det här gjorde ju en landhöjning efter istiden omöjlig, tycktes det. Redan samma år använde sig geografen Albrecht Penck i Tyskland av detta som argument. En landhöjning efter istiden kunde helt enkelt inte vara möjlig, eftersom jorden var en fast kropp.

Och ändå kom bara åtta år senare, 1890, De Geer och hävdade att landhöjningen visst beror på istiden. Det kunde inte hjälpas att detta var oförenligt med jorden som en fast kropp.

Studierna av landhöjningen och tidvattnet hade nu lett till två motstridiga resultat:

1. Jorden är huvudsakligen en fast kropp – enligt tidvattnet.
2. Jorden är huvudsakligen en flytande kropp – enligt landhöjningen.

Hur skulle man förstå det här? Det verkade vara ett olösligt dilemma.

5.7 Vattenstånd och strandlinjer igen

Mot slutet av 1800-talet hade man insett att de dagliga avläsningarna av vattenståndet vid fyrar ute på öar ofta inte blev tillräckligt långsiktigt tillförlitliga för att duga till noggranna beräkningar av landhöjningen. Dessutom var det omöjligt att mäta vattenståndet vid de nordligaste fyrarna under vinterhalvåret på grund av den tjocka isen.

Med inspiration från tyska Östersjökusten började man därför 1887 anlägga en ny typ av vattenståndsstationer längs svenska kusten och snart därefter längs alla de nordiska ländernas kuster; se figur 5-10. Dessa nya vattenståndsstationer, kallade mareografer, hade flera fördelar. För



Figur 5-10. Mareograf för kontinuerlig registrering av vattenståndet i havet; sådana började anläggas 1887.

det första byggdes de i berggrunden på fastlandskusten, så att de både skulle vara tillräckligt stabila och regelbundet kunna kontrolleras. För det andra fick havsvattnet via ett horisontellt rör stå i förbindelse med en vertikal brunn inne i ett litet specialbyggt hus, så att vattenytan där inne skulle vara så lite påverkad av vågor och annat som möjligt. För det tredje avlästes vattenytans nivå i brunnen automatiskt och kontinuerligt av en flottör som ritade en kurva på ett papper, så att man inte skulle vara beroende av en mänsklig avläsares förmåga att ständigt göra detta. Ibland kunde dock problem uppstå med flottören eller annat, och papperet måste bytas med jämna mellanrum.

Efter några år fanns ett tiotal mareografer längs svenska kusten och snart även längs finska, danska och norska kusterna. När de varit igång några årtionden, 1918, kunde havsforskaren Rolf Witting i Finland (senare även utrikesminister) utifrån dessa mareografer, och en del gamla peglar, få en bild av den pågående landhöjningen. Visserligen var tidsperioden för kort för att medge säkra värden på landhöjningen men ett mönster kunde ändå skönjas. Detta mönster stämde hyfsat överens med det från högsta kustlinjen. Och i framtiden skulle mareograferna kunna ge en mycket säkrare bild av landhöjningsmönstret.

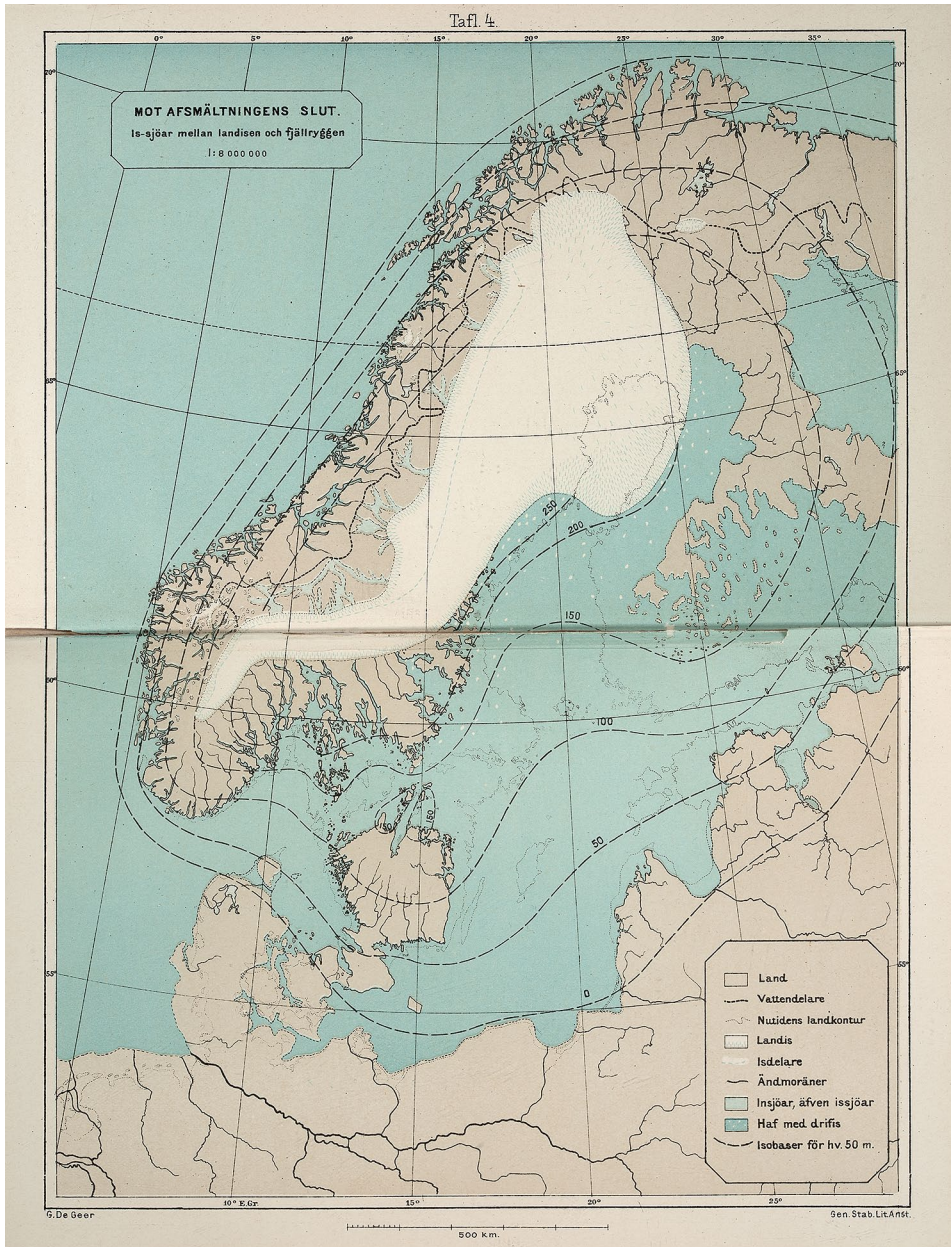
När det gällde högsta kustlinjen hade De Geer tillgripit den som ett knep för att det inte fanns någon metod att tidsbestämma forna strandlinjer. Det gick då inte heller att följa landhöjningens förlopp efter isavsmältningen. Men så kom han på en lösning på detta.

Vad De Geer utnyttjade var följande. Vid älvmynningar i havsvikar, till exempel vid Ångermanälvens mynning nära landhöjningens centrum, avsätts slam från älven på havsbotten. Skillnaden mellan sommarslam och vinterslam gör att ett skikt av slam eller lera för varje år kan identifieras. Dessa årliga skikt, kallade lervarv, blir dessutom individuella på grund av olikheter i klimatet under olika år. Vartefter landhöjningen efter isavsmältningen fortgår kommer lervarven upp ur havet; se figur 5-11. Genom att följa dessa årliga lervarv från istidens slut fram till nutid kunde De Geer 1912 konstruera en lervarvskronologi, där man kunde identifiera enskilda år och räkna dem bakåt i tiden från nutid. Metoden kan liknas vid att räkna årsringar i träd. På detta sätt kunde han datera dels isavsmältningen, dels landhöjningens fortgående.



Figur 5-11. Årliga avlagringar av lera, lervarv, vid Ångermanälvens tidigare mynning, nu upplyfta av landhöjningen. Dessa kunde användas för att datera landhöjningens förlopp sedan istiden.

Isavsmältningen visade sig ha ägt rum för omkring 10 000 år sedan; se figur 5-12. Landhöjningens fortgående sedan dess kunde bestämmas om man för daterade strandlinjer från olika år mätte deras nuvarande höjder över havet. De Geer hade en plikttrogen elev, Ragnar Lidén, som ägnade mycken möda åt att gå igenom lervarven i Ångermanälvens mynningsområde ända sedan istiden och göra motsvarande höjdmätningar. Det ledde honom till en intressant iakttagelse. Landhöjningen närmast efter isavsmältningen måste ha gått mycket snabbare än nu, åtminstone 10 gånger så snabbt, för att sedan gradvis avta. Det här avtagandet skulle komma att bli en viktig pusselbit i att förstå hur landhöjningen fungerar.



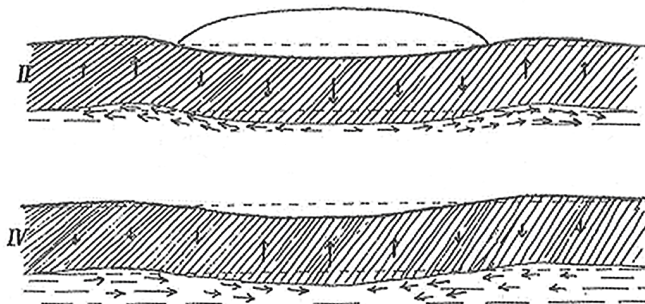
Figur 5-12. Karta av De Geer 1896 över slutet av istiden med återstående is, land under vatten och landhöjningen sedan dess (i m) i Östersjön, av honom 1912 daterat till för 10 000 år sedan.

6. In i jorden

6.1 Vid frukostbordet

Kunskaperna om landhöjningen hade nu kommit så långt att man kunde närma sig frågan om processen hos landhöjningen. Hur går det egentligen till när landet höjs – vad händer under jordskorpan? Den som först behandlade den frågan var polarforskaren Fridtjof Nansen i Norge 1921 (året därpå även mottagare av Nobels fredspris). Han kände igen det upptäckta gradvisa avtagandet av landhöjningen som en egenskap hos vätskor som är trögflytande. Om jordskorpan av isen tryckts ned i en underliggande massa och sedan efter isens försvinnande kommit upp igen på det avtagande sätt man observerat, så måste materialet under jordskorpan vara trögflytande. Det måste ha gradvis flutit ut åt sidorna vid nedtryckningen för att sedan gradvis flyta tillbaka igen vid höjningen; se figur 6-1.

För att få en bild av hur det hela fungerar skall vi göra ett besök vid frukostbordet hemma hos författarens familj (för många år sedan när barnen var små). Runt bordet sitter författaren, hans fru samt barnen. Författaren brukar äta müsli med mjölk och lite annat till frukost. Mitt emot honom sitter hans fru som brukar äta en tjockare vätska, filmjölk. Denna morgon inträffar följande. Författarens fru häller upp lagom mycket filmjölk i en djup tallrik. Därefter lägger hon ovanpå filmjölken



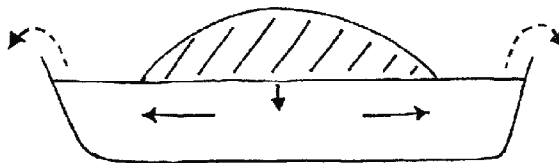
Figur 6-1. Trögflytande strömmar i massan under jordskorpan vid förändrad isbelastning enligt Nansen 1921.

en hög av fast material som müsli, russin etc. Sedan går hon därifrån och ägnar ett antal minuter åt att uträtta en del småsaker. Under denna tid sjunker müslin gradvis ner i den underliggande filmjölken, varvid filmjölken i motsvarande mån flyter ut åt sidorna; se figur 6-2. Det leder till en stigande filmjölksnivå närmast kanterna på tallriken. Till slut, strax innan hon återvänder för att sätta sig vid bordet, rinner filmjölken ut över tallrikskanten och ner på bordet, där den bildar en dekorativ ring runt tallriken.

Den här processen är i det närmaste identisk med den som äger rum i jorden när man belastar den med en inlandsis. Müslin motsvarar isen, filmjölken motsvarar jorden. När man belastar jorden med isen sjunker denna, tillsammans med den tunna jordskorpan, ner i jordens inre, som då flyter ut åt sidorna. Skillnaden (bortsett från tallrikskanten) ligger i hur trögflytande materialet är. Jorden är mer trögflytande än filmjölken. Det som filmjölken gör på minuter kräver årtusenden av jorden. Men annars är processen densamma.

Om man nu skulle lyfta bort müslin från filmjölken igen, kommer filmjölken att gradvis flyta tillbaka från sidorna av tallriken (med undantag av det som redan hamnat på bordet). Det leder till att filmjölksnivån åter stiger i mitten av tallriken. Denna process har också sin motsvarighet i fallet jorden – det är den vi känner som landhöjningen efter istiden.

När landet höjs efter att inlandsisen börjat smälta är det alltså inte bara så att jordskorpan höjs, utan samtidigt strömmar trögflytande massa inne i jorden in från sidorna och fyller ut utrymmet under jordskorpan. (Det betyder också att sidoområdena sjunker en aning.) Processen går fortast i början, sedan avtar hastigheten gradvis och med tiden går det allt långsammare. Hur lång tid det tar beror på hur trögflytande



Figur 6-2. Trögflytande strömmar i frukosttallrik med filmjök vid förändrad belastning av müsli med mera.

massan i jordens inre är. Är jorden segare tar det lång tid, är jorden mera lättflytande tar det kortare tid. I verkligheten började allt för mer än 10 000 år sedan och pågår än idag.

6.2 Jorden som en trögflytande vätska

Nu borde det alltså vara klart att jorden måste vara flytande, om än trögflytande. Det visade landhöjningen. Men fortfarande gällde resultatet från tidvattnet, omtalat i förra kapitlet. Det visade att jorden måste vara fast. Dilemmat var alltså kvar! Hur är jorden egentligen?

Det blev en diplomatisk lösning. Man insåg att jorden inte måste vara antingen fast eller flytande. Den kan faktiskt vara både och – allt beror på vilket tidsperspektiv det handlar om. Tidvattnet uppkommer av månen och solen och jordens rotation som är kopplad till ett dygn, och i ett så kort tidsperspektiv fungerar jorden som en fast kropp. Landhöjningen däremot uppkommer av en isbelastning som varat i årtusenden, och i ett så långt tidsperspektiv fungerar jorden som en flytande kropp, en vätska. Vi kan sammanfatta lösningen på de två motstridiga påståendena i slutet av förra kapitlet på följande sätt:

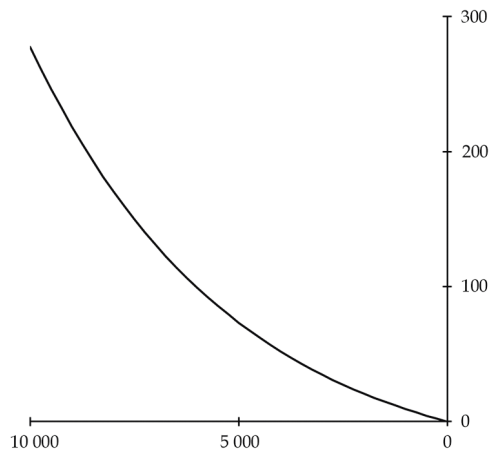
1. Jorden beter sig som en fast kropp när den utsätts för kortvariga krafter – dagar, månader (tidvattnet).
2. Jorden beter sig som en flytande kropp, en vätska, när den utsätts för långvariga krafter – tusentals år (landhöjningen).

Ur landhöjningssynpunkt kan jorden alltså betraktas som en trögflytande vätska. För en sådan, även kallad viskös vätska, finns ett mått på hur trögflytande den är, känt som dess viskositet. Vanligt vatten har en viskositet som är nära noll, eftersom det flyter iväg mycket snabbt. Jordmanteln, som jordskorpan vilar på och som är huvuddelen av jordens inre, måste däremot ha en mycket stor viskositet eftersom den tycks flyta iväg så långsamt. I och med att landhöjningen nu kunde ses som en process kopplad till vad som händer i jordens inre öppnade sig en möjlighet. Man skulle kunna använda landhöjningen för att bestämma viskositeten i jordens inre.

Den här möjligheten gjorde att landhöjningen i Norden tilldrog sig ett ännu större internationellt intresse. I Nordamerika fanns

en geofysiker, Norman Haskell, som 1935 insåg att den avtagande landhöjningen i Ångermanland, tillsammans med Nansens tolkning av den, kunde användas för att beräkna jordmantelns viskositet. Det byggde på att landhöjningens avtagande med tiden följde en känd matematisk lag, som gäller för bland annat viskösa vätskor, ett så kallat exponentiellt avtagande; se figur 6-3. Med denna matematik tillämpad på landhöjningen nära dess centrum lyckades han få fram ett värde på viskositeten.

Samtidigt arbetade i Nederländerna en annan geofysiker, Felix Andries Vening Meinesz, med samma sak men på ett annat sätt. Han utgick från den pågående landhöjningens hastighet registrerad av mareograferna nära landhöjningens centrum, och kombinerade denna siffra med en uppskattning av hur mycket landhöjning som kunde tänkas återstå där. Den återstående landhöjningen uppskattade han ur ett uppmätt underskott på tyngdkraft i området som han hänförde till ett återstående inflöde av massa under jordskorpan. Han fick på detta sätt också ett värde på viskositeten. De två resultaten stämde tillräckligt väl överens. (För den fysikaliskt bevandrade: 10^{21} Pa s.) Dagens uppfattning om värdet är i stort sett densamma.



Figur 6-3. Landhöjningens exponentiella avtagande sedan istiden, användbart för att beräkna hur trögflytande jordens inre är. Horisontella axeln: antal år före nu, vertikala axeln: kustlinjens höjd i meter, här nära landhöjningens centrum.

Varför var då jordmantelns viskositet så intressant? Jo, den kunde vara en nyckel till att förstå något helt annat, en fråga av global omfattning.

6.3 Kan kontinenterna röra sig?

Sedan ett par årtionden, eller sedan omkring 1915, diskuterades möjligheten av att kontinenterna kunde röra sig. Det fanns flera tecken på att skilda kontinenter en gång i tiden kunde ha suttit ihop, såsom drag i jordskorpan uppbyggnad och i växt- och djurliv. Denna teori för vad som kallades kontinentaldrift, framlagd av polarforskaren Alfred Wegener i Tyskland, vann dock inte många anhängare, knappast några alls. Huvudproblemet med den var att det helt saknades en tänkbar förklaring till sådana globala rörelser hos jordskorpan.

Men så dök det upp en idé 1931 av en geolog i Storbritannien, Arthur Holmes. Det fanns värme i jordens inre. Den skulle kunna vara skapad av, och fortlöpande produceras av, radioaktiva processer. Denna värme skulle kunna åstadkomma rörelser i jordmanteln. När man värmer vatten i en kastrull på spisen, eller luften ute värms av solvärmd mark en sommardag, så stiger vattnet eller luften uppåt och breder sedan ut sig åt sidorna, ett fenomen känt som konvektion. Det bildas alltså strömmar i vattnet eller luften, konvektionsströmmar. Värmen inuti jorden skulle kunna skapa liknande konvektionsströmmar i jordmanteln och dessa skulle i så fall kanske dra kontinenterna med sig – under en förutsättning. Jordmanteln fick inte vara alltför trögflytande, det vill säga dess viskositet fick inte vara alltför stor. Och hur skulle man få reda på det? Jo, med hjälp av landhöjningen!

Vening Meinesz använde nu det värde på jordmantelns viskositet som han funnit ur landhöjningen till att dra slutsatser om konvektionsströmmar i jordens inre. Han kom fram till att sådana strömmar skulle kunna existera med en hastighet av några cm/år:

”Enligt min åsikt finns det alla skäl att medge möjligheten av konvektionsströmmar inuti jorden. ... Det tycks möjligt att konvektionsfenomenet kan vara ansvarigt för betydande störningar i jordskorpan struktur.”

Det här lade grunden för en förståelse av den tänkta kontinentaldriften, och den förståelsen byggde alltså på data från landhöjningen. Men det skulle dröja innan det kunde bevisas att någon kontinentaldrift verkligen äger rum, och än så länge var inte många övertygade.

Så småningom fick man klart för sig att jordmanteln måste vara uppdelad i två olika skikt, övre manteln och undre manteln. Det hade visat sig i det sätt på vilket jordbävningsvågor rörde sig genom jorden. Nu skulle man behöva försöka bestämma viskositeten i övre manteln och undre manteln var för sig; den kunde ju vara olika i de två skikten. Det visade sig komplicerat, men 1965 utvecklade en geofysiker i Canada, Robert McConnell, en metod för att göra detta ur data från landhöjningen. Han påpekade vikten av att skaffa sig dessa kunskaper med hjälp av landhöjningen för att förstå processen bakom kontinentaldriften.

Vid just denna tid fann man nämligen att kontinentaldriften var verklig, ur studier av vissa magnetiska egenheter i jordskorpan. Längre fram kunde man även mäta hastigheten hos kontinenternas rörelser. Och det var kontinentaldriften, senare också känd som plattetektoniken, som visade sig vara ansvarig inte bara för sådant som bergskedjor och djuphavsgrovar utan för förödande händelser som jordbävningar och vulkanutbrott. Därför var det viktigt att förstå konvektionsströmmarna som sannolikt var drivkraften bakom allt detta, och för det behövdes pålitliga data från landhöjningen i Norden.

6.4 Landhöjningsmönster från vattenstånd och strandlinjer

Omkring 1890 hade de självregistrerande vattenståndsmätarna, mareograferna, börjat anläggas längs kusterna, såsom beskrevs i slutet av förra kapitlet. Några tillkom senare. De flesta är igång fortfarande, se figur 6-4. I Sverige har de skötts av Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, numera i samarbete med Sjöfartsverket. De har också knutits till rikets höjdsystem av Geodesienheten vid Kartverket, numera Lantmäteriet. På liknande sätt har verksamheten med vattenstånd organiserats i de andra nordiska länderna. Omkring 1990 hade de äldsta mareograferna varit igång 100 år och gjorde en noggrann beräkning av landhöjningen möjlig. Totalt fanns tillgång till data från över 50 långvariga och pålitliga vattenståndsstationer i Norden och Östersjöområdet, de flesta av dem mareografer och några av dem gamla peglar.



Figur 6-4. Mareograf på Skeppsholmen i Stockholm som kontinuerligt registrerat vattenståndet sedan 1889.

Att beräkna landhöjningen ur en lång serie av vattenstånd från en enstaka mareograf eller pegel gick i princip till på samma sätt som tidigare. Man beräknade först årsmedelvärden av vattenståndet, och sedan använde man serien av årsvattenstånd för att beräkna den nedåtgående trenden i vattenståndet, där trenden motsvarar landhöjningen. När man beräknade trenden fick man även ett mått på osäkerheten (standardavvikelsen) i resultatet. För en 100 år lång serie av vattenstånd blev osäkerheten i landhöjningsvärdet så liten som 0.2 mm/år. Detta var ju mycket lovande, men det fanns ett problem här.

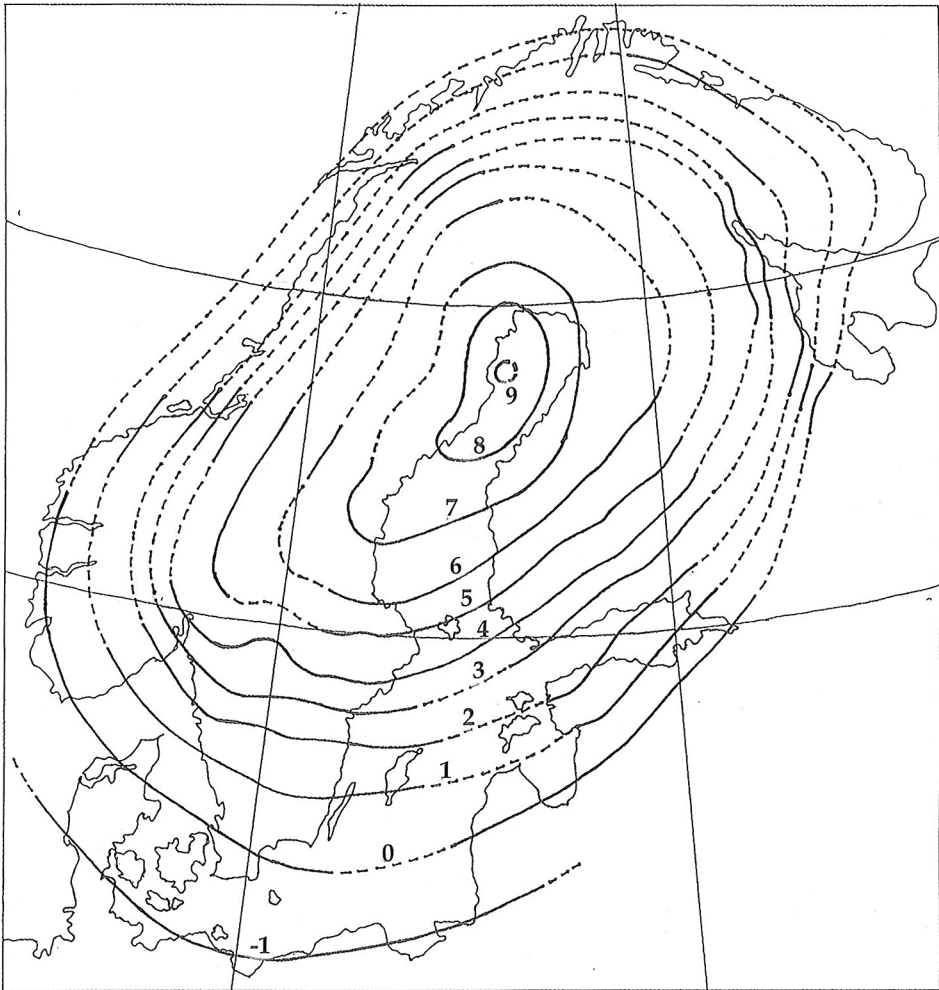
En hel del vattenståndsstationer hade varit igång under en och samma 100-årsperiod, 1892 – 1991. Men en del hade varit i bruk tidigare och andra senare. Exempelvis fanns vattenstånd från Grönskar i Stockholms skärgård från 1849 fram till 1930, medan Furuögrund i Bottenviken började 1916 och fortsatt sedan dess. Dessa omfattar alltså andra tidsperioder. Landhöjningen förändras visserligen inte mellan de olika perioderna, men det kan havsnivåns beteende göra. Det påverkas av klimatet. Långvariga vindar förändrar mängden vatten i Östersjön och därmed årsvattenstånden, och på längre sikt kan temperatureffekter

spela roll för havsnivåns utveckling, något som vi återkommer till. För att vara jämförbara måste alla landhöjningsvärden därför referera till en och samma tidsperiod.

I detta läge visade sig vattenstånden i Stockholms sluss värdefulla. Som nämntes i förra kapitlet hade man sedan länge för praktiska behov avläst vattenståndet i Stockholms sluss. Senare hade även en mareograf i Stockholm tillkommit. Det gjorde att i Stockholm fanns en vattenståndsserie som var exceptionellt lång. Den började redan 1774 och täckte alla de år som andra vattenståndsstationer omfattade. Andra stationer kunde då jämföras med Stockholm och landhöjningsskillnaden mellan Stockholm och respektive station bestämmas från deras gemensamma år. Utgående från landhöjningen i Stockholm beräknad för 100-årsperioden 1892 – 1991 kunde man så få fram landhöjningen även vid de andra stationerna för just denna period. På detta sätt fick man alla landhöjningsvärden att referera till en och samma tidsperiod. Därmed kunde de också ligga till grund för att konstruera en pålitlig karta över landhöjningen. För att få en viss uppfattning om landhöjningen även inne i landet använde man dessutom upprepade höjdmätningar (precisionsavvägningar) som utförts i de nordiska länderna.

I och med detta hade man nu fått en karta där landhöjningens mönster framträdde tillräckligt noggrant; se figur 6-5. Den största landhöjningen, 9 mm/år, uppträder i Bottenviken vid Västerbottens kust. Därifrån minskar den systematiskt åt alla håll. Vid Åland är den ungefär hälften så stor. I sydligaste Sverige, genom Danmark och längs Norges kust är den nära noll. Vid södra Östersjökusten är den -1 mm/år. Det sistnämnda kan se ut som en landsänkning, men det behöver det inte vara. Kartan visar ju landhöjningen i förhållande till havsytan under 100-årsperioden 1892 – 1991. Vi återkommer till vad som kan ha hänt med havsytan under denna tidsperiod.

Samtidigt som man arbetade med den pågående landhöjningen i förhållande till havsytan arbetade man även med den tidigare landhöjningen med hjälp av forna strandlinjer. Landhöjningens avtagande med tiden studerades på fler platser och med nya dateringsmetoder, bland annat den på radioaktivt sönderfall grundade kol-14-metoden. Även med strandlinjerna gällde det att hålla rätt på avvikelser i havsnivåns beteende. För särskilt gamla strandlinjer måste man beakta



Figur 6-5. Landhöjningen i Norden i förhållande till havsytan 1892 - 1991 (mm/år), bestämd ur vattenståndsobservationer längs kusterna och vissa upprepade höjdmätningar inne i landet.

att Östersjön nära istidens slut inte alltid varit en del av världshavet, utan under ett par perioder var avstängd därifrån och då fungerade som en stor insjö. Vidare förändrades havsnivån under istidens slut påtagligt av själva isavsmältningen. Vi kommer tillbaka till det längre fram.

Genom studierna av gamla strandlinjer framträdde också i detta fall en sorts mönster, här i landhöjningens gradvisa avtagande. Vid

landhöjningens centrum i Ångermanland är kurvan över avtagandet brantare, medan den är allt flackare ju längre ut åt alla håll man kommer. I landhöjningens utkanter dominerar vid istidens slut själva isavsmältningseffekt på havsnivån över den blygsamma landhöjningen där.

Med den goda kännedom om landhöjningens mönster som man nu hade fått, inklusive den betydande samlingen pålitliga data om landhöjningen i enskilda punkter spridda över landhöjningsområdet, kunde man bättre tolka data och mönster. Detta lockade forskare från flera olika länder. Även vissa data från det mindre bebodda landhöjningsområdet i Canada började nu finnas att tillgå. Om vi tittar på landhöjningskartan från vattenståndsserierna kan vi säga att den allmänna formen på landhöjningen återspeglar formen på inlandsisen, medan själva hastigheten hos landhöjningen beror på viskositeten i jordmanteln. På liknande sätt är det möjligt att tolka kurvor för landhöjningens gradvisa avtagande. Mer specifikt har man ur alla dessa data funnit att isen bör ha varit nästan 3000 m tjock i centrum, att jordskorpan bör ha en tjocklek som är $1/10$ av övre jordmanteln, och att jordmantelns övre skikt bör ha en viskositet som är mindre än det undre skiktet (10^{21} mot 10^{22} Pa s). Det sistnämnda betyder alltså att den övre jordmanteln är mindre trögflytande än den undre. Att resultaten ändå är ganska osäkra beror på ett knepigt tolkningsproblem.

Ur vad man observerat på jordytan skall man försöka räkna ut flera faktorer som tillsammans bidrar till vad man observerat. Men något olika kombinationer av bakomliggande faktorer kan ibland ge ungefär samma sorts observationer. Exempelvis kan vissa olika istjocklekar i kombination med vissa olika viskositeter i jordmanteln ge ganska likartade landhöjningsmönster på jordytan. Det blir då svårt att tolka observationerna noggrant. Det här är ett problem som man får brottas med och där man skulle behöva ännu mer data om landhöjningen.

6.5 Landhöjningsmönster från satelliter

Ungefär samtidigt som man lyckats få en bättre bild av landhöjningen ur vattenstånd och strandlinjer öppnade sig en helt ny metod att bestämma landhöjningen. Den byggde på att använda satelliter med hjälp av det nyskapade systemet för positionsbestämning, GPS (Global Positioning System), numera GNSS (Global Navigational Satellite System).

När GPS-satelliterna blivit fulltaliga började Sverige 1993 inrätta ett nationellt nät av så kallade fasta referensstationer för satellitpositionering. Detsamma gjorde även de andra nordiska länderna. Detta skulle underlätta noggrann bestämning av positioner var som helst och när som helst. De grundläggande referensstationerna består av stabila pelare gjutna direkt på berggrunden, försedda med antenner som kontinuerligt tar emot radiosignaler från satelliterna. Det hela sköts för svensk del av Geodesienheten vid Lantmäteriet, och i andra länder av liknande myndigheter. Ur radiosignalerna från satelliterna kan referensstationernas positioner på jorden beräknas med cm-noggrannhet. Positionen fås därvid i tre dimensioner: latitud, longitud och höjd.

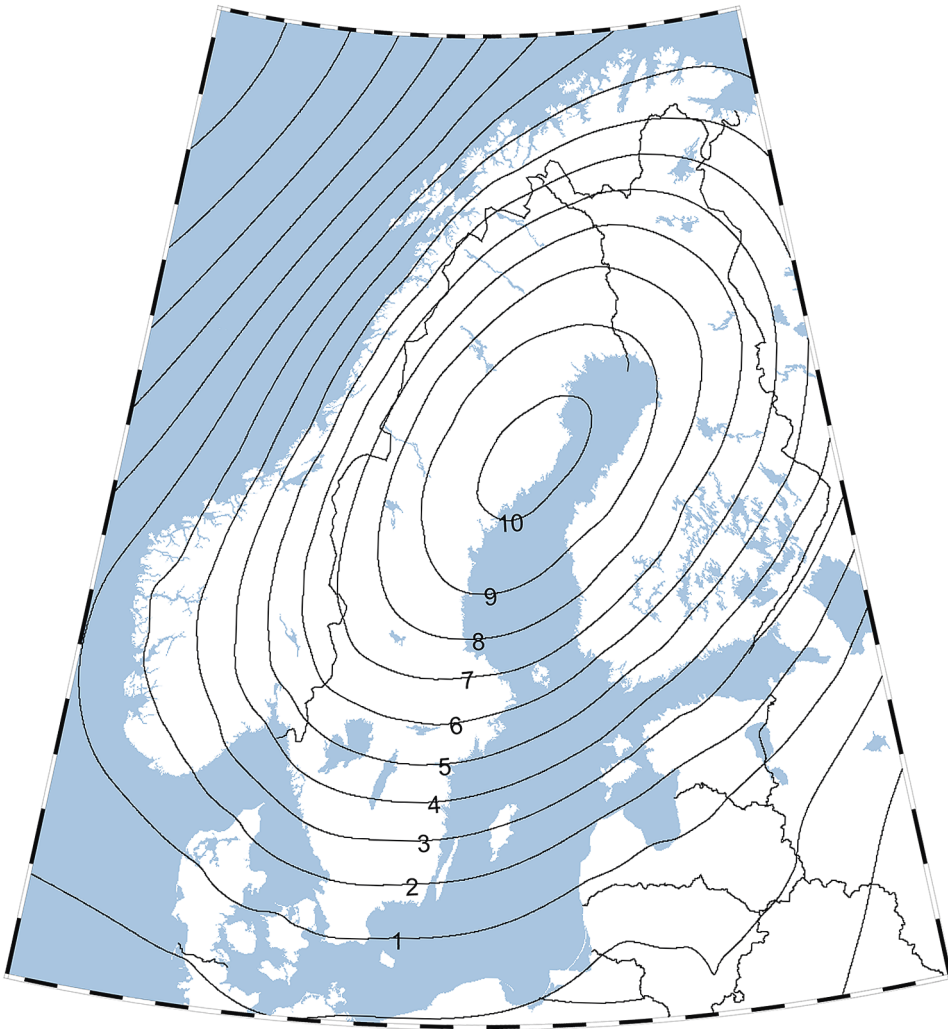
Eftersom referensstationerna tar emot satellitsignalerna kontinuerligt kan positionen, inklusive höjden, också beräknas mer eller mindre kontinuerligt. Med åren kan man så småningom på detta sätt få fram landhöjningen. Efter ett par årtionden, alltså en bit in på 2000-talet, har landhöjningen kunnat beräknas med en osäkerhet så liten som 0.2 mm/år. Detta är jämförbart med vad som har krävt ett århundrade av vattenståndsobservationer.



Figur 6-6. Referensstation för satellitpositionering som även används för kontinuerlig registrering av höjden.

Totalt finns över 50 nordiska referensstationer för satellitpositionering användbara för beräkning av landhöjningen; se figur 6-6. De är utspridda någorlunda jämnt över landytan. Landhöjningsvärdena från dessa stationer kan, liksom med vattenståndsstationerna i förra avsnittet, ligga till grund för en pålitlig karta över landhöjningen.

I och med detta har vi nu fått en till karta där landhöjningens mönster framträder; se figur 6-7. Det här ger oss möjligheten att jämföra



Figur 6-7. Landhöjningen i Norden i förhållande till en stabil havsytta (mm/år), bestämd ur satellitobservationer.

de två, "satellitkartan" och "vattenståndskartan". Vi kan då notera en systematisk likhet och en systematisk olikhet. Likheten visar sig i den allmänna formen på landhöjningen. De stora dragen stämmer väl överens, med ett maximum vid den svenska Bottenvikskusten och minskande landhöjning därifrån åt alla håll. Olikheten visar sig i de numeriska värdena på hastigheten. Det maximala värdet är drygt 10 mm/år på satellitkartan i stället för 9 mm/år på vattenståndskartan, och kurvan för 0 mm/år på satellitkartan går där -1 mm/år finns på vattenståndskartan. Landhöjningen beräknad från satelliterna tycks generellt vara 1 mm/år större än landhöjningen beräknad från vattenstånden. Eftersom osäkerheten i ett landhöjningsvärde som tidigare nämnts bara är 0.2 mm/år, måste skillnaden återspegla något verkligt. Det som återspeglas skulle kunna vara en höjning av havsytan med 1 mm/år. Med satelliterna mäter man nämligen landhöjningen i förhållande till jordens tyngdpunkt, eller i praktiken till en stabil havsyta, medan man med vattenstånden mäter landhöjningen i förhållande till havsytan i verkligheten. Den gamla frågan om det är landet som rör sig eller vattnet tycks alltså delvis ha kommit tillbaka! Vi återkommer till det här längre fram.

Med landhöjningen bestämd från satelliter har man nu också en till uppsättning data som bidrar till bättre kunskaper om inlandsisens tjocklek och form samt hur trögflytande jordmanteln är i olika skikt. Dessutom kan man använda alla dessa kunskaper om landhöjningen till att räkna ut var kusten gick förr i tiden och hur landskapet såg ut då, även överallt där det saknas observationer.

6.6 Tyngdkraften också

Hittills har vi antagit att landhöjningen går till enligt "frukostbordsmodellen" beskriven i början av kapitlet. Jordskorpan höjs samtidigt som trögflytande massa från jordmanteln därunder strömmar in från sidorna. Detta verkade stämma överens med observationer och med kunskaper om trögflytande vätskor. Men det saknades direkta belägg för att massa verkligen strömmar in under våra fötter. Det gav ett visst utrymme även åt andra hypoteser. Man kunde tänka sig att massan istället kanske varit komprimerad och nu åter utvidgas, eller genomgår någon annan process. Den syns ju inte!

För att få reda på om det verkligen strömmar in ny massa under landhöjningsområdet behövde man mäta något på jordytan som kan känna av en sådan förändring. Detta något är tyngdkraften. Men den måste då också kunna mätas ytterst noggrant. Det blev möjligt med ett speciellt instrument, en gravimeter, som kände av tyngdkraften med hjälp av en spiralfjäder. Om tyngdkraften är lite större blir fjädern mera uttänjd, om tyngdkraften är lite mindre blir fjädern mindre uttänjd. Instrumentet är så känsligt att det tydligt reagerar om man till exempel flyttar upp det ett trappsteg i en trappa, eftersom tyngdkraften minskar med höjden i och med att man då avlägsnar sig från jorden. Numera används även gravimetrar som mäter tyngdkraften genom att ta tid på ett föremål (ett prisma) som faller fritt en sträcka i vacuum. Om tyngdkraften är lite större går fallet snabbare, om tyngdkraften är lite mindre går det långsammare.

Med landhöjningen resonerade man så här. När landet höjs minskar tyngdkraften på jordytan eftersom man förflyttas uppåt. Denna minskning går att beräkna teoretiskt. Men om ny massa tillförs kommer massan samtidigt göra att tyngdkraften ökar. Denna ökning går också att beräkna teoretiskt. Den sammanlagda effekten kommer fortfarande att bli en minskning av tyngdkraften på jordytan, men nu bara drygt hälften så stor. Frågan om ny massa tillförs eller inte, eller delvis, skulle man då kunna avgöra med hjälp av tyngdkraftsmätningar.

På finskt initiativ började man 1966 i ett nordiskt samarbete mäta tyngdkraften upprepade gånger för att studera landhöjningsprocessen. Främst koncentrerades arbetet till ett antal punkter längs en linje tvärs över landhöjningsområdet, från Norges Atlantkust med en landhöjning nära noll, över Sverige nära landhöjningens maximum, till Finlands östra del med liten landhöjning igen. Mätningarna upprepades med några års mellanrum. Senare vidgades det till att omfatta punkter utspridda över hela landhöjningsområdet. Efter 30 år kunde man ur tyngdkraftsmätningarna dra slutsatsen att massa måste strömma in under landhöjningsområdet. Och efter ytterligare ett par årtionden, en bit in på 2000-talet, kunde man avgöra att det strömmar in just så mycket massa som motsvarar det "ledigblivna" utrymmet under landhöjningen. Alltså: "Frukostbordsmodellen" av landhöjningen har bekräftats, och beräkningarna av hur trögflytande jordmanteln är vilar på verklig grund.

6.7 En överblick

Om vi nu försöker överblicka landhöjningsfenomenet skulle vi kunna beskriva det så här:

1. Avlastningen av isen orsakar en fortgående höjning av landet inom det nedisade området, tillsammans med en motsvarande inströmning av trögflytande massa därunder. (Där havsbotten höjs leder det också till en viss avlastning av havsvatten, som orsakar en liten extra höjning av havsbotten i området.)
2. Avsmältningen av isen orsakar under smältningstiden en ökning av mängden vatten i världshavet, och därmed en höjning av världshavets nivå. (Denna havsnivåhöjning leder också till en viss ökad havsvattenbelastning, som orsakar en liten sänkning av botten i världshavet.)
3. Omfördelningen av massor genom de två ovanstående processerna leder till ändringar i tyngdkraftfältet, som i sin tur orsakar vissa ändringar av havsytan. Inströmning av mantelmassa ger ökad tyngdkraft som där drar till sig mer vatten, minskning av is ger minskad tyngdkraft som där släpper bort vatten.

Vad man observerar när man studerar vattenstånd och strandlinjer från olika tider är den förändrade relationen mellan land och vatten, alltså mellan jordytan och havsytan. Det man observerar är då summan av de tre nivåförändringarna ovan, där dock huvuddelen är själva landhöjningen. När man använder satelliter är det enbart själva landhöjningen, utan inblandning av de andra effekterna, som man observerar.

Några grundläggande siffror kan ge en bild av storleksordningarna hos de olika saker som händer hos oss i Norden:

1. Isen var som mest nära 3000 m tjock. Den totala landhöjningen hittills i landhöjningens centrum uppgår till cirka 700 m, varav cirka 400 m under tiden för isavsmältningen och 300 m efter istidens slut. Dagens landhöjning i centrum uppgår till 1 m per århundrade.

2. Isens avsmältning inleddes för knappt 20 000 år sedan, började frilägga landmassan för drygt 15 000 år sedan och avslutades för knappt 10 000 år sedan. Under denna tid höjdes världshavets nivå med drygt 100 m (där Nordens is bidrog med cirka 20 m). Idag har vi igen en viss höjning av havsnivån, under det senaste århundradet drygt 10 cm, men det återkommer vi till.

3. Inverkan på tyngdkraften av inströmmande massa har sedan istidens slut höjt havsytan i landhöjningens centrum med ungefär 20 m. Dagens höjning av havsytan av detta skäl uppgår till 6 cm per århundrade.

Hur mycket kan det tänkas vara kvar av landhöjningen innan den är färdig? Uppskattningsvis uppgår den återstående landhöjningen till bortåt 100 m i centrum. Hur lång tid tar det? I princip tar det oändligt lång tid, i praktiken något tiotusental år, eftersom höjningen går långsammare och långsammare. Men innan dess kan mycket hända.

Nu har vi ägnat oss åt hur både jordytan och jordens inre reagerar på en inlandsis och dess försvinnande. Men för att förstå helheten bakom landhöjningen behöver vi också intressera oss lite för varför inlandsisen uppkom och försvann. Varför har det varit istid ibland och ibland inte? Det är dags att rikta blickarna utåt en stund – mot rymden.

7. Ut i rymden

7.1 Jorden och dess grannar

Jorden snurrar ett varv kring sin axel på ett dygn. Månen går i sin bana runt jorden ett varv på en månad. Jorden (med sin måne) går i sin bana runt solen ett varv på ett år. Planeterna går i sina banor runt solen ett varv på allt från en bråkdel av ett år till över hundra år, längre tid för större avstånd från solen.

Dessa rörelser sker dock inte alldeles jämnt och regelbundet. Som alla himlakroppar har jorden, månen, solen och planeterna en dragningskraft, gravitationen, som påverkar allt i deras närhet. Det betyder att kropparna också påverkar varandra, i vårt fall att månen, solen och planeterna påverkar jorden. Det leder till att jordens rörelser störs och uppvisar egendomliga variationer: Jordaxelns riktning i rymden ändras, vinkeln mellan jordaxeln och jordbanan ändras, jordbanans form ändras etc. Och när dessa förhållanden ändras, ändras solstrålningens inverkan på jorden och därmed klimatet på jorden.

I kapitel 5 dök den självlärd vaktmästaren upp, James Croll, som redan på 1800-talet konstruerade en teori för klimat och istider som byggde på just dessa störningar i jordens rörelser. Långt senare, 1930, kunde en professionell astronom, Milutin Milankovic i Serbien, vidareutveckla denna teori. Han lyckades beräkna mera konkret när istider hade kommit och gått. Detta har i modern tid fått stöd i observationer med hjälp av borrhärlor från havsbotten, där olika tiders avlagringar avslöjar olika klimat.

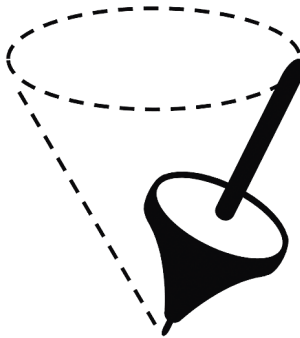
Så låt oss titta lite på de störningar och variationer i jordens rörelser som av allt att döma ligger bakom istiderna och därmed landhöjningen. Vi börjar med vad som händer med jordaxeln för att sedan gå över till vad som händer med jordbanan. Och på slutet måste vi göra något mer för att få till en istid.

7.2 Jorden som en leksakssnurra

Vi tänker oss en leksakssnurra som man drar igång på ett bord. Den roterar kring sin axel precis som jorden gör. Men om man drar igång snurran så den inte står rakt utan lutar inträffar ett märkligt fenomen. Samtidigt som snurran med sin axel behåller sin lutningsvinkel, ändrar den riktning i förhållande till rummet hela tiden. Snurran liksom vaggar runt med konstant vinkel, så att dess axel skär ut en kon i rummet; se figur 7-1. Varför inträffar detta?

Leksakssnurran är inte klotrund. Den är vanligen vidare kring "ekvatorn" och plattare vid "polerna". När denna lutande snurra med sin ojämnt fördelade massa påverkas av gravitationen från jorden blir snurrans rotation inte stabil. Effekten blir att den roterande snurran börjar vagga runt så att dess axel bildar en kon i rummet.

Jordens rotation fungerar på samma sätt som leksakssnurrans. Jordens rotationsaxel är inte vinkelrät mot jordbanan utan lutar. Jorden är inte heller klotrund utan är något tjockare vid ekvatorn och något avplattad vid polerna. Det är en följd av själva rotationen; jorden är ju i det långa tidsperspektivet formbar och blir av centrifugalkraften uttänjd vid ekvatorn och avplattad vid polerna. När denna lutande jord med sin något ojämn massfördelning påverkas av gravitationen från månen



Figur 7-1. En leksakssnurras rörelse – jorden med sin rotation gör likadant, en bidragande orsak till istider.

och solen blir jordens rotation inte stabil. Precis som snurran kommer den roterande jorden att vagga runt med en konstant lutningsvinkel så att jordaxeln gradvis ändrar riktning och skär ut en kon i rymden. För jorden tar ett sådant varv runt i konen lång tid, 26 000 år. Fenomenet kallas i vetenskapens värld precessionen. Och nu är det dags att gå över till jordbanans egenheter.

7.3 Polcirkelns förflyttning och jordbanans omformning

Jordens rotationsaxel är som sagt inte vinkelrät mot jordens bana runt solen utan lutar, med $23\frac{1}{2}^\circ$. I avsnittet ovan påpekades att jordaxeln ändrar riktning men inte lutning. Däremot är det så att jordbanan ändrar lutning. Därför kommer ändå vinkeln mellan jordaxeln och jordbanan att ändras.

Vad som händer är följande. Jordens och de andra planeternas banor runt solen ligger i ungefär samma plan, men inte riktigt. Gravitationen från de andra planeterna påverkar då jorden och dess bana. Banan kommer att gradvis ändra lutning. I det långa loppet kommer banans lutning att variera periodiskt så att lutningsvinkeln mellan jordaxeln och normalen till jordbanan varierar mellan $22\frac{1}{2}^\circ$ och $24\frac{1}{2}^\circ$. En sådan variation fram och tillbaka för jordbanans lutning tar 40 000 år.

Det här fenomenet ger sig tillkänna när det gäller polcirkelns läge på jorden. Polcirkeln är ju den linje norr om vilken man kan ha midnattssol på sommaren (och middagsmörker på vintern). Dess vinkelavstånd från polen är lika med jordaxelns lutningsvinkel. Men i samma takt som lutningsvinkeln ändras, på grund av att jordbanan störs, så ändras även polcirkelns läge; se figur 7-2. Polcirkelns latitud blir därför $66\frac{1}{2}^\circ$ med en variation fram och tillbaka mellan $65\frac{1}{2}^\circ$ och $67\frac{1}{2}^\circ$ på 40 000 år. För närvarande ändras lutningsvinkeln så att polcirkelns latitud ökar. På marken motsvarar det att polcirkeln flyttar mot norr, med $1\frac{1}{2}$ km per århundrade. (Det har orsakat stort bryderi hos turistbranschen som får svårt att markera var polcirkeln går.) Jordbanans lutning varierar alltså, men det gör även formen hos jordbanan.

Jorden, som alla planeter, går i en bana runt solen som är nästan rund, men inte riktigt. Jordbanan är något oval, en ellips. Solen befinner sig inte i mitten utan lite vid sidan av mitten, i en av de två så kallade brännpunkterna.



Figur 7-2. Tavla vid polcirkeln med information om att polcirkeln flyttar sig, också en bidragande orsak till istider.

Gravitationen från de andra planeterna påverkar som nämnts jordens bana, inte bara lutningen utan även banans form. Banans form kommer att variera periodiskt mellan att vara mera rund och mera oval. Vid ett tillfälle är banan som mest rund, vid ett långt senare tillfälle är banan som mest oval, och sedan blir den som mest rund igen. En sådan variation fram och tillbaka för jordbanans form tar 100 000 år.

En konsekvens av detta är att jordens avstånd till solen påverkas. Under de tider då jordbanan är mera oval blir jordens avstånd till solen något olika under loppet av ett år. Under de tider då jordbanan är mera rund blir avståndet nästan lika under året.

7.4 Istider och landhöjning däremellan

Årstiderna uppkommer på grund av jordaxelns lutning mot jordbanan runt solen. När norra halvklotet är vänt bort från solen får vi vinter här. Ett halvår senare när samma halvklot är vänt mot solen får vi sommar istället. Om nu jordaxeln och jordbanan runt solen rubbas kan det påverka årstiderna.

Under den tid jordbanan är mera oval kommer jordens avstånd från solen att vara större en del av året och mindre en del. Den del då avståndet är större går jorden långsammare i sin bana, den del då avståndet är mindre går jorden snabbare. Ifall samtidigt jordaxeln (leksakssnurran) är riktad så att det är vinter under den del av året då jorden går långsammare och sommar då den går snabbare, får vi längre vintrar och kortare somrar. Skulle samtidigt lutningsvinkeln mellan jordaxeln och jordbanan vara sådan att polcirkeln är nära sitt nordliga läge blir dessutom somrarna svalare. Kombinationen av dessa effekter kan utlösa en istid. De bästa förutsättningarna för en sådan är nämligen långa snörika vintrar och korta svala somrar. Då hinner inte vinterns snö smälta under sommaren utan den lagras delvis till nästa vinter och byggs på. Med tiden bildas en inlandsis.

Vi har alltså tre olika variationer hos jorden och jordbanan som kan samspela med eller motverka varandra. De har som nämnts mycket långa perioder, 100 000 år, 40 000 år och 26 000 år (eller egentligen 21 000 år beroende på att jordbanan också vrider sig men det lämnar vi därhän). Det betyder att klimatet på jorden påverkas så att istider kan komma och gå i ett tidsperspektiv av 10 000 – 100 000 år.

Nu är det inte variationerna hos jordaxeln och jordbanan som ensamma orsakar istider, det är de för små för. Däremot kan de utlösa förstärkningsprocesser, "återkopplingar", som till slut leder till istider. En viktig sådan förstärkningsprocess är effekten av själva snön. Så länge det är barmark värmer solen upp marken och den i sin tur värmer upp luften. Men när marken väl har blivit snötäckt reflekteras solljuset av snötäcket, så att snön själv bidrar till att det blir kallare. Om snön inte hinner smälta bort under en kort och sval sommar bidrar snötäcket, och så småningom istäcket, till att vidmakthålla och förstärka sig självt. Och omvänt: När istäcket väl har börjat smälta och blottlägga ny mark bidrar detta till att ytterligare smälta isen.

En annan faktor som kan spela en roll för istider är havsströmmar. Grönland som är omgivet av kalla havsströmmar från Ishavet är täckt av inlandsis. Den stora Golfströmmen i Nordatlanten har en gren som avviker norrut längs Skandinavien kust. Den för med sig varmt vatten som bidrar till att klimatet här är varmare än det annars skulle ha varit. En förändring i Golfströmmen, utlöst av en klimatändring orsakad av

variationer i jordaxeln och jordbanan, skulle eventuellt också kunna bidra till en istid.

Istider tycks vara vanligare än tiderna däremellan. Den senaste istiden hade sitt maximum för omkring 20 000 år sedan, då hela Norden och mer därtill var täckt av is (liksom delar av Canada). För 10 000 år sedan smälte isen och Norden blev isfritt. Det fick till följd att växter, djur och människor kunde invandra, allt medan landet höjde sig ur havet. Och det har det alltså gjort sedan dess, om än med gradvis avtagande hastighet.

8. Åter till kust och människor

8.1 Riksdagshusets räddning

Himlakropparna orsakar alltså istider, och istiden åstadkommer strömmar i jordens inre och landhöjning, och landhöjningen påverkar livet för oss nordbor, särskilt vid kusterna. Den här mänskliga aspekten av det ursprungligen från rymden skapade landhöjningsfenomenet skall vi ägna oss åt nu och belysa i olika exempel.

Vi börjar med ett intressant fall kopplat till den svenska demokratin. Riksdagshuset i Stockholm måste nämligen i början av 2000-talet räddas från framtida förstörelse. Hotet mot riksdagshuset var just landhöjningen. För att avvärja det krävdes flera års arbete. Vad ligger bakom detta?

Jo, riksdagshuset är byggt på en holme (Helgeandsholmen) i Mälarens utlopp i Östersjön. Det grundlades 1897 genom att man slog ner 15 000 träpålar i marken till under havsnivån, så att de skulle omges av skyddande grundvatten; se figur 8-1. Ovanpå pålarna lades ett planklager, och på detta byggdes själva riksdagshuset. Allt hade nog varit bra om det inte varit för landhöjningen. Med åren lyfter landhöjningen gradvis upp träpålarna så att deras översta delar så småningom når över havsnivån och förlorar kontakten med vattnet. Då börjar de ruttna och byggnaden riskerar till slut att rasa.

Faktum är att denna risk insågs redan på den tiden av chefsgeodeten vid Kartverket, Per G Rosén, som arbetade med höjdbestämmningar och vattenstånd vid de då nyinrättade mareograferna. Han noterar att man fann "det träplan, å vilket riksdagshusets stengrund vilar, ligga 0.64 meter under havets medelnivå". Han befarar att till följd av landhöjningen "det övre planklagret efter omkring 100 år kommer att emellanåt sakna vattenhåljet samt sedermera mer och mer bliva utsatt för atmosfärens inverkan". Så rätt han fick! Efter 100 år blev det nödvändigt att göra något, eftersom landet då höjts 0.40 meter. Men vad skulle man göra?

Vid tiden för bygget följde Mälarens yta inte med landhöjningen upp utan höll sig på grund av erosion av utloppet nära Östersjöns nivå.



Figur 8-1. Pålning till grunden för riksdagshuset i Stockholm 1897. Dessa pålar har sedan dess gradvis lyfts upp ur vattnet av landhöjningen, vilket krävt en speciell aktion för att rädda riksdagshuset.

Sedan 1943 är dock Mälaren uppdämd ovanför utloppet och dess yta följer därför numera med landhöjningen. Riksdagshuset ligger emellertid på Östersjösidan om uppdämningen. Lösningen blev nu att så att säga flytta Mälaren så att den skulle omgärda även riksdagshuset. Därigenom skulle man få grundvattnet runt riksdagshusets träpålar att frikopplas från Östersjön och istället följa med Mälaren och landhöjningen upp.

Denna lösning var onekligen originell men visade sig praktiskt genomförbar, om än med avancerade metoder. Genom att på Östersjösidan runt riksdagshusets pålgrund konstruera en rad tättstående pelare av stål och cement lyckades man i början av 2000-talet skapa en barriär, innanför vilken Mälarnvatten hålls kring träpålarna. Det tog 5 år och kostade 100 miljoner kronor. Men tack vare det följer nu vattnet med landhöjningen och därmed träpålarna upp. Riksdagshuset kan överleva!

8.2 Försvårat fiske

En utveckling där byggnaderna visserligen överlever men ändå inte går att använda för sina ursprungliga syften har drabbat flera gamla fiskelägen och båthus. Landhöjningen lyfter upp dem så att de förlorar kontakten med vattnet om det är ett långgrunt område.

Ett typiskt exempel på ett sådant båthus finns på Lövgrund i Gävlebukten (inte långt från Celsiusstenen); se figur 8-2. Sedan båthuset uppfördes för mer än 100 år sedan har landet här höjts tre kvarts meter. I början av 1900-talet kunde man använda det för mindre båtar – idag är det som synes omöjligt.

Ett illustrativt exempel på ett fiskeläge som förvandlats av landhöjningen är Brämön utanför Sundsvall; se figur 8-3. De flesta husen är uppförda i början av 1700-talet och låg då alldeles vid vattnet, med gavlarna längs med strandlinjen, så att man kunde nå dem med båt. Sedan dess har landhöjningen här uppgått till 2 ½ meter. Konsekvenserna syns tydligt.



Figur 8-2. Gammalt båthus i Gävlebukten, ej längre möjligt att nå med båt på grund av landhöjningen.



Figur 8-3. Brämöns före detta fiskeläge utanför Sundsvall, där byggnaderna till följd av landhöjningen förlorat kontakten med vattnet. Byggnadernas gavlar låg vid strandlinjen då de uppfördes på 1700-talet.

Husen ligger på torra land och har förlorat kontakten med vattnet. På vissa ställen har man grävt små kanaler in mot husen för att försöka kompensera för landhöjningen, på andra ställen har man försökt kompensera för landhöjningen genom att bygga långa pirar ut mot vattnet. I några fall har man gjort både och. Ett par av byggnaderna har också flyttats närmare vattnet en gång i tiden. Alla dessa båthus och sjöbodar är idag förvandlade till sommarstugor.

8.3 Instängda vikar

Vikar med inlopp för båttrafik till gamla landningsplatser eller hamnar har i flera fall blivit svårare eller omöjliga att använda på grund av landhöjningen. Öppna vikar med grunda områden längre ut förvandlas nämligen till mer eller mindre instängda vikar när landhöjningen lyfter upp de grunda områdena ur havet.

På Åland finns ett flertal medeltida sockenkyrkor, de flesta anlagda på 1200-talet. Nästan alla placerades vid kusten, nära vattnet, gärna vid

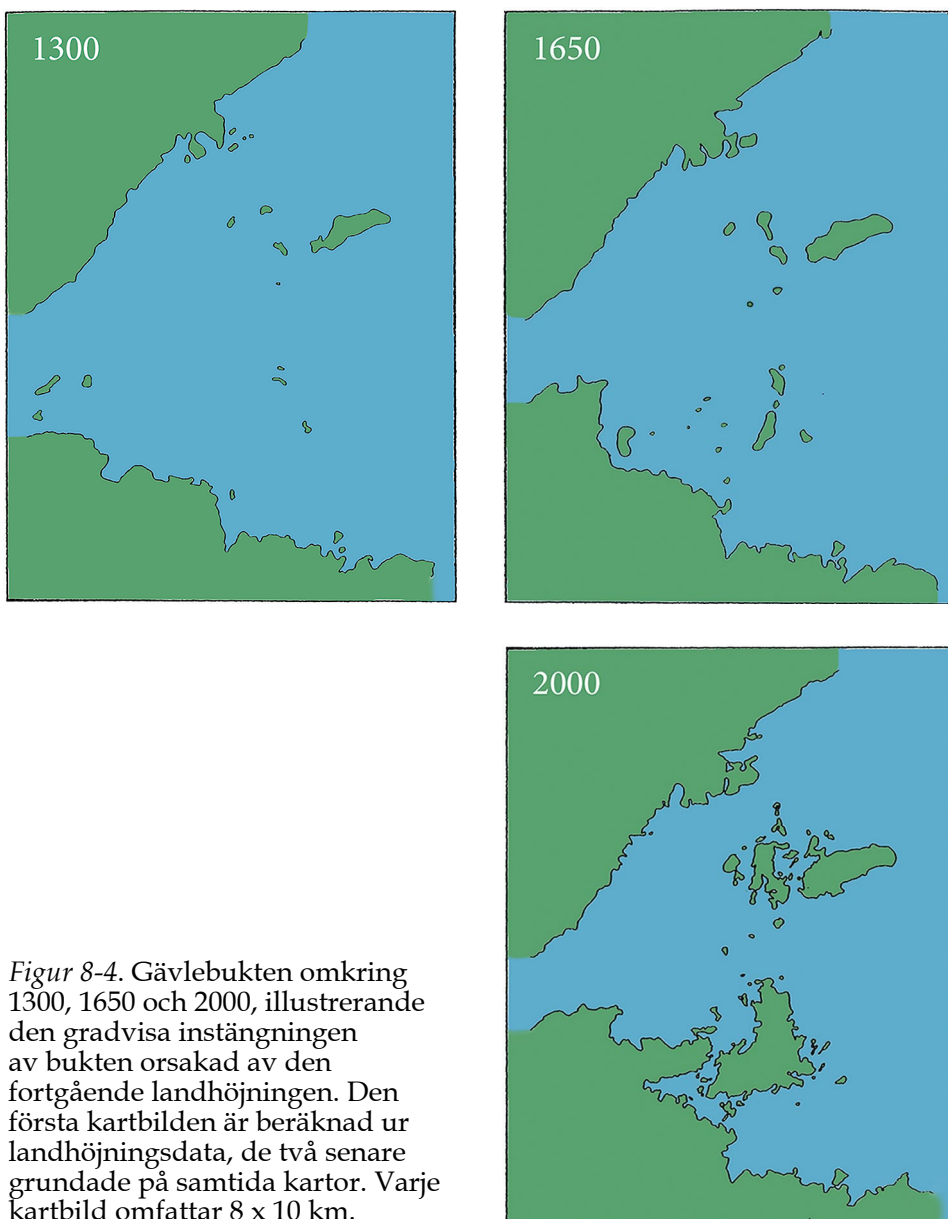
skyddade vikar. Det var naturligt eftersom man då som öbo lätt kunde nå dem med båt och landstiga där. En illustration till detta är Finströms kyrka ungefär mitt på Åland. När den byggdes för 800 år sedan låg den alldeles intill den inre delen av en långsträckt vik av havet, dit man lätt kunde ta sig med båt. Sedan kyrkan byggdes har landet här höjts nära 5 meter. När man idag besöker den måste man ta landvägen, och något havsvatten kan man inte se. Det är 7 kilometer bort. Kvar finns några långsmala insjöar (som man under en tid försökte förbinda med havet med grävda kanaler). Men man kan fortfarande se var man måste ha gått upp mot kyrkan från den numera torrlagda gamla havsviken.

I större skala pågår en liknande utveckling i Gävlebukten; se figur 8-4. När Gävle med sin hamn anlades på 1400-talet var Gävlebukten en helt öppen vik. Man kunde fritt ta sig in till hamnen. Sedan dess har landhöjningen här uppgått till 4 meter. Idag är den yttre delen av viken nära nog fylld med öar och grund som nästan spärrar infarten, cirka 5 km från hamnen. För att komma in till hamnen med lastfartyg behöver man med hjälp av lots noga följa en farled som löper genom en trång passage mellan öarna. För breda fartyg krävs det till och med två lotsar. Allt eftersom landhöjningen fortgår minskar dessutom utrymmet i passagen mellan öarna.

Den mest omfattande utvecklingen av detta slag berör Bottenviken, vars övergång till Bottenhavet utgörs av det grunda området Kvarken mellan Umeå på svenska sidan och Vasa på finska sidan. Vid slutet av vikingatiden, omkring år 1000, var området mellan Umeå och Vasa i stort sett helt öppet med ett avstånd tvärs över på 8 mil. Sedan den tiden har landet här höjts med 9 meter (och ingår nu i ett världsarv). Idag finns stora öar utanför både Umeå och Vasa, och avståndet tvärs över, räknat mellan dessa, är bara hälften så stort. Och avståndet fortsätter att krympa, så att det med tiden inte längre kommer att bli så valfritt var man kan ta sig in i Bottenviken ...

8.4 Växande öar

Öar som kommit upp ur havet till följd av landhöjningen har inte bara orsakat problem; de kan även skapa möjligheter. De kan växa och bli större så att man har kunnat slå sig ner där. Ibland kan två eller flera öar växa ihop till en större.



Figur 8-4. Gävlebukten omkring 1300, 1650 och 2000, illustrerande den gradvisa instängningen av bukten orsakad av den fortgående landhöjningen. Den första kartbilden är beräknad ur landhöjningsdata, de två senare grundade på samtida kartor. Varje kartbild omfattar 8 x 10 km.



Figur 8-5. Eggegrund i Bottenhavet utanför Gävle med successiva strandvallar skapade av landhöjningen. Öns högsta punkt, i centrum av strandvallarna, kom upp ur havet under vikingatiden; nu är ön med sin fyrplats mer än en kilometer tvärs över.

Ett belysande exempel på en sådan process är Eggegrund, en drygt kilometerlång ö i sydvästra Bottenhavet långt utanför Gävle; se figur 8-5. Redan namnet antyder att denna ö varit bara ett grund. Man kan räkna ut att den högsta punkten kom upp ur havet under vikingatiden, på 800-talet. Ön växte sedan gradvis, som framgår av de successiva strandvallarna runt omkring den högsta punkten, i förgrunden av

bilden. Under medeltiden, på 1300-talet, höjde sig en till ö över havsytan en bit därifrån, i bakgrunden av bilden. I början av 1600-talet anlades ett fiskeläge på huvudön, snart lokaliserat intill sundet mellan öarna. I början av 1800-talet tillkom en fyrplats på huvudön. Samtidigt hade sundet mellan öarna blivit så grunt att människorna hade fått muddra sundet för att hålla det öppet så att de kunde gå med sina båtar där. Men i längden gick det inte. Och vid en höststorm omkring 1850 flyttade stormvågorna stenarna i det nästan igengrundade sundet så att de bildade en förenande vall mellan öarna. De två öarna hade blivit en, så som det ser ut idag. Fyren är flyttad till den nyförenade delen av ön. Och som ett resultat av landhöjningens förenande verkan mellan öarna finns en liten skyddad hamnvik där, användbar för fyrbesökare, fågelforskare och andra.

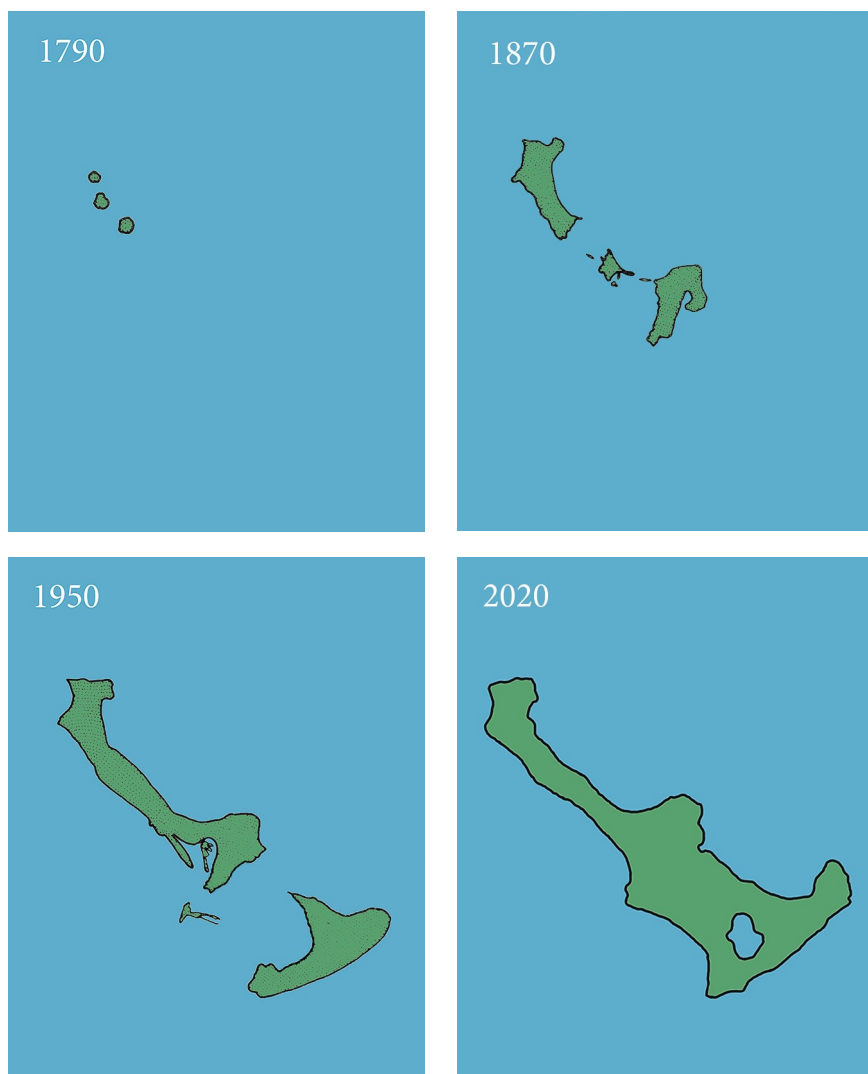
Den mest snabbväxande ön till följd av landhöjningen torde vara den flacka Sandgrönnorna utanför Luleå; se figur 8-6. De första delarna av den bör ha kommit upp ur havet i början av 1700-talet; lite senare introduceras den på sjökorten som några knappt synliga öar och grund. Sedan dess har den gradvis vuxit så att den idag bildar en ö som är drygt 6 kilometer lång, en tillväxt som alltså skett på bara 300 år.

En illustration i större skala till denna effekt av landhöjningen ger Åland. Som nämdes i förra avsnittet har Åland ett flertal sockenkyrkor anlagda på 1200-talet vid den dåtida kusten. Idag är det svårt att föreställa sig – kyrkorna ligger långt ifrån vattnet. Beräkningar visar att sedan denna tid har Ålands storlek vuxit med 50 %!

8.5 Hamnproblem

I hamnar har ofta uppstått problem av olika slag på grund av landhöjningen. De kan ha att göra med att kajer lyfts upp eller att vattendjupet blir för litet.

Ett belysande exempel på problem med kajer är Strömkajen (Blasieholmshamnen) i centrala Stockholm, mitt emot Kungl. Slottet; se figur 8-7. Härifrån går den huvudsakliga trafiken med passagerarbåtar ut till alla olika delar av Stockholms skärgård. Kajen här anlades efter mitten på 1800-talet. Med tiden lyfte landhöjningen upp kajen så att den blev besvärande hög. Båtarna började få problem att angöra kajen



Figur 8-6. Sandgrönnorna i Bottenviken utanför Luleå omkring 1790, 1870, 1950 och 2020, illustrerande öns tillväxt från födseln till 6 km längd till följd av landhöjningen.

eftersom landgångarnas lutning blev alltför stor. Detta ledde till att kajen i början av 2000-talet fick byggas om och sänkas med en halv meter. Sänkningen motsvarar landhöjningen här under de drygt 100 åren sedan kajen anlades.



Figur 8-7. Strömkajen i Stockholm (mitt emot Kungl. Slottet), som efter ett århundrade måst sänkas för att motverka landhöjningen och fortsatt passa till skärgårdsbåtarna; därav den trappstegsformade sluttningen mot vattnet.

Problem med krympande vattendjup har man länge fått hantera exempelvis i Gävle hamn. Redan i slutet av 1600-talet började man muddra i hamnen, då med ett hästdrivet mudderverk, senare med mer avancerade metoder; se figur 8-8. Ett par gånger har man flyttat hamnen till djupare områden, delvis i takt med den ökade storleken på fartygen, men muddring har hela tiden behövts för att hindra vattendjupet från att minska med tiden. Även om muddring ibland behövts även av andra skäl spelar landhöjningen en ständig roll. Djup i farleden och hamnbassängerna anges numera på 0.1 m när, och under det senaste århundradet motsvarar det landhöjningen här under 15 år. Detta är också den ungefärliga tiden mellan de upprepade muddringarna för att säkra farledens och hamnens angivna djup. Att hantera landhöjningen kan vara ett evighetsarbete.

8.6 Gränsproblem

Vart hör alla nya markområden som landhöjningen lyft upp ur havet? Landhöjningen orsakar knepigheter när det gäller såväl



Figur 8-8. Muddring i hamn för att hindra att vattendjupet minskar med landhöjningen; i Gävle hamn har detta fått göras åtskilliga gånger.

fastighetsgränser som rättigheter knutna till fastigheter längs kusterna. Även territorialgränser påverkas.

För en fastighet i Sverige som är en strandtomt vid havet beror effekten av landhöjningen på hur fastigheten är definierad. Om fastigheten har en fastställd gräns mot havet längs med stranden, eller ute i vattnet en bit utanför stranden, är det den gränsen som gäller. Då kommer landhöjningen med tiden göra att fastigheten upphör att vara en strandtomt, när stranden flyttat tillräckligt långt ut. Om fastigheten inte har någon fastställd gräns mot havet anses den sträcka sig ut till det som kallas allmänt vatten, normalt 300 meter ut från stranden (med speciella regler för näraliggande öar och för långgrunda vatten). Men gränsen mot allmänt vatten följer i princip med landhöjningen och den flyttande stranden ut. I detta fall fortsätter därför fastigheten alltid att vara en strandtomt, och fastigheten växer i princip med landhöjningen.

För en strandfastighet i Finland fungerar det hela inte på samma sätt. Här finns istället ett förfarande där strandägaren har möjlighet och ibland skyldighet att lösa in den nya marken som landhöjningen skapat.

Ett exempel från den svenska kusten kan visa vilken typ av rättsliga problem som landhöjningen kan ge upphov till. Två grannfastigheter, A och B, var från början strandfastigheter. A omfattade en inskjutande vik av havet och fasthetsgränsen var fastställd att gå tvärs över viken. B utgjorde en udde utskjutande i havet och hade ingen fastställd gräns ut mot havet. Från A:s strand gick sedan gammalt en lång brygga ut i vattnet och in på B:s vattenområde. Efter något århundrade av landhöjning hade den grunda viken inom A försvunnit och A därigenom upphört att ha någon strand. Frågan är då om A fortfarande hade rätt att ha en brygga, nu enbart inom B. Fall av den här typen kan involvera flera olika lagar och har ofta fått lösas i domstol. För B är förhållandena enklare: B kommer alltid att ha strand och dessutom att växa med landhöjningen eftersom B når ut till allmänt vatten.

Här behöver ett litet förtydligande göras. Stranden i lagen om gräns mot allmänt vatten definierades till ganska nyligen av medelvattenståndet. Det ledde till att den ansågs flytta utåt med landhöjningen kontinuerligt. Numera definieras stranden istället av höjden 0 m i rikets höjdsystem som refererar till år 2000. Det leder till att den inte anses flytta förrän man justerat höjden i lagen, vilket man avser att göra vid behov. Kustfastigheters omfattning ut mot allmänt vatten kommer därför i framtiden att ändras stegvis.

Något liknande gäller territorialgränser i havet som regleras av FN:s havsrättskonvention. I princip sträcker sig territorialhavet ut till 12 nautiska mil (drygt 22 km) från kustens lågvattenlinje, med särskilda regler för ojämna kuster och öar. För svensk del definieras denna kustlinje numera i lagen om Sveriges sjöterritorium av höjden -0.5 m i rikets höjdsystem 2000, en höjd (eller snarare ett djup) som så småningom kan behöva uppdateras där landhöjningen är stor.

8.7 Vattenståndsmätare utan vatten

Slutligen en effekt som kanske inte berör så många människor men som får sägas ge en tydlig illustration till fenomenet landhöjning. Det gäller vattenståndsmätare – peglar och mareografer – som av landhöjningen lyfts upp så mycket ur havet att de inte längre har tillräcklig kontakt med vattnet.

Ett par av mareograferna i norr är exempel på detta. Efter knappt ett århundrade kunde de inte längre mäta vattenståndet när det var lågt – landhöjningen hade lyft upp dem för mycket. Man blev tvungen att anlägga nya mareografer lite längre ut.

Det bästa exemplet finns dock vid Bomarsunds fästningsruin nära vattnet på Åland. Bomarsunds fästning byggdes under första halvan av 1800-talet efter att Åland tillsammans med Finland avträtts av Sverige till Ryssland. Inte så långt efter att fästningen blivit klar sprängdes den i luften av Storbritannien och Frankrike, och Åland blev genom en internationell överenskommelse ett demilitariserat (och senare även självstyrande) territorium. Vid vattnet intill fästningen finns en gammal pegel från 1837, sannolikt världens äldsta bevarade pegel för mätning av vattenståndet i havet; se figur 8-9. Den är inhuggen i en vertikal del av



Figur 8-9. Gammal vattenståndsmätare vid Bomarsunds fästningsruin på Åland, nu upplyft ovanför vattnet.

berggrunden och i en rest sten ovanpå och har därför blivit bevarad. Ursprungligen var den av allt att döma till för att hålla rätt på vattenståndets variationer i samband med mätningar av vattendjup i omgivningarna. Sedan dess har landet här höjts nära en meter och den i berget inhuggna skalan följt med upp. Resultatet är tydligt: Idag saknar vattenståndsskalan just det den var till för att mäta – vatten!

Det är tänkvärt att riksdagshusets räddning och allt annat i detta kapitel ytterst är en följd av hur gravitationen från himlakropparna i planetsystemet påverkar jorden. I ett nötskal, från de tidigare kapitlen: Himlakropparna orsakar och avskaffar istider. Isens tillväxt och avsmältande åstadkommer långvariga strömmar i jordmanteln tillsammans med sänkning och höjning av jordskorpan. Och den pågående höjningen av jordskorpan ur havet inverkar på livet i Norden. Vi lever i en märklig del av världen!

9. Men nu börjar också havet stiga ...

9.1 Smältande fjällglaciärer

I kapitel 6 noterade vi att landhöjningen under 1900-talet beräknad ur vattenståndsdata visar sig vara något mindre än landhöjningen beräknad ur satellitdata. Detta återspeglar ett högaktuellt fenomen: en höjning av havsytan som en effekt av en pågående klimatförändring. Och i studiet av detta viktiga fenomen kan man dra nytta av metoder och kunskaper från studierna av landhöjningen.

Det började med att en forskare inom geovetenskaperna på Island, Sigurður Thórarinnsson, noterade att glaciärerna där hade minskat i storlek sedan slutet av 1800-talet. När han noterade detta hade det gått ungefär 50 år, det var 1940. Inte bara på Island hade detta skett. Liknande förändringar kunde beläggas från andra håll. Thórarinnsson började samla in data från fjällglaciärer över hela världen för att försöka uppskatta hur mycket is som försvunnit globalt. Genom att grovt beräkna den totala volymen på den försvunna glaciärisen, anse att den genom smältning omvandlats till vatten, och sedan fördelats ut över världshaven, kunde han göra en bedömning av hur mycket världshavens yta borde ha stigit till följd av isavsmältningen. Resultatet blev $\frac{1}{2}$ mm/år för decennierna sedan omkring 1890.

Thórarinnsson försökte sedan göra en jämförelse med den långa serien av vattenståndsdata från Stockholms sluss. Han fann då en antydning till minskning av den observerade hastigheten hos landhöjningen efter 1800-talets slut som skulle kunna hänga samman med den beräknade höjningen av havsytan. Detta resultat var dock osäkert. Men en annan slutsats ansåg han sig kunna dra. Någon märkbar avsmältning av de stora isarna på Grönland och Antarktis kunde inte ha ägt rum eftersom det borde ha syns i dessa vattenståndsdata. Att den uppskattade höjningen av havsytan främst kom från avsmältning av fjällglaciärer kunde förklaras med att dessa som förhållandevis små hade lättare att börja smälta, se figur 9-1 och 9-2.



Figur 9-1. Fjällglaciär vid Tarfala i Lappland, en av få som mynnar i en sjö, på 1930-talet. Jämför med bilden i figur 9-2.



Figur 9-2. Fjällglaciären i figur 9-1, men på 2010-talet. Avsmältningen sedan förra bilden framgår, trots de något olika perspektiven, dels av den minskade bredden hos glaciären, dels av den försvunna höga glaciärkanten i sjön.

Redan året efter gjordes en helt annan sorts undersökning på samma tema. En geofysiker i Nordamerika, Beno Gutenberg, analyserade data från alla vattenståndsstationer i världen som varit igång sedan omkring 1900 för att se om man kunde spåra en allmän höjning av havsnivån. Han måste dock utesluta de många stationerna i Östersjön på grund av landhöjningen där. Medeltalet av alla ingående stationer tydde på en höjning av havsnivån med 1 mm/år. Även detta resultat var dock osäkert. Och att stationerna ohjälpligt låg bara längs kusterna kunde ha en svårbedömd inverkan.

Även om de var osäkra fanns nu i början av 1940-talet två helt olika undersökningar som bäge tydde på en viss höjning av havsytan. Med tiden skulle man få längre dataserier som kunde ge säkrare resultat.

9.2 Världens längsta vattenståndsserie

Lite nya och säkrare slutsatser började komma på 1980-talet. Först bekräftades att avsmältningen av världens fjällglaciärer, som fortgått under hela 1900-talet, borde leda till en höjning av havsytan med $\frac{1}{2}$ mm/år. Men ungefär samtidigt påvisades att havsytan även borde stiga till följd av att ytvattnet i haven utvidgades, detta på grund av havsvattnets uppvärmning orsakad av det varmare klimat som fick isarna i fjällen att smälta. Denna utvidgningseffekt skulle kunna vara av samma storleksordning som smältvatteneffekten. Tillsammans borde de åstadkomma en havsnivåhöjning på cirka 1 mm/år.

Samtidigt presenterades förnyade beräkningar ur data från vattenståndsstationer längs världens kuster under 1900-talet. Dessa tydde på en höjning av världshavens yta med drygt 1 mm/år. Resultaten stämde, trots osäkerheterna, ganska väl överens.

I det här läget vore det önskvärt att man någonstans också hade tillgång till en ännu längre men ändå pålitlig serie vattenståndsdata. En sådan lång serie skulle kunna göra det möjligt att studera tiden både före och efter klimatskiftet när glaciärerna tycktes börja smälta vid slutet av 1800-talet. Lyckligtvis fanns det en sådan serie – den som vi tidigare stött på från Stockholm.

Redan 1774 började man, som nämnts i avsnitt 5.4, mäta vattenståndet vid Stockholms sluss; se figur 9-3. Från 1889 registreras



Figur 9-3. Stockholms sluss sex år efter att vattenståndet började observeras där 1774. Bilden visar Östersjösidan i förgrunden och vårflod i Mälaren i bakgrunden. (Målning av Anders Holm 1780.)

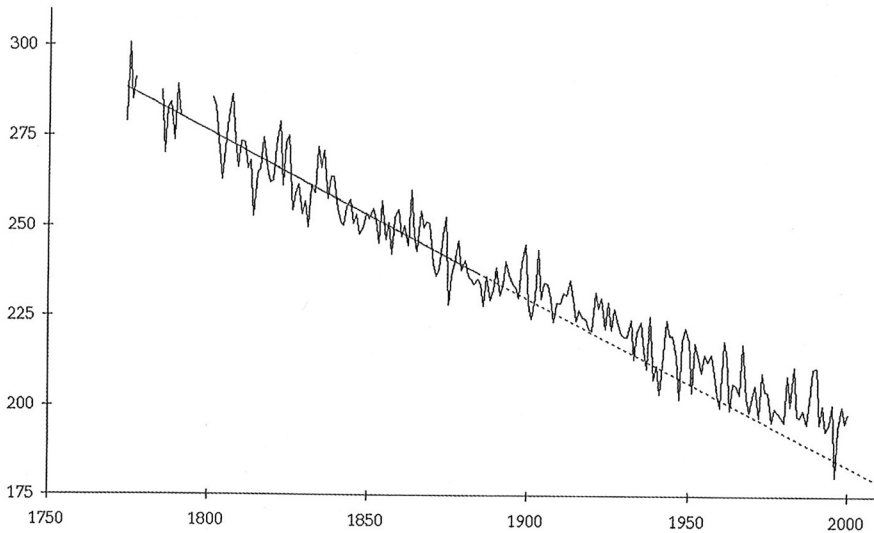
vattenståndet i Stockholm av mareografen vid Skeppsholmen inte långt därifrån. Tillsammans utgör detta världens längsta serie av vattenståndsobservationer i havet. Som sådan förtjänar den en lite närmare beskrivning. (Det finns en ännu äldre serie, från Amsterdam, men den upphörde för länge sedan.)

Stockholms sluss är belägen där Mälaren under vikingatiden av landhöjningen snördes av från havet. På grund av erosion av utloppet höll sig Mälarens yta fortsatt nära havets och man kunde med visst besvär få fartyg att ta sig in i och ut ur Mälaren. På 1600-talet blev man dock tvungen att bygga en sluss för fartygen här. Det ledde till ett behov av att hålla rätt på vattenståndet vid slussen. Dels behövde man veta vattendjupet i slussen, dels behövde man veta skillnaden i vattenstånd mellan Mälaren och Östersjön. Framför allt det senare behovet bidrog till att man 1774 inledde systematiska observationer av vattenstånden på bägge sidor av slussen.

Vattenståndsskillnaden mellan Mälaren och Östersjön var en känslig fråga, som hade tagits upp i riksdagen och fått Kung Gustaf III att beordra hydrografiska undersökningar där. Om vattennivån i Mälaren blev för hög kunde nämligen åkrarna längs stränderna översvämmas. Om vattennivån i Mälaren istället blev för låg kunde Östersjöns nivå ibland bli högre än Mälarens och då försvåra hanteringen av slussen. Betydelsen av det här bidrog till att man även noterade förflyttningar av nollpunkten hos vattenståndsskalorna vid ombyggnader av slussen, en viktig information idag. Även sambandet mellan sluss-skalorna och den 1889 tillkomna mareografen är välbestämt. Tillsammans gör detta att vi i Stockholm har en sammanhängande serie av vattenstånd i havet som sträcker sig över mer än 200 år.

Denna unikt långa vattenståndsserie kunde nu användas för att jämföra tiden före och tiden efter klimatskiftet när fjällglaciärerna började smälta vid 1800-talets slut; se figur 9-4. Man beräknade som förut landhöjningen ur årsmedelvärden av vattenståndet, men i detta fall kunde man räkna fram ett värde före klimatskiftet och ett efter. Resultatet före klimatskiftet blev nära 5 mm/år och resultatet efter blev nära 4 mm/år. Eftersom osäkerheten i ett landhöjningsvärde grundat på 100 års mätningar som tidigare nämnts är bara 0.2 mm/år, måste skillnaden mellan resultaten spegla en verklig förändring. Och eftersom en så stor ändring av själva landhöjningshastigheten inte kan äga rum under så kort tid, måste skillnaden bero på en ändring av havsnivån. Den enda rimliga tolkningen blev att havsnivån under 1900-talet stigit med 1 mm/år mer än under 1800-talet och slutet av 1700-talet. Men hur var det med havsnivån under dessa tidigare sekel?

I avsnitt 6.4 presenterades en karta över landhöjningen bestämd ur vattenståndsobservationer under 1900-talet. Ungefär samtidigt med den kunde man också beräkna landhöjningsvärden ur geofysiska modeller. De uppvisade som sig bör samma mönster. Däremot visade det sig att de modellberäknade värdena generellt blev 1 mm/år större än de observerade. Modellen ger landhöjningen i förhållande till en stabil havsyta och inkluderar inte någon pågående havsnivåhöjning. Skillnaden måste därför motsvara havsnivåhöjningen under 1900-talet. Och eftersom den långa Stockholmsserien visat att havsnivåhöjningen under detta sekel var 1 mm/år större än dessförinnan måste havsnivån i stort sett varit stabil under 1800-talet och slutet av 1700-talet.



Figur 9-4. Vattenståndet i havet i Stockholm (cm) 1774 – 2000. Den lutande rätta linjen representerar landhöjningen utan havshöjning under 1700- och 1800-talen. Vattenståndet under 1900-talet ligger systematiskt allt högre än linjen, visande på en begynnande havshöjning.

Något senare kunde samma slutsats dras med hjälp av landhöjningen beräknad ur satellitdata. I avsnitt 6.5 presenterades en karta över landhöjningen bestämd ur satellitobservationer. Det påpekades där att dessa ger landhöjningen i förhållande till en stabil havsyta, och att de blev 1 mm/år större än de bestämda ur vattenståndsobservationer. Igen motsvarar skillnaden havsnivåhöjningen under 1900-talet, och Stockholmsserien visar att ingen sådan höjning ägde rum under 1800-talet och slutet av 1700-talet. (Som nämnts i avsnitt 6.7 åstadkommer landhöjningen genom inströmningen av mantelmassa ett tillskott av tyngdkraft som också höjer havsytan något, men det fördjupar vi oss inte i nu.)

Man skulle kunna fråga sig här om dessa resultat delvis kunde vara beroende av någon regional effekt i Östersjön och kanske inte vara representativa även för haven utanför. Men det finns ett par nästan lika långa serier av vattenståndsdata från Nordsjön som uppvisar en liknande förändring som Stockholmsserien gör. Allt pekar därför på att den allmänna höjningen av havsytan måste ha börjat vid slutet av 1800-talet, samtidigt med att fjällglaciärerna visat tecken på att börja smälta.

9.3 De stora isarna, världshavet och Östersjön

Mot slutet av 1900-talet var det alltså klarlagt att havsnivån under seklet stigit med drygt 1 mm/år till följd av ett något varmare klimat. Men skulle detta fortgå eller till och med accelerera? En del av förändringen i klimatet kunde vara naturlig, men tecken tydde också på att en del kunde åstadkommits av människan. Framför allt visade koldioxidhalten i atmosfären tecken på att börja öka bortom det rimliga, vilket via växthuseffekten skulle medföra ett varmare klimat.

I detta läge grundades 1988 FN:s klimatpanel, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), som sedan 1990 ger ut omfattande rapporter där man sammanställer och bedömer det internationella vetenskapliga läget när det gäller klimatförändringar. Arbetet med de första leddes av den svenske klimatforskaren Bert Bolin. Nya sådana rapporter publiceras allteftersom, med några års mellanrum. I dessa behandlas även frågan om havsnivån och dess höjning.

Som ett globalt medeltal bedöms havsnivån under de senaste 50 åren ha stigit med drygt 2 mm/år, märkbart snabbare än tidigare under förra seklet. Här har man utöver vattenståndsstationer även använt sig av mätningar av havsnivån från satelliter. Under samma tid bedöms, till skillnad från tiden dessförinnan, klimatuppvärmningen väsentligen ha orsakats av människan.

I och med att havsnivåhöjningen ökar behöver man förstå att den inte blir riktigt lika stor överallt utan kommer att uppvisa geografiska skillnader. Det har att göra med vad som skapar höjningen. I princip finns det tre olika processer som gör att havet höjs:

1. Avsmältning av glaciärerna i fjällområdena.
2. Värmeutvidgning av ytvattnet i haven.
3. Avsmältning av inlandsisarna på Grönland och Antarktis.

Den första processen leder till att havet höjs nästan lika mycket överallt, eftersom smältvattnet fördelas ut nästan jämnt överallt. Den andra processen leder till att havet höjs lite olika mycket i olika områden, beroende på att uppvärmningen av havsvattnet inte är lika stor överallt. Den tredje processen leder till att havet höjs olika mycket på

olika avstånd från inlandsisarna, beroende på att isavsmältningen inte bara tillför smältvatten utan även ändrar tyngdkraftfältet och därmed havsytan, något som berörts i avsnitt 6.7. Detta gäller i viss mån även stora glaciärer som de på Svalbard.

Enligt IPCC:s senaste specialrapport om is och hav kommer havsnivån under det närmsta halvsekle globalt att stiga med omkring 4 mm/år, längre fram mer om inte klimatåtgärder vidtas. Ett ökat bidrag till detta väntas komma från inlandsisarna på Grönland och Västantarktis. Avståndet från Grönland till Östersjön är så pass måttligt att havsytan här hos oss i viss mån påverkas av Grönlandsisens tyngdkraftseffekt. Den höjning av havsnivån som det tillförda smältvattnet från Grönland orsakar motverkas i Östersjön av en sänkning av havsnivån till följd av den minskade tyngdkraften från Grönlandsisen. Totalt väntas därför havsnivån i Östersjön stiga med omkring 3 mm/år snarare än de nyssnämnda 4. Det är värt att notera att en avsmältning av en del av Antarktis is höjer Östersjön trots att motsvarande avsmältning av Grönlands is inte gör det, eftersom Antarktis är för långt bort för att tyngdkraftseffekten därifrån skall spela någon dämpande roll.

Vad betyder då en havsnivåhöjning med 3 mm/år längs Östersjöns kuster? En sådan havshöjning betyder att 0-kurvan för landets höjning i förhållande till havsytan förskjuts in mot landhöjningens centrum, vilket i Östersjön i stort sett innebär norrut. På 1700- och 1800-talen låg denna balanskurva längs Tysklands kust och genom södra Danmark (motsvarande -1 i figur 6-5 och 0 i figur 6-7). På 1900-talet gick den från Lettlands kust och genom sydligaste Sverige (Skåne) och genom norra Danmark (motsvarande 0 i figur 6-5 och 1 i figur 6-7). Under den närmsta framtiden tycks den komma att gå ungefär från sydostligaste Finland via nordvästra Estland förbi norra Gotland, över den svenska ostkusten i Östergötland och västkusten i Bohuslän, och vidare över den norska sydkusten (motsvarande 2 i figur 6-5 och 3 i figur 6-7). Om havshöjningen blir större flyttar balanskurvan mellan landhöjning och havshöjning i motsvarande mån norrut.

Ur praktisk synpunkt innebär detta att de områden i söder som hittills inte haft några större problem med landhöjning nu istället kommer att få problem med havshöjning. Längs skånska kusten gör sig sådana problem redan märkbara i form av ökad erosion av stränder och ökad

risk för översvämningar av lågt liggande delar av kustområdena. Här börjar därför invallningar och strandförstärkningar göras, och somliga byggnader kanske i längden inte kan vara kvar på sina nuvarande platser.

I ett globalt perspektiv kommer dock Östersjöområdet alltid att framstå som ett märkligt undantag. På grund av landhöjningsfenomenet kommer höjningen av världshaven inte att synas på samma sätt här, och norröver kommer det fortfarande att se ut som om havsytan sjunker. Landhöjningen kommer alltid att motverka havshöjningen hos oss – men vad som i det långa loppet får övertaget återstår att se.

9.4 En återblick: Historien, nuet och framtiden

För mer än 10 000 år sedan smälte den stora inlandsisen över Norden. Det var en händelse som pågick under tusentals år (och även omfattade delar av Canada). Den utlöste de processer som vi överblickade i avsnitt 6.7: Världshavens yta steg i takt med isavsmältningen. Landet där isen smälte började höja sig samtidigt som trögflytande mantelmassa började strömma in därunder. Tyngdkraften ändrades i och omkring isområdet, först minskade den med den minskande isen, och så ökade den med den ökande mantelmassan; bägge delarna påverkade havsytan där. Till slut var isavsmältningen färdig, men det var inte landhöjningen med tillhörande massinströmning – det är den vi lever med än idag.

När all is just smält var landhöjningen i full gång. I sitt tidiga skede var den mycket snabb, minst 10 gånger snabbare än idag. Den var också olika stor inom olika områden, beroende på skillnaderna i isens tjocklek. Det här skapade påfrestningar i jordskorpan som utlöste stora jordbävningar på en del håll. Den största av dem ägde rum långt i norr i Lappland där man funnit spår av den i form av en 150 km lång förkastning från den tiden.

Under isavsmältningen växlade den frilagda delen av Östersjön ett par gånger mellan insjö och havsvik, men blev till slut en havsvik med låg salthalt. Den tidiga Östersjön var i sina mellersta och norra delar mycket vidare än dagens; landhöjningen har under årtusendena krympt Östersjön väsentligt, särskilt där det är flackt. Vad som främst kommit upp ur havet är nästan hela Södermanland och Uppland, betydande delar av Närke, Västmanland och Gästrikland samt stora delar av

Västerbotten, Norrbotten och Österbotten; dessutom hela Åland. Detta skapade kontinuerligt nya områden att bosätta sig på.

Så småningom byggde människorna ett allt mer organiserat samhälle. Från vikingatidens slut och framåt anlades städer och hamnar vid kusterna, farleder etablerades i skärgårdarna och så vidare. I och med detta skapade landhöjningen också problem. Vad man anlagt vid vattnet blev med tiden svårt att använda när vattnet gradvis försvann. Det anlagda måste göras om, och till slut ibland överges eller flyttas, något som blev påtagligt redan på 1400-talet med den första stadsflytten (Öregrund). Det här är en typ av dilemma som vi fortsatt lever med idag.

På 1700-talet började man på allvar fråga sig vad det är som händer. Vetenskapsmännen började bli nyfikna, snart även internationellt. Vad händer egentligen hos oss i Norden? Varför händer det? Hur går det till? Efter århundradens forskning tror vi oss nu veta detta. Bilden som framträtt spänner över vitt skilda områden: Det är landet som höjer sig, det är kopplat till strömmar inne i jorden, det hänger ihop med en jättelik is som smälte för länge sedan, och det beror ytterst på andra himlakroppar ute i rymden! Och det är på grund av detta vi nyligen bland annat behövt rädsla ett riksdagshus. Vi lever i en märklig del av världen.

Tack vare alla omsorgsfulla observationer av vattenstånd och gamla strandlinjer, och numera även mätningar med hjälp av satelliter, har vi idag en god kännedom om landhöjningens storlek och mönster, och även välgrundade geofysiska modeller av landhöjningen. Utifrån detta kan vi räkna bakåt i tiden och ganska väl rekonstruera var kusten på en viss plats gick vid en viss tid. I princip skulle man kunna använda samma metod för att räkna framåt i tiden.

Men nu börjar en till process träda in, havshöjningen, till stor del orsakad av en begynnande smältning av de existerande stora inlandsisarna på andra håll, eller av delar av dem. Och nu är det inte så mycket andra himlakroppar som ligger bakom, utan mera människorna själva.

Avslutningsvis: En gång i tiden, vid istidens slut, fick kustmänniskor i andra delar av världen uppleva en havshöjning, medan vi här i Norden fick uppleva en landhöjning. Idag upplever vi fortfarande denna

landhöjning, men nu ser vi ut att få börja ta del av en havshöjning också. Och perspektiven i både rum och tid är speciella: Landhöjningen beror på vad som hände hos oss i en annan tid, medan havshöjningen mest beror på vad som händer någon annanstans i vår egen tid.

Appendix: En som lever på landhöjningen

Landhöjningen är livsavgörande för en speciell buske i Östersjöområdet, havtorn (*Hippophaë rhamnoides*). Det är en människohög buske med välsmakande gula bär; se figur A-1. Hur kan det komma sig att den lever på landhöjningen?

Havtorn är en buske som allmänt sett växer på en del platser i Europa och Asien, men bara där det är ganska ogästvänliga förhållanden. Den tycker nämligen inte om konkurrens från andra växter utan vill helst vara ifred. Därför växer den mest på sandig och stenig mark i halvöknar eller på salta havsstränder. Mark med brist på vatten tycker andra växter inte om, och mark med mycket salt klarar andra växter inte heller av. Men havtornet kan leva där, och får då göra det i lugn och ro.

Märkligt nog växer denna buske även här kring delar av Östersjön. Det var en av de första växterna som vandrade in här efter istiden, då klimatet ännu var för bistert för de flesta andra. Sedan dess har den tagit hjälp av landhöjningen för att lyckas stanna kvar, och det har den gjort genom ett smart val av växtplats.

Tittar man på en karta över havtornets utbredning ser man att den växer vid Östersjöns stränder från Stockholm norrut längs svenska kusten hela vägen upp till Bottenvikens nordände och vidare längs finska kusten söderut hela vägen till Åbo, samt på Åland. Vad kännetecknar detta område? Jo, en landhöjning i förhållande till havsytan under det gångna århundradet på minst 4 mm/år (se avsnitt 6.4). Havtornet utnyttjar detta.

Vad som händer är följande. Havtornet växer på steniga landhöjningsstränder närmast vattnet. Den vattennära delen av den steniga stranden har nyligen kommit upp ur havet. Då har där ännu inte bildats jord så andra växter har inte kommit dit. Havtornet får därför vara ifred där och kan växa i lugn och ro. Allt eftersom åren går hamnar dock multnande växtdelar där och börjar bilda jord. Andra växter börjar söka sig dit. Havtornet får det svårare och trivs inte längre. Men landhöjningen löser problemet! Tack vare den har ju ny stenig mark just kommit upp ur havet lite längre ut. Havtornet flyttar dit och får vara ifred igen. Och så fortsätter det.

Tydligen är 4 mm/år eller mer vad havtornet behöver. När den kommande havshöjningen gör sig gällande och krymper landets höjning i förhållande till havsytan kommer därför även utrymmet för havtornet att krympa, hur långt återstår att se.

Till sist: De gula bären på havtornsbusken har en karaktäristisk smak och är användbara till att göra saft, marmelad och annat. Författaren brukar ibland använda havtornssaft eller havtornskross vid bakning av mjuk kaka av typen sockerkaka; det ger en angenäm och lite speciell smak och kan rekommenderas. Resultatet går under benämningen "landhöjningskaka".



Figur A-1. Havtornsbuskar med bär, beroende av landhöjningen för sin livsföring.

Referenser

Originalarbeten om större steg i utvecklingen, i kronologisk ordning

Ulfsson, J, m.fl. (1491): Tillatelssebref att flytie ifrå Östhamer och till Öregrundh. Förordning, utfärdad i Uppsala. (Även återgiven i "Privilegier, resolutioner och förordningar för Sveriges städer", del 1.)

Brenner, E (1694): Om uppländningen norr uth widh det Botniska hafwet. Officiellt brev (året osäkert), publicerat i Hiärne (1706).

Hiärne, U (1706): Den beswarade och förklarade anledningens andra flock – om jorden och landskap i gemeen. Stockholm, 284 s.

Celsius, A (1743): Anmärkning om vatnets förminskande så i Östersjön som Vesterhafvet. Kongl. Svenska Wetenskaps Academiens Handlingar, 4, 33-50.

Ferner, B (1765): Tvisten om vattu-minskningen. Tal för Kongl. Vetenskaps Academiens då han lade af sitt därstädes förda praesidium, 56 s.

Runeberg, E O (1765): Anmärkningar, om någre förändringar på jordytan i allmänhet, och under de kalla climat i synnerhet. Kongl. Vetenskaps Academiens Handlingar, 26, 81-115.

Frisi, P (1785): Paulli Frisii operum, 3, cosmographiam, physicam, et mathematicam continens. Milano, 561 s.

Hällström, C P (1823): Observationer öfver hafsyttans sänkning i Bottniska viken. Kongl. Vetenskaps-Academiens Handlingar, 1823, 30-41.

Esmark, J (1824): Bidrag til vor jordklodes historie. Magazin for Naturvidenskaberne, 1824, 28-49.

Berzelius, J (1830): Årsberättelse om framstegen i fysik och chemie. Kongl. Vetenskaps-Academiens årsberättelser om vetenskapernas framsteg, 1830, 1-272.

Lyell, C (1835): On the proofs of a gradual rising of the land in certain parts of Sweden. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 125, 1-38.

Lyell, C (1835): *Principles of geology*, 2, 4:e upplagan. London, 465 s.

Agassiz, L (1837): Discours prononcé à l'ouverture des séances de la Société Helvetique des Sciences Naturelles. *Actes de la Société Helvetique des Sciences Naturelles*, 22, 5-32. (Även på engelska året därpå: Upon glaciers, morainees, and erratique blocks. *Edinburgh New Philosophical Journal*, 24, 364-383.)

Nordenskiöld, A E (1858): Beräkning af fasta landets höjning vid Stockholm. *Öfversigt af Kongl. Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar*, 15, 269-272.

Torell, O (1859): Bidrag till Spitsbergens molluskfauna, jemte en allmän öfversigt af arktiska regionens naturförhållanden och forntida utbredning. Lund, 118 s.

Croll, J (1864): On the physical cause of the change of climate during geological epochs. *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 187, 121-137.

Jamieson, T (1865): On the history of the last geological changes in Scotland. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 21, 161-203.

De Geer, G (1888 & 1890): Om Skandinaviens nivåförändringar under qvartär-perioden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, 10 & 12, 366-379 & 61-111.

De Geer, G (1912): A geochronology of the last 12 000 years. *Congrès Géologique International*, 11:e session, 241-253.

Lidén, R (1913): Geokronologiska studier öfver det finiglaciala skedet i Ångermanland. *Sveriges Geologiska Undersökning*, Ca 9, 39 s.

Witting, R (1918): Hafsytan, geoidytan och landhöjningen utmed Baltiska

hafvet och vid Nordsjön. Fennia, 39/5, 346 s.

Nansen, F (1921): The strandflat and isostasy. Skrifter utgit av Videnskapsselskapet i Kristiania, Matematisk-naturvidenskabelig klasse, 1921, 313 s.

Milankovic, M (1930): Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen. Berlin, 176 s.

Vening Meinesz, F A (1934): Gravity and the hypothesis of convection-currents in the Earth. Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam, 37, 37-45.

Haskell, N A (1935): The motion of a viscous fluid under a surface load. Physics, 6, 265-269.

Thórarinnsson, S (1940): Present glacier shrinkage, and eustatic changes of sea-level. Geografiska Annaler, 12, 131-159.

Gutenberg, B (1941): Changes in sea level, postglacial uplift, and mobility of the Earth's interior. Bulletin of the Geological Society of America, 52, 721-772.

McConnell, R K (1965): Isostatic adjustment in a layered Earth. Journal of Geophysical Research, 70, 5171-5188.

Peltier, W R (1974): The impulse response of a Maxwell Earth. Reviews of Geophysics and Space Physics, 12, 649-669.

Woodworth, P L (1990): A search for accelerations in records of European mean sea level. International Journal of Climatology, 10, 129-143.

Lambeck, K, Smither, C, Johnston, P (1998): Sea-level change, glacial rebound and mantle viscosity for northern Europe. Geophysical Journal International, 134, 102-144.

För de senaste decennierna har främst använts arbeten inom Nordiska Kommissionen för Geodesi (NKG) och Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). För ytterligare referenser se även författarens

bok "The changing level of the Baltic Sea during 300 years: A clue to understanding the Earth".

Historiska och andra översikter

De Geer, G (1896): Om Skandinaviens geografiska utveckling efter istiden. Stockholm, 160 s.

Ekman, M (1991): A concise history of postglacial land uplift research (from its beginning to 1950). Terra Nova, 3, 358-365.

Ekman, M (2009): The changing level of the Baltic Sea during 300 years: A clue to understanding the Earth. Summer Institute for Historical Geophysics, Åland Islands, 155 s.

Frängsmyr, T (1969): Geologi och skapelsetro – föreställningar om jordens historia från Hiärne till Bergman. Stockholm, 379 s.

Frängsmyr, T (1976): Upptäckten av istiden – studier i den moderna geologins framväxt. Uppsala, 188 s.

Högbom, A G (1920): Nivåförändringarna i Norden – ett kapitel ur den svenska naturforskningens historia. Göteborg, 163 s.

Mörner, N-A (1979): The Fennoscandian uplift and late Cenozoic geodynamics: Geological evidence. GeoJournal, 3, 287-318.

Nordlund, C (2001): Det upphöjda landet – vetenskapen, landhöjningsfrågan och kartläggningen av Sveriges förflutna, 1860 - 1930. Umeå Universitet, 425 s.

Pajjkull, C W (1867): Istiden i Norden – ett geologiskt utkast. Stockholm, 148 s.

Steffen, H & Wu, P (2011): Glacial isostatic adjustment in Fennoscandia – A review of data and modeling. Journal of Geodynamics, 52, 169-204.

Illustrationer

Figurer utöver författarens egna stammar från följande källor:

- 2-1 Riksantikvarieämbetet
- 2-2 Dahlbergh: Suecia antiqua et hodierna
- 2-3 Dahlbergh: Suecia antiqua et hodierna

- 3-2 Celsius: Kongl. Wetenskaps Academiens Handlingar, 4
- 3-4 FSF Fotografering och fotokonst, foto Mats Engquist

- 4-1 Lyell: Philosophical Transactions, 125
- 4-3 Lyell: Philosophical Transactions, 125

- 5-2 Torell/Chydenius: Svenska expeditionen till Spetsbergen
- 5-4 Renqvist: Havsforskningsinstitutets skrift, 76
- 5-5 Wikimedia Commons, foto Arild Vågen, licens CC BY-SA 3.0
- 5-6 SMHI:s arkiv
- 5-8 Efter De Geer: Geologiska Föreningens Förhandlingar, 10
- 5-9 Höga Kusten, foto Linda Åkerberg
- 5-11 STF - Spår efter isen, foto Lars-Erik Åse
- 5-12 De Geer: Om Skandinaviens geografiska utveckling efter istiden

- 6-1 Nansen: The strandflat and isostasy
- 6-6 Lantmäteriet
- 6-7 Vestøl m fl: Journal of Geodesy, 93

- 8-1 Okänd
- 8-3 Lantmäteriet, foto Bengt Lindecrantz
- 8-5 Lantmäteriet, foto Lars Bygdemark
- 8-7 Sweco, foto Johan Dehlin
- 8-8 Peab

- 9-1 Nordiska museet, foto Gunnar Öhrn
- 9-3 Stockholms stadsmuseum

- A-1 Azote, foto Bengt Ekberg

Register

A

Adhémar, Joseph 39
Aggasiz, Louis 36, 39-40
Alperna 37
Amsterdam 93
Antarktis 90, 96-97

B

Bernhardi, Albrecht 36
Berzelius, Jacob 29, 33-34, 37
Birger Jarl 11-12
Blasieholmshamnen 83
Bohuslän 97
Bolin, Bert 96
Bomarsund 88
Bottenhavet 80, 82
Bottenviken 60-61, 66, 80, 84, 101
Bottniska viken 16, 18-19, 28
Brenner, Elias 16
Browallius, Johan 23
Brämön 78-79
Bälten 18

C

Celsius, Anders 18-20, 22-25, 28, 30-32
Celsiusstenen 23-24, 30-31, 78
Christina 14
Chydenius, Samuel 28
Croll, James 39, 70

D

Dalin, Olof 22

Darwin, George 49
De Geer, Gerard 47-49, 51-53

E

Eggegrund 82
Esmark, Jens 36

F

Ferner, Bengt 25
Finströms kyrka 80
Fjällkedjan (Skandinaviska fjällkedjan) 36, 38
Frisi, Paolo 25, 34
Furuögrund 60

G

Gamla stan 11-12
Gammelstad 14
Gissler, Nils 22
Golfströmmen 74
Gotland 22, 97
Grönland 37, 74, 90, 96-97
Grönskär 43-45, 60
Gustaf Vasa 13
Gustaf III 94
Gutenberg, Beno 92
Gästrikland 98
Gävle 19, 28, 30, 80, 82
Gävlebukten 23-24, 78, 80
Gävle hamn 85-86

H

Haskell, Norman 57
Havtorn (*Hippophaë rhamnoides*) 101-102
Helgeandsholmen 76
Hippophaë rhamnoides (Havtorn) 101-102

Hiärne, Urban 16-18, 25
Holmes, Arthur 58
Hällström, Carl Peter 28-29, 31, 33
Härnösand 22

I

Iggön 19, 21
Ingrid 10-11
Island 37

J

Jamieson, Thomas 34, 39-40, 48-49
Johan III 20

K

Kalmar 29
Kastelholms slott 13
Kattegatt 28, 30
Kelvin, Lord (William Thomson) 40, 49
Kungl. Slottet (Stockholms slott) 11-12, 83, 85
Kvarken 80

L

Lagerlöf, Petrus 18
Lappland 91, 98
Lidén, Ragnar 52
Linné, Carl von 22
Luleå 14, 83-84
Lyell, Charles 29-34, 37
Lövgrund 23-24, 28, 30, 78

M

Magnus Ladulås 12
Marstrand 30

McConnell, Robert 59
Milankovic, Milutin 70
Mälaren 10-12, 76-77, 93-94

N

Nansen, Fridtjof 54, 57
Nordenskiöld, Adolf Erik 45
Norrbotten 99
Norrström 11
Närke 98

O

Olaf Haraldsson (Olaf den helige) 11
Olof Skötkonung 11

P

Penck, Albrecht 49
Pihl, Carl Gustaf 43-44
Playfair, John 26
Polcirkeln 72-74

R

Ratan 28
Rik-Nils 19-20
Riksdagshuset 76-77, 89
Rosén, Per G 76
Rudman, Johan 19, 23
Rudmansstenen 23
Runby 10
Runeberg, Ephraim Otto 25-26

S

Sandgrönnorna 83-84
Sefström, Nils Gabriel 37

Sigtuna 11
 Skandinaviska fjällkedjan (Fjällkedjan) 36, 38
 Skeppsholmen 60, 93
 Skuleberget 47-48
 Skåne 29, 97
 Spetsbergen (Svalbard) 37-38, 97
 Stockholm 9-12, 29, 61, 76-77, 83, 85, 92, 94-95, 101
 Stockholms mareograf 60-61, 93-94
 Stockholms slott (Kungl. Slottet) 11-12, 83, 85
 Stockholms sluss 41-42, 45, 61, 90, 92-93
 Strömkajen 83, 85
 Sundsvall 78-79
 Svalbard (Spetsbergen) 37-38, 97
 Södermanland 98

T

Tarfala 91
 Thomson, William (Lord Kelvin) 40, 49
 Thórarinnsson, Sigurður 90
 Torell, Otto 37-38

U

Ulfsson, Jacob 13
 Umeå 28, 80
 Uppland 13, 98
 Upplands Väsby 10

V

Vasa 16, 80
 Vening Meinesz, Felix Andries 57-58
 Västantarktis 97
 Västerbotten 61, 99
 Västmanland 98

W

Wegener, Alfred 58

Witting, Rolf 51

Å

Åbo 101

Åland 8, 13, 46, 61, 79-80, 83, 88, 99, 101

Ångermanland 47-48, 57, 63

Ångermanälven 51-52

Ö

Öregrund 13-14, 29, 99

Öresund 18

Österbotten 26, 99

Östergötland 97

Östhammar 13, 17



Det här är en bok om ett särpräglad fenomen: landhöjningen i Norden på grund av istiden. Det är en bok om hur människorna vid våra kuster försökt hantera fenomenet och om hur forskarna försökt förstå det, om hur man brottats med problemet under 500 år.

Kustmänniskor och öbor i vår del av världen har i alla tider tvingats hantera praktiska följder av landhöjningen: Vad gör man med båthus, hamnar och farleder som håller på att bli obrukbara på grund av det flyende havsvattnet? Hur hanterar man en hamnstad när den blir allt svårare att nå med fartyg? Från 1700-talet blev detta mystiska fenomen även en fråga för vetenskapliga människor vid universitet och akademier, först i Sverige och sedan även internationellt: Vad är det som händer med landet och havet? Varför händer det? Hur går det till? Och vad kommer att ske i framtiden?

Boken spänner över vida fält: från jordens inre till ut i rymden, från fiske till riksdagshus, från istid till klimatuppvärmning. Och kunskaperna om landhöjningen visar sig värdefulla när man nu också behöver förstå den begynnande havshöjningen och relationen mellan land, hav och is på jorden.



Martin Stenman