

## Appendix A: Havshöjning

Den senaste rapporten från IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) från år 2007 beräknade att havshöjningen detta århundrade skulle bli mellan en tredjedels och en halv meter på grund av den globala uppvärmningen, men panelen uteslöt uttryckligen alla bidrag till havshöjningen från isrörelser och avsmältning hos Grönlands och Antarktisk landisar (isarnas upplösning) eftersom kunskapen om de väsentliga sambanden var för låg. Beklagligt nog är det just risken för isarnas upplösning som är allra viktigast.

Sedan IPCCs rapport kom 2007 har det framkommit åtskilliga studier som pekar på att om man inkluderar isrörelser och avsmältning höjs den beräknade havshöjningen detta århundrade till cirka en meter. Dessa studier drar också slutsatsen att havshöjningen efter år 2100 kommer att fortsätta i en ännu högre takt, men denna senare slutsats har diskuterats mycket lite, uppenbarligen på grund av antagandet att det är omöjligt att få politiker eller allmänhet att tänka längre fram än 88 år.<sup>1</sup>

En havshöjning på en meter skulle bara den ha enorma ekonomiska konsekvenser, men vi har anfört att upplösningen av landisar är en process som är allt annat än linjär, då den drivs på av förstärkande återkopplingar, och att den klimatstörning som *business-as-usual* väntas skapa detta århundrade är så stor att det är troligt att flera meters havshöjning inträffar före slutet av seklet. Vi har byggt vår uppfattning på bevis från jordens historia, som innehåller perioder då havet stigit flera meter per sekel på grund av klimatstörningar som var mycket mindre än den störning som människornas utsläpp av koldioxid skapar. Men vi förnekar inte att vår förutsägelse att havshöjningen kan bli flera meter detta århundrade, om utsläppen från fossila bränslen fortsätter att öka snabbt, bara tycks omfattas av en minoritet inom den vetenskapliga världen.

Vi har emellertid lagt märke till fenomenet ”vetenskaplig återhållsamhet” (Hansen, 2007, 2009), som kanske spelar en roll i diskussionen om havshöjningen. Vetenskaplig återhållsamhet syftar på den försiktiga rörelsen mot ett förändrat perspektiv när det gäller en given vetenskaplig fråga, och en motvilja att tala ut om en framväxande misstanke eller tendens [ss. 87-89 i Hansen (2009) och Hansen (2007)]. Försiktighet har sina fördelar och vetenskaplig återhållsamhet har troligen sitt ursprung i själva den vetenskapliga metoden: vetenskaplig framgång beror på kontinuerlig objektiv skepticism. Men vi kan få ångra vår återhållsamhet om den medför att vi låser fast oss vid en framtida upplösning av jordens landisar.

”Låser fast oss” är hot som beror på trögheten i klimatsystemet, särskilt istäckenas och oceanernas tröghet. Klimatets tröghet är både vår bästa vän och värsta fiende. Oceanerna är i genomsnitt fyra kilometer djupa och landisarna är tre kilometer tjocka. Det är oceanernas och landisarnas väldiga massor som gör att de bara svarar långsamt på den stadigt stigande klimatstörning som beror på människornas utsläpp av växthusgaser. Därför har klimatsystemet bara delvis svarat på de växthusgaser som redan finns i luften.

Denna klimattröghet är vår vän därför att den skulle tillåta oss att avvärja, eller åtminstone minimera, ytterligare klimatförändring genom att minska utsläppen till en nivå som tillåter att atmosfärens halt av växthusgaser växer långsammare, eller till och med minskar när jordens ekosystem absorberar en del av växthusgaserna. Men klimattrögheten är också vår fiende eftersom den kan leda till att ytterligare förändring byggs in, om vi pressar systemet förbi omslagpunkter, så att klimatsystemets egen dynamik tar över.

---

1) Det är konstigt, men mänskligheten blir allt mer närstyrt för varje år som går. År 2005 var till exempel folk villiga att beakta tidsramar upp till 95 år. Samma fenomen inträffade på 1900-talet när människor var ointresserade av sånt som skulle inträffa efter år 2000. Fantastiskt nog kom ändå ett nytt århundrade och nu är vi en bra bit in i det.

Den grundläggande frågan är om upplösningen av ett istäcke approximeras bäst med en linjär eller med en icke-linjär process, som kan karaktäriseras med en fördubblingstid för hastigheten hos massförlusten. Vi har argumenterat (Hansen, 2005, 2007, 2009) för att förstärkande återkopplingar (exempelvis att ett istäcke som börjar smälta blir mörkare, och därför absorberar mer solljus och smälter fortare) gynnar en icke-linjär process. Det finns också förminskande återkopplingar, som till exempel att när istäckets upplösning blir tillräckligt snabb kommer det ökande antalet isberg att kyla havet, men jordens klimathistoria säger oss att flera meters havshöjning kan inträffa innan denna förminskande återkoppling blir en effektiv broms.

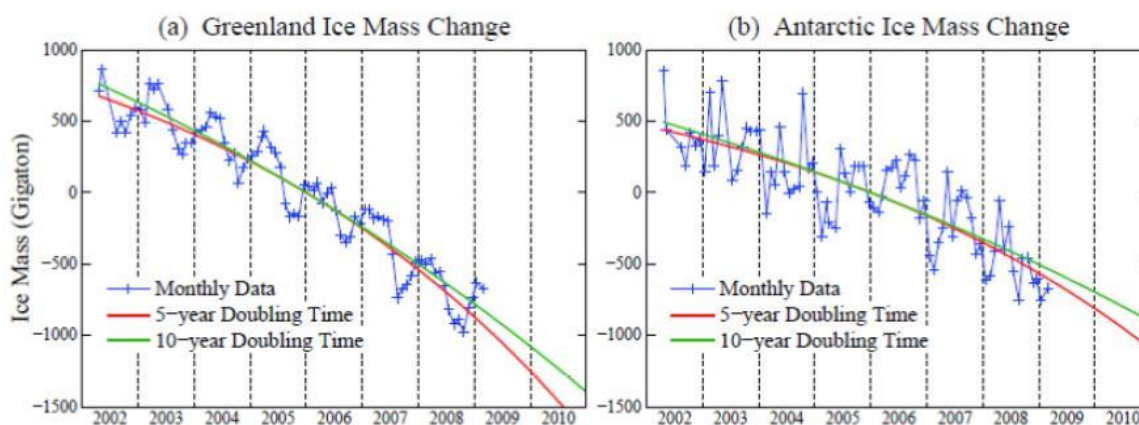


Fig. 4. Förändringar i landisarnas massa på Grönland och Antarktis härledda av Velicogna (2009) från satellitmätningar av gravitationsfälten, och bästa korrelation med grafer för 5-års och 10-års fördubblingstid.

De observerade massförlusterna hos istäckena på Grönland och Antarktis accelererar. Detta visar satellitmätningar (Fig. 4) av jordens förändrade gravitationsfält (Velicogna, 2009). Det finns osäkerhet när det gäller de faktiska massförlusternas hastighet, främst på grund av svårigheter att beräkna den isostatiska förändringen i jordskorpan när landisarnas massa förändras (Peltier, 2009), men nyligen gjorda utvärderingar visar att massförlusterna fortsätter att accelerera (Rignot et al., 2011). Fortsatta observationer av isarnas massor är troligen enda sättet att definitivt lägga fast att massförlusten inte är linjär. Tillgängliga data (Rignot et al., 2011) tyder på att hastigheten hos massförlusten ökar (positiv andraderivata), men för att styrka att förändringen är exponentiell, och kan beskrivas med en fördubblingstid, måste vi veta att tredjederivatan av massfunktionen (förändringstakten hos förändringstakten i den hastighet som massan minskar med!) är positiv, något som kräver en längre mätserie.

Den accelererande massförlusten hos landisarna på Grönland och Antarktis väcker en fråga: varför har havshöjningens hastighet varit nästan konstant under perioden 1993-2012? Vi har föreslagit (Hansen et al., 2011) att under de senaste 20 åren har de två största faktorerna som orsakar förändring av havshöjningstakten varit istäckenas massförlust och värmeutvidgningen i havet och att dessa två processer har tenderat att motverka varandra.

Under den senare delen av perioden 1993-2002 kan de största individuella bidragen till havshöjningen bestämmas från noggranna mätningar av jordens gravitationsfält som startade 2002, och från mätningar av oceanernas värmeinhåll med Argo-bojar, som fick tillräcklig global täckning (med cirka 3000 bojar) år 2005. Satelliten som mäter gravitationen möjliggör bedömning av förändringar i massan inte bara i istäckena på Grönland och Antarktis, utan också i stora bergsglaciärer och iskalotter. Argo-bojarna

mäter förändringar i oceanernas vertikala profil och alltså värmeutvidgningen av vattnet i havet.

Dessa datakällor visar att havshöjningen sedan mitten av förra decenniet beror främst på tre processer (Fig. 14 i Hansen et al., 2011), där var och en bidrar med cirka 1 mm/år till den observerade höjningen på 3 mm/år: 1) massförluster i istäckena på Grönland och Antarktis 2) massförluster i bergsglaciärer och små iskalotter 3) vattnets värmeutvidgning i oceanerna.

Massförluster från istäcken var troligen nära noll (massbalans) vid början av perioden 1993-2012 (Zwally och Giovinetto, 2011; Zwally et al., 2011), men ökade till storleksordningen 1 mm/år och bidrog till havshöjningen på slutet (1 mm havshöjning är 360 kubikkilometer vatten eller 360 miljarder ton vatten). Massförluster i glaciärer och små iskalotter var relativt konstanta under 20-årsperioden (Meier et al., 2007). Värmeutvidgningen i oceanerna bör ha varit störst i början av perioden 1993-2012 på grund av Pinatubos vulkanutbrott 1991 och den därpå följande nedkylningen av oceanen 1991-1993 (Hansen et al. 2011).

Större kunskap om havshöjningen kräver fortsatta precisa mätningar, dels av jordens gravitationsfält och dels av oceanernas värmeinhåll med hjälp av Argo-bojar. Om vår förväntan att massförlusten från istäckena kan komma att dubbleras under nästa decennium visar sig vara riktig är det troligt att havshöjningen ökar till 4 mm/år inom ett årtionde ungefär och sedan fortsätter att accelerera.

Tyvärr är det så, att om vi ”väntar och ser” hur havshöjningen utvecklar sig kan vi komma att säkerställa att ännu mycket större förändringar inträffar i framtiden. Som väl är har vi andra mycket bra skäl att börja minska utsläppen av växthusgaser nu och förflytta oss mot en framtid med ren energi.

Referenser: se originalet

Snabböversättning: Lars Almström

Källa: [http://www.columbia.edu/~jeh1/2012/20120917\\_GroverNorquist.pdf](http://www.columbia.edu/~jeh1/2012/20120917_GroverNorquist.pdf)