

The cause of the current sea level rise

Larry Cathles (Cornell University, USA) and Willy Fjeldskaar (Tectonor , Stavanger)

Introduction :

Sea level rises by 1.7 mm / year globally. A recently completed research project suggests that this rise is due to thermal expansion of ocean waters caused by temperature rise after the Little Ice Age .

It is not easy to find observations that can tell what the global sea level changes (relative to the Earth's center) has been. Sea level changes have led to changes in gravity and motion of the solid earth (so-called isostatic movements) and for this reason sea level change is not globally uniform . The sea level observations on islands far away from areas that were glaciated (e.g. Tahiti) observed , however, provide an approximate picture of the global average. An island will follow the seabed in isostatic movements, and gravitational effects of melting ice is minimal.

In Tahiti it is observed 120 meters sea level rise over the past 20 000 years , but insignificant rise in sea level in the past 5000 years (see Figure <http://www.geoforskning.no/nyheter/grunnforskning/521-hvorfor-stiger-havnivaet-na>) . Over the past 150 years tide gauge measurements over the world shows that there has been an average rise in global sea level of approx. 1.7 mm / year, and if Tahiti had a tide gauge it would indicate sea level rising at this rate also. If such sea level rise had taken place over the last 5000 years, sea levels would have risen by over 8 meters , and this is not supported by observations . Sea level rise has apparently accelerated dramatically in just the last century.

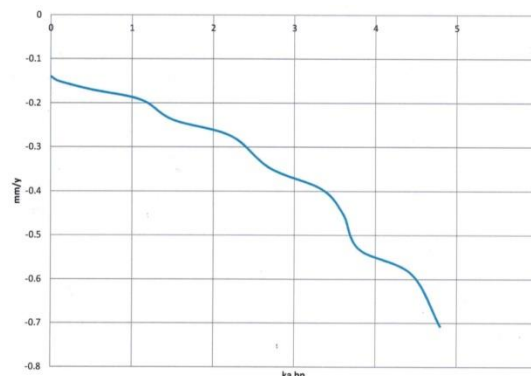


Figure 1 Calculated subsidence of the ocean basins (GIA) in the last 5000 years.

The cause of sea level change over the last 150 years must be some combination of changes in meltwater additions to sea water mass and thermal expansion of ocean waters due to temperature increase . IPCC (IPCC) said in 1990 that recent sea level rise is mainly due to thermal expansion of ocean waters caused by temperature increases at the end of the Little Ice Age(1850) .

The increased melt water can in principle be ' measured ' by the GRACE satellite. A study of GRACE measurements over the period 2003-2008 shows that there is no change in gravity over the oceans (Cazenave et al . , 2009). Because of no observed gravity change, it must imply that the gravitational effect of increased melt water in the oceans and the gravitational effect of isostasy (GIA) is equal and have opposite sign. If one therefore knows (or can find out) how much the seabed drops because of added melt water from the last ice age, then we have an estimate of the amount of melt water that is added in the oceans now.

Glacial isostasi (GIA)

We have previously (<http://www.geoforskning.no/nyheter/grunnforskning/480-astenosfaeren-og-landhevningen> , <http://www.geoforskning.no/nyheter/grunnforskning/469-landhevningen-og-litosfaerens-tykkelse>) pointed out that the GIA model that gives the best accordance with the observed uplift has a low-viscous asthenosphere , a thin lithosphere and a uniform mantle. A GIA model with increasing viscosity from the upper to the lower mantle results in poor match with the observations. But it is precisely such a GIA model (so-called Peltier model) that is generally used to correct GRACE measurements. The correction that is used with the Peltier model is nearly 2 mm / year, suggesting all the observed 20th century sea level rise can be attributed to the melting of land-based glaciers.

We have now made new estimates of global isostatic subsidence of the ocean basins caused by ice melting after the last ice age. The result is shown in Figure 1; the ocean floor is now subsiding by 0.14 mm / year – which is insignificant. Given that the isostatic subsidence is approximately zero, it means that there are presently not added significant amounts of melt water in the oceans.

Thermal expansion

The question is then whether the current sea level rise can be explained solely by thermal expansion of ocean waters . To calculate possible thermal expansion of ocean waters, we use a two -layer model of the ocean. In the model, the top layer is 200 meters, and the bottom goes down to 4 km deep. The model is described in Cathles (2012) and Solomon et al. (2011). We drive changes in the ocean model using a climate forcing inferred from three suggested recent temperature histories (by Moberg et al . (2005) , Esper et al . (2002) , and Mann (2002)). The method used is the perturbation approach which has become standard in predicting of climate change and is described, for example, in IPCC(2011).

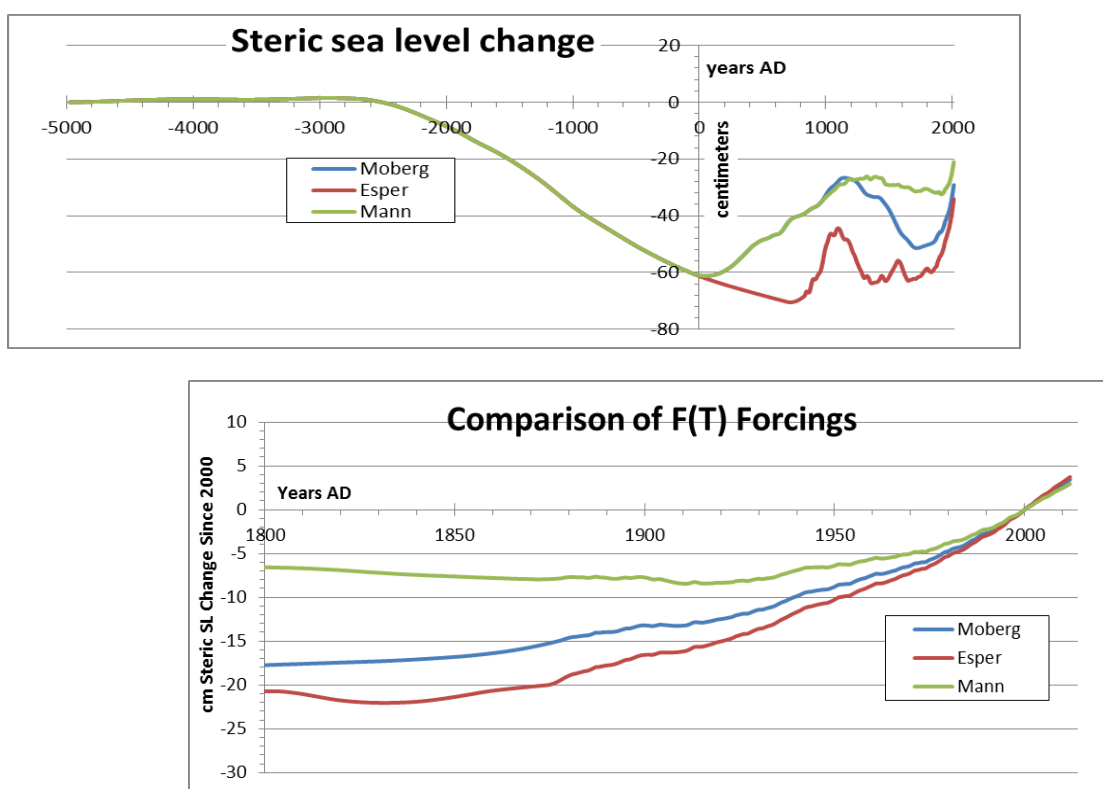


Figure 2 Calculated thermal expansion of ocean waters in the past 5000 years (top) and for the last 200 years (bottom).

The resulting thermal expansion is shown in Figure 2. Here is shown thermal expansion both over the last 5000 years, and for the last 200 years. We see that the thermal expansion is estimated at 15-20 cm over the 20th century, which is very close to that observed. The thermal expansion that counts is almost entirely in the deep ocean.

Conclusion

Addition of new melt water in the oceans can, in principle, be measured by the GRACE satellite. But satellite measurements show no change in gravity and addition of melt water can therefore be estimated from isostatic response (GIA) of the sea floor after the last ice age. For what we consider to be the best rheological model of the earth there is presently no significant isostatic of the ocean floor, which means that melt water additions to the oceans cannot explain the 1.7 mm/yr rise in sea level that has been observed over the last 150 years.

The current sea level rise must therefore be due to thermal expansion of ocean water. Calculations with a two-layer model of the oceans shows that the temperature increase at the end of the Little Ice Age can provide a thermal expansion of the oceans equivalent to a sea level rise of 1.5-2 mm / year, roughly what is observed in the last 150 years of tide gauge measurements.

This conclusion will have significance for predictions of future sea level changes.

References

Cathles, L.M., 2012. Assessing the greenhouse impact of natural gas. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, doi:10.1029/2012GC004032, accepted for publication May 14, 2012.

Cazenave, A., K. Dominh, S. Guinehut, E. Berthier, W. Llovel, G. Ramillien, M. Ablain, and G. Larnicol, 2009. Sea level budget over 2003–2008: A reevaluation from GRACE space gravimetry, satellite altimetry and Argo. *Global Planet. Change*, 65, 83–88.

Solomon, S., R. Pierrehumbert, D. Matthews, and J. S. Daniel. 2011. Atmospheric composition irreversible climate change and mitigation policy, paper presented at Climate Research in Service to Society, World Clim. Res. Prog., Denver, Colo. [Available at <http://conference2011.wcrp-climate.org/positionpapers.html>]

Nyheter - Grunnforskning

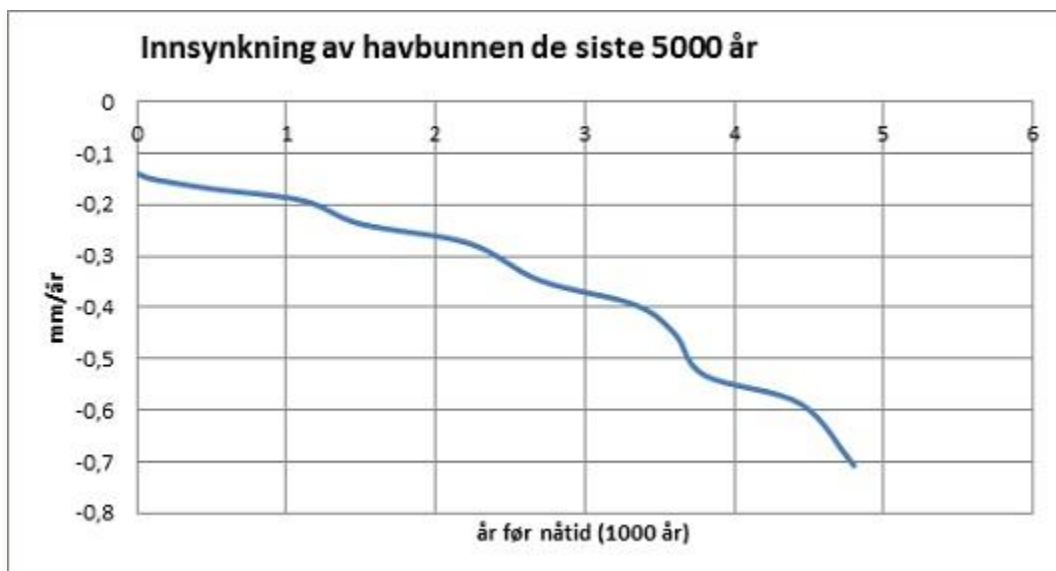
Årsaken til dagens havnivåstigning



10. april 2014

av Larry Cathles (Cornell University, USA) og Willy Fjeldskaar (Tectoror)

Havnivået stiger med 1.7 mm/år globalt sett. Et nylig avsluttet forskningsprosjekt viser at denne stigningen skyldes termisk ekspansjon av havvannet forårsaket av temperaturøkning etter Den lille istid.



Figur 1.

Beregnet innsynkning av havbassengene (GIA) de siste 5 000 år.

Det er ikke lett å finne observasjoner som kan fortelle hvor store globale havnivåendringer (i forhold til jordas sentrum) det har vært på jorda. Det finnes nemlig ingen havnivåendringer som er globalt uniforme. Dette skyldes at havnivåendringer både har medført endringer i gravitasjon og bevegelser av den faste jord (såkalte isostatiske bevegelser).

På øyer langt til havs, for eksempel Tahiti, observeres imidlertid havnivåendringer som kan gi et omtrentlig bilde av det globale gjennomsnittet. En øy vil nemlig følge med havbunnen i isostatiske bevegelser, og gravitasjonseffektene fra smeltende is er minimale.

På Tahiti er det observert 120 meter havnivåstigning de siste 20 000 år, men ubetydelig havnivåstigning de siste 5 000 år.

LES OGSÅ: Hvorfor stiger havnivået nå?

De siste 150 år viser tidevannsmålinger verden over at det har vært en gjennomsnittlig stigning i globalt havnivå på ca. 1,7 mm/år. Hvis denne havnivåstigningen hadde foregått over de siste 5 000 år, ville havnivået steget med over åtte meter; noe som ikke støttes av observasjonene.

Havnivået har altså plutselig begynt å stige de siste 150 år.

Årsaken til havnivåendringen de siste 150 år må være en kombinasjon av økt tilførsel av smeltevann og termisk ekspansjon av havvannet på grunn av temperaturøkning. IPCC (FNs klimapanel) mente i 1990 at pågående havnivåstigning skyldes hovedsaklig termisk ekspansjon av havvannet og hadde sammenheng med observert temperaturøkning etter at Den lille istid tok slutt (rundt 1850).

Tilførsel av økt smeltevann kan i prinsippet 'måles' med GRACE-satellitten. En studie av GRACE-målingene over perioden 2003-2008 viser at det ikke er endring i gravitasjon over havene (Cazenave et al., 2009). I og med at det ikke er observert gravitasjonsendring, må det bety at gravitasjonseffekten av økt smeltevann i havene og gravitasjonseffekten av isostasien (GIA) er like store og har motsatt fortegn.

Hvis en altså vet (eller kan finne ut) hvor mye havbunnen synker inn på grunn av smeltevannet fra siste istid, så har en samtidig et estimat av mengde smeltevann som kommer ut i havene nå.

Glacial isostasi (GIA)

Vi har tidligere påpekt at GIA-modellen som gir best overensstemmelse med observert landhevning har lav-viskøs astenosfære, tynn litosfære og uniform mantel.

LES OGSÅ: Astenosfæren og landhevningen

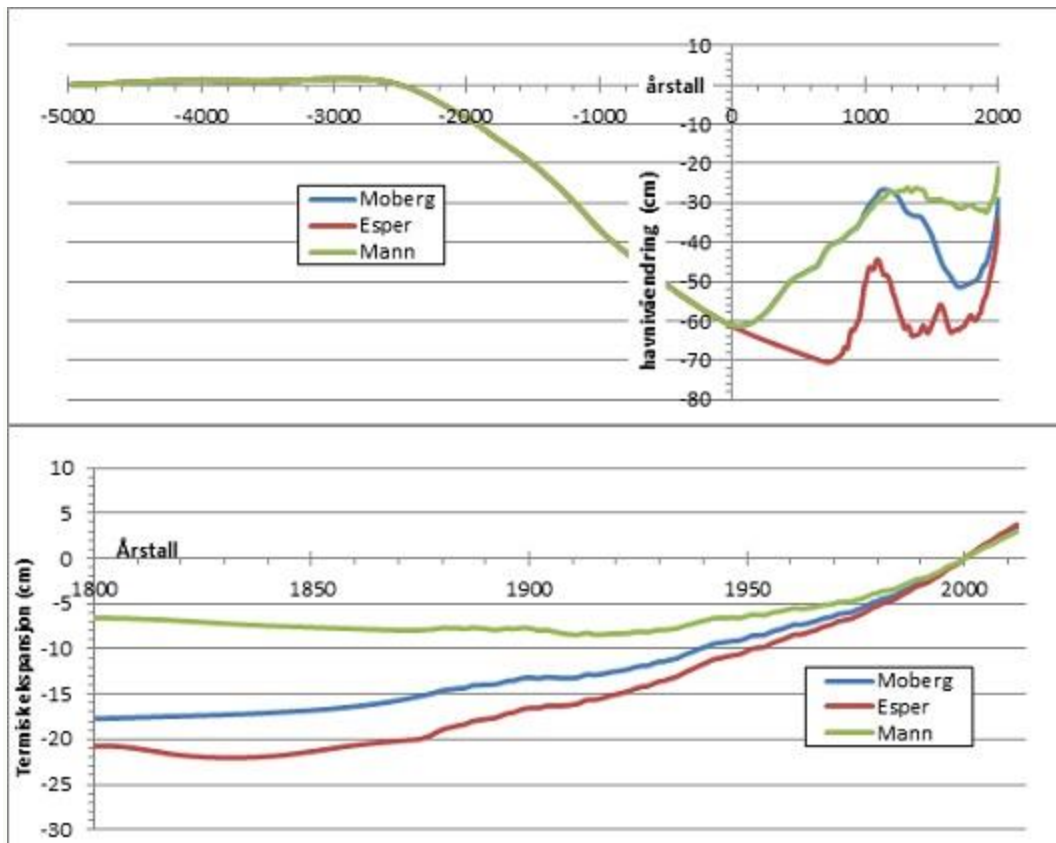
LES OGSÅ: Landhevningen og litosfærens tykkelse

En GIA-modell med økning av viskositeten fra øvre til nedre mantel gir dårlig overensstemmelse med observasjonene. Men det er nettopp en slik GIA-modell de fleste benytter til å korrigere GRACE-målingene med (såkalt Peltier-modell). Korreksjonen som blir benyttet med Peltier-modellen er nesten 2 mm/år. Dette betyr at havnivåendringen de siste 150 år kan tilskrives tilførsel av smeltevann i havene.

Vi har nå gjort nye beregninger av global isostatisk innsynkning (med vår foretrukne GIA-modell) av havbassengene forårsaket av is-smeltingen etter siste istid.

Resultatet vises i figur 1 (øverst); det foregår nå en innsynkning på 0,14 mm/år – altså nesten ingen innsynkning av havbassengene. I og med at den isostatisk innsynkningen er omtrent null, betyr det at det ikke blir tilført signifikante mengder smeltevann i havene.

Termisk ekspansjon



Figur 2.

Beregnet termisk ekspansjon av havvannet de siste 5 000 år (øverst) og for de siste 200 år (nederst).

Spørsmålet er da om dagens havnivåstigning kan forklares utelukkende ved termisk ekspansjon av havvannet. Vi har gjort modellering av mulig termisk ekspansjon av havvannet basert på en to-lags modell av havet. I modellen er det øverste laget 200 meter, og det nederste går ned til 4 kilometers dyp. Modellen som er brukt, er beskrevet i Cathles (2012) og i Solomon et al. (2011).

Nesten all energi som påvirker været på jorda kommer i form av stråling fra sola. Balansen mellom inngående solstråling og utgående varmestråling fra jorda bestemmer temperaturen på jorda. Dette kalles strålingspådrag.

Vi har beregnet endring i havmodellen ved bruk av strålingspådrag estimert fra tre ulike publiserte temperaturhistorier (Moberg et al., 2005; Esper et al., 2002; Mann, 2002). Metoden som vi har brukt er blitt standard i prediksjon av klimaendringer, og er for eksempel beskrevet i IPCC (2011).

Resulterende termisk ekspansjon er vist i figur 2 (over). Her ser vi både termisk ekspansjon de siste 5 000 år, og for de siste 200 år. Vi ser at den termiske ekspansjon er beregnet til 15-20 cm over det 20. århundre, noe som er svært nær det som er observert. Den termiske ekspansjonen kommer nesten utelukkende fra dyphavet.

Dagens havnivåstigning skyldes termisk ekspansjon

Tilført smeltevann i havene kan i prinsippet måles ved Gracesatelliten. Men satellitt-målingene viser ingen endring i gravitasjonen, og tilført smeltevann kan estimeres ut fra isostatisk respons av havområdene etter siste istid. Basert på den, etter vårt syn, beste reologiske modell av jorda, er det

ingen signifikant isostatisk respons nå. Dette betyr at tilførselen av smeltevann i havene heller ikke er signifikant.

Dagens havnivåstigning må altså skyldes termisk ekspansjon av havvannet. Beregninger med en tolags-modell av havene viser at temperaturøkningen etter Den lille istid kan gi en termisk ekspansjon av havene tilsvarende en havnivåstigning på 1,5-2 mm/år, omtrent det som er observert de siste 150 år fra tidevannsmålinger.

Det blir ofte hevdet at havnivået stiger stadig raskere. Vår studie viser at dette ikke stemmer – dagens havnivåstigning har sammenheng med temperaturstigningen etter Den lille istid.

Denne konklusjonen vil ha betydning for prediksjon av fremtidens havnivåendringer. Dette kommer vi tilbake til i en senere artikkel.

Referanser

Cathles, L.M., 2012. Assessing the greenhouse impact of natural gas. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, doi:10.1029/2012GC004032, accepted for publication May 14, 2012.

Cazenave, A., K. Dominh, S. Guinehut, E. Berthier, W. Llovel, G. Ramillien, M. Ablain, and G. Larnicol, 2009. Sea level budget over 2003–2008: A reevaluation from GRACE space gravimetry, satellite altimetry and Argo. *Global Planet. Change*, 65, 83–88.

Esper J., Cook, E.R., and Schweingruber, F.H. 2002. Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability, *Science*, Vol 295, p2250-2253.

Mann, M.E. 2002. The value of multiple proxies, *Science*, Vol 297, p 481-482.

Moberg, A., D. M. Sonechkin, K. Holmgren, N. M. Datsenko, and W. Karlen. 2005. Highly Variable Northern Hemisphere temperature reconstructed from low- and high-resolution proxy data, *Nature*, Vol. 433, pp 613-617.

Solomon, S., R. Pierrehumbert, D. Matthews, and J. S. Daniel. 2011. Atmospheric composition irreversible climate change and mitigation policy, paper presented at Climate Research in Service to Society, World Clim. Res. Prog., Denver, Colo. [Available at <http://conference2011.wcrp-climate.org/positionpapers.html>]