

# Havstigning i Nord-Norge

Helge Drange

*Skulle én størrelse beskrive jordens klima, måtte det være globalt havnivå. Havnivået gjenspeiler både kort- og langtidsendringer i atmosfærens, kryosfærens, landjordens og havets klima. Med satellittbaserte målinger og forbedret temperatur- og saltmålinger i havet, er det i dag mulig å tallfeste bidragene til observert havstigning. Det siste tiåret har smelting av breer og iskappene på Grønland og i Antarktis akselrert.*

Det globale havnivået har steget med om lag 120 meter siden siste istid for ca. 20.000 år siden, i hovedsak grunnet smelting av istidens store iskapper. På tross av denne store stigningen av globalt havnivå har det meste av norskekysten opplevd en senkning av havnivået. Dette skyldes at det i Norge og resten av Skandinavia har funnet sted en kraftig landheving som følge av at innlandsisen smeltet bort og vekten av den forsvant. Derfor må endringer i jordskorpen inkluderes for å kunne si noe om hvordan havnivået endrer seg i forhold til land. Havnivået, observert fra land, kalles relativt havnivå. Det er denne størrelsen vi tenker på og som det planlegges ut fra når det gjelder endring i havnivå.

I tillegg til faktorene over varierer havnivået med havets saltholdighet. Høy saltholdighet fører til at havnivået synker, mens lav saltholdighet fører til stigende havnivå. Midlet over verdenshavene er endringer i havtemperaturen rundt dobbelt så viktig for havnivået

som variasjoner i havets saltholdighet. I polare farvann kan derimot variasjoner i havets saltholdighet være like viktig for havnivået som variasjoner i temperatur. Også den storstilte havsirkulasjonen påvirker havnivået; grunnet jordens rotasjon presser nordgående havstrømmer seg mot høyre på den nordlige halvkule. Skulle den nordgående Atlanterhavsstrømmen svekkes, ville dette i så fall bidra til fallende havnivå langs kysten av Nord-Europa.

En viktig faktor for så vel globalt som lokalt havnivå er knyttet til endringer i jordens gravitasjonsfelt som følge av forflytting av masse på jorden, for eksempel som følge av smelting av breer og iskapper og endring i mengden vann som til enhver tid er lagret på land. Kort og noe forenklet forklart vil smelting av Grønlandsisen i hovedsak føre til økning av havnivået i tropene og på den sørlige halvkule, mens smelting av iskappen i Antarktis vil i hovedsak føre til økning av havnivået i tropene og på den nordlige halvkule. Denne ikke-intuitive

fjerneffekten ble postulert allerede på slutten av 1800-tallet, men det er først med satellittmålinger av jordens gravitasjonsfelt fra det siste tiåret at det er mulig å realistisk tallfeste den totale effekten på globalt og regionalt havnivå.

Bruker vi Grønlandsisen som utgangspunkt, kan gravitasjonsmekanismen forklares slik: Grunnet den store ismassen på Grønland virker det et tiltrekkende gravitasjonsfelt rundt iskappen. Derfor står havet noe høyere rundt Grønland enn hva som ellers ville vært tilfellet. Når så Grønland smelter, tilføres det vann til havet og havet stiger. Samtidig svekkes gravitasjonsfeltet rundt Grønland. Dermed faller havnivået i nærheten av iskappen. Nettoeffekten er at mesteparten av havstigningen fra Grønland ender opp i tropene og på den sørlige halvkule. Denne faktoren, sammen med at landet løftes når iskappens tyngde reduseres, kan føre til at relativt havnivå rundt Grønland vil falle når iskappen smelter.

## Observervert havstigning

Satellittmålinger av globalt havnivå siden 1992 viser en global stigning på vel tre mm i året. Havstigningen er ikke jevnt fordelt i verdenshavene, den varierer med regionale variasjoner i havets temperatur, saltinnhold, sirkulasjon og gravitasjonsfelt. Langs norskekysten har det vært en gjennomsnittlig havstigning på ca. 1,4 mm i året for perioden 1891–1990. Lenger nord, i Arktis, har det blitt målt en gjennomsnittlig havstigning på 1,7 mm i året for perioden 1962–1998.

Gravitasjonsmålinger fra satellitt og utsetting av over tre tusen målebøyer i havet har gjort det mulig å tallfeste de ulike bidragene til havstigningen. For perioden 2003–2007 fordeler de viktigste bidragene seg slik at termisk ekspansjon utgjør rundt 10 %, breer rundt 55 % og iskappene på Grønland og i Antarktis til sammen rundt 30 %. Det er to viktige kommentarer til denne fordelingen: At bidraget fra termisk ekspansjon har vært relativt liten på 2000-tallet i forhold til 1990-tallet, og at bidraget fra breer og de to iskappene øker raskt. Dersom termisk ekspansjon øker som forventet grunnet global oppvarming og dersom den akselererende smeltingen av breer og de to iskappene fortsetter som for det

**Smeltevannselv fra Bråsvellbreen, en brearm av isbreen Austfonna sørvest på Nordaustlandet, Svalbard. Smeltende isbreer og iskapper på land bidrar til økende havnivå.**



siste tiåret, vil stigningen av globalt havnivå akselerere i tiårene som kommer.

## Fremskrivning av havnivå i Nord-Norge

Framskrivning av mulig havstigning i Nord-Norge i løpet av dette århundre kan estimeres slik (avrundet til nærmeste 5 cm):

(1) Endring i havtemperatur, saltholdighet og sirkulasjon forventes å gi en global havstigning mellom 10 til 45 cm i løpet av 100 år, med en antatt usikkerhet på  $\pm 10$  cm (Solomon m.fl. 2007; Yin m.fl. 2010). Intervallet mellom 10 til 45 cm dekker spenner fra sterkt reduserte til «business-as-usual» utslipp av menneskeskapte klimagasser i dette århundre.

(2) Det forventes et dynamisk tilleggsbidrag til havstigningen langs kysten av Nordvest-Europa på rundt 10 cm (Yin m.fl. 2010). For Nordsjøen og Norskekysten kommer dette bidraget i tillegg til verdien i (1).

(3) Fra tabell 1 kan det antas at total global havstigning i løpet av 100 år vil være avgrenset av 50 og 110 cm (havstigning på mer enn 110 cm kan ikke ekskluderes dersom den akselererende smeltingen av iskappene fortsetter, men øvre skranke settes til 110 cm i det følgende). Ved å trekke fra

## Framtidig havnivå

I siste hovedrapport fra FNs klimapanel oppgis det en forventet global havstigning på mellom 18 og 59 cm for

beregnet havstigning forårsaket av endringer i havtemperatur, saltholdighet og sirkulasjon fra (1) gir dette et samlet bidrag til globalt havnivå fra breer, iskapper og vann lagret på land på mellom 40 og 65 cm i løpet av 100 år.

(4) Endring i jordens gravitasjonsfelt og rotasjon medfører at anslagsvis 35–40 prosent av bidraget fra (3) kan forventes å påvirke framtidig havstigning langs kysten av Nord-Norge (Riva m.fl. 2010). Dette gir et bidrag fra smeltende landis til havstigningen i Nord-Norge på mellom 10–30 cm i løpet av 100 år.

(5) Landheving i Nord-Norge i løpet av 100 år er estimert til mellom 25 og 35 cm for Finnmark, Troms og Nordland med en usikkerhet på  $\pm 5$  cm (Vestøl 2006).

(6) Framskrivning av relativ havstigning for de tre nordligste fylkene i Norge i løpet av 100 år er da gitt ved summen av (1), (2) og (3), minus effekten av landheving fra (4) og (5). Dette gir en estimert havstigning på mellom 10 til 60 cm for Finnmark (Kirkenes), 10 til 50 cm for Troms (Tromsø) og 0 til 50 cm for Nordland (Nodø) i løpet av 100 år. Som nevnt i (3) kan høyere havstigning ikke utelukkes, selv om dette ikke vurderes som særlig sannsynlig.

perioden 2090–2099 relativt til 1980–1999. Det blir imidlertid presisert av IPCC at deres estimat ikke tar høyde for flere effekter som kan gi høyere havstigning, som for eksempel endringer i isstrømmer på Grønland og Antarktis, i tillegg til at den fulle usikkerheten i temperaturfremskrivningene ikke ble brukt i beregningen av havnivå.

Siden klimapanelets hovedrapport i 2007 har det blitt publisert flere arbeider med estimert havstigning i løpet av 100 år, se tabell 1 for en oversikt. Som det framkommer av tabellen, kan det forventes en global havstigning på mellom en halv og én meter i løpet av dette århundre. Videre vurderes det som lite sannsynlig at global havstigning kan bli mindre enn en halv meter. En havstigning på mer enn én meter kan ikke utelukkes; dette avhenger helt og fullt av hvor raskt iskappene på Grønland og i Antarktis smelter. Det er per i dag umulig å konkludere om dette ut over at smeltebidraget fra de to iskappene har akselerert det siste tiåret.

Inntil nå har ingen klimamodell blitt kjørt med alle kjente bidrag til globalt eller regionalt havnivå. Men mulig, framtidig havstigning kan estimeres ved å kombinere klimamodeller (som gir framskrivninger av havnivå knyttet til endring i verdenshavens temperatur, saltholdighet og sirkulasjon), bidrag fra smelting av breer og iskapper og vann lagret på land, og effekten av lokal landheving.

På grunn av akkumulering av havvann på grunne havområder som Nordsjøen,

langs Norskekysten og i Barentshavet (punkt (2) i faktaboksen), er det mulig at gravitasjonseffekten brukt i (4) er for stor og at havstigningen i Nord-Norge er noe underestimert. Siden gravitasjonseffekten ennå ikke er en integrert del av klimamodellene, er det for tidlig å konkludere om dette.

Spennet på rundt 50 cm i estimatene i faktaboksen skyldes i hovedsak usikkerhet om størrelsen av framtidige klimagassutslipp (det vil si termisk ekspansjon), hvor raskt landisen vil smelte og hvordan dette vil påvirke kysten av Nord-Norge. Basert på gjeldende kunnskap vurderes det som mer sannsynlig at framtidig havnivå vil ligge i øvre enn nedre halvdel av de oppgitte intervallene. Legger vi til grunn at globalt havnivå vil øke med minst 50 cm i løpet av 100 år, medfører dette en minste, sannsynlig havstigning i Finnmark, Troms og Nordland på henholdsvis rundt 45, 40 og 35 cm.

Den mest komplette analysen av framtidig havnivå til dags dato er gjort av Slangen m.fl. i 2011. Her er det benyttet 12 globale klimamodeller (inkludert Bergen klimamodell) og alle effektene over er inkludert i studien. Framskrivningen i Slangen m.fl. gir en havstigning på mellom 50 og 80 cm langs norskekysten for perioden 2090–2099 i forhold til 1980–1999 med en estimert usikkerhet på  $\pm 10/15$  cm.

**Flere boligkomplekser er bygget slik at fremtidens havnivå ved stormflo vil kunne medføre problemer. Her fra Tomasjordnes i Tromsø.**

Disse verdiene er i tråd med, eller noe over, de øvre verdiene gitt i faktaboksen. Grunnet lav horisontal oppløselighet og systematiske problemer med de modellerte temperatur- og saltverdiene i Barentshavet, bør resultatene i Slangen m.fl. mer sees på som en rettesnor enn fasit for framtidig havstigning i Nord-Norge.

Flere og mer nøyaktige observasjoner og raskt økende teoretisk kunnskap om pågående og mulig framtidig havstigning fører til at framskrivninger av globalt og lokalt havnivå bør oppdateres med jevne mellomrom. Det kan her nevnes at global og regional havstigning kommer som eget kapittel i neste hovedrapport fra FNs klimapanel i 2013. Usikkerhetene i 2013-rapporten vil bli diskutert og – så langt som mulig –

tallfestet. Verdiene fra 2013-rapporten vil derfor være et godt utgangspunkt for lokal tilpassing til framtidig havnivåstigning.



## Litteratur:

Cazenave, A. & Llovel, W. 2010: Contemporary sea level rise. *Annual Review of Marine Science* 2: 145–173.

Nicholls, R.J. m.fl. 2011: Sea-level rise and its possible impacts given a 'beyond 4°C world' in the twenty-first century, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, doi: 10.1098/rsta.2010.0291.

Riva, R.E.M., Bamber, J.L., Lavallée, D.A. & Wouters, B. 2010: Sea-level fingerprint of continental water and ice mass change from GRACE: *Geophysical Research Letter* 37 (19): L19605.

Slangen, A.B.A. m.fl. 2011: Towards regional projections of twenty-first century sea-level change based on IPCC SRES scenarios, *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-011-1057-6.

Solomon, S. m.fl. 2007: Technical Summary. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge - New York.

Vestøl, O. 2006: Determination of postglacial land uplift in Fennoscandia from levelling, tide-gauges and continuous GPS stations using least squares collocation. *Journal of Geodesy* 80: 248–258.

Yin, J. m.fl. 2010: Spatial variability of sea level rise in twenty-first century projections. *Journal of Climate*, doi: 10.1175/2010JCLI3533.1

## Forfatteren:



**Helge Drange**, professor ved Geofysisk institutt ved Universitetet i Bergen og forsker ved Uni-Bjerknessenteret for klimaforskning, Bergen. Leder av de

nasjonalt koordinerte klimaforskningsprosjektene NorClim (2007–2010) og EarthClim (2011–2013). Bidragsyter til fjerde hovedrapport fra FNs klimapanel. Forsker i hovedsak på naturlig forekommende klimavariasjoner og menneskeskapt klimændring ved hjelp av analyse av observasjoner, teori og regionale og globale klimamodeller. E-post: helge.drange@gfi.uib.no

**Tabell 1: Estimert framtidig havstigning i analyser publisert etter FNs klimarapport i 2007, basert på Nicholls m.fl. (2010).**

Estimert havstigning (cm per 100 år)	Område	Metode	Kilde
40–140	Globalt	Empirisk projeksjon	Rahmstorf (2007)
80–240	Globalt	Fortidsklima rekonstruksjon	Rohling m.fl. (2008)
80–200	Globalt	Vurdering av øvre, fysisk mulige økning	Pfeffer m.fl. (2008)
50	Globalt	Vurdering av nedre skranke	Bahr m.fl. (2009)
55–110	Globalt	Litteraturgjennomgang	Vellinga m.fl. (2008)
56–92	Globalt	Fortidsklima rekonstruksjon	Kopp m.fl. (2008)
75–190	Globalt	Empirisk projeksjon	Vermeer & Rahmstorf (2009)
72–160	Globalt	Empirisk projeksjon	Grinsted m.fl. (2009)
30–80	Østlig Atlanterhav	Global klimamodell, inkludert gravitasjonseffekt	Katzmann m.fl. (2008)
40	København	Global klimamodell, inkluderer kun endring i havtemperatur, saltholdighet og sirkulasjon for RSRES A1B scenario	Yin m.fl. (2010)
50–80	Norskekysten	Globale klimamodeller, inkludert gravitasjonseffekt	Slangen m.fl. (2011)