



*(Foto: NASA/Jeremy Harbeck)*

# Truende varsler om stigende hav

Nyere forskning tyder på at havet kan stige betydelig mer enn det som FNs klimapanel hittil har anslått. Hvor raskt og hvor mye påvirkes av ismeltingen ved polene.

# Klimavarsko til beslutningstakere

## FORORD

*Av Lars Henrik Paarup Michelsen  
Daglig leder, Norsk klimastiftelse*

Havstigning er en av de mest alvorlige konsekvensene av global oppvarming. Men det er vanskelig å begripe graden av alvor i noe som tilsynelatende ikke vil være noe stort problem i vår levetid.

FNs klimapanel har presentert ganske forsiktige tall; noen millimeters stigning hvert år, noen titalls centimeter frem til slutten av hundreåret. For de fleste i vår del av verden virker slikt relativt håndterbart. I NOU 2010:10 «Tilpassing til eit klima i endring» skisseres konsekvenser i Norge som jorderosjon i kystsonene, fare for oversvømmelse av undersjøiske tunneler og lavtliggende flyplasser, og kostnadskrevende investeringer i infrastruktur langs kysten, spesielt havner.

Dette er ikke akkurat dommedagsscenarier. Men framskrivingene den utredningen bygget på, kan ha undervurdert grovt hvor raskt havet vil stige. Som det står i samme NOU: «Det er berre akselerert smelting av Grønland og isen i Antarktis som kan gi ei havnivåstigning på meir enn 0,5 meter i dette hundreåret».

Men nyere forskning viser at smeltingen nettopp på Grønland og i Antarktis går vesentlig fortere enn tidligere antatt. I verste fall kan vi snakke om et par meter innen

utgangen av århundret. I denne rapporten går Are Erik Brandvik gjennom status i forskningen på dette området, med vekt på arbeider som er publisert etter at FNs klimapanel ble presentert i 2013 og 2014. I tillegg intervjuer Lars Holger Ursin forskeren Fiamma Straneo som forklarer hva ismelting og kalving fra isbreer betyr for havstigningen.

Havstigning som måles i meter er en helt annen historie enn en havstigning som måles i centimeter. Hva blir konsekvensene for verden og hvordan vil Norge påvirkes? Hvordan kan utslippskutt forseres, slik at havstigningen begrenses? Dette er spørsmål som beslutningstakere i alle deler av samfunnet nå må stille seg. Fremfor alt må politikken ta den nye kunnskapen inn over seg.

## REDAKSJON

*Anders Bjartnes (ansvarlig redaktør), Lars-Henrik Paarup Michelsen, Håvar Skaugen og Lars Ursin.*

*Redaksjonsslutt: 23. juni 2017*

## UTGIVER

*Norsk klimastiftelse  
C/O Bergen Impact Hub  
5003 BERGEN*

*[www.klimastiftelsen.no](http://www.klimastiftelsen.no)*

# Hva betyr issmelting og kalving fra isbreer for havstigningen?

## INTERVJU MED FIAMMA STRANEO

Av Lars Holger Ursin

Journalist, Norsk klimastiftelse

Forskning på isbremmer rundt Grønlandsisen og i Antarktis viser at klimamodellene har undervurdert bidraget fra issmelting og kalving på havstigningen. Hvor stort bidraget virkelig er, kan imidlertid forskerne fortsatt ikke svare sikkert på. Forsker Fiamma Straneo forklarer hva dette egentlig betyr.

–Rolling Stone snakker om «dommedagsbreen» i Antarktis. New York Times snakker om at kilometervis med is velter ut i havet, og at mange av verdens storbyer er truet. Hva er det egentlig som skjer?

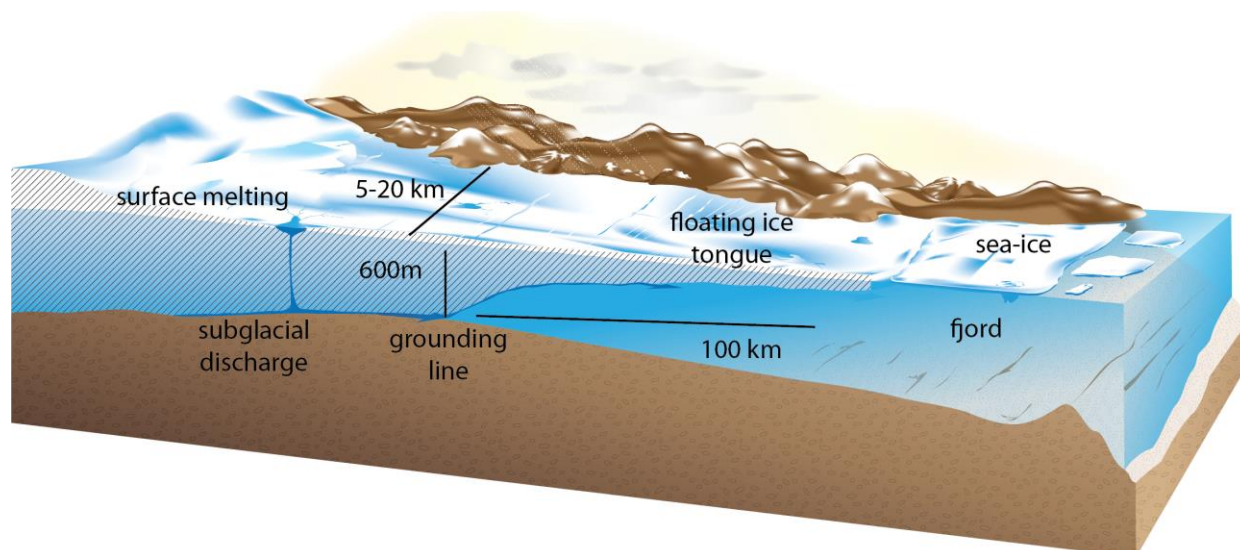
–Jeg tror debatten om smeltingen av Antarktis er kommet litt skjevt ut. Vi vet at innlandsisen på Grønland og i Antarktis smelter, det er som forventet når klimaet blir varmere. Det vi ikke vet, er hvor lang tid det vil ta. Avhengig av hva du leser og hvem du spør, får du mer eller mindre ekstreme framskrivinger på dette feltet. Jeg tror en bedre måte å snakke om issmeltingen på er å ta utgangspunkt i dette: Vi vet ikke nok om denne issmeltingen til å regne ut bidraget til havstigningen med noen særlig sikkerhet. Det gjør det vanskelig å beregne hvor raskt havet vil stige fremover, og det er problematisk.



*Fiamma Straneo på vei til en overflygning av Sermilikfjorden (på dansk Egede og Rothes Fjord), nær Angmagssalik, Grønland. Der ligger Helheimbreen, en av isbremmene Straneo har studert nøyde siste årene. Helikoptre er ofte eneste praktiske transportmiddel når isbreforskere skal gjøre arbeid i felt. (Foto: D. Sutherland/Woods Hole Oceanographic Institution)*

–Det er vel ikke nytt at det er usikkerhet knyttet til klimamodellene?

–Nei, noe vil det alltid være. Det er det forskning handler om: Jo mer kunnskap du



Isbremmer er flytende deler av isbreer som danner en barriere mot havet. De største isbremmene, som alle befinner seg i Antarktis, kan være flere hundre meter tykke, og flere hundre kilometer brede. Isbremmene rundt Grønland – som vist her – befinner seg gjerne i trange fjorder, avgrenset av bratte fjell på to sider, og er mindre enn de store, antarktiske isbremmene. Det er forskning på slike isbremmer – og spesielt hvilken rolle smeltevatnet fra overflatesmeltingen spiller i nedbrytingen av dem – som har fått mye medieoppmerksomhet de siste månedene. (Illustrasjon: Fiamma Straneo)

får om noe, jo bedre modeller du bygger, desto mer reduserer du usikkerheten, men den vil alltid være der. Dette blir imidlertid ofte misforstått. I klimadebatten i USA bruker enkelte usikkerhet i vitenskapelige data til å diskreditere all forskningen på området. Dette blir helt feil: Det er ingen usikkerhet om *at* smeltingen skjer eller *om* det vil påvirke havstigningen, det vil den. Det er *hastigheten* vi ikke kan fastslå sikkert. Utfordringen vår nå er å redusere den usikkerheten.

–Hva er det da som har skjedd med forskningen på isen i Antarktis og på Grønland som skaper disse overskriftene?

–Vi er i ferd med å finne ut mer om hvordan smeltingen faktisk foregår. Slike isbremmer vi snakker om her, kan tape masse på to måter. Den første er intuitiv: Overflatesmelting. Varmer du luften over isbreen, smelter isen på overflaten. Dette tar modellene høyde for, med ganske høy grad av sikkerhet. Vi forstår kanskje ikke alle de

fysiske prosessene 100 prosent, men vi har noenlunde kontroll på de grunnleggende av dem, og modellene fungerer.

Den andre typen, det vi kaller dynamisk forandring, er mer kinkig. Isbremmer og isbreer er som du vet ikke statiske, de beveger seg, og i disse tilfellene ender de i havet. Det interessante er at modellene som forsøker å forutse bevegelsene er veldig sensitive for det som skjer i kantene, spesielt der isen møter havet. Den flytende delen av isbremmen fungerer som støttepillarer på gamle bygninger eller fort, de holder igjen isen. Kalver breen, kan det noen ganger være som å åpne en kork, og hastigheten øker.

I tillegg kommer selve smeltevatnet inn som en joker. Det vi har oppdaget, er at smeltevatn kan komme seg gjennom breen og ut på undersiden. Da skjer det flere ting. For det første: Når ferskvann fra smelting kommer ned under breen og møter mer kompakt saltvann, blir ferskvannet presset opp langs undersiden av isen. Da renner

ferskvannet som en foss under isen, friksjonen blir redusert, og det kan få opp farten på breen. I tillegg gir dette smeltevannet økt smelting. Når en bre ligger i ro i vannet, danner det seg nemlig et isolerende lag av kaldt vann mellom isen og havet. Når vannet begynner å bevege seg, virvles det isolerende laget bort, og smeltingen blir mer effektiv. Litt som når du har isklumper i et glass med drikke, hvis du lar det stå i ro, bruker isklumpene lang tid på å smelte. Hvis du rører eller rister på glasset, smelter de fortere.

*–Hvorfor har vi ikke visst om dette før?*

–Det er vel riktigere å si at vi ikke har kjent alle detaljene, og mange detaljer som hver bidrar kan ha en stor effekt samlet. Å forstå klimaet handler om å forstå alle detaljene som er involvert, også de som vi ikke har hatt oversikt over tidligere. For å få det til, må vi gjøre observasjoner. Og dette er avsinndig vanskelig å observere. Skal du gjøre målinger akkurat der breen møter vannet, må du være nettopp der hvor breen møter vannet. Der er det vanskelig og farlig å oppholde seg. Breen kan kalve, det kan være livsfarlig hvis du er i nærheten. Er du oppå breen, er sprekker også et faremoment. Vi bruker mye bøyer og autonome fartøy, men også de kan bli ødelagt av naturkreftene. Og på Grønland må vi navigere inn trange fjorder som er fulle av isfjell. Vi trenger observasjonene for å bedre modellene, men det krever at vi jobber på farlige og vanskelige steder.

*–Hva blir veien videre?*

–Den neste IPCC-runden vil ta høyde for mer av disse prosessene. Flaskehalsen er disse ytterkantene av isbrekkene, der isen møter

vannet. De er flaskehalsen i fysisk forstand, fordi de som sagt fungerer som støttepilarer mot isen, og bremser farten. Men de er også flaskehalsen metaforisk, fordi de er så vanskelige å komme til og derfor blir det vanskelig å samle informasjonen vi trenger. Det avgjørende er at vi forserer denne metaforiske flaskehalsen, så vi får tilstrekkelig kunnskap om konsekvensene til at vi kan planlegge for fremtiden.

#### **FIAMMA (FIAMETTA) STRANEO**

*Født og oppvokst i Milano, utdannet fysiker ved Università Statale di Milano i 1992*

*Ph.D. i fysisk oseanografi fra University of Washington, Seattle i 1999.*

*Har jobbet ved prestisjetunge Woods Hole Oceanographic Institution siden 2002.*

*Gjesteforsker ved Bjerknessenteret*



Isfjell utenfor Antarktis (Foto: Ted Scambos, NSIDC)

# Havet kan stige dobbelt så mye som anslått av FN's klimapanel



Av Are Erik Brandvik

Frilanser,  
forskningsformidling og  
master i sosialantropologi

FN's klimapanel anslo i sin siste hovedrapport fra 2013 og 2014 at havet i verste fall kan stige med i gjennomsnitt 0,98 meter over førindustrielt nivå<sup>1</sup> innen 2100. Nå viser ny forskning<sup>2,3</sup> at skrekkscenariet kanskje ikke tar hardt nok i: Havet kan komme til å stige med det dobbelte. Bakgrunnen for denne frykten er at Antarktisisen ser ut til å øke sin bevegelse ut i havet. Men hva vet vi egentlig om havstigningen, og konsekvensene den vil få?

## HVORFOR STIGER HAVNIVÅET?

Det er først og fremst to grunner til at havnivået blir høyere: Issmelting og termisk ekspansjon. Det siste betyr at vannet tar større plass når det blir varmere. Disse to effektene står antakelig for 75 prosent av stigningen i havnivået som er observert siden 1971<sup>4</sup>.

Når store, landfaste ismasser som Grønlandsisen og Antarktisisen smelter eller kalver, tilføres havet mer vann. Da stiger havnivået litt. Når den hvite isen smelter, erstattes den gjerne av mørkeblått hav. Da blir mer energi fra sollys tilført vannet, som blir varmere. Men vannet blir også varmere av andre grunner. Hele 90 prosent av den samlede energien fra den globale oppvarmingen har faktisk samlet seg i havet

<sup>1</sup> Church et al., 2013: 1140.

<sup>2</sup> DeConto & Pollard, 2016; Kingslake et al., 2017; Bell et al., 2017.

<sup>3</sup> Hansen et al., 2016.

<sup>4</sup> Bindoff et al., 2013: 905.

fra 1971 til 2010<sup>5</sup>. Dette gir termisk ekspansjon, som altså får havet til å stige enda mer.

Når vi snakker om at det globale havnivået vil stige et gitt antall meter, er det et gjennomsnitt. Havnivået er ikke jevnt fordelt over kloden. Det vil ikke havstigningen være heller. Verdenshavene preges av store regionale forskjeller som skyldes havsirkulasjon<sup>6</sup>, landheving og forandringer i jordas gravitasjonsfelt<sup>7</sup>. I tillegg kommer årlige, tiårige eller hundreårige hendelser som variasjoner i høyvann og lavvann, ekstremvær og vekslinger i større værsystem og havstrømmer<sup>8</sup>.

Selv på strekninger på mindre enn én kilometer vil havnivået kunne variere betydelig. Forskjellene vil også variere over tid. I praksis betyr dette at de regionale havnivåene vil stige i forskjellig tempo og vil nå forskjellige høyder<sup>9</sup>.

#### HVA SIER FNS KLIMAPANEL?

Hvor mye havet vil stige, avhenger i stor grad av hvor mye vi klarer å redusere utslippene av klimagasser. Det er samtidig noe som er umulig å forutse, av både tekniske og politiske årsaker. Det har man tatt høyde for i den femte rapporten (AR5) fra FNs klimapanel. Der skisseres i stedet fire forskjellige *utviklingsbaner* for utslipp<sup>10</sup>.

På engelsk omtales disse som «Representative Concentration Pathways», eller RCP. Utviklingsbanene er navngitt etter hvor stor økning i strålingspådriv de skisserer. Strålingspådriv er et mål på oppvarmingseffekten fra ulike klimafaktorer, målt i watt per kvadratmeter (W/m<sup>2</sup>)<sup>11</sup>.

I den mest skånsomme utviklingsbanen, RCP2.6, holder vi oss under 2°C temperaturøkning siden den førindustrielle perioden. I middelsscenarioene RCP4.5 og RCP6 balanserer vi etterhvert ut våre utslipp, men overskrider sannsynligvis 2°C. For høyutslippsscenarioet RCP8.5 skisseres det en framtid der klimagassutslippene fortsetter å øke i dagens takt fram til 2100<sup>12</sup>.

Disse scenariene gir oss følgende prognoser for gjennomsnittlig havstigning sammenlignet med perioden 1986–2005, først for perioden 2046–2065, deretter for 2081–2100<sup>13</sup>:

	2046–2065	2081–2100
<b>RCP2.6</b>	0,17-0,32 m	0,26-0,55 m
<b>RCP4.5</b>	0,19-0,33 m	0,32-0,63 m
<b>RCP6</b>	0,18-0,32 m	0,33-0,63 m
<b>RCP8.5</b>	0,22-0,38 m	0,45-0,82 m

5 IPCC, 2014: 4; 40.

6 Rhein et al., 2013: 285; 288.

7 Simpson et al., 2015: 54-57.

8 Rhein et al., 2013: 291.

9 Rhein et al., 2013: 285; 288-289.

10 IPCC, 2013: 29.

11 En mer presis definisjon: «energi som tas opp av jorden på grunn av økt drivhuseffekt, eller forskjellen mellom hvor mye solvarme som treffer jorden og hvor mye varme jorden sender tilbake til verdensrommet sammenliknet med den førindustrielle perioden» (Bjørnæs et al., 2013).

12 IPCC, 2013: 29.

13 IPCC, 2014: 60.

For RCP8.5, anslås det i tillegg at det er *sannsynlig* at havstigningen blir totalt 0,52-0,98 meter innen 2100, med en gjennomsnittlig stigning på 8-16 millimeter per år i perioden 2081 til 2100.

Det ligger imidlertid usikkerheter i disse anslagene. Det henger sammen med usikkerhet om hva som er i ferd med å skje med isen på Grønland og i Antarktis.

For å ta Grønlandsisen først: Her vil en global temperaturøkning over 1°C (*lav sikkerhet*) og under 4°C (*middels sikkerhet*) siden førindustriell tid få isen til å forsvinne helt<sup>14</sup> over 1000 år eller mer. Det vil gi en global havstigning på 7 meter.

Antarktisen er mer usikkert. Dersom de marine sektorene av Antarktisen kollapser kan dette forårsake en havstigning som er vesentlig større enn det som antydes i utviklingsbanene ovenfor. Det finnes *middels sikkerhet* for at en slik kollaps ikke vil overgå flere tiendels meter innen 2100<sup>15</sup>. Samtidig understrekes det i IPCC-rapporten at de gjeldende modellene for Antarktis er upålitelige og undervurderer det potensielle stigningsnivået<sup>16</sup>.

### USIKKERHETEN I SØR

Det er denne usikkerheten som får magasinet Rolling Stone til å omtale Antarktis som «The Doomsday Glacier»<sup>17</sup> 9. mai i år. Der er

poenget at hvis Grønlandsisen smelter helt, og får havet til å stige med 7 meter, så vil en full nedsmelting av Antarktisen potensielt bidra med ytterligere 61 meters havstigning.

Tilsvarende publiserte New York Times en reportasjeserie i mai i år, som tar for seg Antarktisen bevegelse mot havet og faren for oversvømte kystbyer<sup>18</sup>. Lignende saker finnes også i The Guardian<sup>19</sup> og på nettsider som Nexus Media<sup>20</sup> og YaleEnvironment360<sup>21</sup>.

De fleste av disse tar for seg et knippe vitenskapelige publikasjoner som har kommet ut etter den siste rapporten fra FN's klimapanel, som kom i 2013 og 2014, og som tar for seg Antarktis:

- I tidsskriftet *Atmospheric Chemistry and Physics* advarer Hansen et al. mot farene ved en global oppvarming på 2°C. Dersom sårbare isbremmer (engelsk: *Ice shelves*) rundt polarisen kollapser, risikerer vi en eksponentiell økning av den globale havstigningen. I så fall kan vi få en havstigning på flere meter innen 50, 100 eller 200 år<sup>22</sup>.
- I *Nature* beskriver DeConto & Pollard et scenario der Antarktisen potensielt bidrar med en havstigning på over 1 meter innen 2100 og 15 meter innen 2500. De tar utgangspunkt i to prosesser de tradisjonelle modellene ikke tar

<sup>14</sup> IPCC, 2014: 16.

<sup>15</sup> IPCC, 2014: 60.

<sup>16</sup> IPCC, 2014: 74.

<sup>17</sup> Goodell, 2017.

<sup>18</sup> Gills, 2017.

<sup>19</sup> Milman, 2016.

<sup>20</sup> Deaton et al., 2017.

<sup>21</sup> Jones, 2016.

<sup>22</sup> Hansen et al., 2016: 3761-3762.



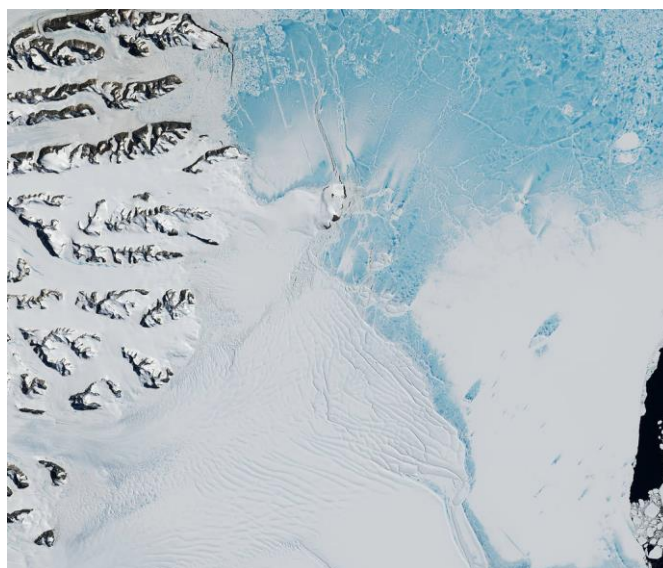
tilstrekkelig høyde for: For det første at vann sildrer gjennom ismassene og «smører» undersiden av isen så den beveger seg raskere ut i havet. For det andre at økt overflatesmelting bidrar til økte sprekkdannelser og kalving, som også bidrar til at isbremmer beveger seg raskere. Modellen er kalibrert opp mot kjente havstigningsnivå for forrige mellomistid og Pliocen-epoken, perioder der det globale havnivået lå opp mot 6 til 9 meter over dagens nivå<sup>23</sup>.

- Kingslake et al. viser på sin side hvordan smeltevann i større dammer og i bresprekker kan bidra til at Antarktisen kollapser<sup>24</sup>. I en annen studie fra 2017 viser Bell et al. hvordan overflateelver som transporterer smeltevann bort fra slike ansamlinger muligens kan stoppe denne ødeleggelsen. De antar at disse elvene i et varmere klima vil kunne transportere smeltevann bort fra de store isbremmene. Det står i kontrast til de fleste nåværende modellene av Antarktisen – som antar at smeltevannet lagres på overflaten av isbremmene slik at de kollapser<sup>25</sup>.

Utfordringen er at vi ikke har nok kunnskap om Antarktisen til at vi kan si noe konkret om hvordan isen vil oppføre seg under de forskjellige utviklingsbanene.

Usikkerheten rundt Antarktisen blir forsterket av at området vi snakker om er så enormt: I landareal kan Antarktis

sammenlignes med USA og Mexico slått sammen<sup>26</sup>. Rossbarrieren, som man finner sør i Antarktis, er nesten like stor som Spania og står i fare for å kollapse innen noen tiår. Dersom dette skjer vil store mengder is frigjøres<sup>27</sup>. Samtidig har Thwaitesbreen i Vest-Antarktis en kalveside som strekker seg over 140 kilometer<sup>28</sup>. På isbremmen Larsen C er en 175 kilometer lang rift i ferd med å utvikle seg. Det kan føre til at et isflak på størrelse med en fjerdedel av Wales brekker av<sup>29</sup>. Kollapsen av den 3250 kvadratkilometer store Larsen B-isbremmen i 2002, som fulgte et liknende mønster, tok litt over en måned<sup>30</sup>.



Bildet viser restene av isbremmen Larsen B i Antarktis, som kollapset i 2002. (Foto: NASA Earth Observatory image by Jesse Allen, using Landsat data from the U.S. Geological Survey.)

23 DeConto & Pollard, 2016: 591.

24 Kingslake et al., 2017: 349.

25 Bell et al., 2017: 344.

26 Goodell, 2017.

27 Gills, 2017.

28 Goodell, 2017.

29 Luckman & MIDAS, 2017.

30 Lindsey, 2002.

**VEIEN VIDERE: FEM TEMA FOR FREMTIDEN**

European Climate Research Alliance (ECRA) ga i 2016 ut en utredning som foreslo fem tema for videre havstigningsforskning<sup>31</sup>. Gjennomgangstemaet er å bygge bedre modeller med høyere oppløsning, både tidsmessig og geografisk, slik at man med større presisjon kan framskrive lokale endringer i havnivå og ekstremhendelser som flom og stormflo:

1. Observere havstigning bredt og systematisk, jobbe for bedre forståelse av prosessene bak, og bygge bedre modeller for fremtidig havstigning. Dette oppnår man ved å samle inn mer data, og så sammenlikne med paleoklimatiske data for å sette endringene i historisk kontekst, og bygge modeller med bedre oppløsning. Slik kan man forutse utviklingen med større sikkerhet over kortere tidsrom, som tiårsperioder<sup>32</sup>.
2. Gjøre regionale og lokale modeller for havstigning mer presise, slik at de kan brukes til beredskap og planlegging. Her kommer for øvrig også endringer i modellene for ismeltingen i Antarktis inn, fordi det er her det største potensialet for havstigning ligger<sup>33</sup>.
3. Utvikle nye metoder for å beregne regionalt og lokalt ekstremt havnivå. Dette krever tverrfaglig samarbeid, og det innebærer blant annet å forske mer

på stormflo- og flomrisiko, og kombinere framskrivinger for fremtidig havnivå med framskrivinger for framtidig flomnivå, slik at man også her kan vurdere endringer over tiårsperioder<sup>34</sup>.

4. Kartlegge konsekvensene av disse lokale og regionale endringene – både flom og andre ekstremhendelser, men også den gjennomsnittlige havstigningen – og bruke dette i beredskaps- og tilpasningsplaner<sup>35</sup>.
5. Bedre kommunikasjonen og samarbeidet mellom forskere, ulike interessegrupper, beslutningstakere og publikum. Det er etter hvert åpenbart at fakta ikke er tilstrekkelig for at publikum og beslutningstakere forstår rekkevidden av endringene, og hva som kreves for at vi tilpasser oss fremtidens klima. Forskningen må formidles tydeligere, konsekvensene illustreres bedre og i en lokal kontekst, slik at alle de som potensielt rammes av endringene kan se hvordan det vil ramme akkurat dem<sup>36</sup>.

Det er viktig å få mer kunnskap om dette raskt: Ca. 700 millioner mennesker – rundt en tiendedel av jordens befolkning – bor i lavtliggende kyststrøk, innen 10 meter av dagens gjennomsnittlige havnivå. Selv moderat havstigning kan få massive sosiale, økonomiske og miljømessige konsekvenser i disse områdene<sup>37</sup>.

<sup>31</sup> Nilsen, 2016: 2-7.

<sup>32</sup> Nilsen, 2016: 2.

<sup>33</sup> Nilsen, 2016: 3.

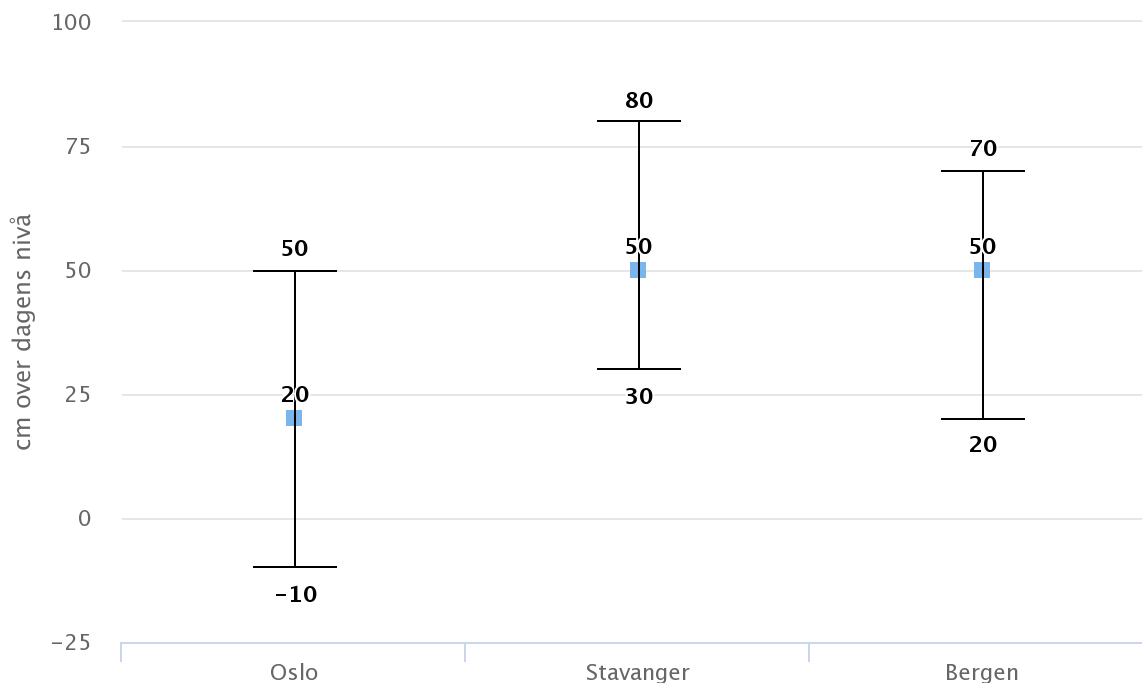
<sup>34</sup> Nilsen, 2016: 4-5.

<sup>35</sup> Nilsen, 2016: 5-6.

<sup>36</sup> Nilsen, 2016: 6-7.

<sup>37</sup> Nilsen, 2016: 1.

## GJENNOMSNIITTLIG HAVNIVÅ I 2100, FRAMSKREVET



Framskrivning av gjennomsnittlig havnivå ved utviklingsbanen RCP8.5, avrundet til nærmeste 10 cm<sup>40</sup>.

## NORGES GENERALPRØVE

I 2015 kom rapporten *Sea Level Change for Norway – Past and Present Observations and Projections to 2100* ut. Rapporten ble bestilt av Miljødirektoratet, og bygger på den femte IPCC-rapporten (AR5) og klimamodellprosjektet CMIP5 med større følsomhet for lokale variasjoner langs norskekysten<sup>38</sup>.

Ifølge rapporten ser havet ut til å stige noe mindre i Norge enn det globale gjennomsnittet. Dette skyldes landhevingen i Norge: Landmassene stiger fortsatt, som følge av at innlandsisen over Skandinavia smeltet bort etter siste istid. Derfor får vi disse gjennomsnittsverdiene for framskriving av

havstigning i Norge, fra 1986–2005 til 2081–2100<sup>39</sup>, avhengig av sted:

- RCP2.6: -10 til 30 cm
- RCP4.5: 0 til 35 cm
- RCP8.5: 15 til 55 cm

Det meste av Norge vil altså ifølge rapporten oppleve stigende havnivå før slutten av århundret, men det vil være store, lokale variasjoner.

I tillegg til disse gjennomsnittlige stigningene i havnivået, kommer variasjoner innen høyvann og lavvann og ekstremværhendelser som stormflo<sup>41</sup>. I dag kjenner vi frekvensen for slike hendelser. For eksempel vil vi oppleve en stormflo med denne maksimale vannstanden,

<sup>38</sup> Simpson et al., 2015: 8.

<sup>39</sup> Simpson et al., 2015: 8.

<sup>40</sup> Simpson et al., 2015: 8.

<sup>41</sup> Simpson et al., 2015: 97.

det såkalte returnivået<sup>42</sup> i gjennomsnitt én gang i løpet av hvert 200. år<sup>43</sup>:

- Oslo: 1,9 meter.
- Stavanger: 1,2 meter.
- Bergen: 1,4 meter.

Stiger det gjennomsnittlige havnivået, vil ekstremværhendelsene sannsynligvis fortsette med samme frekvens, men stormfloene vil bli høyere, like mye høyere som den gjennomsnittlige havstigningen<sup>44</sup>. Det betyr at mindre ekstremværhendelser som tidligere ikke har overskredet returnivåene også vil nå høyere. I praksis betyr det at vi oftere vil få hendelser som overskrider dagens returnivå. For Stavanger og Bergen, for eksempel, forventes det at returnivåene vist ovenfor vil bli overskredet i 40 av de gjenstående årene dette århundret. Altså vesentlig hyppigere enn én gang i gjennomsnitt per 200 år<sup>45</sup>.

### HAVSTIGNING, STORMFLO OG SAMFUNNSSIKKERHET

På bakgrunn av rapporten nevnt ovenfor, ga Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) ut veilederen *Havnivåstigning og stormflo – samfunnssikkerhet i kommunal planlegging* i 2016<sup>46</sup>.

Her skriver de at «det er knyttet usikkerhet til både havnivåstigningsberegningene og framtidige stormflonivåer. For stormflo knytter usikkerheten seg til framtidige værbidrag, mens det for havnivåstigning knyttes til nedsmelting av de store isdekkene i Antarktis og Grønland»<sup>47</sup>.

Derfor anbefaler veilederen kommunene å forholde seg til RCP8.5 og de øvre grenseverdiene i framskrivingen for arealplanlegging: «Ved 95-persentilen i stedet for middelverdien, tar man i større grad høyde for usikkerheten tilknyttet havnivåstigningstallene»<sup>48</sup>.

Det veilederen ikke tar høyde for, er havstigning etter 2100. Det er ennå ikke gjort regionale framskrivninger så langt frem i tid. Den nevner imidlertid den femte IPCC-rapportens foreløpige anslag om fortsatt havstigning fra mindre enn 1 til mer enn 3 meter<sup>49</sup>.

I tillegg skisserer veilederen hvordan samfunnssikkerheten kan ivaretas i møte med havstigning med vekt på kommunal arealplanlegging<sup>50</sup> og håndtering av eksisterende bebyggelse og infrastruktur<sup>51</sup>. Det som kan være interessant for de som bor langs kysten, er vedlegg 2: Det består av 18 tabeller som tar for seg utsatte steder langs

42 Et beregnet nivå vannstanden sjeldent overstiger. Med 200 års gjenntaksintervall forventer man en såpass høy vannstand i løpet av 200 år.

43 Simpson et al., 2015: 9.

44 Simpson et al., 2015: 9; 107.

45 Simpson et al., 2015: 9.

46 DSB, 2016: 7.

47 DSB, 2016: 14.

48 DSB, 2016: 14.

49 DSB, 2016: 15; IPCC, 2014: 74.

50 DSB, 2016: 17-23.

51 DSB, 2016: 17-23; 25-27.

hele norskekysten. Returnivå for stormflo, havstigning og landheving kan leses av.

Konklusjonen er: For de av oss som bor ved kysten vil en relativt beskjeden havstigning kunne få betydelige konsekvenser.

### VIDERE LESNING

I tillegg til de tidligere nevnte artiklene fra DeConto & Pollard og Hansen et al., som begge tar for seg Antarktis, er tre andre bidrag siden den femte rapporten fra FNs klimapanel av særlig interesse.

Artikkelen «Consequences of twenty-first-century policy for multi-millennial climate and sea-level change» tar for seg hvordan politiske avgjørelser over de neste par årene vil kunne få konsekvenser for de neste ti årtusener<sup>52</sup>.

Hovedpoenget er at vi er bundet til konsekvensene av dagens og fremtidige klimagassutslipp. Klimaet og havnivået bruker tid på å tilpasse seg utslippene, gjennom en slags systemtregghet. Dagens utslipp vil derfor skape forandring langt inn i fremtiden. Med mindre vi raskt finner effektive løsninger for storskala karbonfangst og -lagring, betyr det at vi kommer til å se klimaendringer og havstigning over alt fra flere hundre år til flere tusen år<sup>53</sup>.

Videre forventes det at utslipp fram til år 2000 allerede har påført jordkloden en havstigning som til slutt vil bli på rundt 1,7

meter<sup>54</sup>. Funnene har utgangspunkt i langtidige forandringer i klima og havnivå fra 20.000 år siden og 10.000 år inn i fremtiden<sup>55</sup>.

Det andre bidraget, «Coastal sea level rise with warming above 2°C», skisserer den sannsynlige havstigningen for verdens kyststrøk ved to graders oppvarming eller mer. Ved bruk av grundige analyser og realistiske sannsynlighetsfordelinger anslås det også at havstigningen i snitt vil være 1,8 meter ved slik oppvarming – 0,6 meter høyere enn FNs klimapanels anslag<sup>56</sup>. For 23 millionbyer ved kysten, for eksempel Bangkok, Ho Chi Minh City og Jakarta, forventes det også betydelig landsenkning på grunn av overdreven utvinning av grunnvann<sup>57</sup>.

Den siste artikkelen, «Temperature-driven global sea-level variability in the Common Era», ser på global havstigning over de siste 3000 årene. Havstigningen i det 20. århundret anslås med svært høy sannsynlighet til å ha gått raskere enn de 27 forrige århundrene. Mens det globale havnivået har steget med 14 cm i det 20. århundret, antyder forfatterne at stigningen ville vært på -3 til 7 cm i fravær av menneskeskapt klimaforandring.

### OPPSUMMERT

Den femte rapporten fra FNs klimapanel opererer med fire utviklingsbaner<sup>58</sup> med hvert

<sup>52</sup> Clark et al., 2016: 360.

<sup>53</sup> Clark et al., 2016: 361.

<sup>54</sup> Clark et al., 2016: 365.

<sup>55</sup> Clark et al., 2016: 360.

<sup>56</sup> Jevrejeva et al., 2016: 13342.

<sup>57</sup> Jevrejeva et al., 2016: 13343.

<sup>58</sup> IPCC, 2013: 29.

sitt anslag for havstigning<sup>59</sup>. Nyere forskning viser at disse scenarioene undervurderer bidragene fra smeltingen av Grønlandsisen<sup>60</sup> og Antarktisen. Deres bidrag kommer derfor «på toppen» av estimatene fra klimapanelet<sup>61</sup>.

Grønlandsisen forventes å kunne bidra med 7 meter over 1000 år<sup>62</sup>, mens det største usikkerhetsmomentet – Antarktisen – kan stå for en havnivåstigning opp til 61 meter<sup>63</sup>. Vi vet ikke nok til at vi kan fastslå hva terskelen er for at Antarktisen skal kollapse. Det vi imidlertid kan si, er at hvis en slik kollaps finner sted, vil havstigningen som nødvendigvis følger komme relativt raskt.

Den pågående havstigningen vil også preges av store regionale forskjeller. En tilsynelatende beskjeden global havstigning innen utgangen av 2100 vil derfor føre til forskjellige lokale havstigningstall. Noen av disse vil være flere ganger høyere enn gjennomsnittet. Ekstremværhendelser kommer i tillegg på toppen av dette<sup>64</sup>.

Et annet viktig poeng er at vi i dag allerede er påvirket av tidligere utslipp, som vil gi oss en havstigning som uansett vil fortsette langt inn i fremtiden. På grunn av denne tregheten i systemet vil det derfor ikke være slik at havnivået i 2100 blir noe vendepunkt. Den reelle kostnaden for dagens klimautslipp<sup>65</sup> vil påløpe i minst flere hundre år til. Dersom Grønlandsisen utsettes for en temperaturøkning siden førindustriell tid på

mellom 1 og 4°C vil smeltingen med all sannsynlighet fortsette over de neste tusen årene, uten å kunne stoppes<sup>66</sup>. Når vi snakker om «langsiktige konsekvenser» i denne sammenhengen, snakker vi med andre ord om et vesentlig lengre perspektiv enn vi pleier.

Til slutt: Siden ti prosent av verdens befolkning bor i lavtliggende kyststrøk – innen 10 meter av dagens gjennomsnittlige havnivå – vil en relativt beskjeden havstigning ha store menneskelige og materielle kostnader<sup>67</sup>.

---

#### Referanseliste

- Bell, R.E., W. Chu, J. Kingslake, I. Das, M. Tedesco, K.J. Tinto, C.J. Zappa, M. Frezzotti, A. Boghosian & W.S. Lee, 2017: Antarctic ice shelf potentially stabilized by export of meltwater in surface river. *Nature*, **544**, 344–348.
- Bindoff, N.L., P.A. Stott, K.M. AchutaRao, M.R. Allen, N. Gillett, D. Gutzler, K. Hansingo, G. Hegerl, Y. Hu, S. Jain, I.I. Mokhov, J. Overland, J. Perlwitz, R. Sebbari and X. Zhang, 2013: Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Bjørnæs, C., G. Peters, R.H. Moss, J. Edmonds, K. Hibbard, A. Aaheim, J. Fuglestedt, R. Knutti, J.F. Knutti, M. Böttinger, C. Wilson, P. Coulter, T. Ruohonen & E.U. Reed, 2013: Representative Concentration Pathways – utviklingsbaner. *Miljødirektoratet*, 19 mai 2017, <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M32/M32.pdf>
- Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan, 2013: Sea Level Change. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*.

---

59 IPCC, 2014: 60.

60 IPCC, 2014: 16.

61 IPCC, 2014: 74.

62 IPCC, 2014: 16.

63 Goodell, 2017.

64 Rhein et al., 2013: 285; 288-289; 291; Simpson et al., 2015: 54-57.

65 Clark et al., 2016: 361; 365.

66 IPCC, 2014: 16.

67 Nilsen, 2016: 1.

- Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Clark, P.U., J.D. Shakun, S.A. Marcott, A.C. Mix, M. Eby, S. Kulp, A. Levermann, G.A. Milne, P.L. Pfister, B.D. Santer, D.P. Schrag, S. Solomon, T.F. Stocker, B.H. Strauss, A.J. Weaver, R. Winkelmann, D. Archer, E. Bard, A. Goldner, K. Lambeck, R.T. Pierrehumbert & G.-K. Plattner, 2016: Consequences of twenty-first-century policy for multi-millennial climate and sea-level change. *Nature Climate Change*, **6**, 360-369.
- Deaton, J., J. Chamot & O. Agnew, 2017: Antarctica's Meltwater Rivers Raise Concerns About the Fate of the Continent (VIDEO). *Nexus Media*, 19 april 2017, <https://nexusmedianews.com/antarcticas-meltwater-rivers-raise-concerns-about-the-fate-of-the-continent-a6fa14b7153>.
- DeConto, R.M. & D. Pollard, 2016: Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. *Nature*, **531**, 591-597.
- DSB, 2016: Havnivåstigning og stormflo – samfunnssikkerhet i kommunal planlegging. ISBN 978-82-7768-389-8 (PDF).
- Gills, J., 2017: Antarctic Dispatches. *New York Times*, 18 mai 2017, <https://www.nytimes.com/interactive/2017/05/18/climate/antarctica-ice-melt-climate-change.html>.
- Goodell, J., 2017: The Doomsday Glacier. *Rolling Stone*, 9 mai 2017, <http://www.rollingstone.com/politics/features/the-doomsday-glacier-w481260>.
- Hansen, J., M. Sato, P. Hearty, R. Ruedy, M. Kelley, V. Masson-Delmotte, G. Russell, G. Tselioudis, J. Cao, E. Rignot, I. Velicogna, B. Tormey, B. Donovan, E. Kandiano, K. Schuckmann, P. Kharecha, A.N. Legrande, M. Bauer & K.-W. Lo, 2016: Ice melt, sea level rise and superstorms: evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that 2 °C global warming could be dangerous. *Atmos. Chem. Phys.*, **16**, 3761-3812.
- IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Jevrejeva, S., L.P. Jackson, R.E.M. Riva, A. Grinsted & J.C. Moore, 2016: Coastal sea level rise with warming above 2 °C. *Proc Natl Acad Sci USA*, **113**(47), 13342-13347.
- Jones, N., 2016: Abrupt Sea Level Rise Looms As Increasingly Realistic Threat. *YaleEnvironment360*, 5 mai 2016, [http://e360.yale.edu/features/abrupt\\_sea\\_level\\_rise\\_realistic\\_greenland\\_antarctica](http://e360.yale.edu/features/abrupt_sea_level_rise_realistic_greenland_antarctica).
- Kingslake, J., J.C. Ely, I. Das & R.E. Bell, 2017: Widespread movement of meltwater onto and across Antarctic ice shelves. *Nature*, **544**, 349-352.
- Kopp, R.E., A.C. Kemp, K. Bittermann, B.P. Horton, J.P. Donnelly, W.R. Gehrels, C.C. Hay, J.X. Mitrovica, E.D. Morrow & S. Rahmstorf, 2016: Temperature-driven global sea-level variability in the Common Era. *Proc Natl Acad Sci USA*, **113**(11), 1434-1441.
- Lindsey, R., 2002: Collapse of the Larsen-B Ice Shelf. *NASA Earth Observatory*, 31 januar 2002, <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/WorldOfChange/larsenb.php>.
- Luckman, A. & MIDAS, 2017: Larsen C Ice Shelf rift continues to grow. *MIDAS*, 19 januar 2017, <http://www.projectmidas.org/blog/larsen-c-rift-continues-to-grow/>.
- Milman, O., 2016: Climate guru James Hansen warns of much worse than expected sea level rise. *The Guardian*, 22 mai 2016, <https://www.theguardian.com/science/2016/mar/22/sea-level-rise-james-hansen-climate-change-scientist>.
- Nilsen, J.E.Ø., G. Sannino, M. Bordbar, A.R. Carrasco, S. Dangendorf, I.D. Haigh, J. Hinkel, H. Haarstad, J.A. Johannessen, K.S. Madsen, R.E.M. Riva, T. Schmith, M.J.R. Simpson, A. Slangen, T. Wahl & K. Woth, 2016: White Paper: Sea level related adaptation needs in Europe. ECRA Collaborative Programme Sea Level Change and Coastal Impacts (CP SLC) – White Paper.
- Simpson, M. J. R., J. E. Ø. Nilsen, O. R. Ravndal, K. Breili, H. Sande, H. P. Kierulf, H. Steffen, E. Jansen, M. Carson and O. Vestøl (2015). Sea Level Change for Norway: Past and Present Observations and Projections to 2100. Norwegian Centre for Climate Services report 1/2015, ISSN 2387-3027, Oslo, Norway.
- Rhein, M., S.R. Rintoul, S. Aoki, E. Campos, D. Chambers, R.A. Feely, S. Gulev, G.C. Johnson, S.A. Josey, A. Kostianoy, C. Mauritzen, D. Roemmich, L.D. Talley and F. Wang, 2013: Observations: Ocean. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.