

Opptil én meter havstigning langs Norskekysten innen år 2100

Havet stiger. Grunnen er økende havtemperatur og smelting av is på land. Dette fører til at havet kan stå opptil én meter høyere langs hele norskekysten mot slutten av dette hundreåret.

Helge Drange, Ben Marzeion, Atle Nesje og Asgeir Sorteberg

Det er fremdeles noe usikkerhet når det gjelder framtidig stigning av havnivået. Men dette betyr ikke at en kan se bort fra denne siden av menneskeskapt klimaendring, tvert imot: Vi vet at det globale havnivået har økt med 17 cm siste hundre år. Likefullt vet vi at stigningen i havnivået har akselerert siden tidlig på 1990-tallet. Etter 1993 viser målinger fra satellitt at havnivåøkningen nå er på vel 3 mm i året, eller dobbelt så rask stigning som middeløkningen over de siste hundre år. Vi vet også at havet vil stige i lang tid framover, også hundrevis av år etter at mennesket får kontroll på utslippene av klimagasser. Det vil derfor være nødvendig å tilpasse seg de endringene som kommer, og å planlegge slik at en unngår framtidige overraskelser grunnet høyere havnivå.

Framtidsscenarier

I den nye rapporten fra FNs klimapanel (IPCC 2007) er det presentert flere framskrivninger av global havstigning. Framskrivningene er blant annet basert på tre standard utslippsscenarioer av klimagasser og partikler, nemlig scenario B1, A1B og A2 (se faktaboks). For disse tre utslippsscenarioene forventer klimapanelet en global havnivåøkning på mellom 18 og 51 cm mot slutten av dette hundreåret relativt til perioden 1980-1999. Klimarapporten understreker at havnivåøkningen kan bli 10-20 cm høyere enn dette blant annet grunnet økende ismelting langs kysten av Grønland og i Antarktis. Det er derfor sannsynlig at framskrivningene gitt av FNs klimapanel representerer en nedre grense for framtidig havstigning.

En ny studie i tidsskriftet *Science* (Rahmstorf 2007) påviser en sammenheng mellom global temperaturøkning og global havstigning for perioden fra 1880 og fram

til i dag. Ved å bruke Rahmstorfs modell på IPCCs framskrivninger av den globale overflatetemperaturen får vi at havnivået kan øke med mellom 55 og 110 cm relativt til havnivået i år 2000 (se figur 1). Rahmstorfs modell er særdeles enkel i det den bare tar hensyn til en sammenheng mellom global temperatur- og havnivåendring. Men gitt at oppvarming av verdenshavene og smelting av breer og iskapper fortsetter som i dag, er det grunn til å forvente at Rahmstorfs modell gir et representativt anslag for framtidig havstigning.

Det er også verdt å nevne at for perioden 1891 til 1990 har havstigningen langs norskekysten vært på rundt 14 cm når en ser bort fra effekten av landheving (Vestøl 2006). Denne stigningen er i tråd med Rahmstorfs modell som gir 14.3 cm stigning for samme periode. Rahmstorfs modell beskriver derfor observert havstigning langs Norskekysten på en god måte.

Forts. neste side

Scenario B1: Globale løsninger på økonomisk og sosial bærekraftighet. Raske endringer i økonomiske strukturer og introduksjon av rene teknologier. 7 milliarder mennesker i 2100. Atmosfærens CO₂-innhold er på 540 ppm i 2100, mot 380 ppm i dag (ppm er "parts per million").

Scenario A1B: Rask økonomisk vekst. Rik verden, men ujevnt fordelt. 7 milliarder mennesker i 2100. Teknologiske endringer fører til balanse mellom fossil og ikke-fossil energiteknologi. Atmosfærens CO₂-innhold er på 703 ppm i 2100.

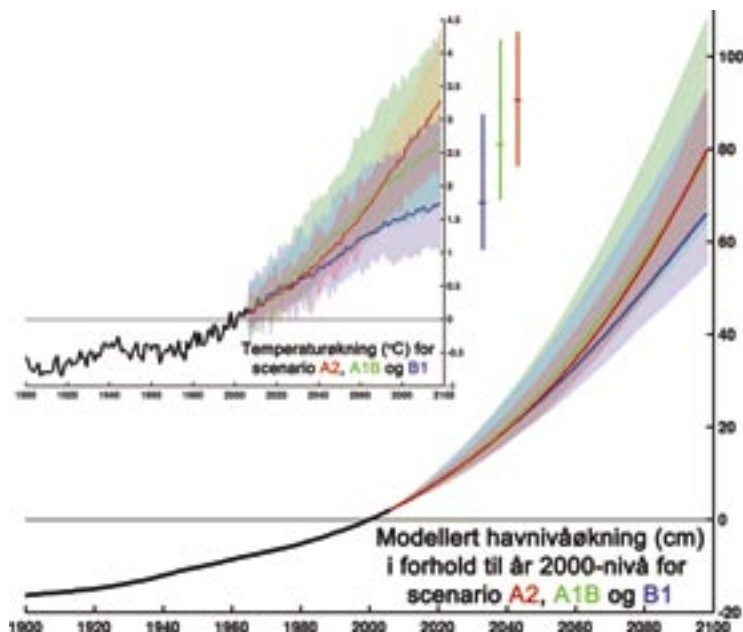
Scenario A2: Delt verden med høy befolkningsvekst og mindre bekymring for rask økonomisk utvikling. 15 milliarder mennesker i 2100. Atmosfærens CO₂-innhold er på 836 ppm i 2100.

Tidevann: Periodiske svingninger av havnivået som i hovedsak skyldes månens tiltrekningskraft.

Flo og fjære (høyvann og lavvann): Når tidevannet er på det høyeste og laveste. Forekommer ca. hver 12. time.

Springflo: Når jorden, månen og solen står på en linje, det vil si ved hver fullmåne og nymåne, er tiltrekningskraften ekstra sterk. Dette gir ekstra høy flo. Forekommer ca. hver 14. dag.

Stormflo: Når lavtrykk og sterk vind støver vann opp langs kysten og dette faller sammen med springflo.



Figur 1. Modellert global havnivåøkning (i cm relativt år 2000) basert på Rahmstorf (2007) for klimascenariene A2 (rød kurve), A1B (grøn kurve) og B1 (blå kurve). Den vesle figuren viser global temperaturøkning fra klimamodellene som inngår i IPCC (2007). Middelerdi og spredning i år 2100 er gitt til høyre for de to grafene.

A1B og B1. Tallene i tabellen er middelerdi; inkluderer vi usikkerhetene kan vannstandssøkningen bli vel 30 cm høyere for scenario A1B og A2 mot slutten av dette århundre.

Selv om det er usikkerheter i disse anslagene viser tabellen i klartekst at planlagte bygge- og prosjekteringsaktiviteter langs kysten må ta høyde for at havnivået kan komme til å stå fra en halv til én meter høyere mot slutten av dette århundre. Dette er illustrert i figur 2.

I tillegg vil det være nødvendig å tilpasse seg stigende havnivå for eksisterende infrastruktur for de fleste av byene og tettstedene langs norskekysten. Noen steder vil få særdeles store utfordringer. Som et eksempel må Bryggen i Bergen også ta høyde for at grunnmassene vil sige 60-80 cm i løpet av dette hundreåret. Med synkende grunn og stigende hav er det derfor å forvente at *enhver* flo vil gå inn på Bryggen fra rundt 2050.

Høyere havnivå i norske farvann

I tillegg til den globale havnivåendringen på 55 til 110 cm, vil Norges nærområder få en ekstra havnivåøkning på rundt 10 cm. Grunnen til at havstigningen ikke er jevnt fordelt skyldes at noen havområder har et mer effektivt varmeopptak enn andre områder. Dessuten påvirkes havnivået av framtidig endring i havsirkulasjonen. De ekstra 10 cm angitt over er en middelerdi fra de klimamodellene som er benyttet i IPCC (2007). Med dette ekstrabidraget er vi oppe i framtidig havnivåøkning for norske farvann på mellom 65 og 120 cm.

Siden Skandinavia var tynget av en tykk iskappe under siste

istid, løfter landet seg fremdeles. I løpet av dette hundreåret vil landhevingen være på rundt én meter innerst i

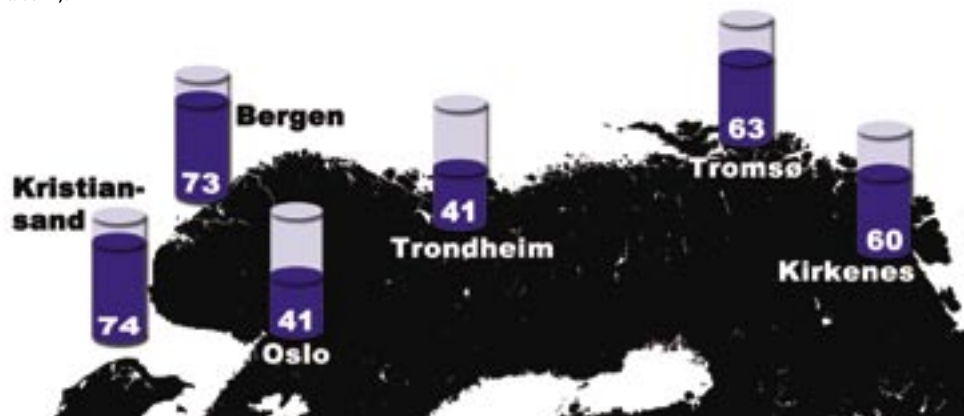
Dårligst ut kommer kyststrekningen på Sørvestlandet; her vil det bare bli ca. 10 cm landheving for samme periode.

“Det er derfor sannsynlig at framskrivningene gitt av FNs klimapanel representerer en nedre grense for framtidig havstigning.”

Bottenviken og nær null ytterst på Sør- og Vestlandskysten. Derfor kommer innerste deler av Oslo- og Trondheimsfjorden best ut når det gjelder framtidig havstigning; her vil landet løfte seg med rundt halvmeteren i løpet av dette hundreåret.

Setter vi sammen bidraget av global vannstandsøkning basert på Rahmstorfs modell, pluss 10 cm grunnet økt havstigning hos oss, minus bidraget av landhevingen langs kysten, får vi tallene som gitt i tabell 1 for de tre klimascenariene A2,

Figur 2. Midlere vannstandsøkning (i cm) langs norskekysten i år 2100 relativt år 2000 for scenario A2. Som en referanse representerer de lyse sylindrene en vannstandsøkning på 100 cm. Inkluderer en usikkerhet i havstigning og landheving kan vannstanden øke med vel 30 cm i tillegg til det vist her (se tabell 1).



Stormflo

Havstigningen beskrevet over gjelder for både flo og fjære sjø. Men den største utfordringen vil framtidig stormflo representere. Ved stormflo blir vannet langs kysten stuet opp mot land grunnet lavtrykk og sterk vind, og dette kommer da i tillegg til havnivået ved flo sjø. For våre nærområder viser klimamodellene bare en svak økning av styrken til stormene i et framtidig klima. Dette vil si at høyden ved framtidig stormflo vil være gitt når havnivåøkningen i tabell 1 legges til høyden for dagens stormflo, pluss kanskje 10 cm grunnet noe kraftigere stormer fra vest (Lowe og Gregory 2005, og Woth m.fl. 2006). Dette gir stormflo som vist i figur 3.

Det er også verdt å merke seg at selv om forskjellene mellom framskrivningene av temperatur for scenario A2, A1B og B1 er betydelige (se den vesle grafen i figur 1), så er forskjellen i midlere havstigning for de tre scenariene på bare 14 cm. Det er flere grunner til dette: Vann har en meget høy varmekapasitet, så verdenshavene kan lagre store varmemengder. Siden havstigningen er gitt ved akkumulert temperaturstigning fra begynnelsen



Figur 3. Mulig stormflo (i cm) i år 2100 relativt kote null (NN1954, se <http://vannstand.statkart.no/main.php>). Høydene er framkommet med å ta høyeste stormflo som er observert fram til i dag, legge til 80 cm fra scenario A2 (se figur 1), pluss 10 cm høyere havnivå hos oss, pluss 10 cm for økt stormaktivitet, minus landheving fra tabell 1.

av 1800-tallet, utgjør ikke forskjellen mellom de tre scenariene så mye for havnivået. Så selv om vi skulle klare å redusere de globale klimagassutslippene med 50 prosent, som vil være nødvendig for å kunne nå scenario B1, vil havstigningen bli betydelig i dette hundreåret. I tillegg er den vertikale blandingen i havet en langsom prosess. Det er det siste som gjør at havet vil stige i hundrevis av år etter at vi har fått kontroll på utslippene av drivhusgasser.

Avslutningsvis er det verdt å huske på at selv om alvoret er absolutt og utfordringene mange for kyst-Norge, vil en rekke øysamfunn i Stillehavet og lavtliggende land i for eksempel India, Bangladesh og Indonesia få dramatisk større problemer enn de vi får. Det

Helge Drange

(helge.drange@nersc.no) er tilsatt ved G. C. Rieber klimainstitutt, Nansensenteret, Bergen, Bjerknessenteret for klimaforskning, Bergen, Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen, og Nansen-Zhu internasjonale forskningscenter, Beijing.

Ben Marzeion

(ben.marzeion@nersc.no) er tilsatt ved Nansensenteret, Bergen og ved Bjerknessenteret for klimaforskning, Bergen.

Atle Nesje

(atle.nesje@geo.uib.no) er tilsatt ved Bjerknessenteret for klimaforskning, Bergen, og ved Institutt for geovitenskap, Universitetet i Bergen.

Asgeir Sorteberg

(asgeir.sorteberg@bjerknes.uib.no) er tilsatt ved Bjerknessenteret for klimaforskning, Bergen.

Tabell 1. Beregnet middelhavstigning (i cm) for norske kystbyer i år 2050 og 2100 relativt til år 2000. Angitt landheving (i cm) er inkludert i tallene for havstigningen. For år 2050 er estimert usikkerhet i midlere havstigning -6 til +8 cm for B1, -7 til +12 cm for A1B og -6 til +12 cm for A2. For år 2100 er usikkerhetene -17 til +18 cm for B1, -20 til +35 cm for A1B og -16 til +31 cm for A2. Dette betyr at havstigningen kan bli 114 cm i Haugesund og 107 cm i Bergen og Kristiansund i år 2100. For steder ikke angitt i tabellen, kan nærmeste kystby benyttes. Tallene for landheving er fra Vestøl (2006).

	År 2050				År 2100			
	Landheving (cm)	Midlere havstigning (cm)			Landheving (cm)	Midlere havstigning (cm)		
		A2	A1B	B1		A2	A1B	B1
Arendal	12	19	21	19	24	66	64	52
Bergen	8	23	25	23	17	73	72	60
Bodø	18	14	15	13	36	54	53	41
Drammen	22	10	11	9	43	46	45	33
Drøbak	22	9	11	9	44	46	44	32
Eigersund	5	27	28	26	10	80	79	67
Florø	10	22	23	21	20	70	68	56
Fredrikstad	19	13	14	12	28	52	50	38
Grimstad	11	21	22	20	22	68	66	54
Haugesund	5	27	28	26	9	80	79	67
Høyanger	12	20	21	19	23	67	65	53
Kirkenes	15	16	18	16	30	60	58	46
Kristiansand	8	23	25	23	16	74	72	60
Kristiansund	13	18	20	18	27	63	62	50
Larvik	16	16	17	15	32	58	57	45
Måløy	9	22	24	22	19	71	70	57
Mandal	6	25	27	25	13	77	76	64
Molde	12	20	21	19	23	67	65	53
Mosjøen	23	9	10	8	46	44	42	30
Moss	19	12	14	12	39	51	50	38
Namsos	23	9	10	8	46	44	43	30
Narvik	23	8	10	8	47	43	42	30
Ørsta	9	22	24	22	19	71	70	58
Oslo	24	7	9	7	49	41	40	27
Øvre Årdal	15	17	18	16	30	60	59	47
Porsgrunn	16	16	17	15	32	58	57	44
Sandefjord	17	15	16	14	34	56	55	42
Sandnessjøen	22	9	11	9	44	45	44	32
Sarpsborg	21	11	12	10	42	48	47	35
Sogndal	8	24	25	23	16	74	72	60
Stavanger	6	26	27	25	12	78	77	65
Svolvær	13	18	20	18	27	63	62	50
Tønsberg	19	13	14	12	37	53	51	39
Tromsø	13	18	20	18	27	63	62	50
Trondheim	24	7	9	7	48	41	40	28
Vadsø	13	19	20	18	26	64	63	50
Ålesund	9	22	24	22	19	71	70	58
Åndalsnes	13	18	20	18	26	64	62	50

er også slik at disse samfunnene vil ha vansker med å tilpasse seg klimaendringene da de ofte rår over små økonomiske resurser.

Referanser

- IPCC (2007), *Climate change 2007: The physical science basis*, se <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>
- Lowe, J. A. og J. M. Gregory (2005), The effects of climate change on storm surges around the United Kingdom, *Phil. Trans. R. Soc.*, **363**, 1313-1328
- Rahmstorf, S. (2007), A semi-empirical

approach to projecting future sea-level rise, *Science*, **315**, 368-370

- Vestøl, O. (2006), Determination of postglacial land uplift in Fennoscandia from leveling, tide-gauges and continuous GPS stations using least squares collocation, *Journal of Geodesy*, **80**, 248-258
- Woith, K., R. Weisse og H. Von Storch (2006), Climate change and North Sea storm surge extremes: an ensemble study of storm surge extremes expected in a changed climate projected by four different climate models, *Ocean Dynamics*, **56**, 3-15