

Veðurstofa Íslands



Sjávarstöðubreytingar

Halldór Björnsson, VÍ

Almennt yfirlit um sjávarstöðubreytingar

Líta má á yfirborð sjávar sem jafnmættisflöt í þyngdarsviði jarðar

Á þessu eru þó nokkur frávik

- ▶ Aflrænt frávik: ríkjandi vindáttir aflaga sjávarborðið og knýja hringstreymi
 - ▲ Golfstraumurinn → N Atlanhafsstraumurinn → osfrv
 - ▲ Lítil bein áhrif á breytileika við strendur.
- ▶ Tímaháðar sveiflur
 - ▲ Flóð og fjara, loftvægi og veðurtengdur áhlaðandi

Almennt yfirlit um sjávarstöðubreytingar

Núverandi jafnmættisflötur segir ekki alla söguna

- ▶ Hversu mikið vatn er bundið í jökulís skiptir augljóslega máli fyrir sjávarstöðu (t.d. sjávarstaða á jökulskeiðum)
 - ▲ Önnur vatnsgeymsla á landi skiptir einnig máli
- ▶ Eðlisléttari sjór stendur hærra
 - ▲ Varmapennsla, seltubreytingar

Jafnmættisflöturinn getur aflagast vegna breyttrar massadreifingar

- ▶ Vegna bráðnunar íshvela
 - ▲ Flókið fyrirbæri

Ekki má gleyma landrisi og landsigi

- ▶ Aðlögun frá síðasta jökulskeiði enn í gangi

Almennt yfirlit um sjávarstöðubreytingar

Núverandi jafnmættisflötur segir ekki alla söguna

- ▶ Hversu mikið vatn er bundið í jökulís skiptir augljóslega máli fyrir sjávarstöðu (t.d. sjávarstaða á jökulskeiðum)
 - ▲ Önnur vatnsgeymsla á landi skiptir einnig máli

- ▶ Eðlisléttari sjór stendur hærra
 - ▲ Varmapennsla, seltubreytingar

Jafnmættisflöturinn getur aflagast vegna breyttrar massadreifingar

- ▶ Vegna bráðnunar íshvela
 - ▲ Flókið fyrirbæri

Ekki má gleyma landrisi og landsigi

- ▶ Aðlögun frá síðasta jökulskeiði enn í gangi

12.4. VORTICITY AND EKMAN PUMPING

209

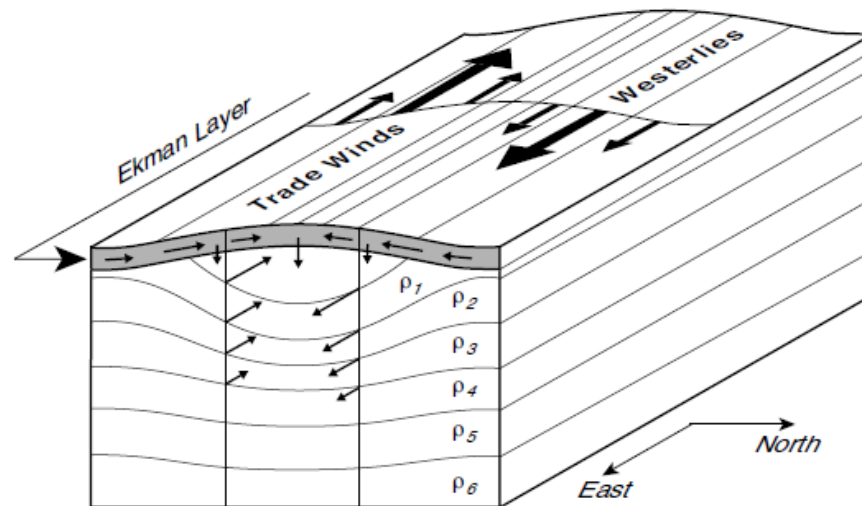


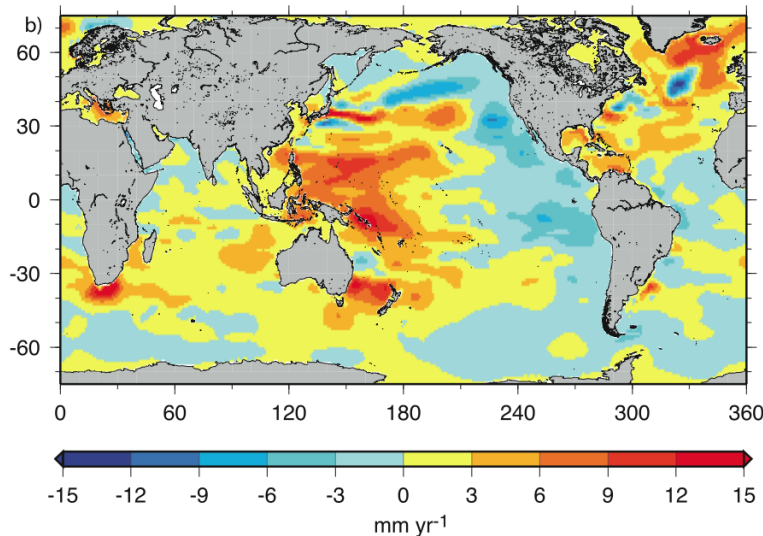
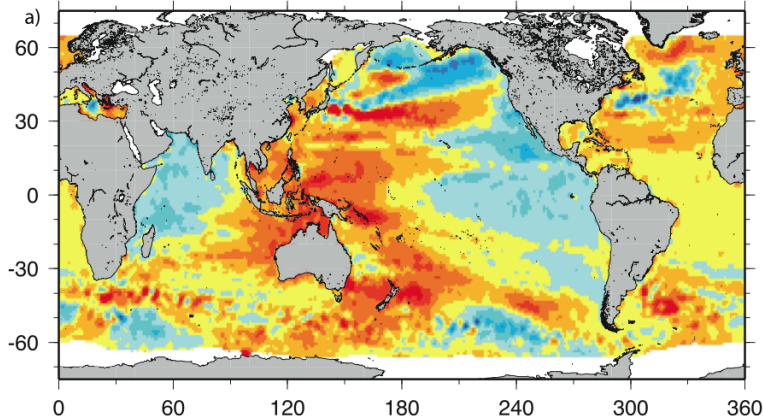
Figure 12.7 Winds at the sea surface drive Ekman transports to the right of the wind in this northern hemisphere example (bold arrows in shaded Ekman layer). The converging Ekman transports driven by the trades and westerlies drives a downward geostrophic flow just below the Ekman layer (bold vertical arrows), leading to downward bowing constant density surfaces ρ_i . Geostrophic currents associated with the warm water are shown by bold arrows. After Tolmazin (1985: 64).

Sjávarstöðubreytingar (IPCC, 2007)

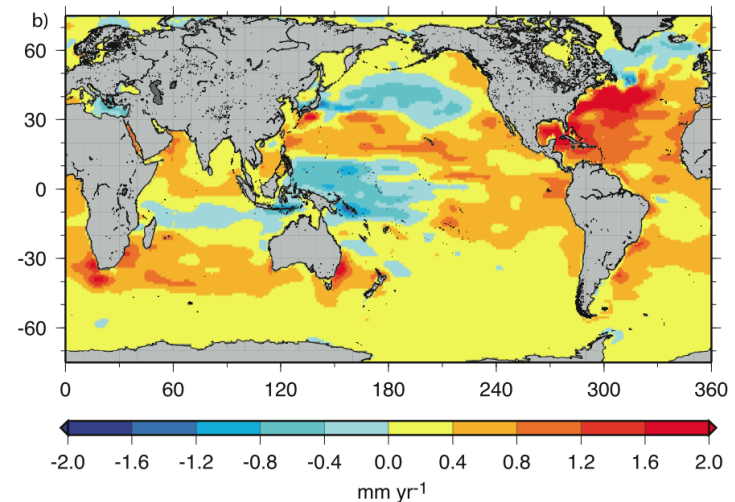
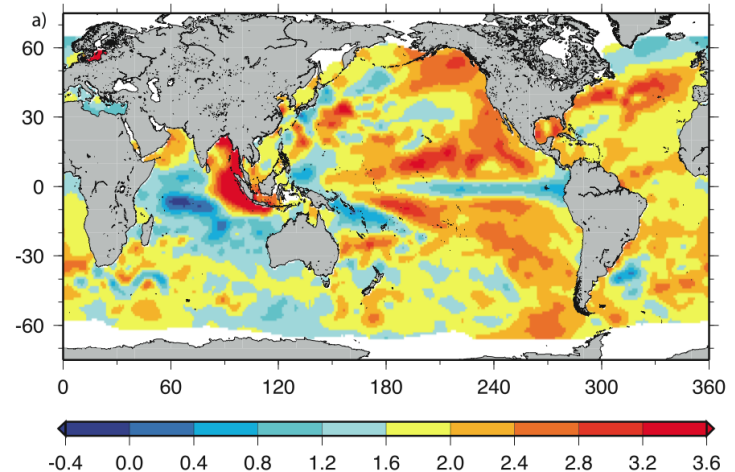
Veðurstofa
Íslands



1993 - 2003 Mælt



1955 - 2003

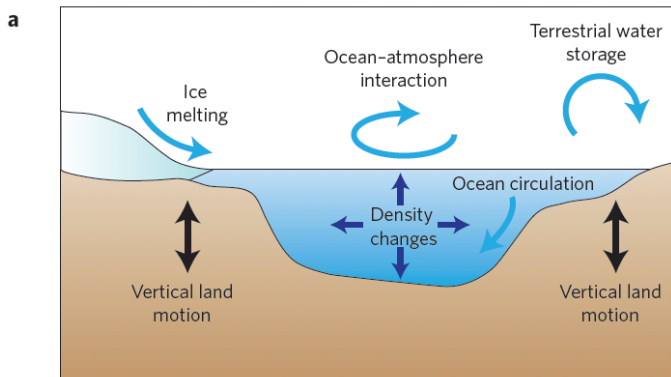


Varmapennsla

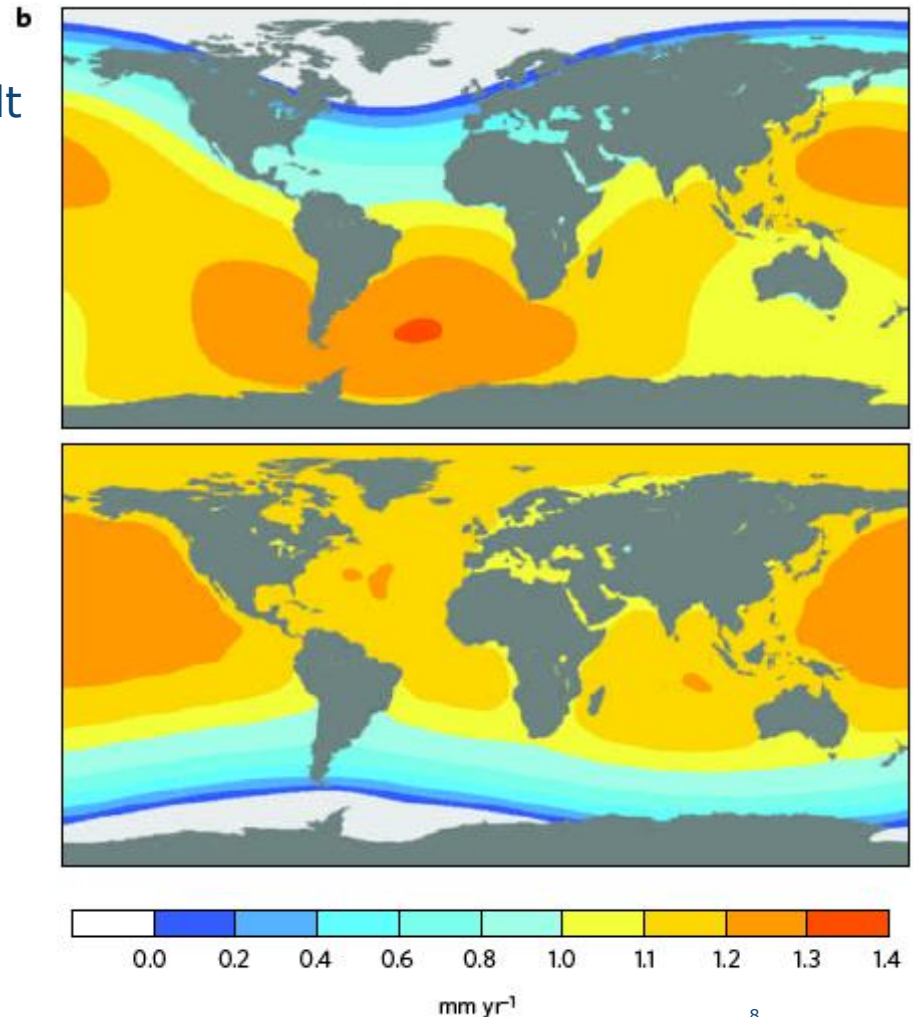
Íshvel aflaga þyngdarsviðið

Ef íshvel bráðnar fellur sjávarstaða í allt að 2200 km fjarlægð, rís hóflega frá 2200 til 6700 km og rís meira fjær (Slangen ofl 2011)

Þessi aflögun sjávarstöðu breytir svo þyngdarsviðinu enn meira (Woodward (1887), Farrell and Clark (1976))



(Milne et al. 2009)

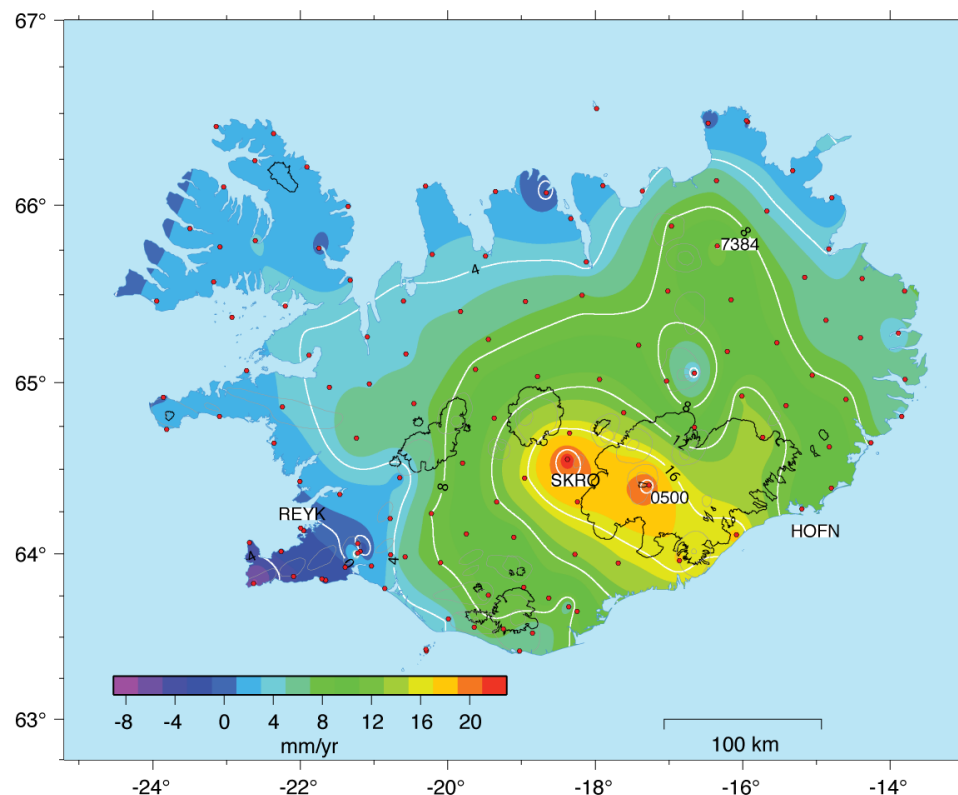


Lóðrétt hreyfing lands

**Landris eða landsig hafa
augljós áhrif á stöðu
sjávarborðs**

**Síðasta jökulskeið hefur
enn áhrif sumstaðar**

**Víða lækkar sjávarborð
við uppdælingu
grunnvatns ofl.**



Árnadóttir et al., GJI 2009

Lóðrétt hreyfing lands

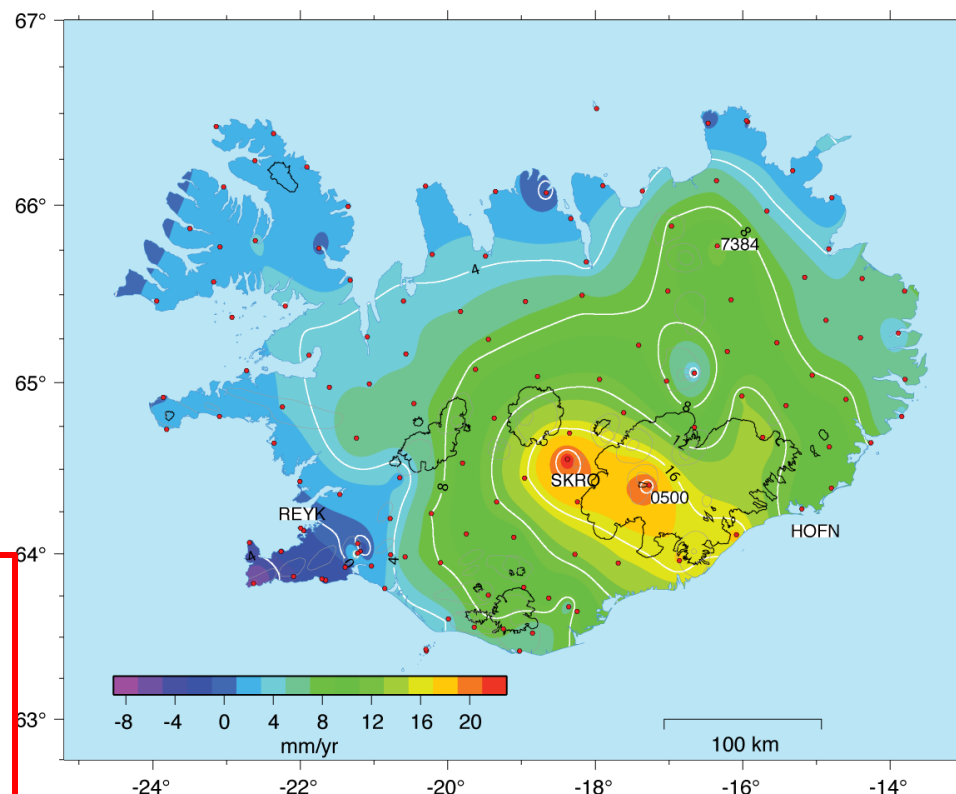
**Landris eða landsig hafa
augljós áhrif á stöðu
sjávarborðs**

**Síðasta jökulskeið hefur
enn áhrif sumstaðar**

**Víða lækkar sjávarborð
við uppdælingu
grunnvatns ofl.**

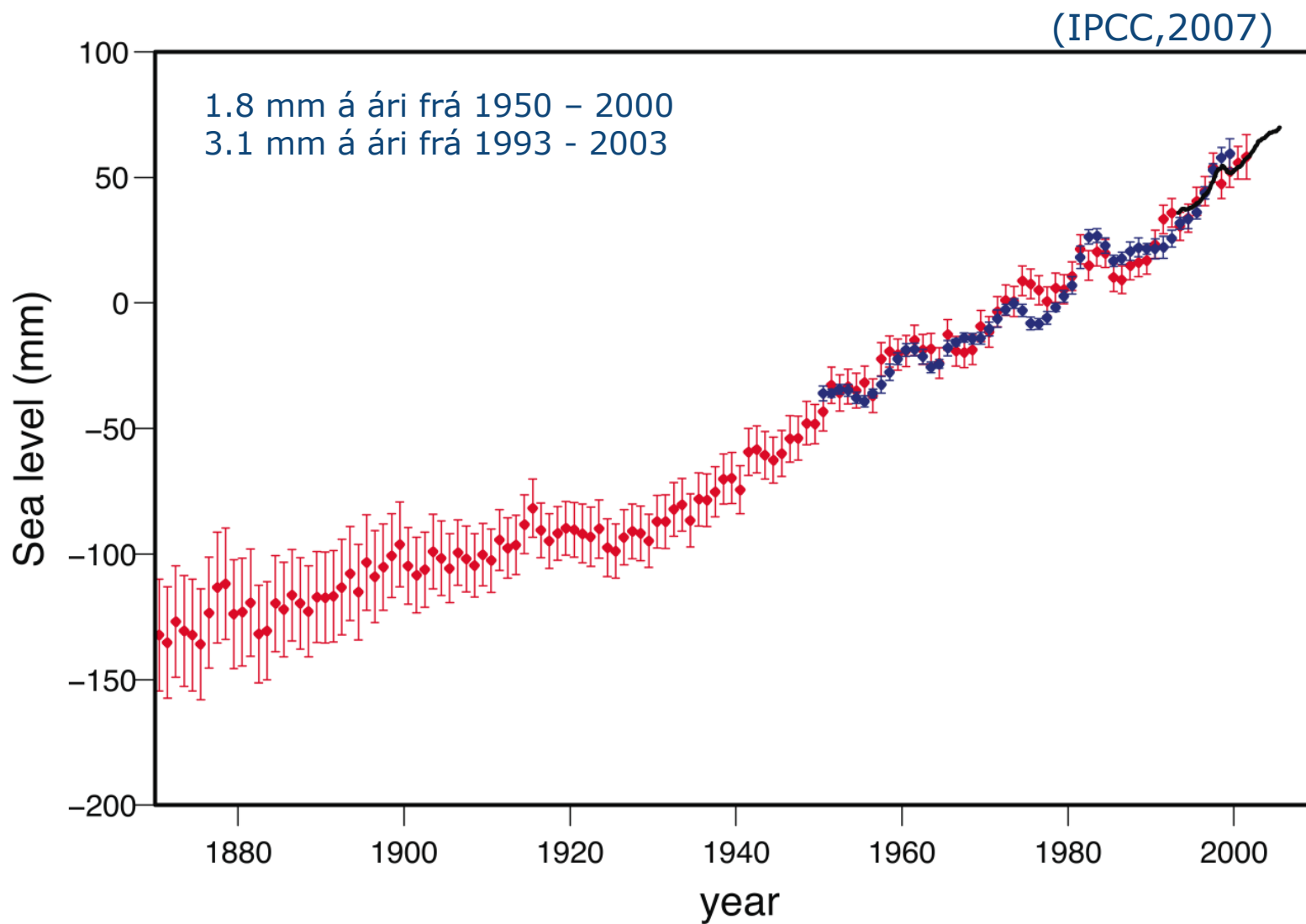
**Á Íslandi er landris víða
vegna bráðnunar jökla.**

**Á suðvestur horni
landsins er landsig**



Árnadóttir et al., GJI 2009

Hnattrænar sjávarstöðubreytingar á 20. öldinni



Mælingar á sjávarborði hafa farið fram í Reykjavíkurböfn síðan árið 1956.

Greint af Ólafi Guðmundssyni og Páli Einarssyni árið 1991:

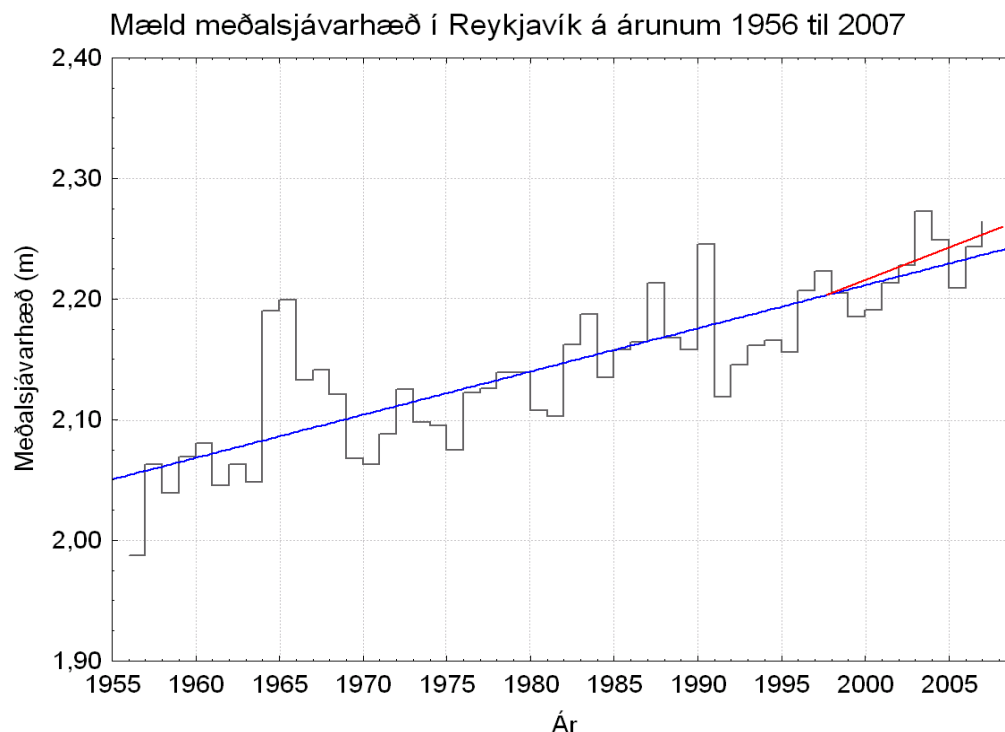
- ▶ 0.84 cm fyrir hvert hPa sem loftvægi breytist
- ▶ 0.44 cm fyrir hverja gráðu sem lofthiti breytist
- ▶ Ýtarleg greining á langtímabreytingum og stjarnfræðilegum áhrifum (flóð og fjöru, langtíma sveiflum því tengdu).
 - ▲ Þyrfti að endurtaka þessa greiningu með nýrri gögnum.

Mælingar á sjávarborði hafa farið fram í Reykjavíkurböfn síðan árið 1956.

Árin 1956-2007 hækka um 3.6 mm/ári en frá 5.5 mm/ári frá 1997 – 2007

Ef leiðrétt er fyrir líklegu landsigi (frá GPS neti) verða þetta 1.5 mm/ári og 3.1 mm/ári

Síðari tölurnar eru sambærilegar við hnattrænar



Breytingar á sjávarstöðu verða tilfinnanlegar ef stórflóð verða algengari

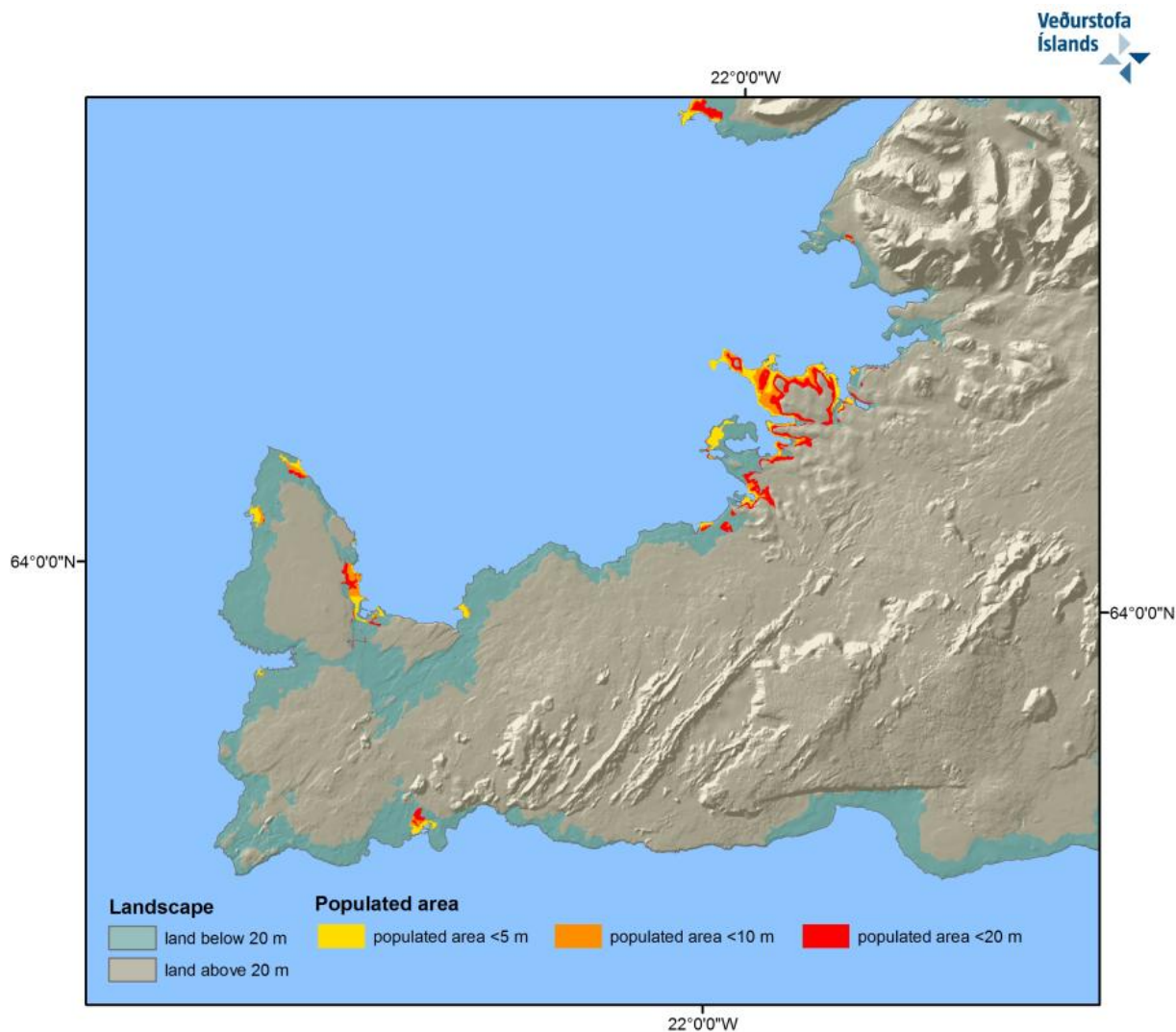
- ▶ Ef sjávarborð hækkar um 36 cm í Reykjavík gerist “100 ára flóðið” á 5 ára fresti!
 - ▶ Kvosin stendur lágt, oft gefur yfir varnargarða við Ánanaust og Sæbrautina

Endurkomutími hæstu sjávarstöðu í Reykjavík				
	nú	2°C	3°C	4°C
		(38cm)	(48 cm)	(59cm)
5 ár	4,81	5,19	5,29	5,40
10 ár	4,90	5,27	5,38	5,48
25 ár	5,00	5,38	5,48	5,59
50 ár	5,08	5,46	5,56	5,67
100 ár	5,16	5,54	5,64	5,75

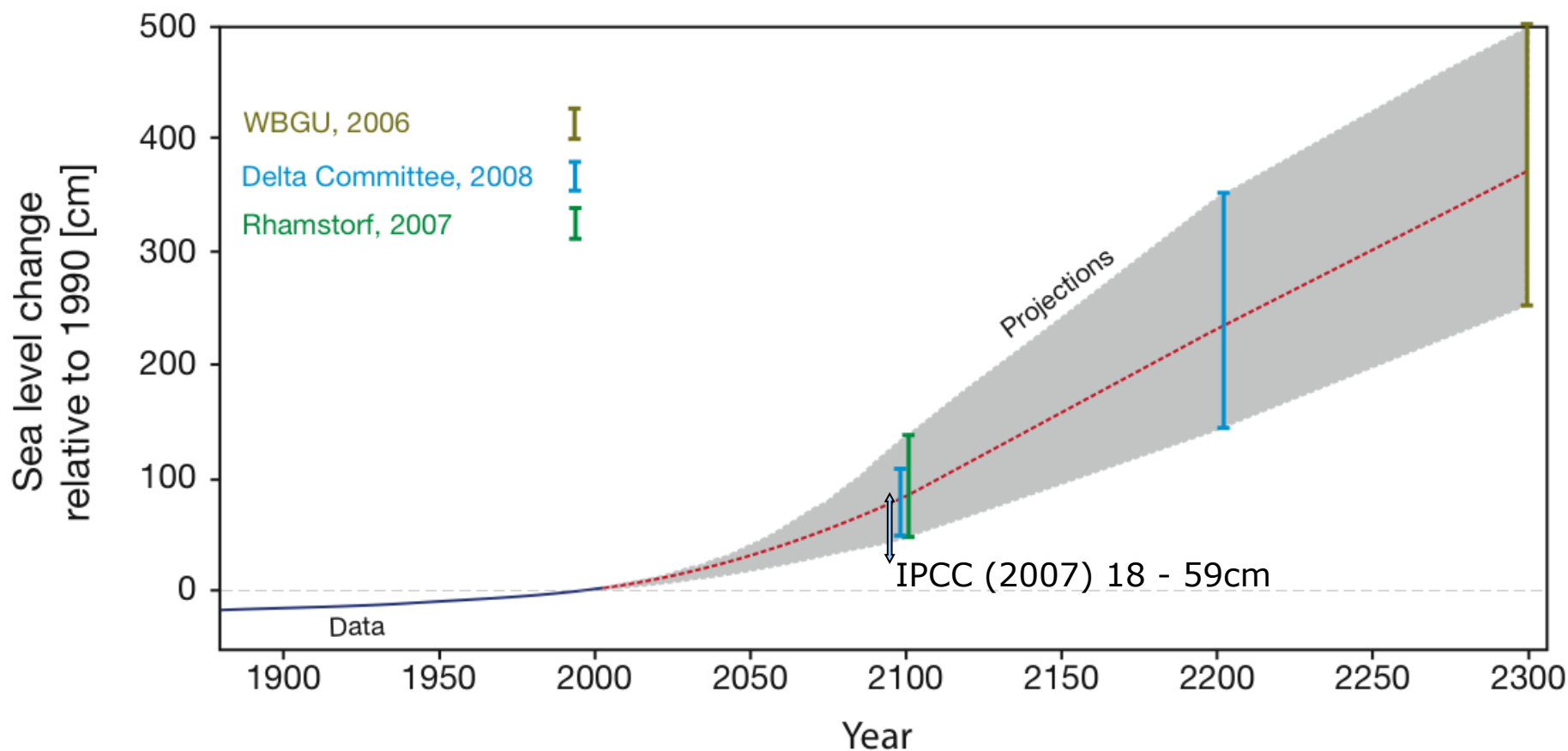
(Vísindanefnd um loftslagsbreytingar, 2008)

- ▶ Söguleg flóð: Pourquoi Pas 1936: 6m og Básendar 1799: 6.4 m
 - ▶ Páll Imslund (1991): 131 sjávarflóð í annálum frá og með 1199

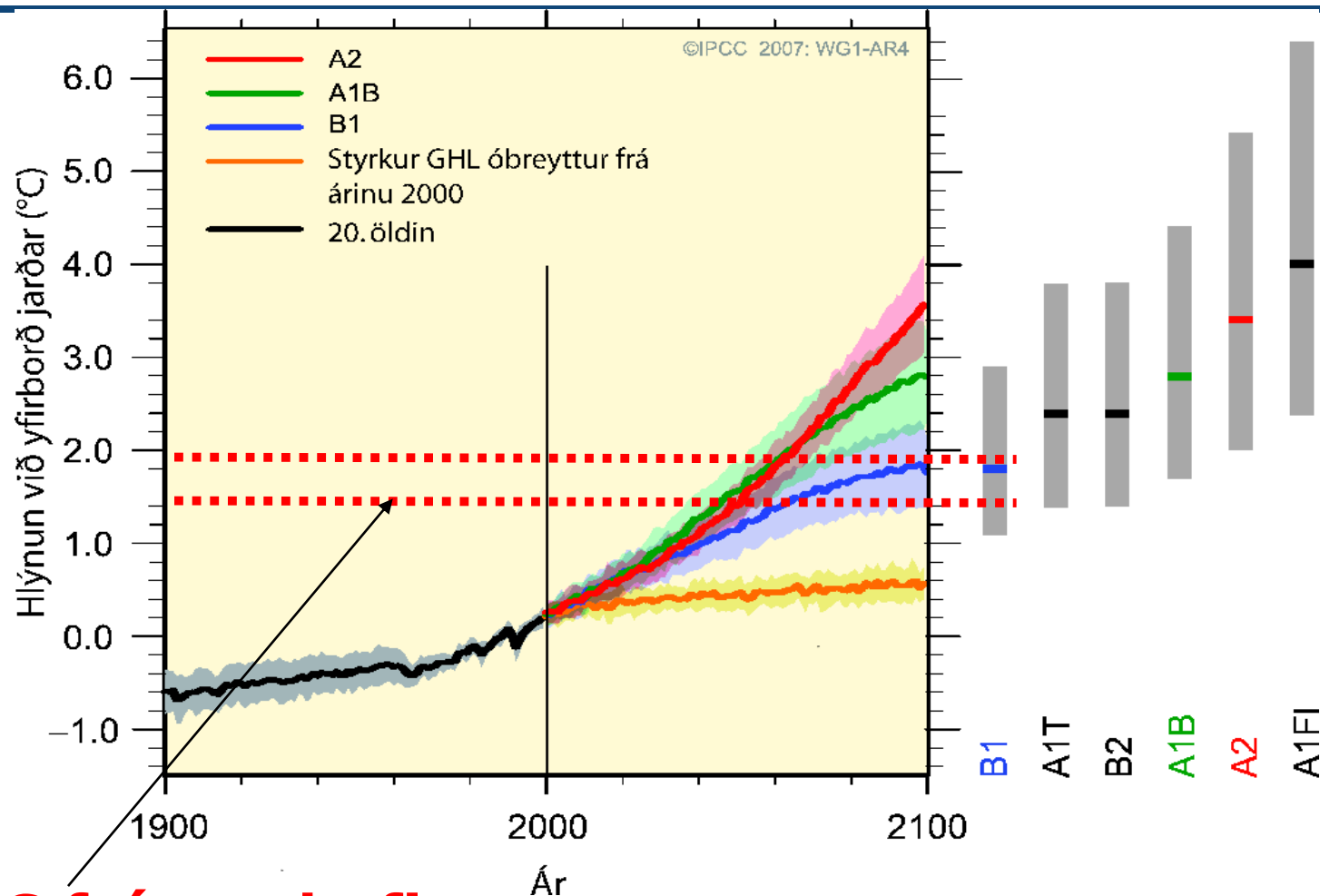
Byggð á lágsvæðum í á SV horninu



Líkleg hnattræn sjávarborðshækkun á næstu öldum



Sjávarborðshækkun næstu alda fer eftir losun og hlýnun



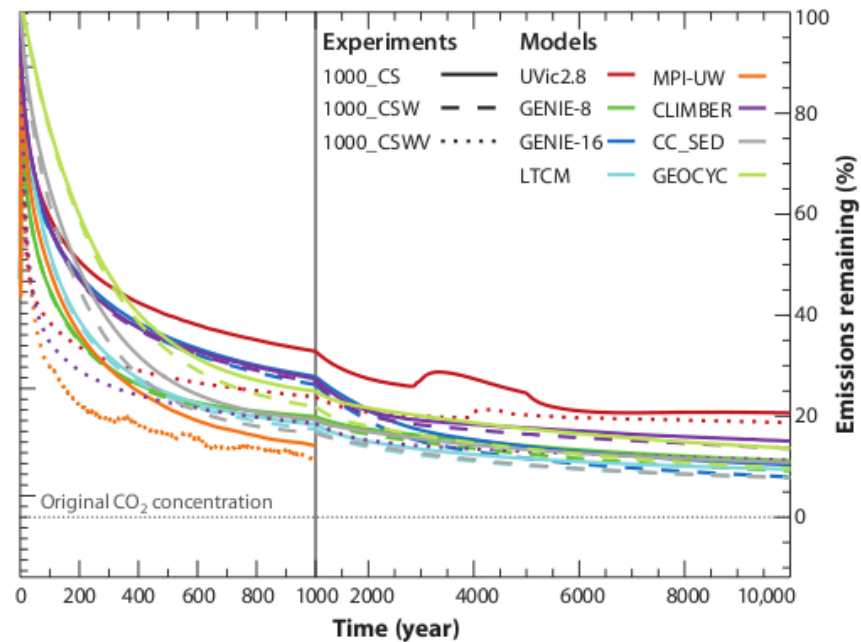
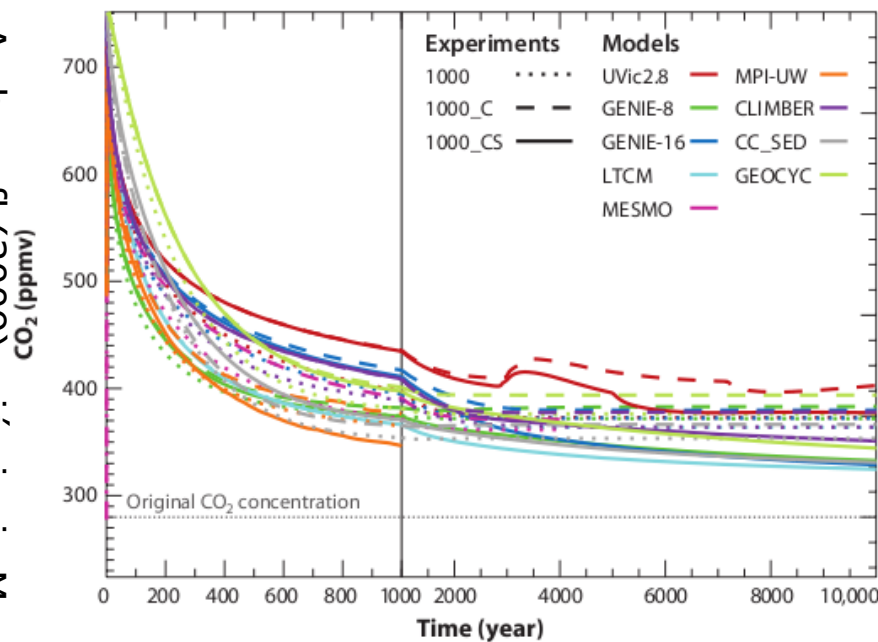
2°C frá upphafi iðnbýltingar

(Byggt á líkanreikningum og athugunum IPCC WG1 Myndir 10.4 og 10.29)

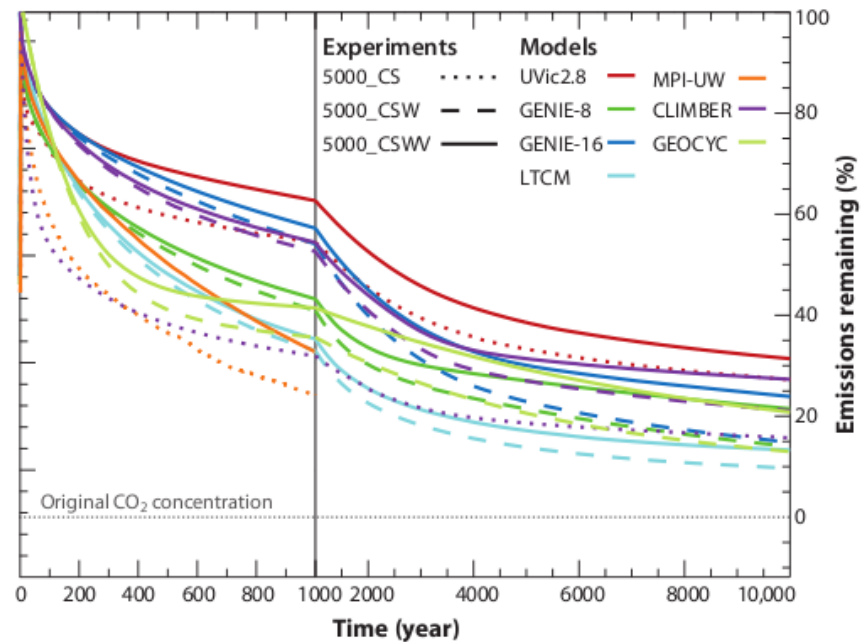
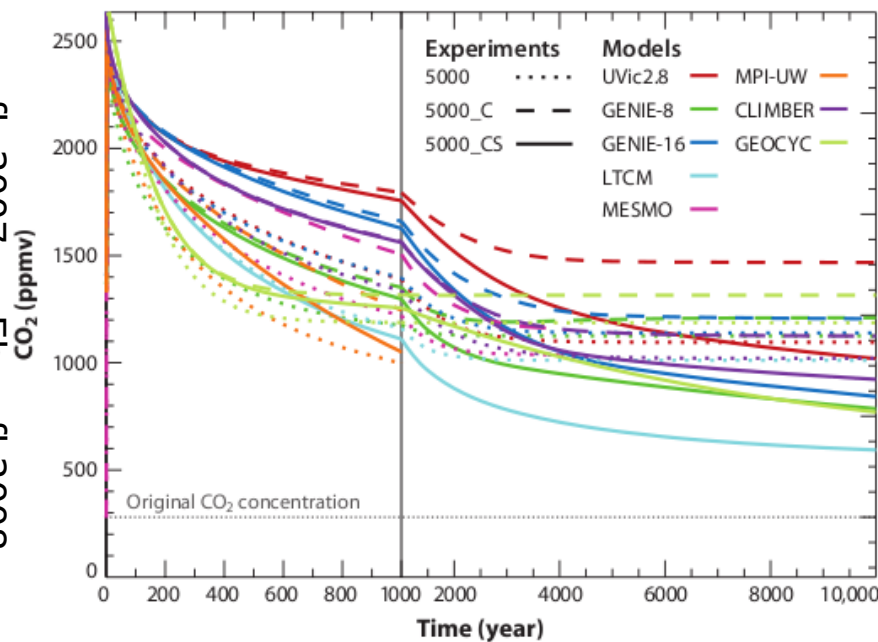


- **Það er nóg af jarðefnaeldsneyti til að halda veislunni áfram, dæmi:**
 - Heildarlosun vegna olíu hingað til er um 120 GtC en birgðir eru 200 – 300 GtC
 - ~200 í venjulegri olíu,
og miklu meira (~ 700) í tjörusandi oph.
 - Jarðgas 100 – 200 GtC (“Fracking” hækkar líklega töluna)
 - Kolabirgðir 2500 - 3000 GtC
- **Tölurnar hér að ofan eru brot af heildarbirgðum, heildarmagn brennanlegs eldsneytis líklega yfir 5000GtC, og rökstyðja má tölur allt að 18000GtC (með metanís oph).**

Atmospheric CO₂ for a 1000 Pg pulse

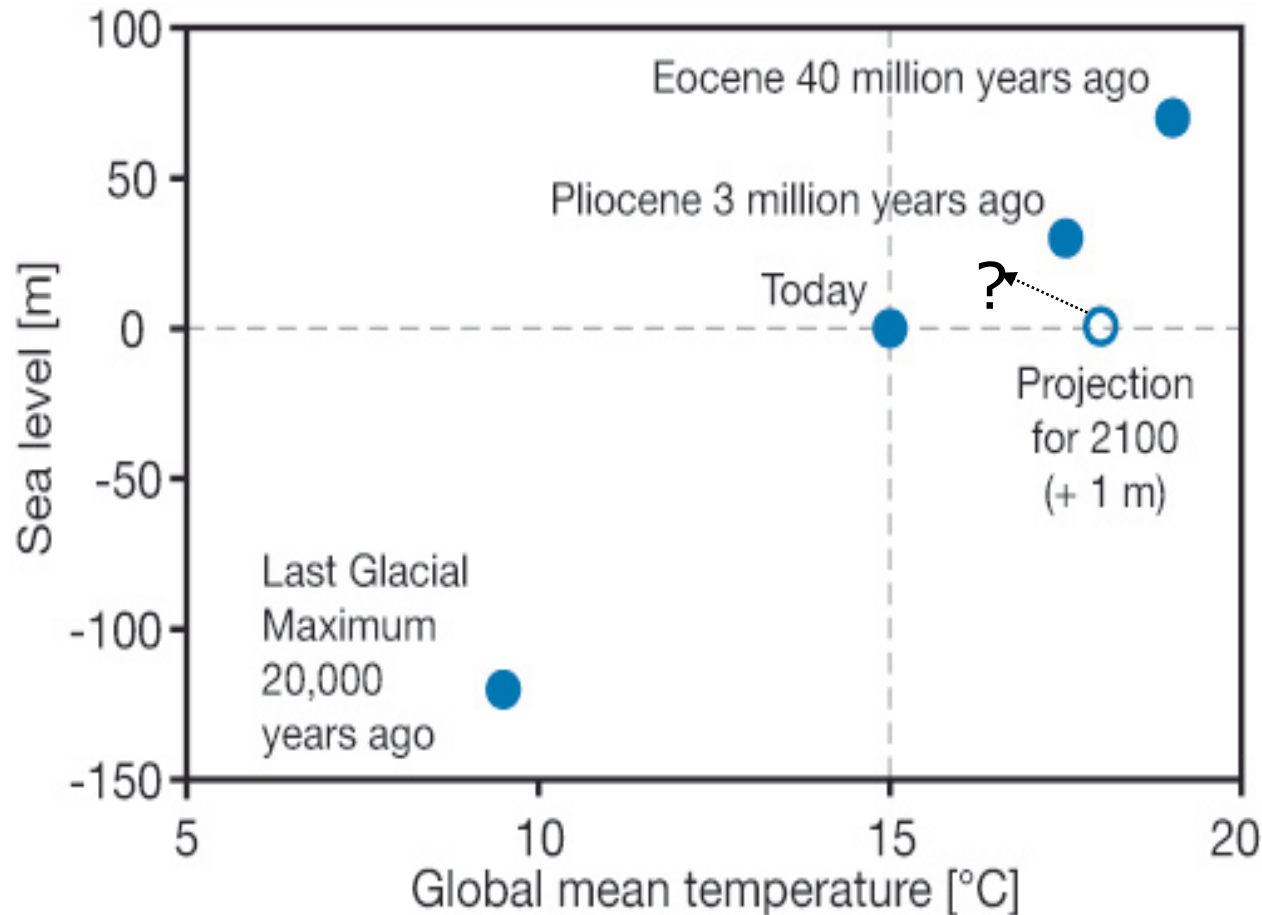


Atmospheric CO₂ for a 5000 Pg pulse



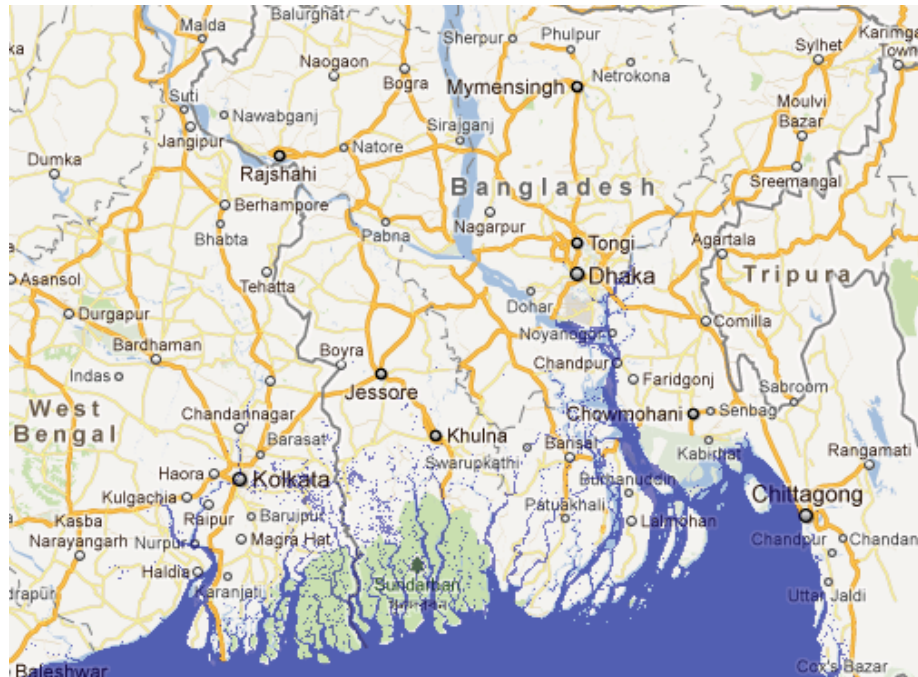
- Ef losað er 1000 GtC verður hlýnun 1 – 2°C 1000 árum eftir að losun hættir og 1 – 1.5 °C eftir 10000 ár
 - Miðað við 3°C per tvöföldun á styrk CO₂.
- Ef losað er 5000 GtC verður hlýnunin 5 - 8 °C eftir 1000 ár og 3 – 6 °C eftir 10000 ár !
- Áhrif langvarandi hlýnunnar illa þekkt
- Mjög erfitt er að meta sjávarstöðubreytingar við langtíma hlýnun sem þessa

Sjávarstaða í jarðsögulegu samhengi



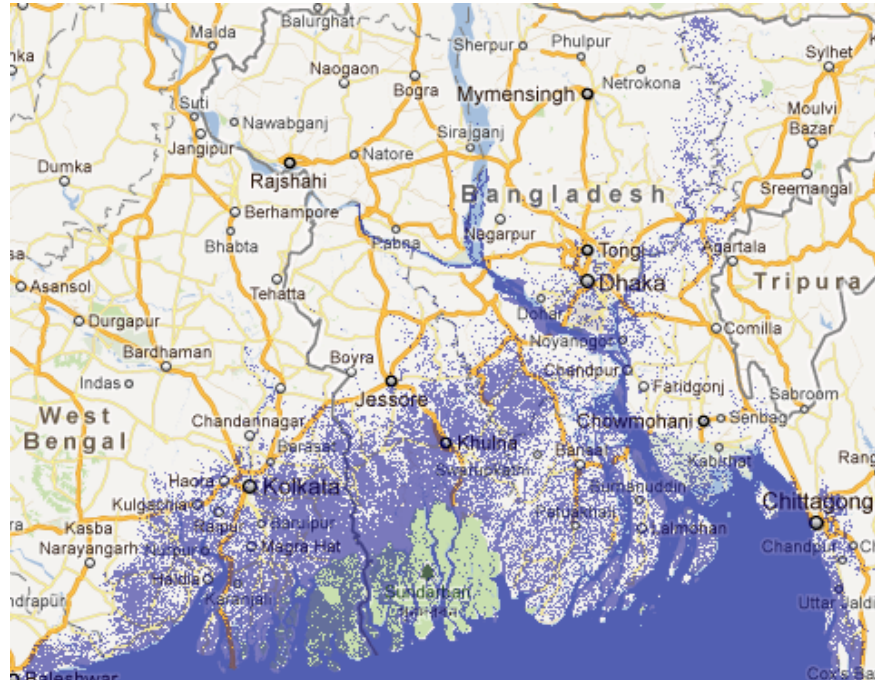
(Archer 2006)

Bangladesh +0 m



Tekið af <http://flood.firetree.net/>. Hæðarlínur á lágsvæðum eru yfirleitt illa skilgreindar, og því ber að taka korti með varúð. Sjá einnig kort hjá CReSIS <https://www.cresis.ku.edu/data/sea-level-rise-maps>

Bangladesh +5 m



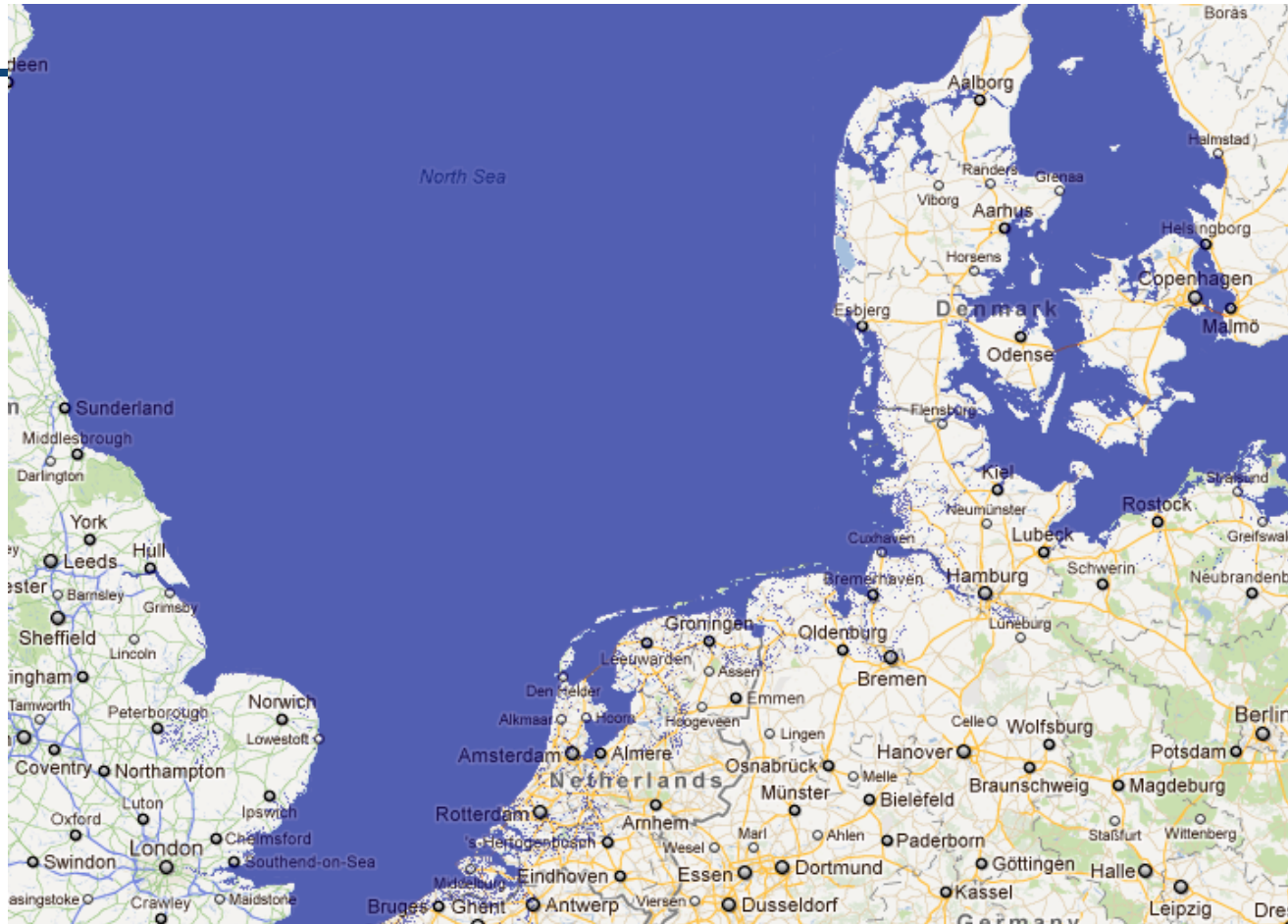
Tekið af <http://flood.firetree.net/>. Hæðarlínur á lágsvæðum eru yfirleitt illa skilgreindar, og því ber að taka korti með varúð. Sjá einnig kort hjá CReSIS <https://www.cresis.ku.edu/data/sea-level-rise-maps>

Bangladesh +20 m



Tekið af <http://flood.firetree.net/>. Hæðarlínur á lágsvæðum eru yfirleitt illa skilgreindar, og því ber að taka korti með varúð. Sjá einnig kort hjá CReSIS <https://www.cresis.ku.edu/data/sea-level-rise-maps>

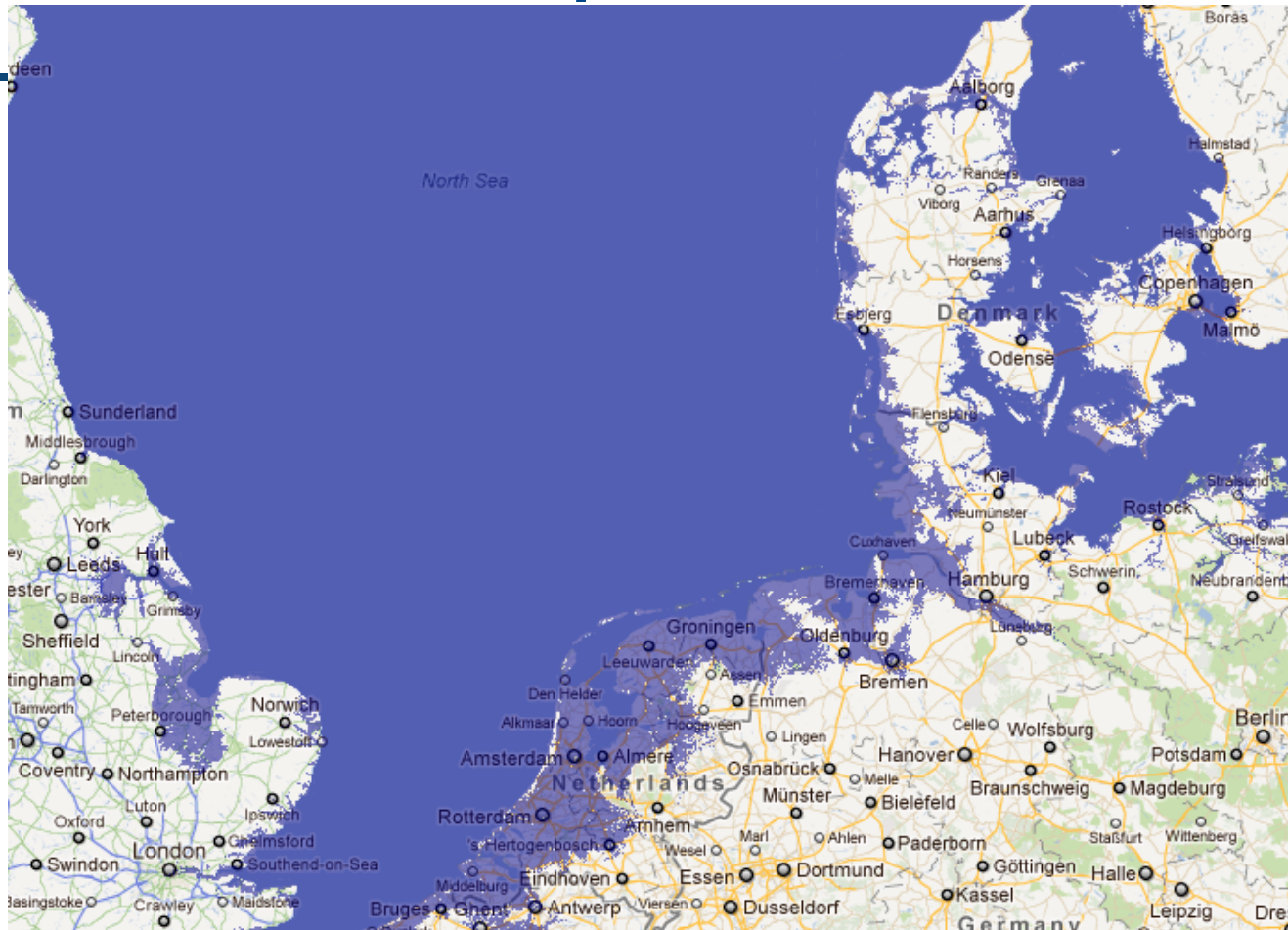
N. Evrópa + 0 m



Tekið af <http://flood.firetree.net/>. Hæðarlínur á lágsvæðum eru yfirleitt illa skilgreindar, og því ber að taka korti með varúð. Sjá einnig kort hjá CReSIS <https://www.cresis.ku.edu/data/sea-level-rise-maps>



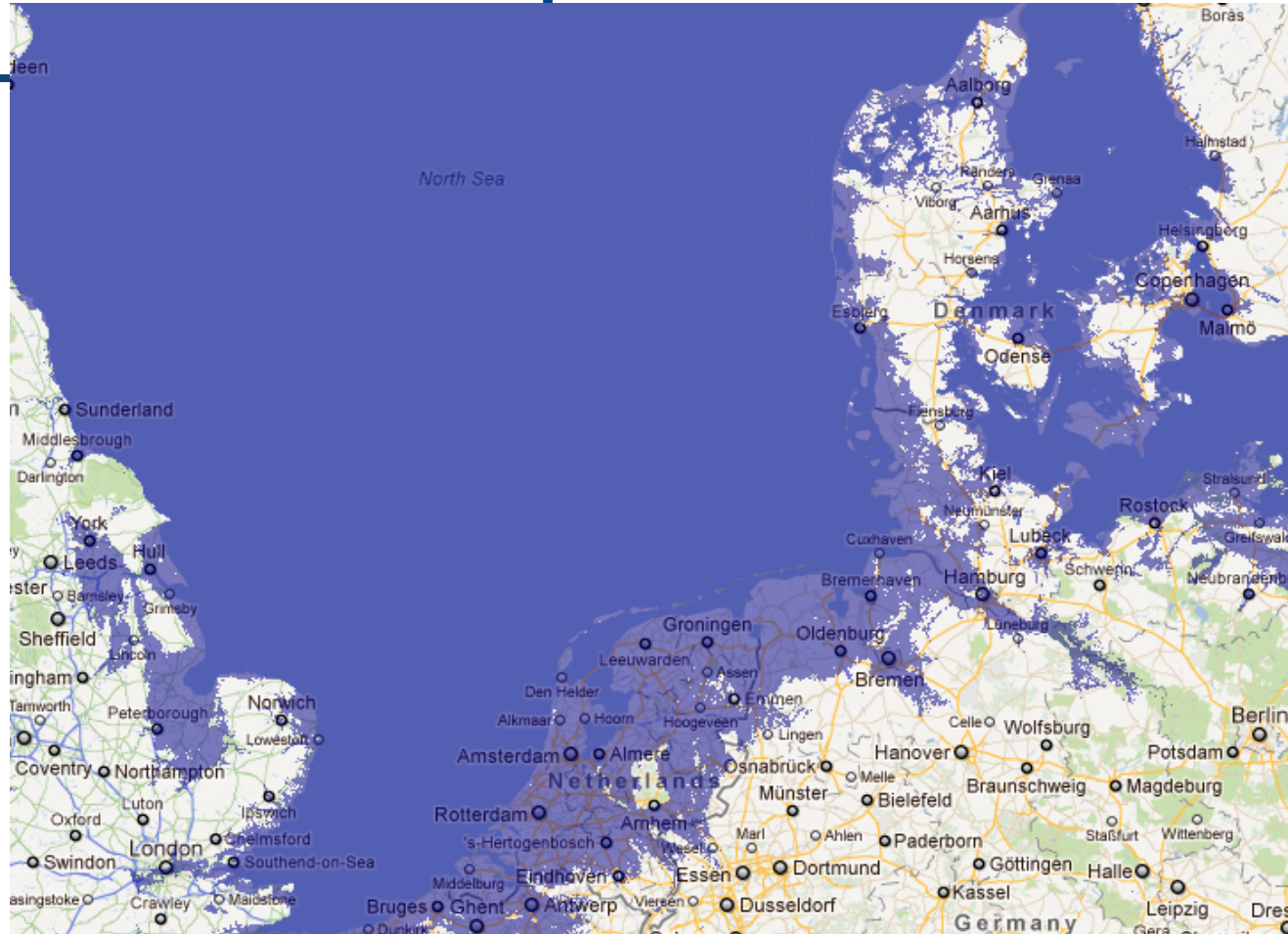
N. Evrópa + 5 m



Tekið af <http://flood.firetree.net/>. Hæðarlínur á lágsvæðum eru yfirleitt illa skilgreindar, og því ber að taka korti með varúð. Sjá einnig kort hjá CReSIS <https://www.cresis.ku.edu/data/sea-level-rise-maps>



N. Evrópa + 20 m



Tekið af <http://flood.firetree.net/>. Hæðarlínur á lágsvæðum eru yfirleitt illa skilgreindar, og því ber að taka korti með varúð. Sjá einnig kort hjá CReSIS <https://www.cresis.ku.edu/data/sea-level-rise-maps>

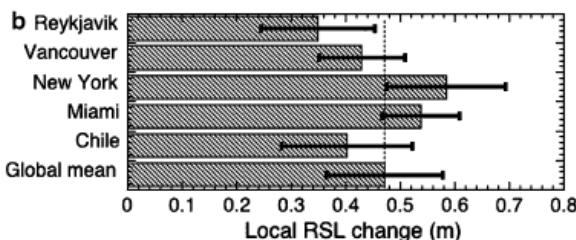
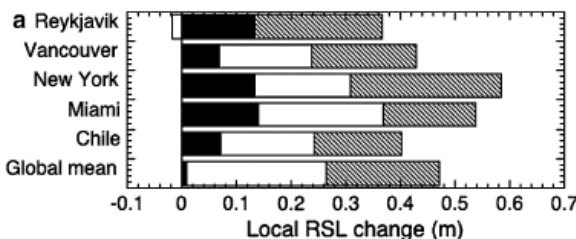
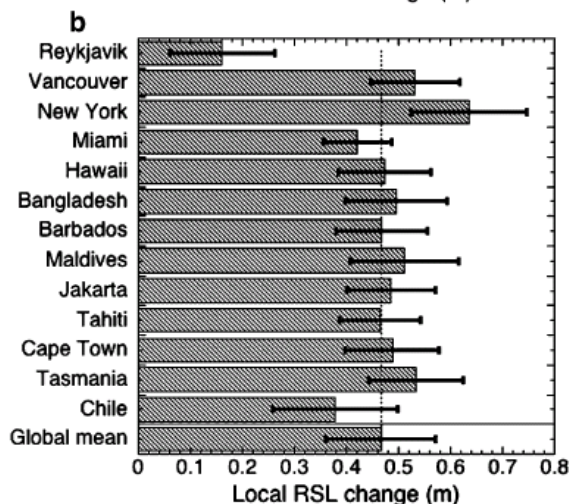
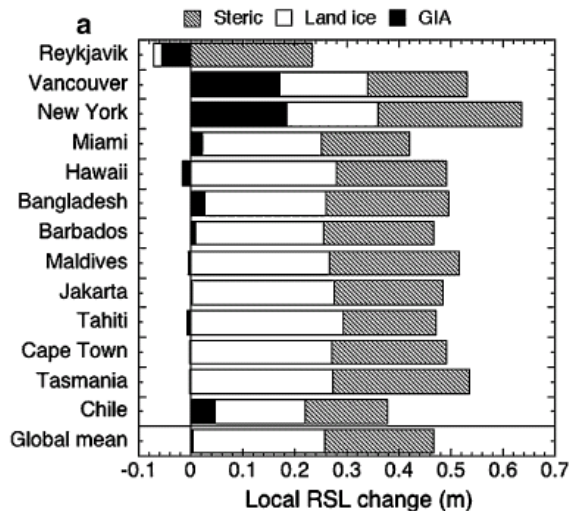
Líklegar sjávarstöðubreytingar á næstu öld

Langtímaþróun er langtímavandamál, eins og stendur nægir að skoða líklega þróun næstu áratuga og aldar

- ▶ Okkur vantar staðbundnar sviðsmyndir þar sem tekið er tillit til breytingar á jafnmættissviði, bráðnunar, hlýnunar oph.
 - ▲ Skoðum tvær nýlegar greinar:
 - ▲ Slangen et al. (2011) Climate Dynamics
 - ▲ Perrette et al. (2012) PNAS, submitted
- ▶ Hvorug greinin tekur tillit til lóðréttrar hreyfingar lands á Íslandi, né heldur fullt tillit til mögulegra breytinga á hafhringrás
 - ▲ Slangen tekur tillit til lóðréttra hreyfinga vegna síðasta jökulskeiðs, en þær niðurstöður eru skrítnar fyrir Ísland

Towards regional projections of twenty-first century sea-level change based on IPCC SRES scenarios

A. B. A. Slangen • C. A. Katsman • R. S. W. van de Wal •
L. L. A. Vermeersen • R. E. M. Riva



Reykjavík
~ 5 – 30 cm
eða
~ 35 – 60 cm

**Slangen et al (2011) reyna að reikna
svæðisbundinn breytileika miðað við
líkön og forsendur IPCC 2007**

- Ólíkar (rangar?) forsendur um áhrif
síðasta jökulskeiðs þvælast fyrir mati í
Reykjavík

Towards regional projections of twenty-first century sea-level change based on IPCC SRES scenarios

A. B. A. Slangen • C. A. Katsman • R. S. W. van de Wal •
L. L. A. Vermeersen • R. E. M. Riva

IPCC (2007) var gagnrýnt fyrir að taka ónægt tillit til bráðnunar íshvela

- Bætt við jökulbráðnun (1/3 Grænl. 2/3 Suðursk.) svo meðalhækkun aukist frá 0.47 í 1.02m

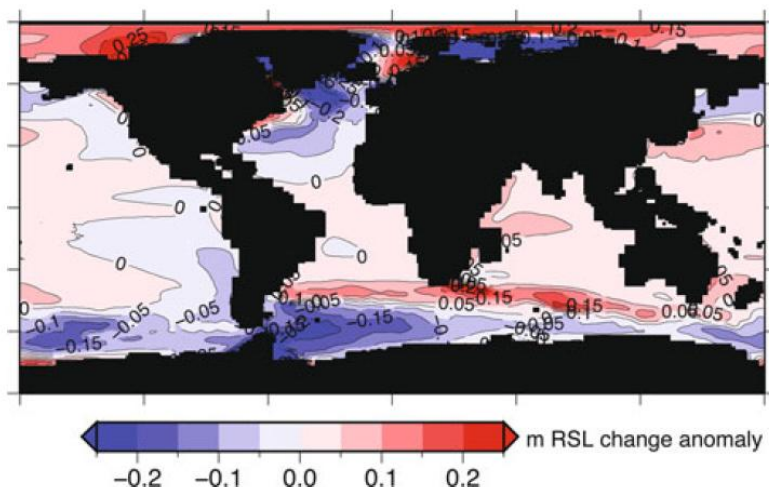


Fig. 5 Ensemble mean sea-level anomaly (m) w.r.t. global mean RSL change (0.47 m) for scenario A1B between 1980–1999 and 2090–2099

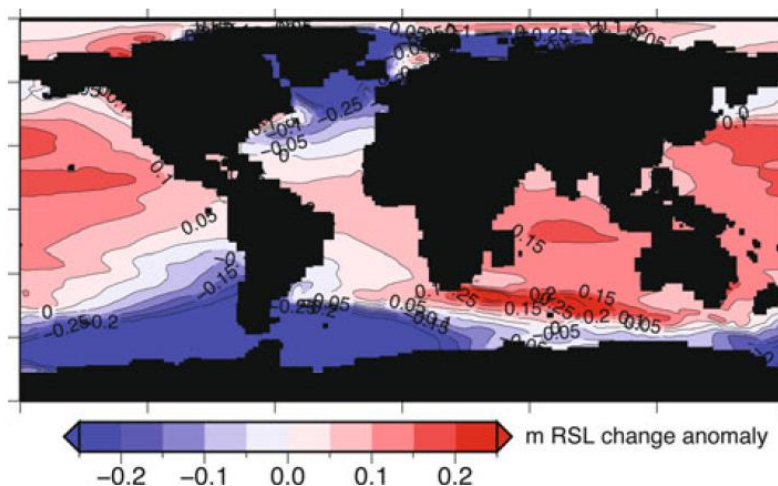


Fig. 9 Ensemble mean sea-level anomaly (m) w.r.t. global mean RSL change (1.02 m) for scenario A1B between 1980–1999 and 2090–2099, for a scenario with adapted ice sheet contributions of 0.22 m for GIS and 0.41 m for AIS

Við Ísland breytist hækkun úr ~20 cm í ~75 cm

Probabilistic projections of sea-level change along the world's coastlines

Mahé Perrette^{*}, Riccardo Riva[†], Felix Landerer[‡], Katja Frieler^{*}, and Malte Meinshausen^{*}

^{*}Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) Telegraphenberg A 26, 14412, Potsdam, Germany, [†]Delft University of Technology, Delft, Netherlands, and [‡]Jet Propulsion Laboratory / California Institute of Technology, Pasadena, USA

Submitted to Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

Perrete et al. greina samband hlýnunar og sjávarstöðubreytinga í IPCC, 2007 líkönum, nota nýjar loftslagsspár (CMIP5) og ólíkar forsendur um ísbráðnun til þess að kortleggja líklega hækkun og óvissu.

- ▶ Mest langtíma óvissa frá bráðnun íshvela. Bæði fyrir hnattrænt meðaltal og svæðisbundinn breytileika við Ísland.
- ▶ Ekki tekið tillit til langtíma lóðréttrar hreyfingar, eða MOC hruns og fleiri "minni" þátta.

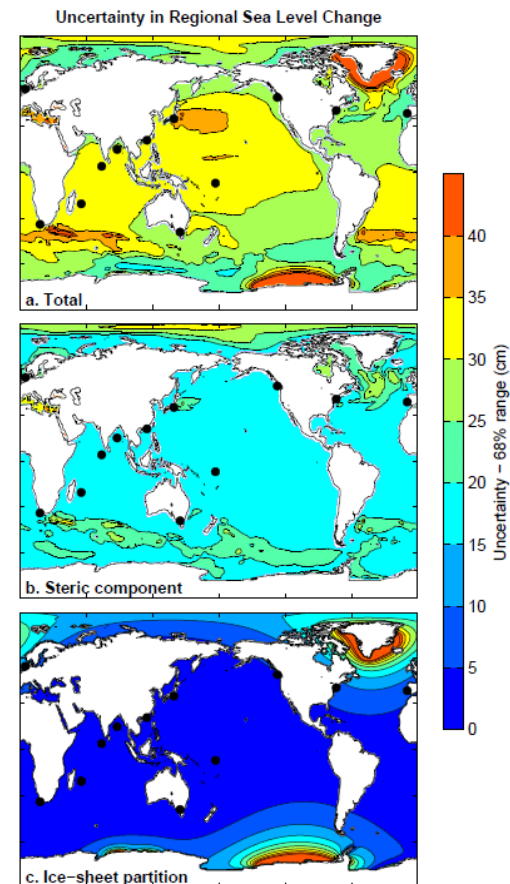


Fig. 2. Uncertainty in regional sea level change. a-c. Uncertainty (68% range) in sea-level change (a) and its steric component (b), for the RCP 4.5 scenario in the top-down case. The uncertainty resulting from GIS/AIS partition in the top-down approach is illustrated in panel (c), for a total ice-sheet contribution equal to the ensemble median. Contours lines indicate 5-cm intervals. Black dots indicate individual locations highlighted in Figure 3.

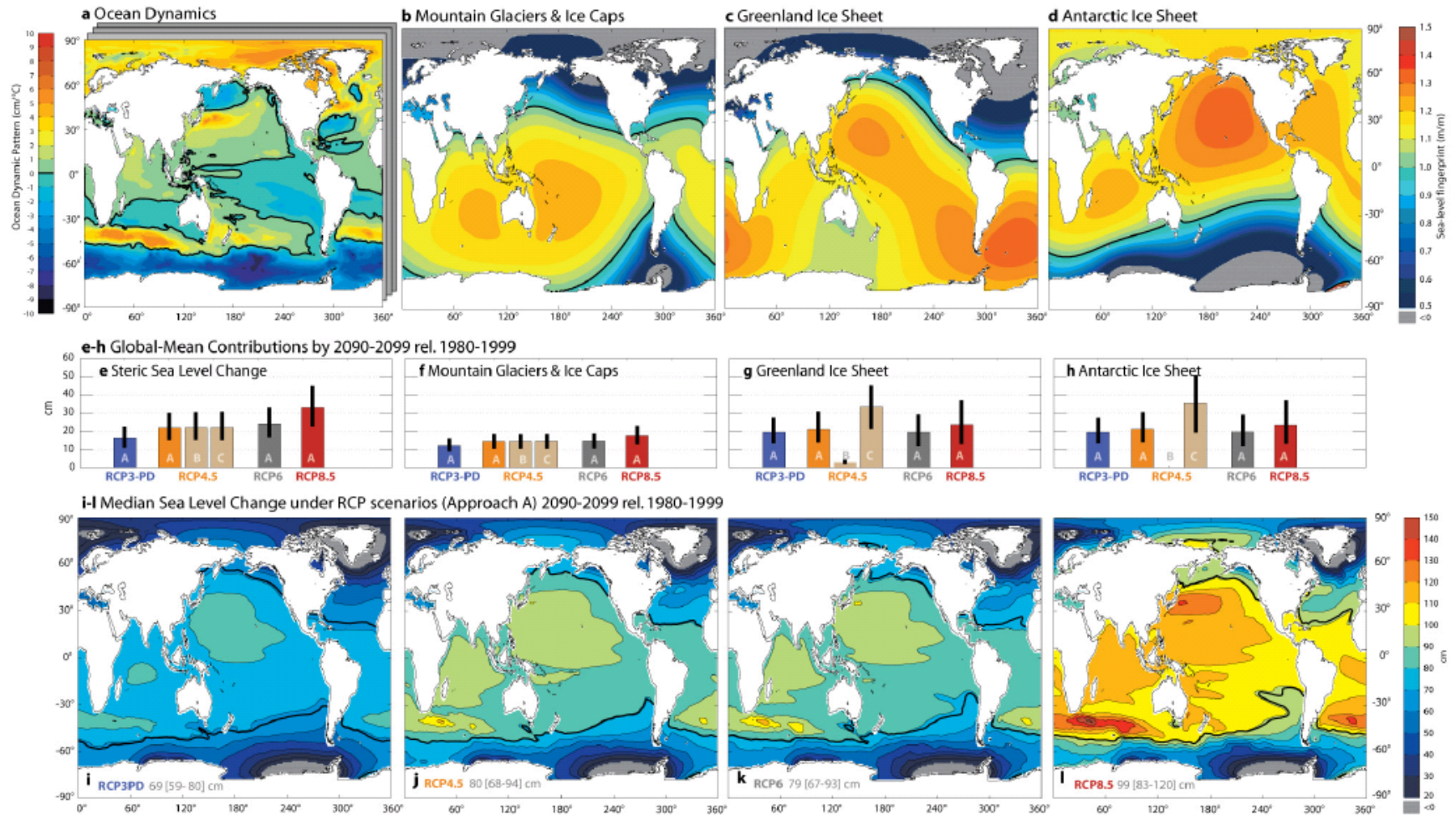


Fig. 1. Sea level fingerprints, their contribution and median 21st century projections. a-l. Sea-level fingerprints for ocean dynamics (a), MGIC (b), GIS (c) and AIS (d), expressed in unit of regional sea-level rise per unit of global mean temperature change (a) or global mean contribution of the source used for scaling (b-c). The temperature-dependent ocean dynamic anomaly pattern is added to global mean thermal expansion (e) while mass additions from land-ice are used for the gravitational patterns (f-h). All four boxes are shown for the four RCP scenarios in the top-down approach and only RCP 4.5 in the bottom-up cases, indicating median and 68% uncertainty range. Panels (i-l) show projected total SLR for all components combined (contours every 10 cm). The thick black line corresponds to the global mean on all maps, and grey shading indicates areas of sea-level drop.

Stærsti óvissupáttur um sjávarstöðubreytingar á Íslandi á komandi öld er hversu mikið bráðnar á Grænlandi og Suðurskautslandinu

- ▶ Aukinheldur eru aðrir óvissupættir
 - ▲ Hversu mikið hlýnar, hvernig breytast hafstraumar, hvernig rís/sígur land
 - ▲ Líklega verður hækkunin hér undir hnattrænu meðaltali

Til skemmri tíma snýst aðlögun um áhættustýringu, til lengri tíma þarf að hafa í huga að sjávarborð mun hækka öldum saman

- ▲ Aðgerðir fyrir næstu áratugi verða að miðast við þær skorður sem langtímaþróun setur.

Takk

**Veðurstofa
Íslands**

