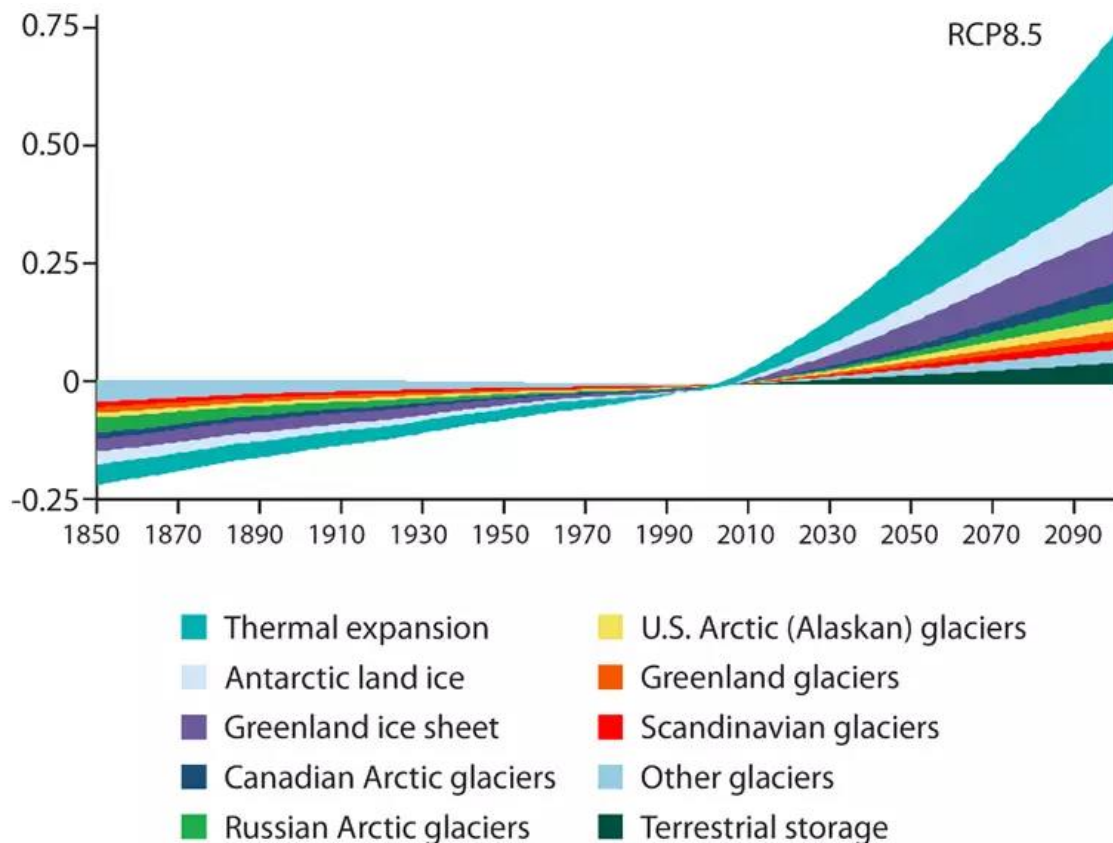


Havniveaustigninger

Det globale havniveau er steget med 24 cm siden 1850. Fremskrivninger tyder på, at det gennemsnitlige globale havniveau frem til 2100 vil stige mellem 54 cm, hvis klimascenariet fra Parisaftalen (RCP4.5) holder, og 74 cm, hvis vi 'bare fortsætter som hidtil' (RCP8.5). I sin forskning i ændringer af havniveauet fokuserer GEUS på at forstå både årsagerne til havniveaustigningen og de regionale forskelle i stigningen.

Der er mange grunde til, at havene stiger. Den termiske udvidelse af havvandet, eller faldet i vandets massefylde, efterhånden som det bliver varmere, er en vigtig årsag til stigningen i havniveauet. Den største enkeltårsag til den seneste stigning i havniveauet er dog, at land-is, som f.eks. gletsjere og indlandsis, bevæger sig ud i havet. Den smeltende arktiske land-is er skyld i 48 % af den globale havniveaustigning siden 1850, og Grønlands Indlandsis alene er skyld i 11 % af stigningen. Det seneste tab af is fra Grønland sker både som afstrømning af smeltevand og som isfælde fra gletsjerne. Dette istab, som ændrer sig over tid og sted, undersøges ved hjælp af en kombination af satellitmålinger, klimamodeller og observationer på stedet.



Figur 1: *Tidligere og fremskrevne elementer (1850–2100), der påvirker det globale havniveau med det klimascenarie, som vi kalder 'fortsætte som hidtil' (RCP8.5). Havniveauændringen er udtrykt relativt til 2006. Grafen viser bidragene fra den arktiske land-is, den antarktiske land-is, den termiske udvidelse og opmagasineret vand på land til det globale regnskab. 'Skandinaviens gletsjere' omfatter både Island og Svalbard. 'Andre gletsjere' omfatter alle andre land-is-kilder.*

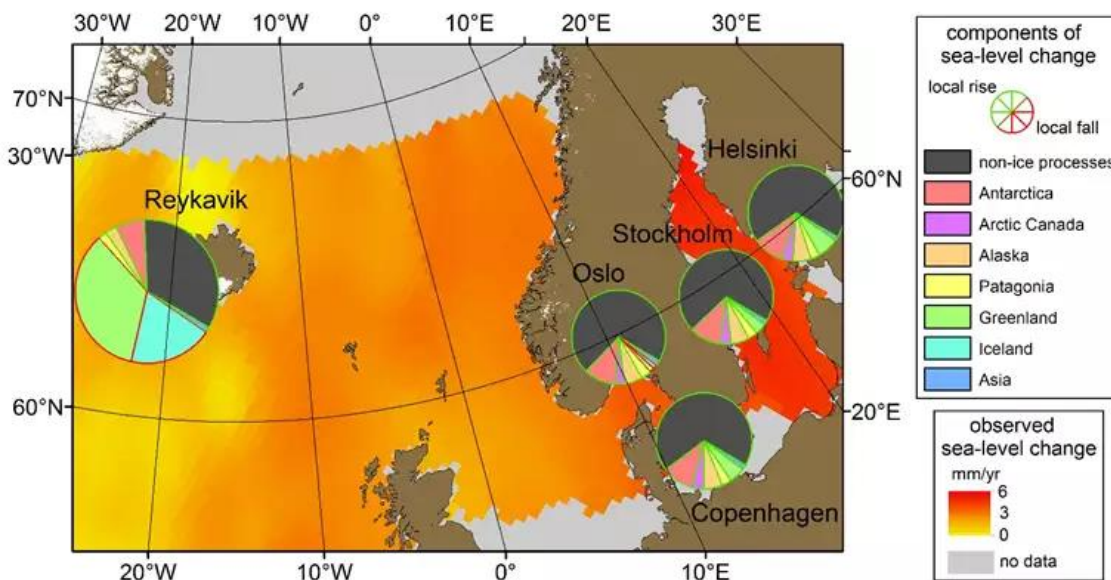
De regionale forskelle i stigningen i havniveauet er en kompleks størrelse. For at forstå ændringer i havniveauet skal man ikke blot forstå, hvordan land-isen bevæger sig ud i

havet, men f.eks. også, hvordan Jordens gravitationsfelt ændrer sig, når kolossale mængder af havvand flytter sig rundt på kloden. Efterhånden som iskappernes størrelse mindskes på grund af klimaændringerne, så ændrer deres gravitationsfelt sig også.

Det betyder, at havvand, der tidligere blev tilbageholdt, flytter sig andre steder hen på kloden. Havniveauet falder faktisk i nærheden af skrumpende gletsjere og iskapper, ikke kun på grund af svækkelse af den lokale tyngdekraft, men også fordi det hurtige tab af ismasse får Jordens skorpe til at løfte sig igen.

I Skandinavien, hvor man har målt havniveauændringer med satellit siden 1993, viser det sig, at der i Reykjavik, Island, ikke var nogen ændring, mens der i Helsinki, Finland, var en 150 % ændring sammenholdt med den gennemsnitlige globale havniveaustigning. Det virker måske ulogisk, at bare fordi Island ligger tættere på Grønlands skrumpende indlandsis, så er havniveauændringen her meget forskellig fra Finland, som jo ligger længere væk. Men når det gælder omfordelingen af havmassernes tyngdefelt, så er det ismasserne længst væk fra et sted, som påvirker havniveaustigningen på stedet mest. I fremtiden vil skandinaviske byer tilsvarende ikke opleve de samme ændringer i havniveauet. Det er for eksempel bemærkelsesværdigt, at ændringen i havniveauet frem til 2100 i København vil kunne fremskrives til at være 300 % højere end i Oslo. Og de to byer ligger kun 600 km fra hinanden.

Det at komme til at forstå årsagerne til stigningen i havniveauet, specielt bidraget fra den arktiske land-is og de regionale forskelle i stigningen specielt i Østersøen, er derfor kerneområder i den nuværende forskning i havniveauet hos GEUS.



Figur 2: De seneste års ændring i havniveauet ved fem skandinaviske hovedstæder. Baggrundsfarven i havene viser de observerede ændringer i havniveauet fra 1993 til 2016, målt fra satellitter. [Lagkaediagrammerne viser kilderne til ændringerne mellem 2002 og 2016.](#) 'Processer uden is' dækker f.eks. termisk ekspansion af varmere havvand, vedvarende ændringer i vinde og havstrømme og ændringer i opmagasinering af vand på land. Det er kun Reykjavik og i meget ringe grad Oslo, som har oplevet lokalt fald i havniveauet som følge af is tabet i Grønland

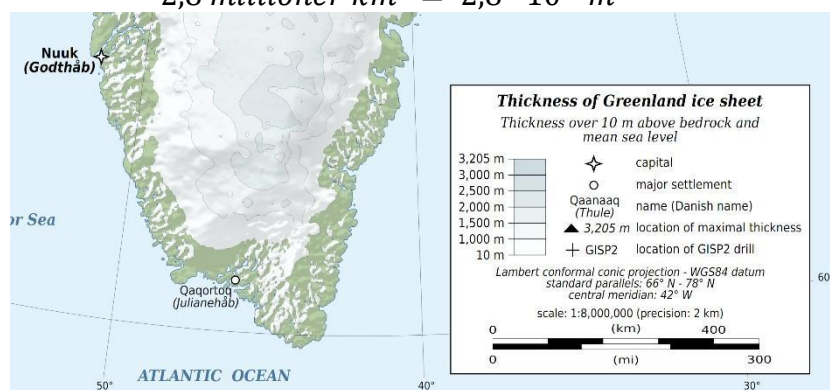
Isen og havniveauet

Indlandsisens samlede masse

Vi skal undersøge, hvad der sker, hvis Grønlands indlandsis smelter.

Den Grønlandske indlandsis er verdens næststørste, efter Antarktis. Kortet viser udbredelsen af den grønlandske indlandsis. Nedenfor ser du en forstørret version, hvor vi kan se at tykkelsen af iskappen er angivet. Denne bestemmes ved satellit-målinger. Ud fra dette kort kan man bestemme, at isens volumen er:

$$2,8 \text{ millioner km}^3 = 2,8 \cdot 10^{15} \text{ m}^3$$



Man kan beregne volumen af smeltet vand, hvis al isen smelter ved at bruge

formlen: $V_{vand} = \frac{\rho_{is}}{\rho_{vand}} \cdot V_{is}$

Isen har en massefylde på $\rho_{is} = 917 \frac{kg}{m^3}$, hvilket giver volumen af vand på,

$$V_{vand} = \frac{\rho_{is}}{\rho_{vand}} \cdot V_{is} = \frac{917 \frac{kg}{m^3}}{1000 \frac{kg}{m^3}} \cdot 2,8 \cdot 10^{15} m^3 = 2,57 \cdot 10^{15} m^3$$

Øvelse 1. Hvor meget stiger havniveauet?

Det er jo meget vand, men Jorden er også stor, så hvor meget betyder det? Vores model af Jorden er en kugle med radius, $R = 6371 \text{ km}$, hvoraf 71% er hav.

- Beregn arealet af havoverfladen på Jorden.
- Beregn den forøgede vandstand hvis vandet fordelte sig jævnt. (Du skal få: 7,1 meter)
- Udled formelen for vandets volumen ud fra følgende formler for densiteten:

$$\rho_{is} = \frac{m}{V_{is}} \text{ og } \rho_{vand} = \frac{m}{V_{vand}}$$

Argumenter for at massen er indgår i formlerne er den samme.

- Gå ind på linket: <https://svs.gsfc.nasa.gov/4995> og se animationen af satellitdata over ismasserne på jorden. Hvad lægger du mærke til?

Forsøg: Havniveauet stiger pga vands varmeudvidelse

Lektie: Læs artiklen: [hvordan havniveauet stiger, når isen smelter på land](#) inden undersøgelsen.

Formål:

I denne undersøgelse laver du en model af havet, der udsættes for en kraftig drivhuseffekt, dvs. at temperaturen stiger.

Hypotese:

Opstil en hypotese for hvad sker for havniveauet, i takt med at havet bliver varmere?

Apparatur

- 1 konisk kolbe med en prop med to huller
- 1 glasrør, der passer til proppens hul
- 1 rundt termometer, der passer til proppens hul
- Eventuelt silikone
- Koldt vand
- 1 vandfast pen
- 1 lampe med en gammeldags glødepære/halogenpære eller en bredspektret varmepære beregnet til terrarier, 50 – 60 W
- 1 lineal

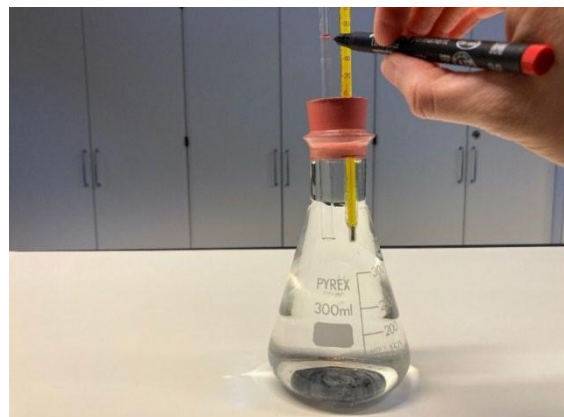
NB: I stedet for at varme vandet op med en lampe (med gammeldags pære der efterhånden kan være lidt svær at skaffe) kan man stille den koniske kolbe i et vandbad med højere temperatur (som kan reguleres ved at tilføre ekstra varmt vand fra en elkedel).

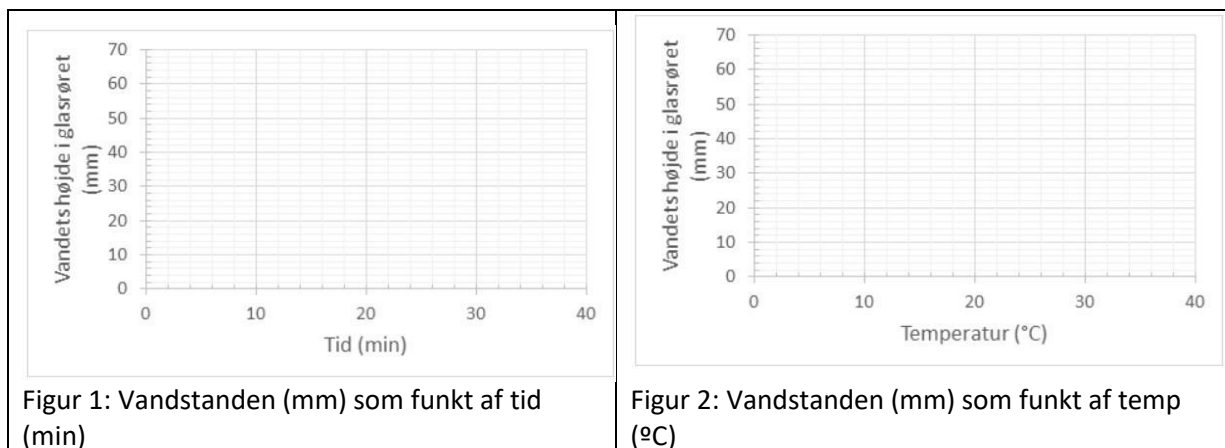
Fremgangsmåde

- Havet i en kolbe (Opstillingen er lavet på forhånd)
- Fyld kolben helt op med koldt vand indtil det løber over. Dette er en din model af havet.
- Stik forsigtigt termometeret og glasrøret ind i proppens huller. Termometeret og røret skal sidde stramt i hullerne, så proppens huller er fyldt helt ud. Brug eventuelt lidt silikone som glidemiddel.
- Sæt proppen i kolbens hals. Giv proppen et let tryk, så den sidder godt fast, og du kan se, at vandet



Figur SEQ Figur * ARABIC 3:Udstyr til undersøgelsen





Arbejdsspørgsmål

- Hvad observerer du? Er din hypotese afkræftet eller bekræftet?
- Hvad tror du, forklaringen er?
- Beskriv grafernes udvikling. Er der fx. en lineær sammenhæng eller?
- Forestil dig, at kolben du har arbejdet med, svarer til alt vand i oceanerne på jorden.
 - Diskutér, hvor godt din vandstandsmåling og forøgede drivhuseffekt svarer til virkeligheden. Begrund dine overvejelser.
- Havvandsstigning er pt. (2023) 3,5 mm pr år i alt. Heraf 0,6 mm fra afsmeltning af is i Grønland.
 - Diskuter pga dit forsøg hvordan man kan forklare forskellen på de 3,5 mm pr år og de 0,6 mm pr år.
 - Er der andre kilder til havniveaustigning i kan komme på?
 - Kommenter på baggrund af dit forsøg om det er temperaturstigninger i havet eller afsmeltning der betyder mest for havniveaustigningerne lige nu.

Hvis du ikke har læst om det tidligere, så kan du finde forskernes bedste bud på fordelingen her: [havniveauet stiger, når isen smelter på land](#)

Konsekvenser af havvandsstigninger i Danmark:

- Hvilke områder i Danmark og lokalt tror du der er mest påvirket af havvandsstigninger?
- Gå nu ind på følgende link og undersøg hvordan havvandsstigninger påvirker dit lokalområde og skolen:
https://kamp.klimatilpasning.dk/frahavet/havvandpaaland?value=havvandpaaland_0

Litteraturliste:

Artiklen om "Havstigning" er taget fra <https://www.geus.dk/natur-og-klima/tilpasning-til-klimateandring/havniveaustigninger>

"Isen og havniveauet" er taget fra <https://www.dmi.dk/klimateatlas/>

"Forsøget: Havniveauet stiger pga. vands varmeudvidelse" er hentet fra Københavns Universitet:

[Et varmt hav fylder mere – verdens havniveau stiger på grund af termisk udvidelse – Københavns Universitet](#)