

Framtidige endringer i bølge- og stormfloklimate

Nye simuleringer av bølge- og stormfloklimate om 100 år viser at vi i det store og hele ikke vil få store endringer. De største endringene er som før beregnet for Barentshavet og deler av Nordsjøen.

Lars Petter Røed og Jens Debernard,
Regclim

Stormflo (vannstandendring som skyldes atmosfærisk vind og trykk) og bølgeforhold langs norskekysten fikk en økt oppmerksomhet nylig på grunn av de relativt sterke stormene som herjet langs norskekysten før og etter nyttårsskiftet 2004/2005. Spørsmålet som melder seg er om dette er noe vi kan forvente som følge av en global oppvarming. I det nasjonale prosjektet RegClim er et av fokusområdene nettopp å se på mulige endringer i bølge- og stormfloklimate som følge av

klimaendringer. Ved *met.no* er det nå bygd opp en betydelig kompetanse på området gjennom varsling av bølge- og vannstandforhold med numeriske bølge- og stormflomodeller (<http://met.no/cgi-bin/vannstand-tabell.cgi>). De samme modellene benyttes også for å se på mulige endringer i bølge- og vannstandsklimate.

Ved *met.no* er nå gjennomført nye simuleringer vedrørende endringer i bølge- og vannstandsklimate for periodene 1961 – 1990 (dagens klima) og 2071 – 2100 (fremtidens klima) for to fremtidsscenarier. Tidligere resultater basert på kun ett enkelt globalt klimascenario er for eksempel

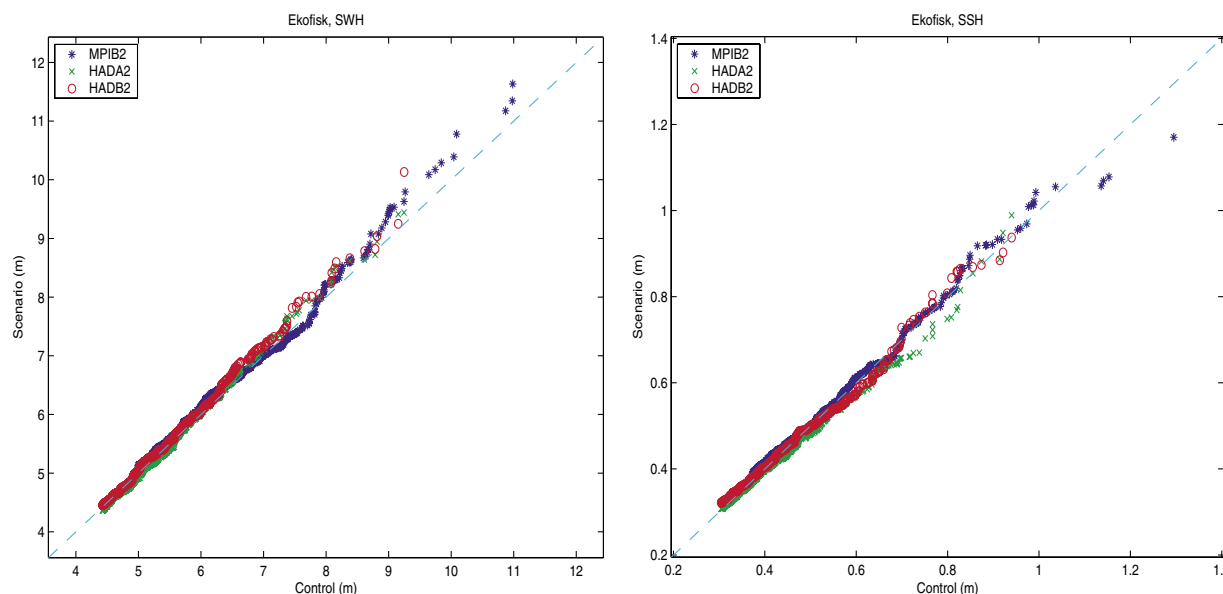
rapportert i *Cicerone* (Reistad 5-2001, Hackett 6-2001, Debernard og Røed 1-2002) og av Debernard et al. (2002) og Debernard og Sætra (2002). Til forskjell fra de gamle, som kun omfattet 20 årsperioder for dagens og morgendagens klima, er de nye resultatene basert på 30 årsperioder. De nye scenariene er også forskjellige fra de tidligere, og omfatter resultater fra to ulike globale klimamodeller. Totalt betyr dette at det ikke er helt enkelt å sammenlikne de nye resultatene med de gamle.

Nedskalering av globale scenarier

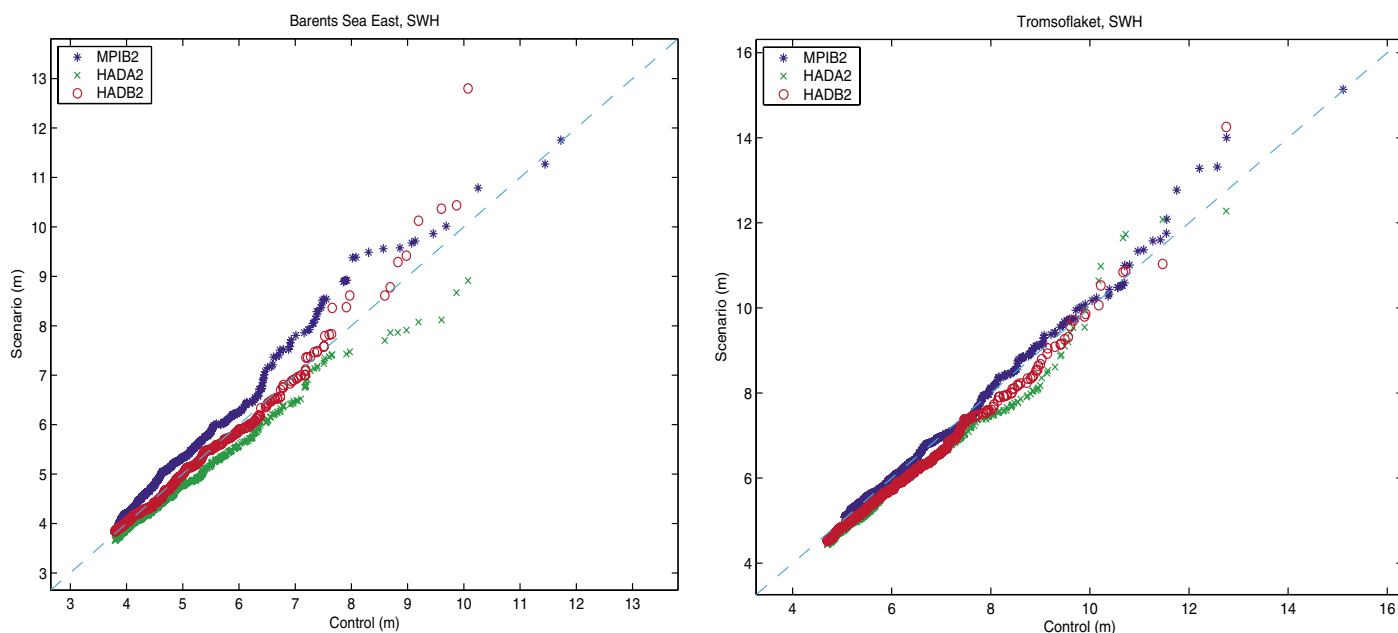
Metoden for å frembringe resultatene er som før. Først

foretas en dynamisk nedskalering av resultatene (se Haugen og Nordeng, *Cicerone* 2-2001) basert på scenarier fra globale klimamodeller, en for dagens klima og en for morgendagens. For dette formål har RegClim hatt tilgang til resultater fra to globale scenariosimuleringer fra Hadleysenteret (HAD) (A2 og B2), og ett fra Max-Planck-instituttet (MPI) (B2). De to utslippssceniene er SRES scenariene A2 og B2 utviklet av IPCC (se f. eks. artikkel av Inger Hanssen-Bauer i *Cicerone* 6-2004).

De to ulike fremtidige scenarier fra HAD og det ene fra MPI gir totalt fem simuleringer: to for dagens klima



Figur 1. De 500 høyeste verdiene av signifikant bølgehøyde (SWH) (venstre bilde) og stormflo (SSH) (bildet til høyre) for Ekofisk for de tre scenariene (vertikal akse) mot dagens klima (horizontal akse). Tallene langs aksene er i meter. Blå stjerner er fra MPIB2, røde sirkler svarer til HADB2, mens grønne kryss svarer til HADA2.



Figur 2. Som Figur 1, men kun bølgehøyde (SWH). Til venstre en stasjon øst i Barentshavet og til høyre Tromsøflaket. Legg merke til at HADB2 inneholder en enkelt storm som gir en ekstrem SWH på opptil 13 meter øst i Barentshavet og i overkant av 14 meter på Tromsøflaket.

og tre som simulerer fremtidens klima. De siste betegnes HADA2, HADB2, og MPIB2. For hvert av dem lastes ned vind (fart og retning i 10 m) og overflatetrykk (mslp), som i sin tur brukes som pådrag i *met.no*'s bølge- og stormflommodeller.

Omfattende analyse

En omfattende analyse er foretatt. Nedenfor gjengis noen av resultatene.

Hovedkonklusjonene er:

- at endringen i bølge- og stormflo-klimaet er i overensstemmelse med endringer i vindklimaet,
- at det er betydelige forskjeller mellom de to globale modellene både når det gjelder dagens og morgendagens klima relatert til vind-, bølge og stormfloklimaet,
- at det, overraskende nok, er små forskjeller mellom A2 og B2 scenariene basert på Hadleysenterets globale klimamodell,
- at det er en betydelig endring i bølge- og stormfloklimaet i nordområdene og langs kysten i den sørøstre del av Nordsjøen sentrert om Tyskebukta, spesielt i MPIs B2 scenario (mer enn 10% økning i vannstand),
- at ekstremvindene i MPIs B2 scenario mer eller mindre er lik dagens klima,
- og at alle scenariene gir en negativ endring i bølge- og vindklimaet i de åpne havområdene i Norskehavet.

Endringer i ekstremene

For å studere ekstremverdier er de 500 høyeste verdier fra hvert av de tre scenariene holdt opp mot de 500 høyeste verdiene for dagens klima. Vi legger merke til at for Ekofisk (Figur 1) gir alle scenariene en økning i ekstremene for signifikant bølgehøyde (SWH), men ikke dramatisk. Vi legger også merke til at begge Hadleyscenariene gir betydelig lavere ekstreme signifikante bølgehøyder enn MPI-scenariet, både når det gjelder dagens og morgendagens klima. Det er større forskjeller mellom de to modellene enn mellom de to scenariene basert på en og samme modell.

Når det gjelder stormflo (vannstand over astronomisk tidevann), er tendensen motsatt (Figur 1 høyre). Her ligger ekstremene faktisk noe lavere enn dagens. Som for bølgehøyden har også MPIB2 høyere ekstremvannstand enn både HADA2 og HADB2 (ca. 30-40 cm). Dette viser seg å være en gjennomgående tendens. Også for stormflo er det slik at det er større forskjell mellom resultatene basert på de to modellene enn det er mellom to ulike scenarier generert med samme modell. Dette indikerer i sin tur at vindklimaet generert med de to modellene også er svært forskjellige.

Tar vi for oss SWH for stasjoner lenger nord, er bildet mer nyansert. For en stasjon øst i Barentshavet (Figur 2 venstre) ser vi at forskjellen mellom de to modellene ikke er så stor og at HADA2 er forskjellig fra HADB2. Faktisk tenderer HADB2 mot MPIB2. Vi legger også merke til HADB2 inneholder en storm som gir en forskjell på bortimot 3 m i signifikant bølgehøyde. Den samme stormen i HADB2 er også

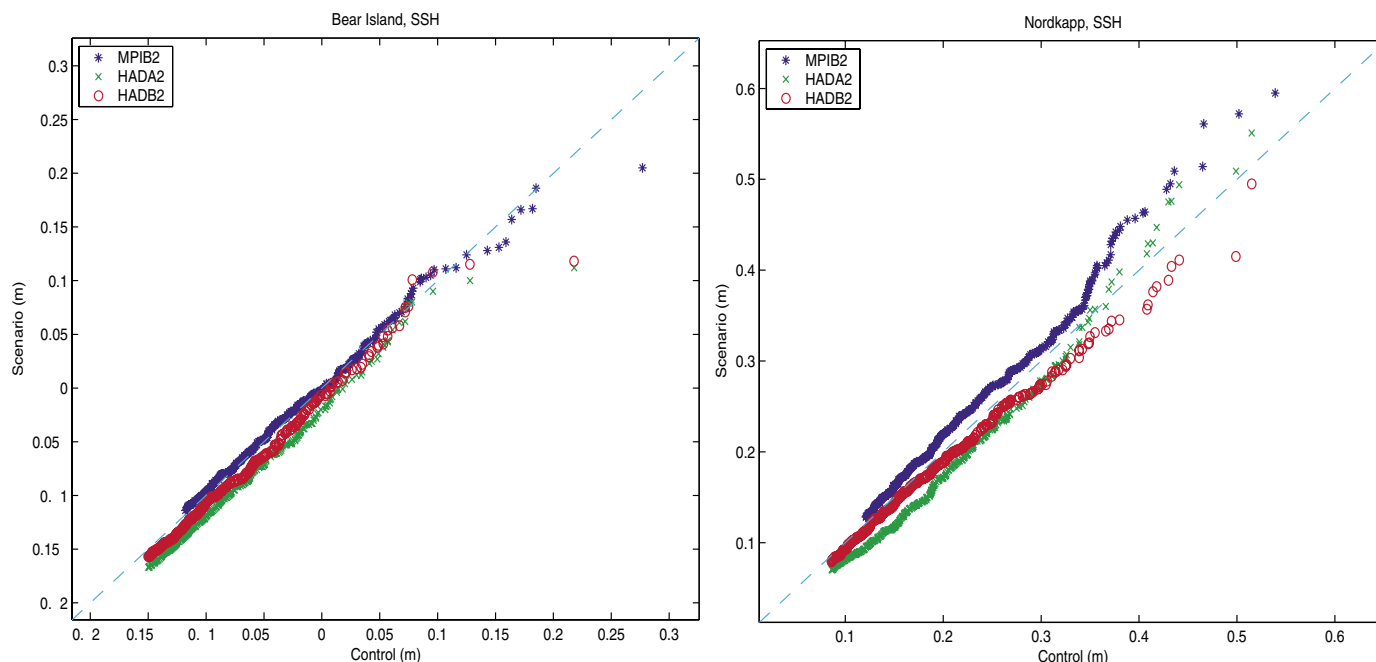
fremtredene for Tromsøflaket (Figur 2 høyre), men ellers synes verdiene her mer å reflektere det samme som for Ekofisk.

Når det gjelder endring i ekstrem vannstand for de nordlige områdene, gir Figur 3 for Bjørnøya og Nordkapp enn pekepinn. Her ser vi ikke noe liknende når det gjelder ekstremstormen i HADB2. Dette skyldes at vannstand er mer følsom enn bølger for endringer i retningen og varigheten av vinden (Gjevik og Røed, 1976, Martinsen et al., 1979). Dette tyder på at lavtrykksbanene er forskjellige fra dagens klima for HAD scenariene, slik at særlig vindretningen blir forskjellig.

Gjennomsnittlig endring

For å gi en pekepinn om størrelsen av eventuelle endringer, inneholder analysen beregninger av prosentvise endringer av bølger og vindforhold i forhold til dagens klima. De største signifikante økningene i vindstyrken (Figur 4) er i Østersjøområdet, i nordområdene og øst for Grønland. Dette skyldes i hovedsak at i et varmere klima har isen trukket seg tilbake. Videre legger vi merke til at HADA2 og HADB2 gir store negative endringer i de åpne havområdene i Norskehavet, noe som ikke er så utpreget for MPIB2. Den sesongmessige fordeling viser at de største endringene er om sommeren (ikke vist).

Samme tendens finner vi for signifikant bølgehøyde (Figur 5). De største prosentvise økninger er i HADB2 i nordområdene (opptil 10-12 prosent) og i den sørøstre del av Nordsjøen i områdene sentrert om Tyskebukta (opptil 6 prosent). De største prosentvise nedgangene finner vi i de åpne



Figur 3. Som Figur 1, men kun for vannstand (stormflo). Til venstre stasjonen Bjørnøya og til høyre Nordkapp.

havområdene i Norskehavet (ca. 10 prosent). Endringene i vindklimaet og endringer i bølge- og vannstandsklimaet henger altså nøye sammen.

Små endringer i vente

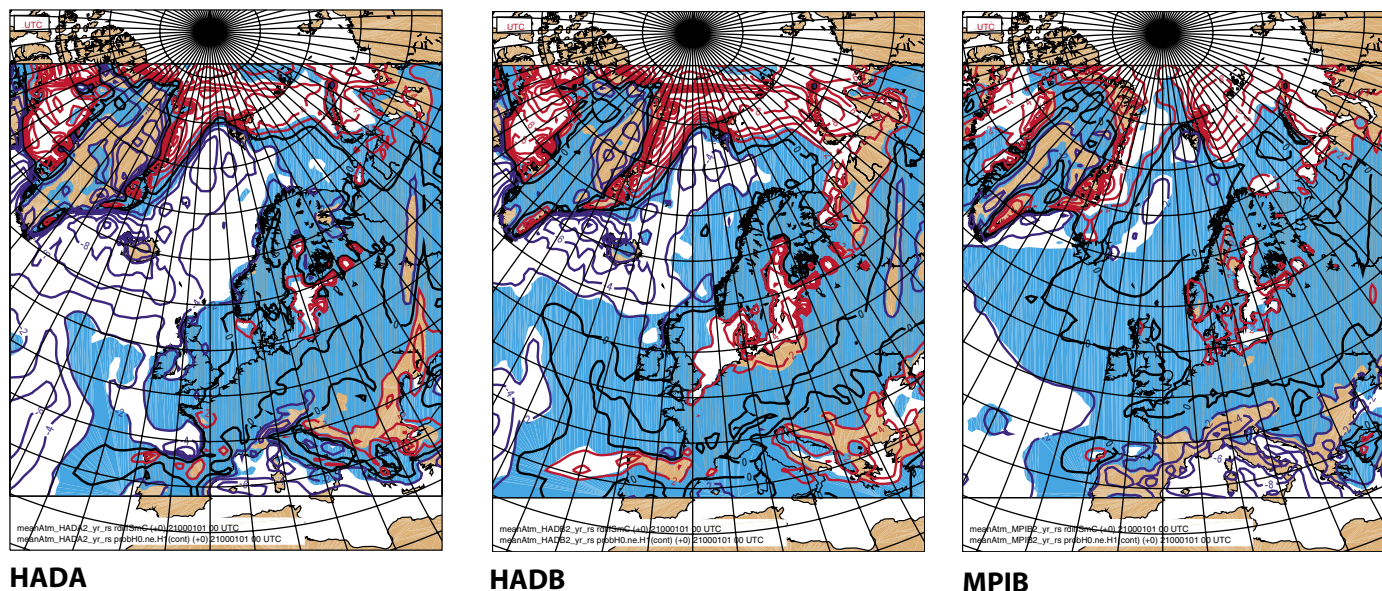
De nyeste beregningene tyder altså på at det i det store og hele er små endringer i vente. De største og mest dramatiske endringene finnes som før i

nordområdene. I tillegg tyder de nye resultatene på at det også er klare, statistiske signifikante endringer i den sørøstre del av Nordsjøen, særlig i ett av scenariene basert på Hadleysenterets B2 scenario (se Figurene 5 og 6). Det er videre interessant å merke seg at det er betydelige forskjeller mellom de to B2 scenariene både når det gjelder dagens og morgend-

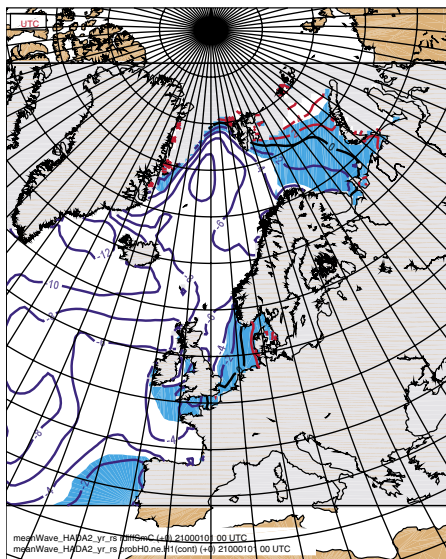
agens klima relatert til vind-, bølge og stormfloklimate, og at det, overraskende nok, er små forskjeller mellom A2 og B2 scenariene basert på Hadleysenterets globale klimamodell. Dette kan peke på et fundamentalt problem, nemlig at det er større forskjeller mellom to like scenarier basert på ulike modeller, enn det er mellom to ulike scenarier basert på

samme modell. Nærmere analyse av resultatene basert på de to ulike modellene viser at endringene basert på Hadleysenterets modell gir betydelig lavere ekstremverdier enn de tilsvarende fra Max-Planck instituttet. Det tyder på at det er atskillig mer "futt" i MPI modellen enn i HAD modellen både for dagens og morgendagens klima. Til slutt vil vi nevne

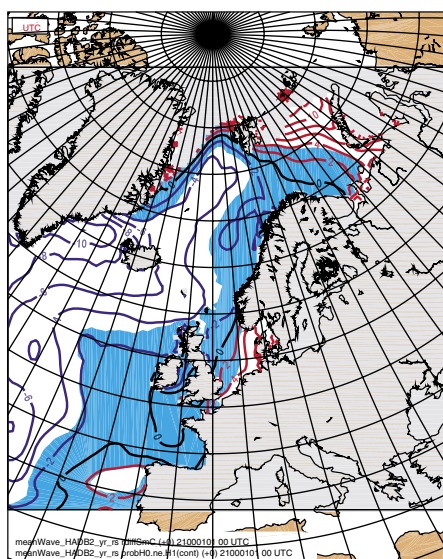
Figur 4. Konturlinjene angir prosentvis endring fra dagens klima for årlig middelvind for hvert av de to scenariene A2 og B2 basert på HADA2 og HADB2 og MPIB2. Konturintervallet er 2 prosent. Blå kurver angir negative endringer (nedgang fra dagens), rød positive (økning) og sorte ingen endring (0 prosent). De hvite områdene angir områder hvor endringene er statistisk signifikante (95 prosent).



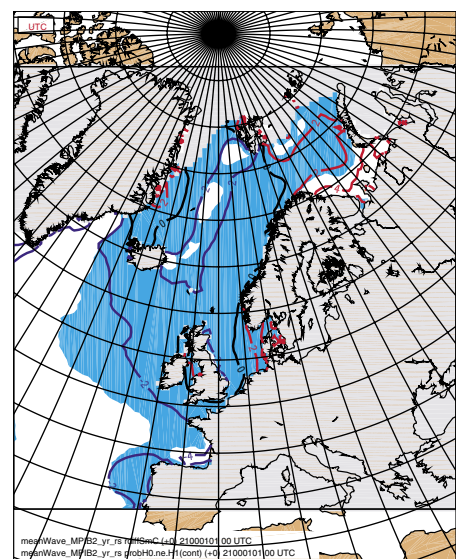
Figur 5. Som Figur 4, men for årlig middel av signifikant bølgehøyde (SWH).



HADA2



HADB2



MPIB2

at det som før er knyttet store usikkerheter til de store endringene i nordområdene, mest på grunn av svakheter i modellering av klimautviklingen i Arktis.

Referanser:

- Debernard, J. og Ø. Sætra, 2002. Future wave and storm surge climate in Norwegian waters. *Research Report No. 130*. Meteorologisk institutt. Oslo, Norway, 30 s.
- Debernard, J., Ø. Sætra og L. P. Røed,

2002. Future wind, wave and storm surge climate in the Norwegian Seas. *Climate Research*, **23**, 39-49.

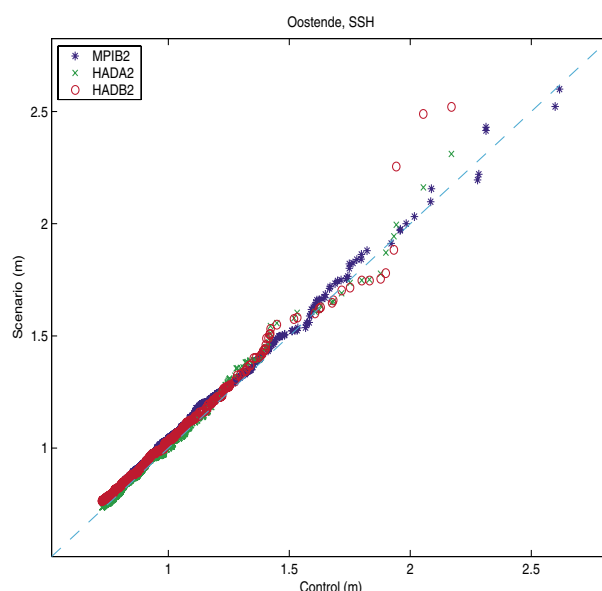
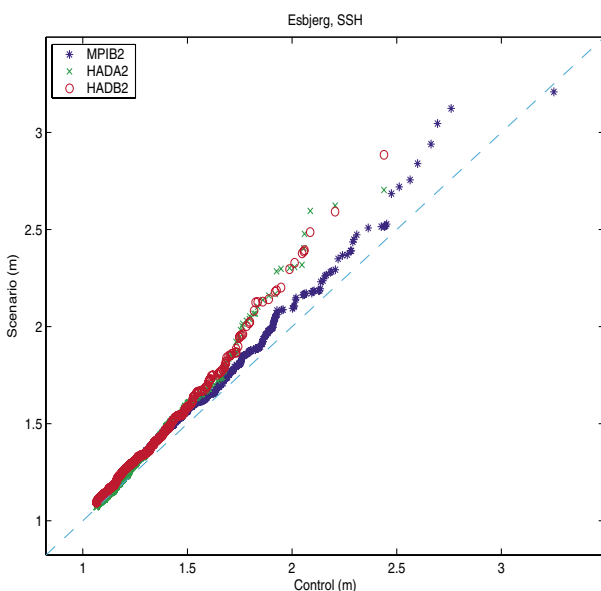
- Gjevik, B. og L. P. Røed, 1976. Storm surges along the western coast of Norway. *Tellus*, **28**, 166-182.
- Martinsen, Eivind A.; Gjevik, Bjørn; Røed, Lars Petter, 1979. A numerical model for long barotropic waves and storm surges along the western coast of Norway. *J. Phys. Oceanogr.*, **9**, 1126-1138.

Lars Petter Røed

(larspetter.roed@met.no) er seniorforsker ved Meteorologisk institutt, og professor II i oseanografi ved UiO.

Jens Debernard

(jens.debernard@met.no) er forsker ved Meteorologisk institutt og arbeider blant annet med utvikling av koplede klimamodeller for Arktis.



Figur 6. Som Figur 2, men for stasjonene Esbjerg (til venstre) og Oostende (til høyre).