



STATENS KARTVERK
SJØKARTVERKET

Lervigsveien 36,
Postboks 60, 4001 Stavanger
Telefon 51 85 87 00
Telefax 51 85 87 01

RAPPORT

TITTEL FES99 og GOT00.2 modellane i samband med K₀-prosjektet.	DATO 30.09.03
	ANTALL SIDER 10
FORFATTER(E) Birgit Kjoss Lyngre	ANTALL BILAG

SAMMENDRAG <p>K₀-prosjektet starta opp med mål om å kunne sjømåle i norske farvatn i framtid utan å vere avhengig av vannstandsmålingar. Fyrste steg i K₀-prosjektet er å finne sjøkartnull (K₀) relativt middelvatn for deretter å relatere middelvatn til ellipsoida. For å kunne lage ei K₀-flate som også dekker norske havområde der harmoniske konstantar ikkje er kjende frå lengre måleseriar av vannstand må data frå numeriske modellar som beregnar tidvatnet i havområda nyttast.</p> <p>I rapport GEO 03-2 er to tidvassmodellar av Bjørn Gjevik og Ole B. Andersen (GS-modellen og AG-modellen) samanlikna og drøfta. I denne rapporten er to nye globale tidvassmodellar (FES99 og GOT00.2) vurdert for eventuell bruk i det vidare arbeidet med K₀-flata.</p>
--

STIKKORD
Globale tidvassmodellar
Harmoniske konstantar
Observasjonar
Samanlikning

RAPPORT NR. GEO 03-5	TILGJENGELIGHET Open
-----------------------------	-----------------------------

Innhald

INNHALD.....	0
1 INNLEIING	3
2 MODELLANE	3
2.2 FES98 OG FES99	3
2.2 GOT00.2.....	4
3 MODELDATA	4
3.1 M2.....	5
3.2 S2	7
3.3 K1.....	8
3.3 N2.....	10
4 OPPSUMMERING OG ANBEFALING	11
5 REFERANSAR.....	12

1 Innleiing

I samband med K0-prosjektet som starta opp som FoU-aktivitet i Geofysikkseksjonen våren 2002 er det skrivi ein rapport (GEO 03-2) der to tidvassmodellar av Bjørn Gjevik og Ole B. Andersen er samanlikna og drøfta. Målet med K0-prosjektet er å kunne sjømåle i norske farvatn utan å vere avhengig av vannstandsmålingar i framtida. Fyrste steg i prosessen er å finne sjøkartnull (K0) relativt middelvatn for deretter å finne middelvatn relativt ellipsoida. Målet er at K0-flata skal dekke kystnære område og norske havområde. Frå tidvassmodellane vil ein nytte dei harmoniske konstantane til å beregne K0 i havområde der det ikkje finnst lengre måleseriar av vannstand. Sjøkartverket v/den nye Datafangstseksjonen¹ har no fått tilgang på to nye tidvassmodellar; GOT00.2 frå Goddard Space Flight Center av Richard Ray og FES99 frå LEGOS² av Le Provost et. al. Desse modellane er i fylgje Ole B. Andersen *state of the art*. Data frå modellane har me fått frå Ole B. Andersen ved KMS i Danmark. GOT00.2 modellen er også å finne på internett der også informasjon om modellane er funne. Denne rapporten inneheld litt informasjon om dei to modellane og ei vurdering av modellane for eventuelt å nytte data frå ein av desse i det vidare arbeidet med K0-flata.

2 Modellane

Dei to modellane FES99 frå LEGOS og GOT00.2 frå Goddard Space Flight Center er begge globale modellar som har sitt utgangspunkt i den hydrodynamiske modellen FES94 omtala som Grenoble modellen i rapporten GEO 03-2. Modellane er vidareutvikla og forbetra ved å assimilere data frå utvalgte tidvassmålarar og satelittmålingar frå Topex/Poseidon og ERS1 og ERS2.

2.2 FES98 og FES99

FES99 modellen er som nemt ein global tidvassmodell utvikla av Le Provost et. al. ved LEGOS i Toulouse i Frankrike og er ein ny versjon av FES, *Global Tide Finite Element Solutions*.

Ein utbetra versjon av den globale hydrodynamiske tidvassmodellen FES94 omtala som Grenoble modellen i rapport GEO 03-2 er utvikla, implementert og validert ved LEGOS. Den nye versjonen er basert på løysinga av dei barotropiske tidvasslikningane på eit globalt endeleg element grid. I den fyrste versjonen av modellen måtte området grunna store beregningar delast opp i fire ulike område for separate løysingar før løysingane vart lappa saman langs felles render. Ved rendene til delområda vart modellen tilpassa verdiar frå tidvassmålarar. Ved å nytte eit globalt grid utan render i det indre området får ein løysingar uhavengig av *in-situ* data. Nøyaktigheita av dei hydrodynamiske løysingane vart forbetra til versjon FES98 ved å assimilere data frå tidvassmålarar og til versjon FES99 ved å bruke data frå tidvassmålarar og Topex/Poseidon (T/P) altimetri data.

I FES98 versjonen er harmoniske tidvasskonstantar frå om lag 700 tidvassmålarar assimilert i den hydrodynamiske modellen. Datasettet med data for dei åtte beregna konstituentane (M2, S2, N2, K2, 2N2, K1, O1 og Q1) vart nøye utplukka frå ulike databankar. FES99 versjonen av modellen er ei forbetring av FES98 versjonen. Harmonisk analyserte data frå T/P vart i tillegg til data frå tidvassmålarane assimilert i den hydrodynamiske modellen. For dei åtte hovud

¹ Tidlegare Geofysikk - og Sjømålingsseksjonen er frå 15. april 2003 slått saman til Datafangstseksjonen.

² Laboratoire de Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales, Toulouse i Frankrike

konstituentane (M2, S2, N2, K2, 2N2, K1, O1 og Q1) av tidvass spektret er data frå om lag 700 tidvassmålarar og altimeterdata frå 687 *altimetric crossover* (kryssløp) med T/P assimilert. For dei to nye versjonane av modellen er 19 konstituentar lagt til ved *admittance* og også 3 langperiodiske konstituentar for å gjere spektret komplett. Begge modellane er distribuert på 0.25 x 0.25 graders grid interpolert frå den endelege elementmetode løysinga.

Nøyaktigheita på FES98 og FES99 er evaluert mot dei tidlegare versjonane av FES og testane viser at FES99 er ei tydeleg forbetring samanlikna med dei tidlegare versjonane både i djuphavet og langs kysten. Informasjon er henta frå F. Lefevre et. al funne på internett.

2.2 GOT00.2

GOT00.2 modellen er som nemt ein global tidvassmodelle utvikla av Richard Ray ved Goddard Space Flight Center.

GOT00.2 tek utgangspunkt i FES94. FES94 er ein hydrodynamisk modell (framleis Grenoble modellen omtala i rapporten GEO 03-2) utan data-assimilasjon frå tidvassmålarar og satellittar. I modellen vert data frå Schwiderski og tidvassmålarar nytta til å spesifisere dei opne rendene i modell områda. FES94 er ein endeleg elementmetode modell med ei fin oppløysing på 5-10 km i grunne område og opp til 200 km i djupe område.

Goddard Ocean Tide model GOT99.2 er omtala i R. Ray (1999). I modellen vart 232 syklusar (over seks år) med Topex/Poseidon data nytta til å tilpasse den hydrodynamiske FES94.1 modellen av Le Provost et. al. (1994). Nord og sør for 66. breiddegrad der data frå Topex/Poseidon ikkje kunne nyttast fell modellen saman med FES94.1.

Modellen er seinare oppgradert til GOT00.2 som er den modellen me her har data frå. GOT00.2 brukte 286 10-dags syklusar med T/P data, supplert av 81 35-dags syklusar med ERS-1 og ERS-2 data i grunne område og polare område nord og sør for 66 grader. FES94.1 av Le Provost et. al (1994) samt fleire lokale hydrodynamiske modellar vart lagt i grunn. Supplement av ERS data var mest nyttig i Norske- og Barentshavet.

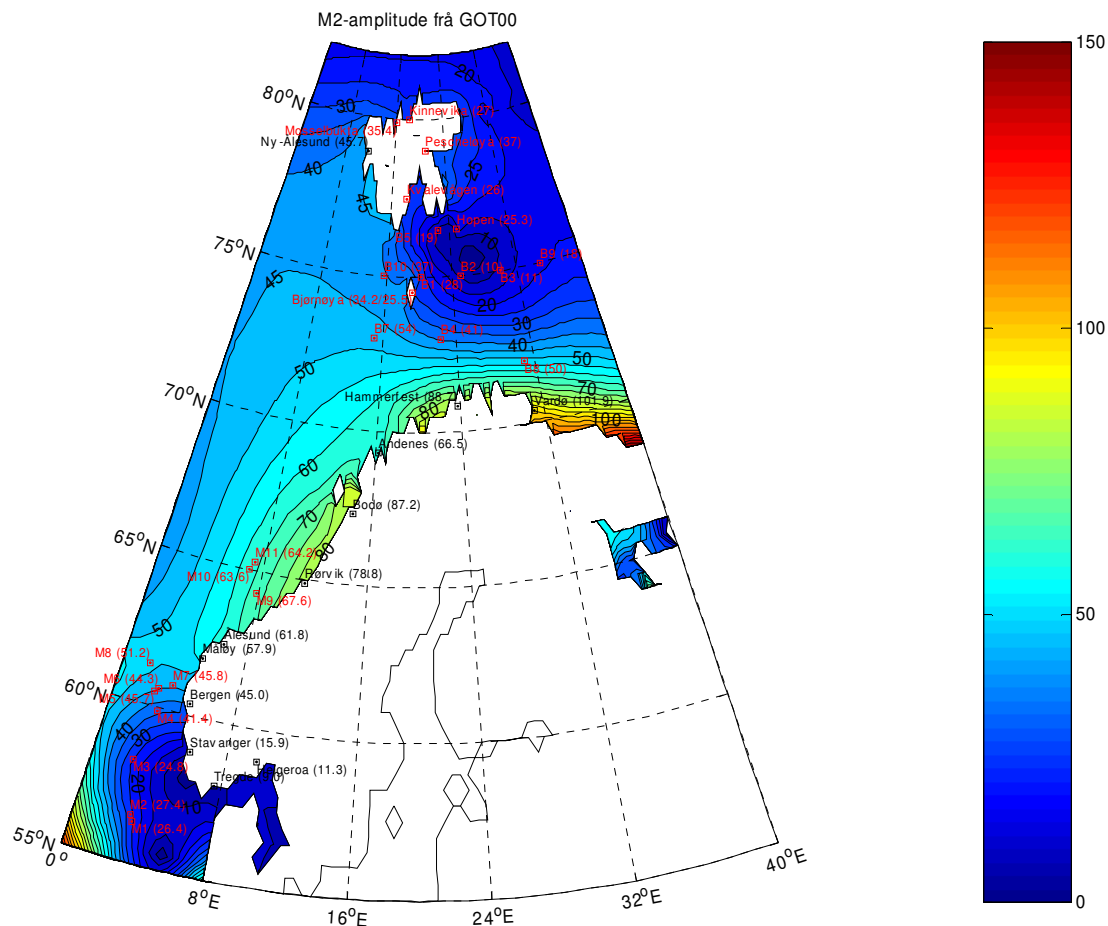
Modellane er løyst for åtte daglege og halvdaglege konstituentar (Q1, O1, K1, N2, M2, S2, K2 and P1). Fleire konstituentar kan utleiast frå desse.

Etter kontakt med Richard Ray viser det seg at konstituentane S2, Q1 og K2 ikkje er tilpassa av ERS altimetri i polare område. Ray skriv at han hadde problem med ERS og S2 grunna sol-synkroniseringsbana til ERS som frys S2 (S2 er alltid observert i lik S2 fase).

3 Modelldata

Tidvassmodellar er i stadig utvikling. I K0-prosjektet er det sjølvst av interesse å få tak i og å nytte den modellen som gjev resultat i mest mogleg samsvar med dei observasjonane som finnast. Særskilt er tidvatnet i Barentshavet vaskeleg å modellere. Dei to modellane AG-modellen av Ole B. Andersen og GS-modellen av Bjørn Gjevik omtala i rapporten GEO 03-2 gav ikkje gode nok resultat i Barentshavet og området rundt Svalbard og det er ynskjeleg med ein modell som er noko betre her. I dette kapittelet vert resultat av amplituda til dei fire viktigaste konstituentane (M2, S2, K1 og N2) frå GOT00 modellen og FES99 modellen samanlikna med observasjonar og AG- og GS –modellen, og då særskildt i Barentshavet.

Samanlikninga er visuell på grunnlag av figurar plotta i Matlab. For FES99 har me ikkje data for konstituenten N2. Data frå FES99 har ei oppløysing på $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ medan GOT00.2 modellen har ei oppløysing på $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$. Figurar for FES99 modellen er plotta frå W 10° til E 40° og for GOT00 frå E 0° til E 40° .



Figur 1 Amplituda til M2 frå GOT00 modellen. Konturar for konstant amplitude er plotta for kvar 5. cm. Amplituda til M2 frå observasjonar er gjeve i parantes ved målestasjonane.

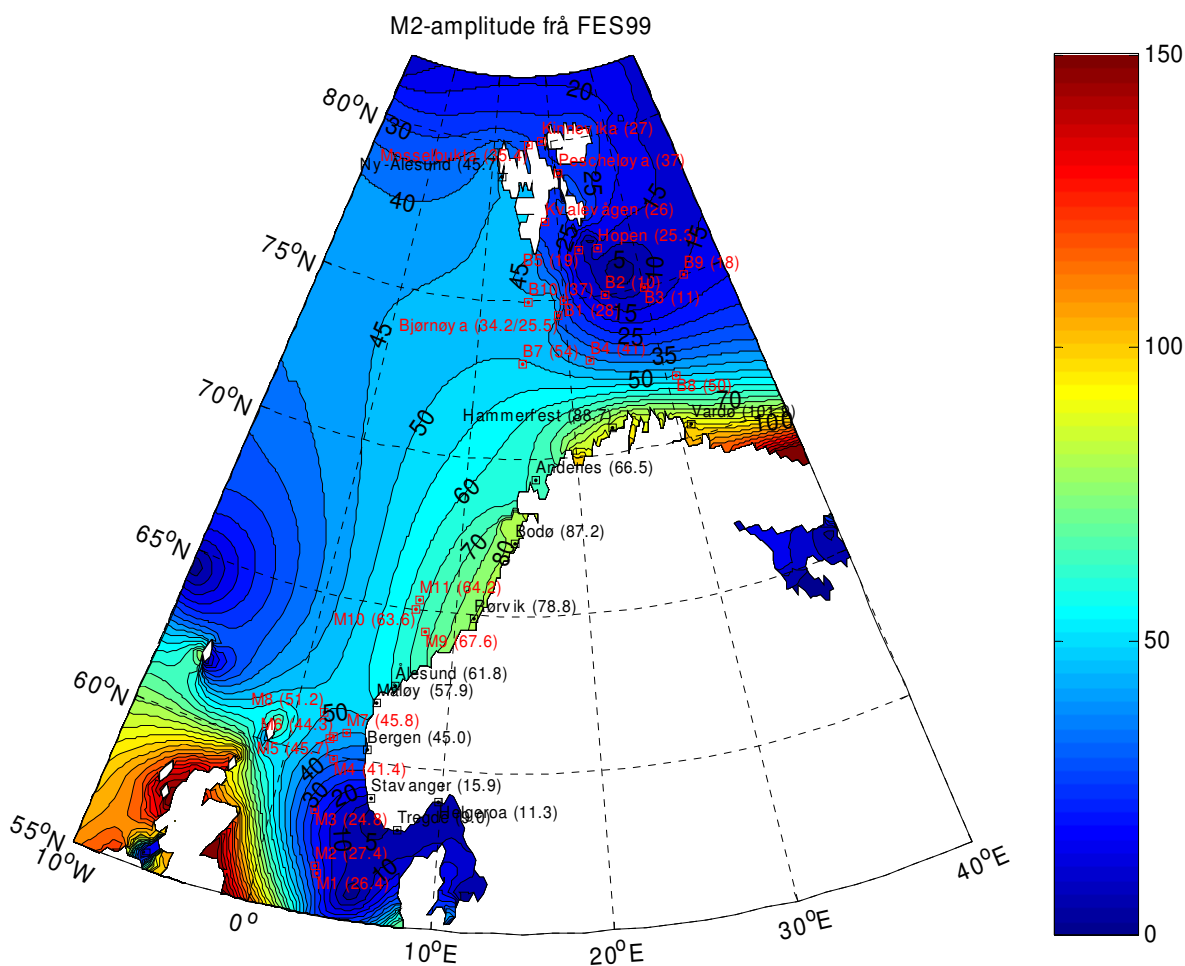
3.1 M2

For amplituda til konstituenten M2 er det GOT00 modellen som gjev best samsvar med observasjonar. I Barentshavet er GOT00 modellen tydeleg forbetra i forhold til dei andre modellane og då særskilt i område ved Bjørnøya og rundt det amfidrome punktet (Figur 1). Det amfidrome punktet i GOT00 og også i FES99 ligg lengre vest enn i AG- og GS-modellen noko som er i betre samsvar med observasjonar her. FES99 modellen er også ei forbetring i forhold til dei to andre modellane i delar av området, for stasjon B2, B3, B4 og B7 (Figur2). For stasjon B7 sør i Barentshavet mot sokkelskråninga er det FES99 av dei to nye modellane som gjev resultat i mest samsvar med observasjonar, om lag som GS-modellen til Gjevik.

Området sør og aust for Svalbard rundt stasjon B5 og Hopen er eit kompleks område og vanskeleg å modellere. Ved stasjon B5 er det FES99 og AG-modellen (som FES94) som kjem best ut medan det ved Hopen som ligg like ved tilsynelatane tilfeldigvis er GS-modellen som gjev *best* resultat. At ulike modellar gjev best resultat for to nærliggande stasjonar er med å understreke det komplekse i området.

Data frå ERS1 og ERS2 assimilert i GOT00 modellen ser ut for å ha gjeve gode resultat for amplituda til M2 i Barentshavet.

I havområda sør for Lofoten og i Nordsjøen er det lite som skil dei fire modellane. Alle modellane gjev resultat som stort sett er i godt samsvar med observasjonar. For målestasjonane M1, M2 og M3 sør i Nordsjøen er likevel GOT00 modellen i noko betre samsvar med observasjonar enn dei andre modellane for M2 amplituda.



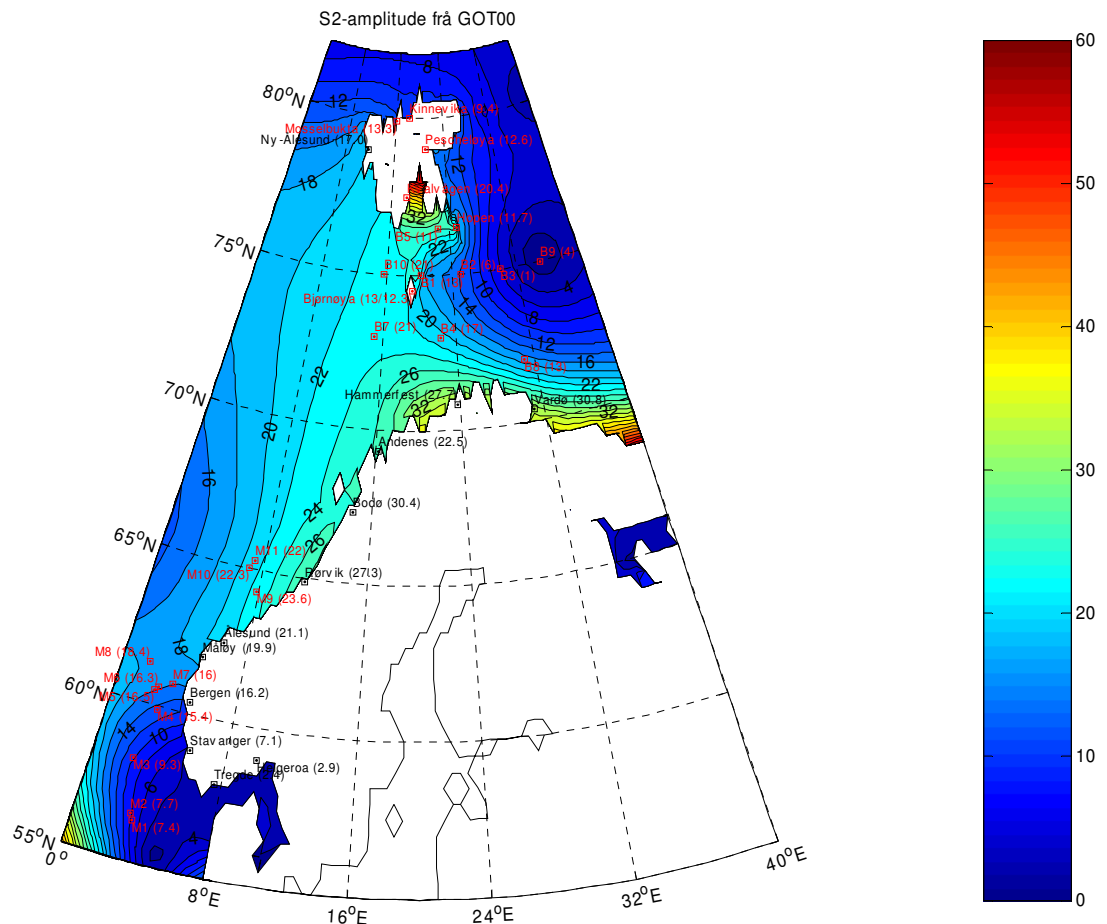
Figur 2 Amplituda til M2 frå FES99 modellen. Konturar for konstant amplitude er plotta for kvar 5. cm. Amplituda til M2 frå observasjonar er gjeve i parantes ved målestasjonane.

3.2 S2

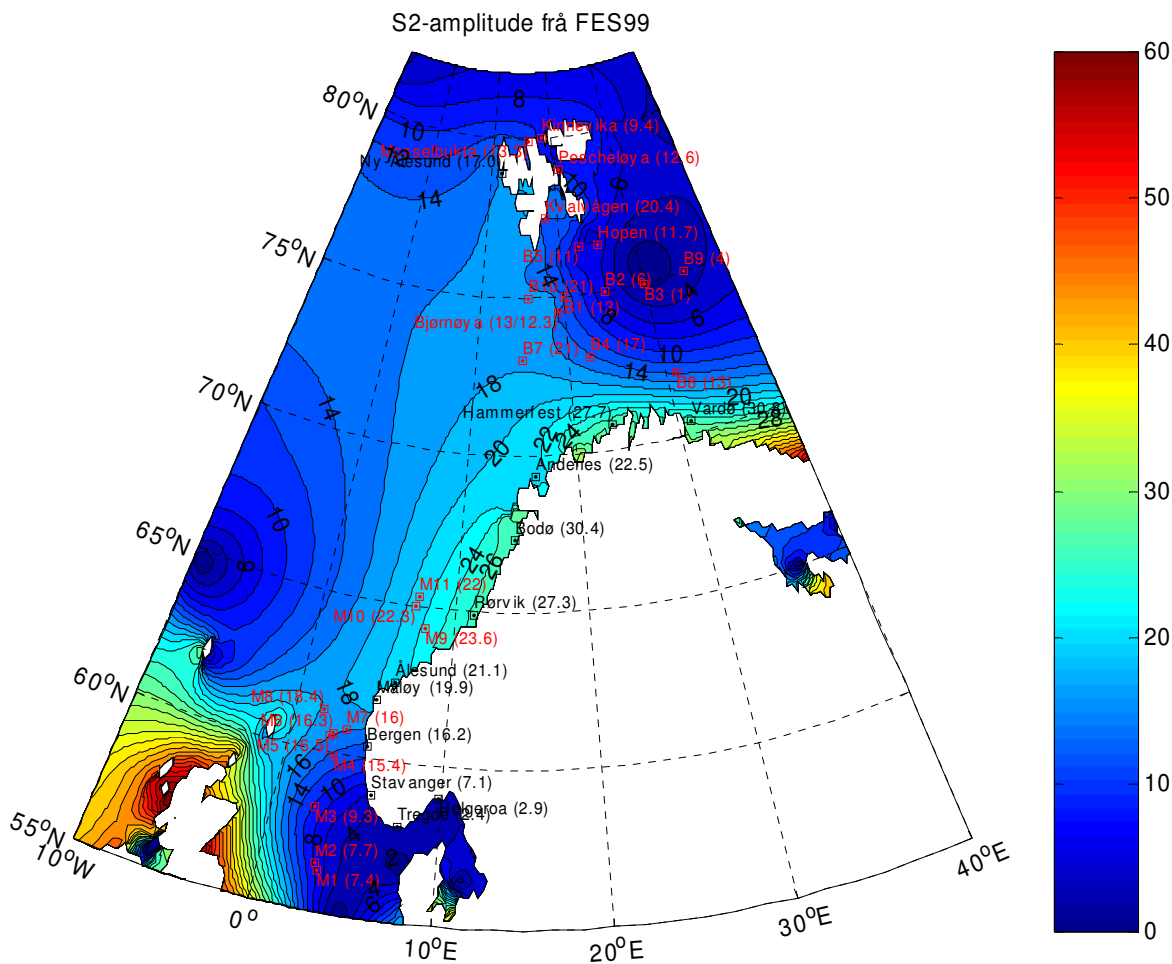
For amplituda til konstituenten S2 er GOT00 modellen lik AG-modellen i nordlege område, eller rettare sagt FES94 (Grenoble) modellen som ligg i botn for begge modellane (Figur 3). Her er ikkje GOT00 modellen tilpassa for ERS data grunna problem med solsynkroniserings bana til ERS som gjer at S2 alltid er observert i lik S2 fase. GOT00 modellen er soleis ikkje forbetra for S2 i Barentshavet.

FES99 er litt lik Gjevik sin modell sør i Barentshavet (Figur 4). Det amfidrome punktet er noko lengre vest som passar betre i forhold til observasjonane. Ved stasjonane B1, B2 og B3 er differansen mellom modellen og observasjonar berre på om lag 1 cm som er bra, medan B4 er om lag 2 cm for lav i modellen, som også er ganske bra. Ellers er differansane noko større.

I Nordsjøen og for målestasjonane på Haltenbaken gjev dei to modellane ganske like resultat. Stasjonane M4-M8 er i bra samsvar, M1-M3 gjev eit par cm for høge verdiar medan M9-M11 gjev eit par cm for lave verdiar. AG-modellen til Andersen er *best* på for S2 på Haltenbanken.



Figur 3 Amplituda til S2 frå GOT00 modellen. Konturar for konstant amplitude er plotta for kvar 2. cm. Amplituda til S2 frå observasjonar er gjevne i parantes ved målestasjonane.

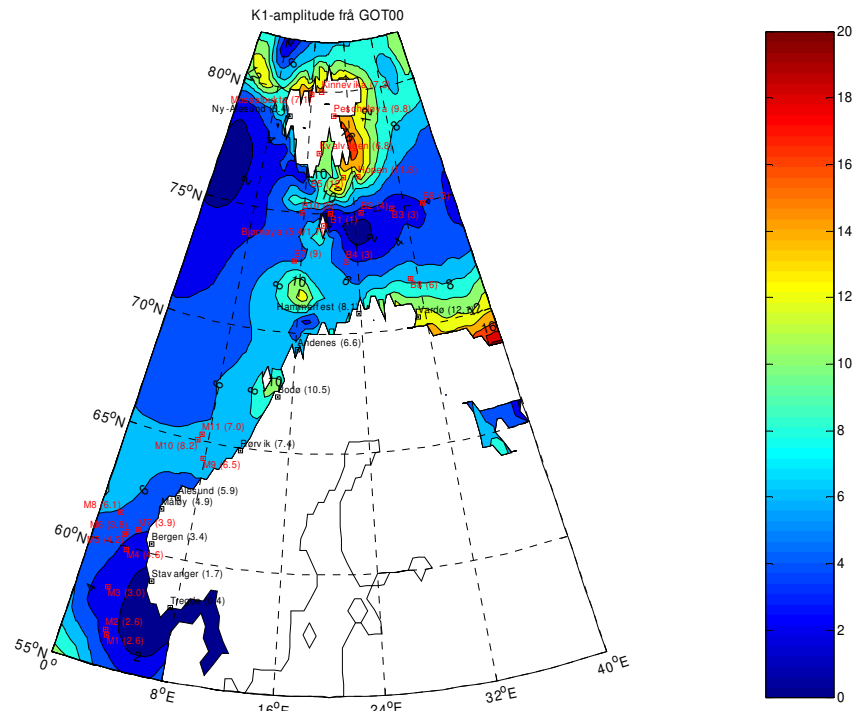


Figur 4 Amplituda til S2 frå FES99 modellen. Konturar for konstant amplitude er plotta for kvar 2. cm. Amplituda til S2 frå observasjonar er gjeve i parantes ved målestasjonane.

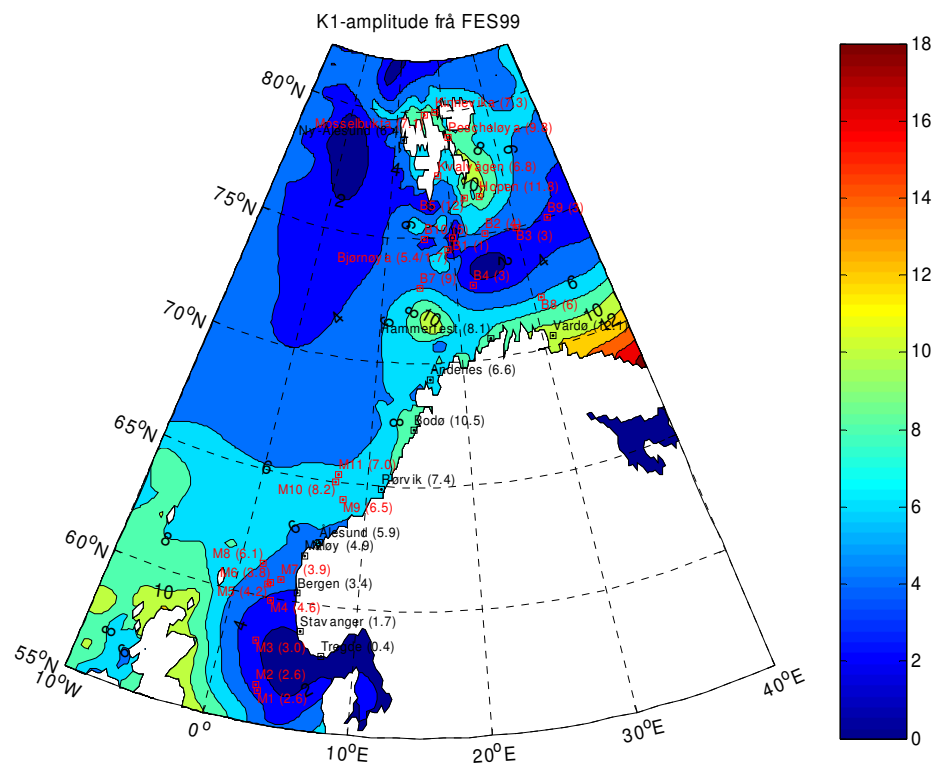
3.3 K1

Amplituda for konstituenten K1 er bra i samsvar med målingar ved Hopen og B5 for GOT00 modellen (Figur 5). Ved målestasjon B7 er amplituda til K1 om lag 3 cm for lav i modellen medan amplituda ved dei fleste andre målestasjonane ligg innanfor +/- 2 cm. I Storfjorden og på nord- og austsida av Svalbard er modellen noko meir usikker i forhold til dei målingane som her finnast inne ved kysten. GOT00 modellen er ei forbetring i Barentshavet i forhold til Gjevik og Andersen sine modellar. Modellen er noko betre for stasjonen M3 sør i Nordsjøen, og differerer som dei andre modellane med 0.5-2 cm ved dei øvrige stasjonane i Nordsjøen.

Differansen mellom resultat for amplituda til K1 frå FES99 modellen og observasjonar er om lag 1-2 cm i Barentshavet (Figur 6). Ved stasjon B7 er modellert amplitude om lag 3 cm for lav som for GOT00 og ved B5 og Hopen er differansen om lag 4 cm mellom modellen og observasjonar. På Haltenbanken og i Nordsjøen gjev modellen ganske like resultat som dei andre modellane. Ved stasjon M3 sør i Nordsjøen er FES99 modellen som for GOT00 modellen noko betre enn dei to andre modellane.



Figur 5 Amplituda til K1 frå GOT00 modellen. Konturar for konstant amplitude er plotta for kvar 2. cm. Amplituda til K1 frå observasjonar er gjeve i parantes ved målestasjonane.



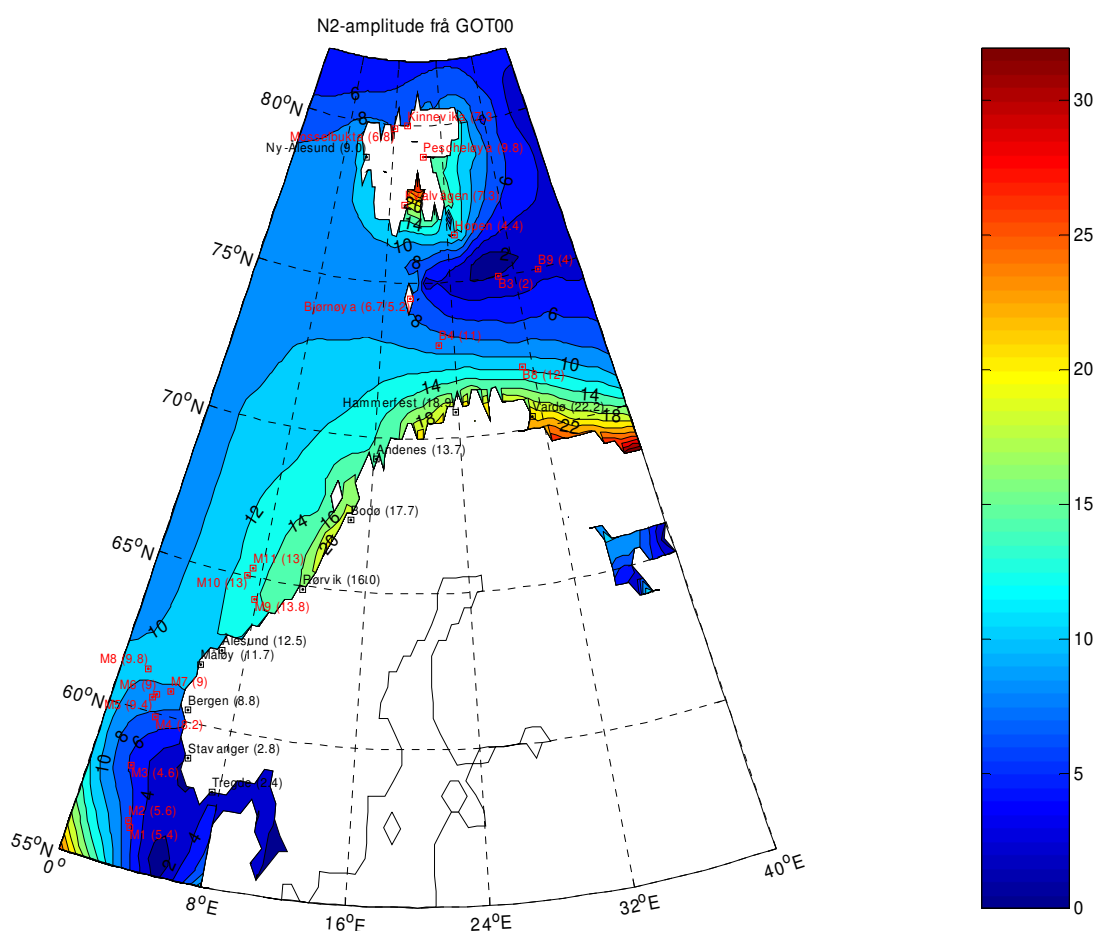
Figur 6 Amplituda til K1 frå FES99 modellen. Konturar for konstant amplitude er plotta for kvar 2. cm. Amplituda til K1 frå observasjonar er gjeve i parantes ved målestasjonane.

3.3 N2

Det er ingen store skilnader i Nordsjøen på amplituda til konstituenten N2 frå GOT00 og dei andre modellane (Figur 7). Modellen har som AG-modellen noko høg amplitude for N2 inn mot kysten mellom Rørvik og Bodø.

For dei målestasjonane som finnast i Barentshavet er GOT00 modellen ganske bra for amplituda til N2. For stasjonane B3 og B8 gjev modellen om lag likt resultat som observasjonar medan for B4 og B9 er amplituda til N2 1 til 2 cm for lav i modellen. Ved Bjørnøya gjev modellen ein differanse på 2-3 cm og ved Hopen og sør og aust for Svalbard er modellen noko meir usikker. GOT00 modellen gjev liknandes resultat som GS-modellen til Gjevik, men er ei forbetring i forhold til AG-modellen til Andersen.

For FES99 har me ikkje data for N2.



Figur 7 Amplituda til N2 frå GOT00 modellen. Konturar for konstant amplitude er plotta for kvar 2. cm. Amplituda til N2 frå observasjonar er gjeve i parantes ved målestasjonane.

4 Oppsummering og anbefaling

Dei to *nye* modellane GOT00 og FES99 er no vurdert og samanlikna opp mot observasjonar og resultat frå andre tidvassmodellar, AG-modellen til Ole B. Andersen og GS-modellen til Bjørn Gjevik. For dei to *nye* modellane er nokre forbetringar gjort. Særleg har det vore nyttig å nytte altimetridata frå ERS1 og ERS2 i GOT00 modellen. Dette gjev ei tydeleg forbetring for konstituenten M2 i nordlege område der GOT00 modellen er den *beste*. For amplituda til S2 gjev derimot ikkje GOT00 modellen noko forbetra resultat grunna problem med solsynkroniserings bana til ERS. For S2 amplituda er det soleis GS-modellen til Gjevik og FES99 modellen som kjem *best* ut i nordlege område. Amplituda til K1 er forbetra for begge dei to *nye* modellane der GOT00 er noko betre i område rundt stasjon B5 og Hopen. For N2 amplituda gjev GOT00 modellen noko betre resultat enn AG-modellen til Andersen i samanlikning med observasjonar, men den gjev ganske like resultat som GS-modellen til Gjevik. Frå FES99 modellen har me ikkje fått data for N2.

Utifrå samanlikningane over er det å anbefale å nytte GOT00 modellen i det vidare arbeidet med K0-flata, særleg grunna dei tydelege forbetringane for amplituda til konstituenten M2 ved å nytte ERS data. Modelldata er framleis noko usikre i nordlege område rundt Bjørnøya, Hopen og Svalbard og ein må vere merksam på dette i det vidare arbeidet med K0-flata.

Frå GOT00 modellen er berre åtte konstituentar tilgjengelege. Det er mogeleg å uttleie fleire konstituentar frå desse åtte i fylgje Richard Ray. I rapport GEO 03-1 av Daniel Hareide (2003) vert det anbefalt å nytte so mange konstituentar som mogleg ved beregning av LAT. Frå AG-modellen til Ole B. Andersen har me 13 tilgjengelege konstituentar. Sidan denne modellen fungerer fint i store delar av området der K0-flata skal bestemast må det soleis diskuteras og testast ut kva som gjev det beste samla resultatet. Bør me prioritere mest mogleg nøyaktige konstituentar over eit størst mogleg område eller bør me ha med flest mogleg konstituentar og ha ei noko dårlegare LAT beregning i delar av området? For å finne ut kva som vil gjere mest utslag på LAT beregninga vil det i denne samanhengen vere nyttig å gjere LAT beregningar med datasett frå dei ulike modellane og samanlikne desse med kvarandre og LAT beregna frå observasjonar for å sjå kva som gjev best mogleg resultat.

5 Referansar

Hareide, Daniel (2003) Valg av metode for beregning av sjøkartnull (K_0) og Z_0 for norske havområde. Rapport GEO 03-1, Statens kartverk Sjø

Lefevre, F., Le Provost, C., Lyard, F.H. and Schrama, E.J.O. FES98 and FES99: Two New Versions of the FES' Global Tide Finite Element Solutions. Joint TOPEX/POSEIDON and Jason-1 Science Working Team Meeting, Florida 2000

Le Provost, C., M.L.Genco, F. Lyard, and P. Cancail. Spectroscopy of the world ocean tides from finite-element hydrodynamic model. J. Geophys. Res., 99, (C12), 24, 777-797, 1994

Lynge, Birgit Kjoss (2003) Samanlikning av tidvassmodellar i arbeidet med K_0 -flata. Rapport GEO 03-2 Statens kartverk Sjø.

Ray, Richard (1999) A global ocean tide model from Topex/Poseidon altimetry: GOT99.2, NASA Tech Memo 209478, 58 pages, Sept. 1999