



**STATENS KARTVERK
SJØ**

Lervigsveien 36, 4014 Stavanger
Sentralbord: 51 85 87 00
Telefaks: 51 85 87 01

RAPPORT

TITTEL Valg av metode for beregning av sjøkartnull (K_0) og Z_0 for norske havområder	DATO 09.04.03
	ANTALL SIDER 18
FORFATTER(E) Daniel Hareide	ANTALL BILAG

SAMMENDRAG

Fordi vertikal posisjon til sjømålingsfartøyene (bestemt ved satelittmålinger) stadig blir mer nøyaktig, ser vi i fremtiden muligheten for å sjømåle uten å være avhengig av vannstandsmålinger. Siden det fortsatt er ønskelig å relatere dybden til sjøkartnull (K_0) forutsetter dette at sjøkartnulls beliggenhet i forhold til ellipsoiden er kjent. Da sjøkartnull er bestemt relativt middelvann, forutsetter dette at også middelvann må være kjent relativt ellipsoiden. I løpet av 2002 ble det laget en 1. versjon av en K_0 -flate (sjøkartnull relativt middelvann) for kystnære områder.

I denne rapporten har vi sett på en del metoder for hvordan vi kan bestemme sjøkartnulls beliggenhet relativt middelvann for norske havområder.

Vi anbefaler at sjøkartnull for norske havområder beregnes ut fra 19 år med tidevannsprediksjoner på samme måte som for standardhavnene. Så mange konstituenten som mulig bør inngå i konstantsettet som brukes for å lage prediksjonene. Den langperiodiske konstituenten S_a bør inngå i konstantsettet.

STIKKORD

Definisjoner

Tidevannsanalyse

Z_0

Numeriske modeller

RAPPORT NR.

GEO 03-1

TILGJENGELIGHET

Åpen

1	INNLEDNING	2
2	DEFINISJONER.....	2
2.1	MIDDELVANN (MV).....	2
2.2	LAVESTE ASTRONOMISKE TIDEVANN (LAT)	2
2.3	SJØKARTNULL (K_0)	2
2.4	Z_0	2
3	TIDEVANNSANALYSE OG VALG AV KONSTANTSETT	3
3.1	TIDEVANNSANALYSE	3
3.2	KONSTITUENTER OG HARMONISKE KONSTANTER	3
3.3	HØVEDKONSTITUENTENE	4
3.4	LANGPERIODISKE KONSTITUENTER	4
3.5	OVERHARMONISKE KONSTITUENTER (ELLER GRUNTVANNSKONSTITUENTER).....	5
3.6	NØYAKTIGHETEN TIL TIDEVANNSPARAMETRENE	7
3.7	UTVELGELSE AV KONSTITUENTER.....	7
3.8	TIDEVANNSANALYSE VED SJØKARTVERKET	7
4	BEREGNING AV Z_0 I NEDERLAND	8
5	BEREGNING AV Z_0 FOR NORSKE STANDARDHAVNER	9
5.1	SJØKARTNULL OG Z_0 FØR 01.01.2000	9
5.2	SJØKARTNULL OG Z_0 <u>ETTER</u> 01.01.2000.....	9
5.3	FORSKJELLEN MELLOM NYTT OG GAMMELT SJØKARTNULL.....	10
6	BEREGNING AV Z_0 FOR NORSKE HAVOMRÅDER.....	11
6.1	TILGJENGELIGE KONSTITUENTER FRA FORSKJELLIGE NUMERISKE MODELLER.....	11
7	FORHOLDET LAT/M_2	12
7.1	STANDARDHAVNER.....	12
7.2	OLJEPLATTFORMER.....	13
8	SAMMENLIGNING AV LAT BEREGNINGER	14
8.1	FUNDERINGER RUNDT BEREGNINGEN AV LAT	16
9	ANBEFALING / KONKLUSJON.....	17
10	REFERANSER.....	18

1 Innledning

Våren 2002 ble K_0 -prosjektet startet opp som en FoU-aktivitet i Geofysikkseksjonen. Bakgrunnen for prosjektet var at vi i fremtiden ønsker å sjømåle i norske farvann uten å være avhengige av vannstandsmålinger. Dette kan bli mulig fordi vertikal posisjon til sjømålingsfartøylene (bestemt ved satelittmålinger) stadig blir mer nøyaktig. Dette forutsetter imidlertid at sjøkartnulls (K_0s) beliggenhet i forhold til ellipsoiden er kjent. Første fase i K_0 -prosjektet er å bestemme K_0 relativt middelvann, for deretter i neste fase å bestemme middelvann relativt ellipsoiden. I løpet av 2002 ble det laget en 1. versjon av en K_0 -flate (sjøkartnull relativt middelvann) for kystnære områder basert på tidevannssoner utarbeidet av Geofysikkseksjonen. Vi har i tillegg fått tilgang på data fra numeriske modeller fra Universitetet i Oslo (UiO, ved professor Bjørn Gjevik) og fra Kort & Matrikelstyrelsen i Danmark (KMS, ved Ole B. Andersen). Fra KMS har vi også fått altimeterdata som beskriver middelvann relativt ellipsoiden for havområdene.

I denne rapporten har vi sett på en del metoder for hvordan vi kan få et godt estimat for sjøkartnulls beliggenhet relativt middelvann i havområdene. Rapporten ender opp med en anbefaling av hvilken metode vi mener bør benyttes.

2 Definisjoner

En del sentrale fagtermer benyttes i rapporten. Definisjonene er hentet fra standarden *Norges offisielle høydesystemer og referansenivåer* (Ref.[1]).

2.1 Middelvann (MV)

Middelvann er gjennomsnittlig høyde av sjøens overflate på et sted over en periode på 19 år.

MERKNAD – Middelvann beregnes som gjennomsnittet av vannstandsobservasjoner foretatt med faste tidsintervall – fortrinnsvis over en periode på 19 år. I forbindelse med overgang til nytt sjøkartnull fra 01.01.2000 har Statens kartverk Sjø beregnet middelvann ut fra 19-års perioden f.o.m. 1979 t.o.m. 1997.

2.2 Laveste astronomiske tidevann (LAT)

LAT er laveste vannstand som kan beregnes under midlere meteorologiske forhold og ved alle mulige konstellasjoner mellom jord, måne og sol.

MERKNAD - LAT blir vanligvis funnet ved å beregne tidevannsprediksjoner for 19 år og plukke ut den laveste vannstanden (tidevannet har en langtidsvariasjon med periode på 18,6 år).

2.3 Sjøkartnull (K_0)

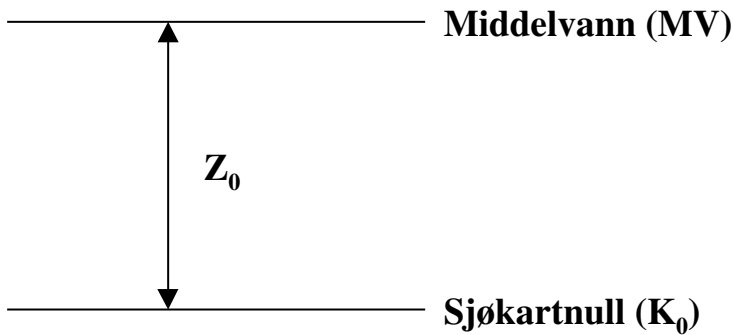
Sjøkartnull er referansenivå for dybder i sjøkartene og høyder i tidevannstabellen.

MERKNAD – Se kapittel 5.

2.4 Z_0

Z_0 er høydeforskjellen mellom middelvann (MV) og sjøkartnull (K_0).

KOMMENTAR – Figur 2.1 er ikke med i Ref.[1], men er tatt med for å vise forholdet mellom middelvann, sjøkartnull og Z_0 .



Figur 2.1 Oversikt over forholdet mellom middelvann (MV), sjøkartnull (K_0) og Z_0

3 Tidevannsanalyse og valg av konstantsett

For å kunne beregne Z_0 og dermed sjøkartnull trenger vi opplysninger om de harmoniske tidevannskonstantene i norske farvann. Det kan derfor være på sin plass å gi en kort beskrivelse av hvordan de harmoniske tidevannskonstantene bestemmes.

3.1 Tidevannsanalyse

I tidevannsanalyse er formålet å reprodusere signifikante parametre som beskriver tidevannsregimet på det stedet observasjonene er gjort. Parametrene blir ofte kalt tidevannskonstanter ved antagelsen at responsen til havene i forhold til tidevannskraften ikke blir forandret med tiden. I bruken av denne terminologien ligger også antagelsen at dersom en tilstrekkelig lang serie med vannstandsobservasjoner er tilgjengelig for en bestemt lokalitet, da vil en "sann" verdi for hver enkelt konstant bli beregnet ved en analyse. I praksis strekker målingene seg over en begrenset periode, ofte ett år, en måned eller bare noen få dager. Analyseresultatene av disse tidsseriene med begrenset lengde kan derfor bare tilnærme seg de "sanne" konstantene. Til lenger periode med data som er tilgjengelig for en analyse, til bedre vil tilnærmelsen til de "sanne" verdiene bli.

3.2 Konstituenten og harmoniske konstanter

I jord-måne-sol systemet går både jorden og månen rundt solen og månen går i tillegg rundt jorden. Begge dreier rundt sin egen akse og videre er det bl a variasjon i fart, avstand og i vinkelen mellom banene til jorden og månen. Hver av disse bevegelsene fører til en periodisk variasjon i den tidevannsproduserende kraften. Dette fører igjen til at det ikke bare er en, men mange bølger som forplanter seg rundt jorden. Solens bidrag utgjør om lag 40% av månens bidrag. Vi kan gå et skritt videre og tenke oss at hver slik bølge er forårsaket av tiltrekningskraften fra et tenkt (fiktivt) himmellegeme som roterer med konstant hastighet og i konstant avstand rundt jorden fra øst mot vest i ekvatorplanet. I et punkt på jordoverflaten vil vi da observere en periodisk variasjon i vannstanden. En slik periodisk variasjon kan uttrykkes som:

$$h(t) = A \cos(\sigma t - B)$$

der $h(t)$ er høyden (utslaget) ved et bestemt tidspunkt t , σ (sigma) er frekvensen til den periodiske variasjonen, t er tiden, A er amplituden (utslaget fra middelverdien) og B er en fase. Bidraget fra et slikt fiktivt himmellegeme kalles en konstituent, og A og B kalles harmoniske konstanter til en

konstituent. Hovedbidraget fra månen kalles M_2 og kan oppfattes som et tenkt himmellegeme i jordens ekvatorplan. Andre tenkte himmellegemer vil korrigere for denne grove tilnærmelsen. Konstituentene N_2 , L_2 og K_2 vil fange opp det meste av månens avstands-, farts- og deklinasjonsforandring. Hovedbidraget fra solen kalles S_2 . Konstituentene har en indeks som angir antall perioder i døgnet. Indeks 2 angir halvdaglige perioder og indeks 1 angir heldaglige perioder (i Norge dominerer konstituentene med halvdaglige perioder). Vi finner også 14-daglige, månedlige, halvårlige og helårlige konstituent, og en konstituent med periode på 18,6 år.

Det tidevannet vi observerer kan ses på som summen av mange slike enkeltbølger.

3.3 Hovedkonstituentene

Tabell 3.1 viser en oversikt over noen av de viktigste konstituentene beregnet ut fra tidevannsteorien (likevektsteorien, se i *Tides, Surges and Mean Sea Level (Pugh)* for mer informasjon. (Ref. [2])). Amplitudene er gitt relativt M_2 ($M_2 = 1,0000$). M_2 er hovedbidraget til månen.

Astronomisk langperiodisk tidevann	Relativ koeffesient ($M_2 = 1,0000$)
* S_a	0,0127
Astronomisk daglig tidevann	
Q_1	0,0794
O_1	0,4151
P_1	0,1932
K_1	0,5838
Astronomisk halvdaglig tidevann	
$2N_2$	0,0253
μ_2 (Mu_2)	0,0306
N_2	0,1915
ν_2 (Nu_2)	0,0364
M_2	1,0000
L_2	0,0354
T_2	0,0273
S_2	0,4652
K_2	0,1266

Tabell 3.1 Oversikt over de viktigste konstituentene

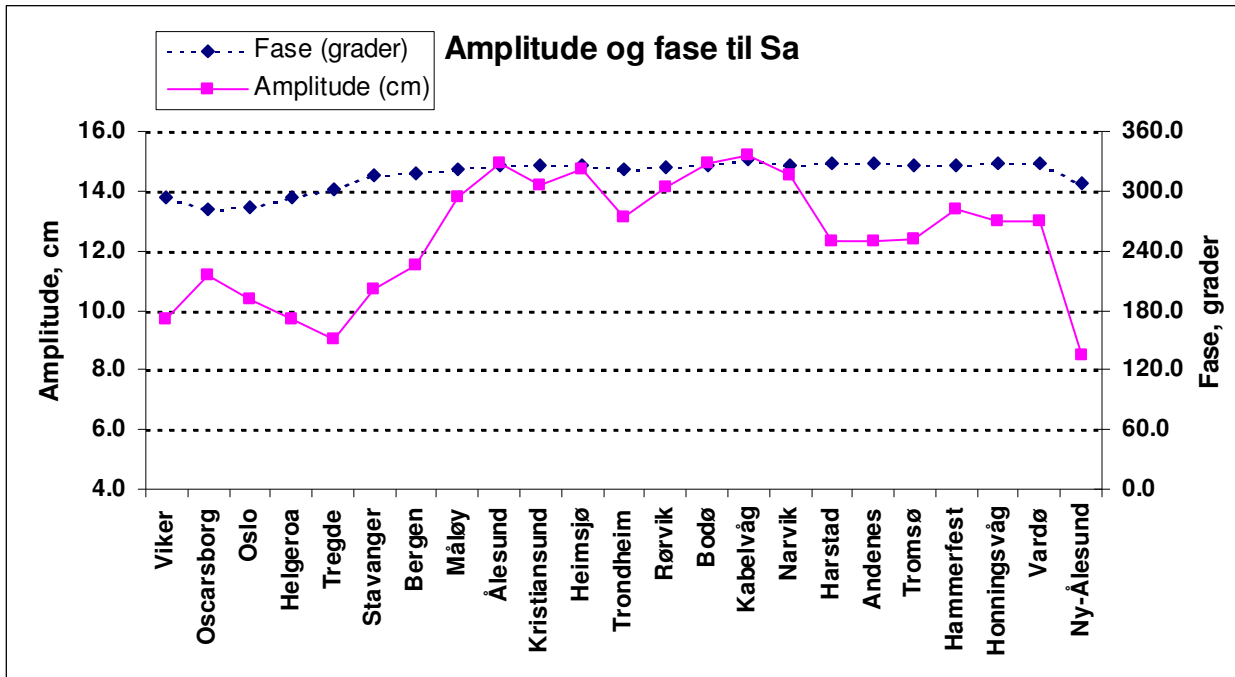
* Vær oppmerksom på at den langperiodiske konstituenten S_a er sterkt påvirket av meteorologiske effekter (se kap. 3.4).

3.4 Langperiodiske konstituent

Det langperiodiske tidevannet har betydning for det ”daglige middelvannet”, men har praktisk talt liten eller ingen betydning for tidspunktene for høy- og lavvann. Det er konstituent med periode lenger enn et døgn som blir kalt langperiodiske konstituent. Det finnes fem langperiodiske konstituent som vanligvis er behandlet i arbeid om harmonisk analyse. Det er de halvmånedlige M_f og MS_f , den månedlige M_m , den halvårlige S_s og den årlige S_a . Tidevannsteorien sier at de er små, men tidevannsanalysene viser at de inneholder en del energi. Imidlertid er amplitude og fase avhengig av hvilken periode som inngår i analysen. Den viktigste årsaken til dette er meteorologiske effekter. Analyser ved Sjøkartverket har vist at de halvmånedlige konstituentene M_f og MS_f , den månedlige M_m og den halvårlige S_s er så ustabile at vi har latt være å bruke dem. Et unntak er den helårlige konstituenten S_a som er mer stabil. Selv om det meste av energien ikke kommer fra det astronomiske

tidevannet er det vanlig å ta med Sa i tidevannsberegninger. Ved Sjøkartverket har vi valgt å bruke 25 år med vannstandsobservasjoner for å beregne Sa i standardhavnene (se figur 3.1). I de tilfellene der datagrunnlaget har vært for spinkelt har vi brukt Sa fra den nærmeste nabohavnen. I konstantsettet for Viken er Sa hentet fra Helgeroa, i konstantsettet for Andenes er Sa hentet fra Harstad og i konstantsettet for Vardø er Sa hentet fra Honningsvåg. Se rapporten *Innføring av nytt sjøkartnull* (Ref.[3]) for mer informasjon.

Ved Sjøkartverket er det kun Sa av de langperiodiske konstituentene som er med i konstantsettene.



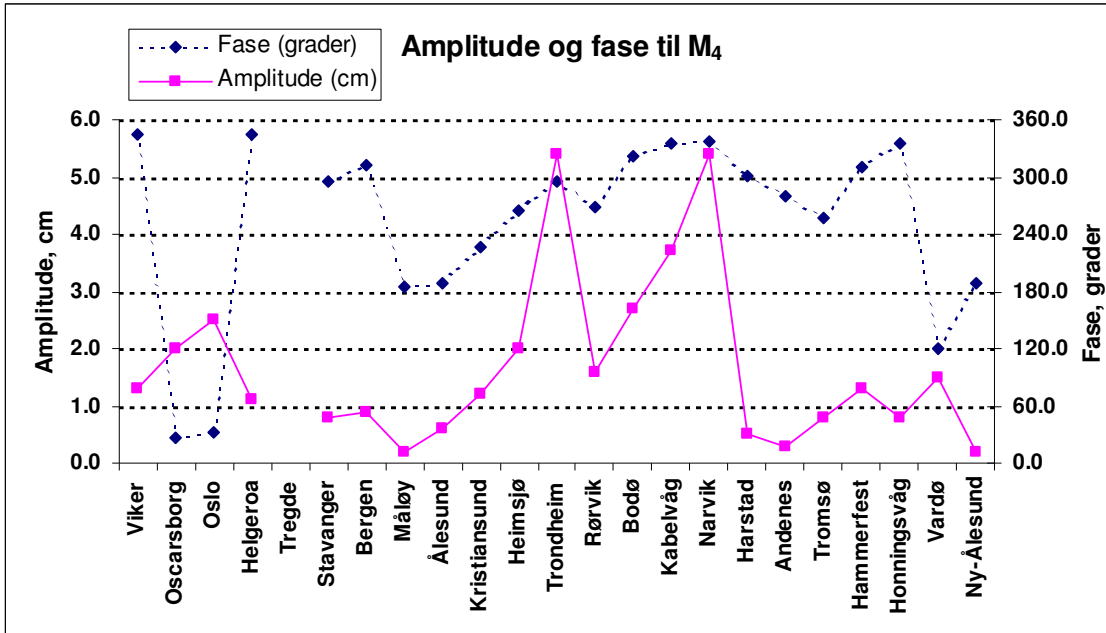
Figur 3.1 Amplitude og fase til den langperiodiske konstituenten Sa

3.5 Overharmoniske konstituent (eller gruntvannskonstituent)

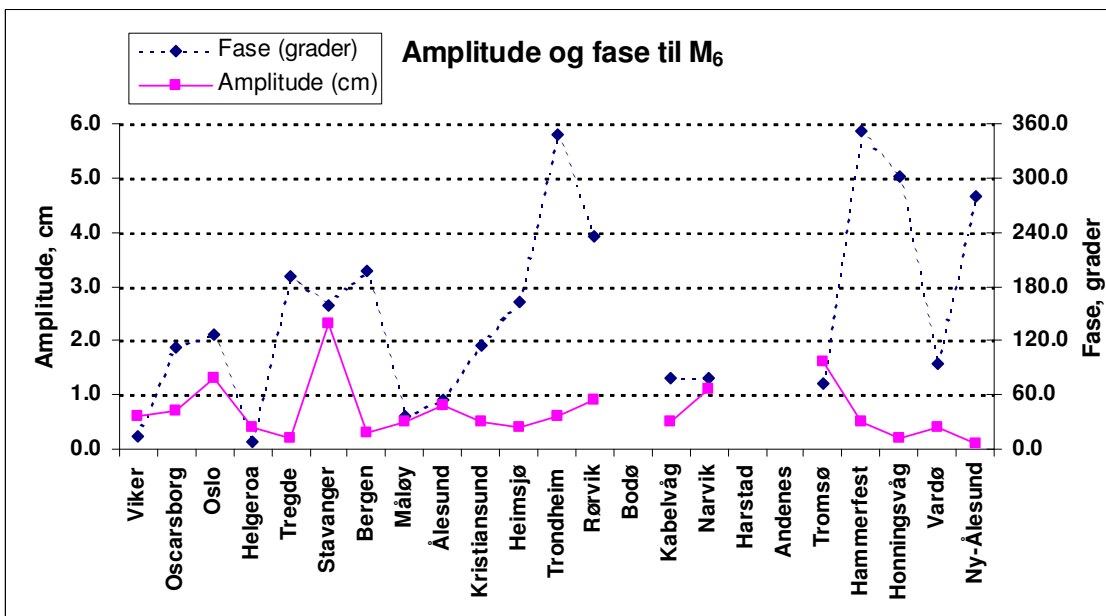
Fordi forplantningshastigheten til en progressiv bølge er tilnærmet proporsjonal med kvadratroten til dybden av havet den forplanter seg i, har grunt vann den effekten at den senker farten til bølgedalen mer enn farten til bølgetoppen. Dette fører til en forvrengning av den originale sinusoidale bølgeformen og introduksjon av harmoniske signaler som ikke er predikert i utviklingen av tidevannspotensialet. Frekvensene av disse harmoniske konstituentene kan finnes ved å beregne effekten av ikke-linjære ledd i den hydrodynamiske bevegelsesligningen på et signal i forhold til en eller flere av hovedkonstituentene (se i *The Analysis of Tides (Godin)* side 154-164 for flere detaljer (Ref. [4])).

I de fleste program for tidevannsanalyse er det i dag mulig å analysere over hundre frekvenser. Det er ikke dermed sagt at en tidevannsanalyse blir bedre til flere konstituent som er med i analysen. I en artikkel av Bernhard D. Zetler (Ref. [5]) omhandles en del av problematikken omkring bruken av en utvidet harmonisk analyse. Zetler skriver blant annet i artikkelen at noen tidevannsbyråer nå uheldigvis gjør rutinemessige analyser av et utvidet antall konstituent uten å kontrollere at amplitudene til disse tilleggskonstituentene er signifikant større enn ”støynivået”. De tror at til flere konstituent som er med i analysen til bedre blir resultatet. I noen tilfeller blir imidlertid prediksjonene dårligere hvis ikke denne kontrollen mot ”støynivået” blir gjort rutinemessig.

Konklusjonen blir at ved all tidevannsanalyse må det inkluderes en høyoppløselig fourier analyse for å kontrollere om de analyserte amplitudene er signifikant høyere enn "støynivået". Det må også presiseres at det ikke nødvendigvis er slik at til flere konstituenten som er med i analysen til bedre blir prediksjonene. Det er faktisk slik at det er stor sannsynlighet for at resultatet heller blir dårligere. Ved Sjøkartverket ble det ikke gjort noen grundig vurdering av hvilke overharmoniske konstituenten som skulle inngå i konstantsettene når det ble laget nye konstantsett i 1998. Det var kun de overharmoniske konstituentene som inngår i "standardanalysen" til Foreman-programvaren (se kap. 3.8) som til en viss grad ble vurdert. Hvis amplitudene til konstituentene var veldig små, så ble de ikke tatt med i det endelige konstantsettet.



Figur 3.2 Amplitude og fase til den overharmoniske konstituenten M_4



Figur 3.3 Amplitude og fase til den overharmoniske konstituenten M_6

To av de viktigste overharmoniske konstituentene er M_4 og M_6 . M_4 har en periode på 6,21 timer, som er halvparten til perioden til M_2 (12,42 timer). Mens M_6 har en periode på 4,14 timer, som er tredjedelen av perioden til M_2 (12,42 timer). I figurene 3.2 og 3.3 er amplitudene og fasene til henholdsvis M_4 og M_6 plottet. Amplituden til M_4 er størst i Trondheim og Narvik, der den er over 5 cm. Mens amplituden til M_6 er størst i Stavanger, der den er litt over 2 cm. Tidevannet blir "forvrengt" når det kommer inn i Trondheims- og Vestfjorden og når det passerer de grunne områdene utenfor Stavanger.

M_4 er ikke inkludert i konstantsettet til Tregde og M_6 er ikke inkludert i konstantsettene til Bodø, Harstad og Andenes. Grunnen til dette er at amplitudene er så små at de er ubetydelige. For Tregde ble amplituden for M_4 beregnet til 0,01 cm, mens amplituden til M_6 i Bodø, Harstad og Andenes ble beregnet til henholdsvis 0,02 cm, 0,06 cm og 0,02 cm.

3.6 Nøyaktigheten til tidevannsparemetrene

Ser vi bort fra de langperiodiske konstituentene, antar vi at de resterende konstituentene forandrer seg lite hvis forskjellige perioder med data fra samme lokalitet blir analysert. Likevel vil analyser fra forskjellige perioder med data fra den samme lokaliteten vise små variasjoner i tidevannsparemetrene rundt en middel verdi. Grunnen til variasjonene er analysebegrensninger i henhold til ikke-tidevannsenergi på tidevannsfrekvensene, inkonsistens i måleinstrumentene og reelle endringer i tidevannet på det aktuelle stedet.

3.7 Utvelgelse av konstituent

Utvelgelsen av hvilke konstituent som skal bestemmes i en harmonisk analyse blir av og til sett på som en svartekunst. Likevel, noen grunnleggende regler eksisterer. Generelt gjelder det at til lenger periode med data som er inkludert i analysen, til større antall med konstituent kan bli uavhengig bestemt.

Et kriterium som ofte blir brukt er Rayleigh kriteriet, som krever at bare konstituent som er separert med minst en komplett periode fra deres nærliggende konstituent over den perioden med data som er tilgjengelig, kan bli inkludert. Det vil si at for å bestemme M_2 (hovedbidraget til månen) og S_2 (hovedbidraget til solen) uavhengig i en analyse kreves 14,77 dager med data. For å separere S_2 fra K_2 kreves 182,6 dager. Denne minimums lengden med data som er nødvendig for å separere et par med konstituent blir kalt deres "synodiske" periode.

3.8 Tidevannsanalyse ved Sjøkartverket

Sjøkartverket bruker programpakken til M.G.G. Foreman (Ref. [6]) for å foreta den harmoniske analysen. Hvis ikke annet er spesifisert blir opptil 69 konstituent inkludert i den harmoniske analysen ("standardanalysen" – foreslått av G. Godin). Siden ikke så mange overharmoniske konstituent er med i "standardanalysen" kan opptil 77 overharmoniske konstituent tas med i tillegg. Brukeren bestemmer selv hvilke. Ved Sjøkartverket har vi foreløpig ikke gjort noen grundige studier av hvilke overharmoniske konstituent som bør inkluderes i den harmoniske analysen for de enkelte havnene. Derfor har vi ved Sjøkartverket kun kjørt "standardanalysen" for alle havnene. Se rapporten *Innføring av nytt sjøkartnull* (Ref.[3]) for mer informasjon. Tabell 3.2 viser hvor mange konstituent som inngår i konstantsettene for de enkelte havnene. Vi ser at det varierer fra 31 konstituent for Tregde til 52 konstituent for Oslo.

Havn	Antall konstituentene i konstantsettene etter at de langperiodiske konstituentene Ssa, Mm, Msf og Mf er nullet ut
Viker	48
Oscarsborg	50
Oslo	52
Helgeroa	42
Tregde	31
Stavanger	41
Bergen	42
Måløy	43
Ålesund	45
Kristiansund	48
Heimsjø	50
Trondheim	46
Rørvik	49
Bodø	44
Kabelvåg	47
Narvik	46
Harstad	39
Andenes	39
Tromsø	47
Hammerfest	42
Honningsvåg	44
Vardø	45
Ny-Ålesund	37

Tabell 3.2 Antall konstituentene i konstantsettene etter at de langperiodiske konstituentene Ssa, Mm, Msf og Mf er nullet ut.

4 Beregning av Z_0 i Nederland

Informasjonen er innhentet via e-post fra Koos Doekes, Rijkswaterstaat.

Rijkswaterstaat (RIKZ) er ansvarlig for vannstandsmåling, for tidevannsanalyse og tidevannsprediksjoner og for etablering av vannstands nivå i Nederland, mens "Dienst der Hydrografie of the Royal Dutch Navy" er ansvarlig for utgivelsen av sjøkart. Siden 1919 er etableringen og oppdateringen av sjøkartnull blitt utført i samarbeid mellom RIKZ og Dienst der Hydrografie. Inntil nylig var sjøkartnull i Nederland basert på LLWS (Lowest Low Water Spring; i følge RIKZ er det "middel av laveste observerte månedlige spring lavvann").

Allerede i 1995 bestemte Dienst der Hydrografie at sjøkartnull i nye sjøkart skulle baseres på laveste astronomiske tidevann (LAT). Dagens verdier for Z_0 (differansen mellom middelvann (MV) og sjøkartnull) for standardhavnene ble beregnet i 1995. Tidevannsprediksjoner for 19 år (perioden 1976 – 1994) ble laget og den laveste verdien plukket ut. De harmoniske konstantene som ble benyttet var stort sett funnet ut fra vannstandsobservasjoner for perioden 1991 – 1994. Den langperiodiske konstituenten S_a inngikk i disse beregningene.

Ved å bruke "Dutch Continental Shelf Model" (DCSM) ble "råverdier" for LAT beregnet for den sørlige delen av Nordsjøen. Kun de ti konstituentene Q_1 , O_1 , P_1 , K_1 , N_2 , Nu_2 , M_2 , L_2 , S_2 og K_2 som inngår i modellen ble brukt. Den langperiodiske konstituenten S_a var ikke inkludert. Tidevannsprediksjoner for 19 år ble laget og den laveste verdien plukket ut.

RIKZ (v/ Koos Doekes) anbefaler at LAT i havområdene beregnes ut fra 19 år med tidevannsprediksjoner som er beregnet ved å bruke harmoniske konstanter som er funnet fra numeriske modeller. Det bør brukes et tidsintervall på 10-15 minutter og tidevannsprediksjonene må beregnes for hvert grid punkt. Ideelt sett mener Doekes at den langperiodiske konstituenten S_a også bør inkluderes i beregningen av LAT. Men RIKZ har foreløpig ingen gode estimat av S_a i havområdene.

5 Beregning av Z_0 for norske standardhavner

5.1 Sjøkartnull og Z_0 før 01.01.2000

Sjøkartverkets "gamle" definisjon av Z_0 var :

$$Z_0 = M_2 + S_2 + N_2 + K_2 + K_1 + \frac{1}{2}S_a$$

hvor M_2 , S_2 etc. er amplituden til de harmoniske tidevannskonstantene.

Det var professor Fjeldstad ved Universitetet i Oslo som utarbeidet denne definisjonen i 1939. Sammenhengen mellom sjøkartnull og Z_0 er definert i kapittel 2.4

5.2 Sjøkartnull og Z_0 etter 01.01.2000

Sjøkartverket innførte fra 1. januar 2000 nytt referansenivå for dybder i sjøkart (sjøkartnull).

Bakgrunnen var et vedtak i North Sea Hydrographic Commission (NSHC, tilsluttet International Hydrographic Organization, IHO) der det var enighet om å innføre et felles sjøkartnull for alle nordsjølandene. Det var ønskelig med en harmonisering av sjøkartnull blant annet for å unngå sprang i datum ved passering av landegrenser. Vedtaket i NSHC anbefalte å bruke laveste astronomiske tidevann (LAT, Lowest Astronomical Tide) som felles sjøkartnull.

I områder hvor det astronomiske tidevannet er lite i forhold til vannstandsendingene som skyldes meteorologisk påvirkning, kan sjøkartnull legges lavere enn LAT. I Norge gjelder dette Sørlandskysten og Oslofjorden hvor vannstanden kan være lavere enn LAT i lange perioder (ofte 1-2 uker). Det nye sjøkartnull er av denne grunn lagt:

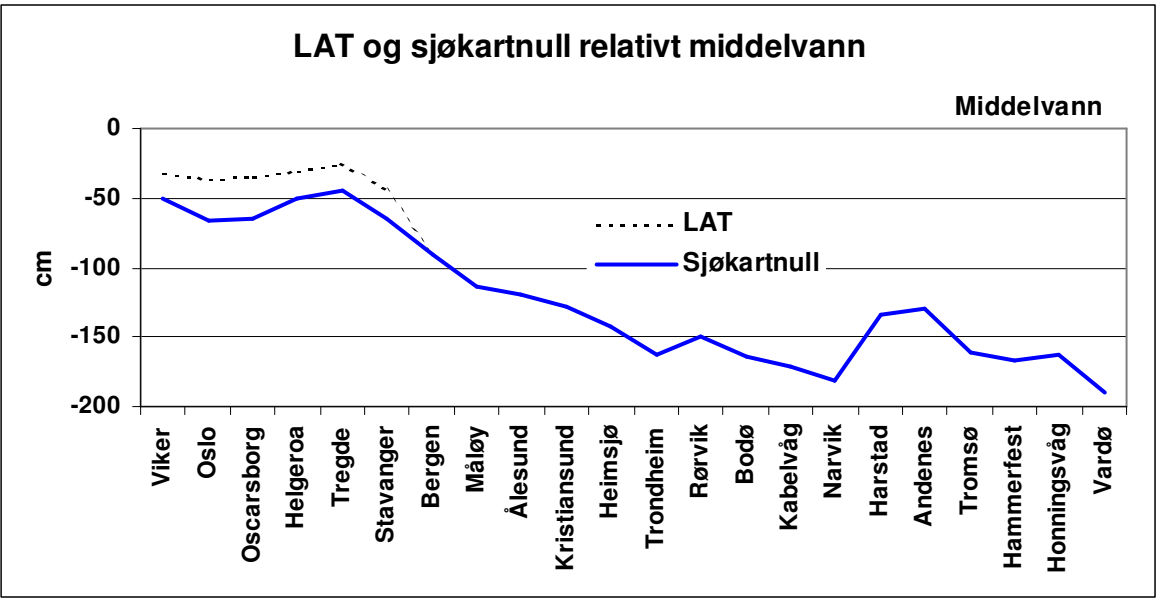
- 30 cm lavere enn LAT i indre Oslofjord
- 20 cm lavere enn LAT langs kysten fra svenskegrensen til Utsira. I Karmsundet går grensen ved Salhusstraumen. Området er avgrenset til å gjelde innenfor 4 nautiske mil.

For resten av landet, inkludert Svalbard, er sjøkartnull sammenfallende med LAT.

$$Z_0 = LAT + \Delta d$$

Område	Δd
Indre Oslofjord	30 cm
Svenskegrensen til Utsira	20 cm
Nord for Utsira og Svalbard	0 cm

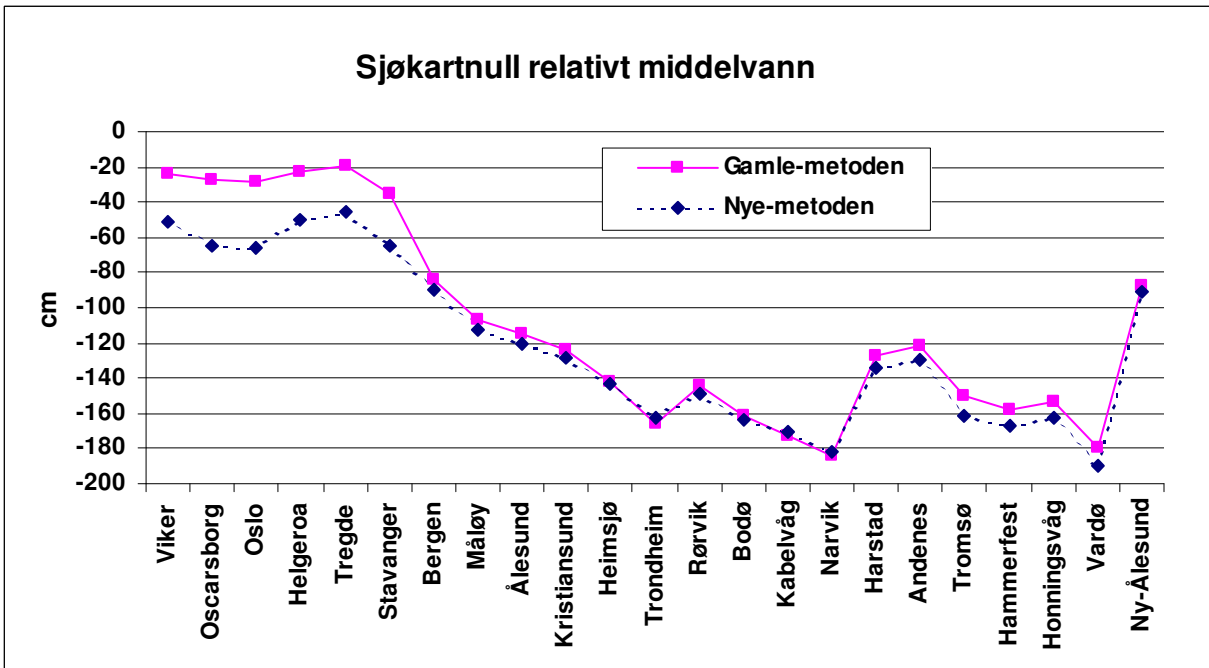
Figur 5.1 viser det nye sjøkartnull og LAT relativt middelvann. Fra og med Bergen (nord for Utsira) og nordover er LAT og sjøkartnull sammenfallende.



Figur 5.1 LAT og sjøkartnull relativt middelvann langs norskekysten

5.3 Forskjellen mellom nytt og gammelt sjøkartnull

Tabell 5.1 og figur 5.2 viser forskjellen mellom nytt og gammelt sjøkartnull. Med "Gamle-metoden" er sjøkartnull beregnet som beskrevet i kap. 5.1, mens for "Nye-metoden" er sjøkartnull beregnet som beskrevet i kap. 5.2. For Bergen og nordover kysten er det ikke så stor forskjell mellom de to kurvene. For strekningen Stavanger til svenskegrensen er det større forskjeller. Mesteparten av dette kan forklares med innføringen av Δd fra 01.01.2000 (Se rapporten *Innføring av nytt sjøkartnull* (Ref.[3]) for mer informasjon). Δd er 30 cm for Indre Oslofjord og 20 cm for strekningen svenskegrensen til Utsira. For resten av kysten er Δd 0 cm.



Figur 5.2 Sjøkartnull relativt middelvann langs norskekysten

Ser vi kun på differansen mellom LAT og "Gamle-metoden", ser vi at differansen stort sett er under 10 cm. Den største forskjellen er i Tromsø på 12 cm.

Havn	Amplitude i cm						Sjøkartnull		(cm) LAT	(cm) LAT – "Gamle-metoden"
	Sa	M ₂	S ₂	N ₂	K ₁	K ₂	(cm) Gamle- metoden	(cm) Nye-metoden		
Viker	9,7	11,8	3,0	3,0	0,3	0,8	-24	-51	-31	-7
Oscarsborg	11,2	13,4	3,4	3,3	0,5	0,9	-27	-65	-35	-8
Oslo	10,4	14,0	3,7	3,5	0,6	1,1	-28	-66	-36	-8
Helgeroa	9,7	11,3	2,9	2,9	0,3	0,8	-23	-50	-30	-7
Tregde	9,0	9,0	2,4	2,4	0,4	0,6	-19	-45	-25	-6
Stavanger	10,7	15,9	7,1	2,8	1,7	2,1	-35	-65	-45	-10
Bergen	11,5	45,0	16,2	8,8	3,4	4,7	-84	-90	-90	-6
Måløy	13,8	57,9	19,9	11,7	4,9	5,6	-107	-113	-113	-6
Ålesund	14,9	61,8	21,1	12,5	5,9	5,9	-115	-120	-120	-5
Kristiansund	14,2	67,7	23,3	13,7	6,0	6,6	-124	-128	-128	-4
Heimsjø	14,7	77,8	26,9	15,7	6,3	7,6	-142	-143	-143	-1
Trondheim	13,1	92,3	32,3	18,5	6,7	9,1	-165	-162	-162	3
Rørvik	14,1	78,8	27,3	16,0	7,4	7,7	-144	-149	-149	-5
Bodø	14,9	87,2	30,4	17,7	10,5	8,6	-162	-164	-164	-2
Kabelvåg	15,2	92,8	32,7	18,9	11,0	9,2	-172	-171	-171	1
Narvik	14,5	100,0	35,3	20,3	11,4	10,0	-184	-182	-182	2
Harstad	12,3	69,9	23,8	14,4	6,0	6,7	-127	-134	-134	-7
Andenes	12,3	66,5	22,5	13,7	6,6	6,3	-122	-129	-129	-7
Tromsø	12,4	84,0	27,5	17,0	7,1	7,7	-150	-161	-161	-12
Hammerfest	13,4	88,7	27,7	18,9	8,1	7,8	-158	-167	-167	-9
Honningsvåg	13,0	86,8	25,3	18,9	9,1	7,0	-154	-163	-163	-9
Vardø	13,0	101,9	28,6	22,2	12,1	8,0	-179	-190	-190	-11
Ny-Ålesund	8,5	45,7	17,0	9,0	6,4	4,8	-87	-91	-91	-4

Tabell 5.1 Sjøkartnull beregnet ved "Gamle-metoden" (før 01.01.2000) og "Nye-metoden" (etter 01.01.2000), LAT og differansen mellom LAT og "Gamle-metoden".

6 Beregning av Z₀ for norske havområder

Sjøkartverket har besluttet at utenfor 4 nautiske mil legges sjøkartnull til samme nivå som LAT også for strekningen svenskegrensen til Utsira, se kap. 5.2. For norske havområder er dermed Z₀ lik den vertikale avstanden mellom middelvann og LAT.

6.1 Tilgjengelige konstituenten fra forskjellige numeriske modeller

I den numeriske modellen til Universitetet i Oslo (UiO, v/Bjørn Gjevik) inngår 4 konstituenten, i Dutch Continental Shelf Model (DCSM, Nederland) inngår 10 konstituenten og i modellen fra Kort & Matrikelstyrelsen (KMS, Danmark) inngår 13 konstituenten. Fra KMS har vi også fått tilgjengelig den langperiodiske konstituenten Sa, men den er bestemt ut fra altimetri (satelittmålinger) og inngår ikke i den numeriske modellen til KMS. Tabell 6.1 viser en oversikt over hvilke konstituenten som inngår i de enkelte modellene.

Nærmere beskrivelse av modellen fra KMS (AG-modellen) og modellen fra UiO (GS-modellen) er gitt i rapporten *Samanlikning av tidvassmodellar i arbeidet med K0-flata* (Ref.[7]). The Dutch Continental

Shelf Model (DCSM) er beskrevet i rapporten *Data Assimilation with altimetry Techniques Used in the Continental Shelf Model* Ref. [8].

Modell	Konstituenten som inngår i modellene												
UiO	K ₁	M ₂	N ₂	S ₂									
DCSM	K ₁	M ₂	N ₂	S ₂	K ₂	L ₂	Mu ₂	O ₁	P ₁	Q ₁			
KMS	K ₁	M ₂	N ₂	S ₂	K ₂	L ₂	Mu ₂	O ₁	P ₁	Q ₁	2N ₂	Nu ₂	T ₂

Tabell 6.1 Konstituenten som inngår i modellene. Vi har også fått tilgjengelig den langperiodiske konstituenten Sa fra KMS, men den er bestemt ut fra altimetri (satelittmålinger) og inngår ikke i den numeriske modellen til KMS.

7 Forholdet LAT/M₂

I dette kapittelet ønsker vi å se om forholdet mellom LAT (laveste astronomiske tidevann) og M₂ (hovedbidraget fra månen) er av samme størrelsesorden for nærliggende havner. I så fall kan LAT overføres fra en standardhavn (hvor LAT er godt bestemt) til en nærliggende sekundærhavn.

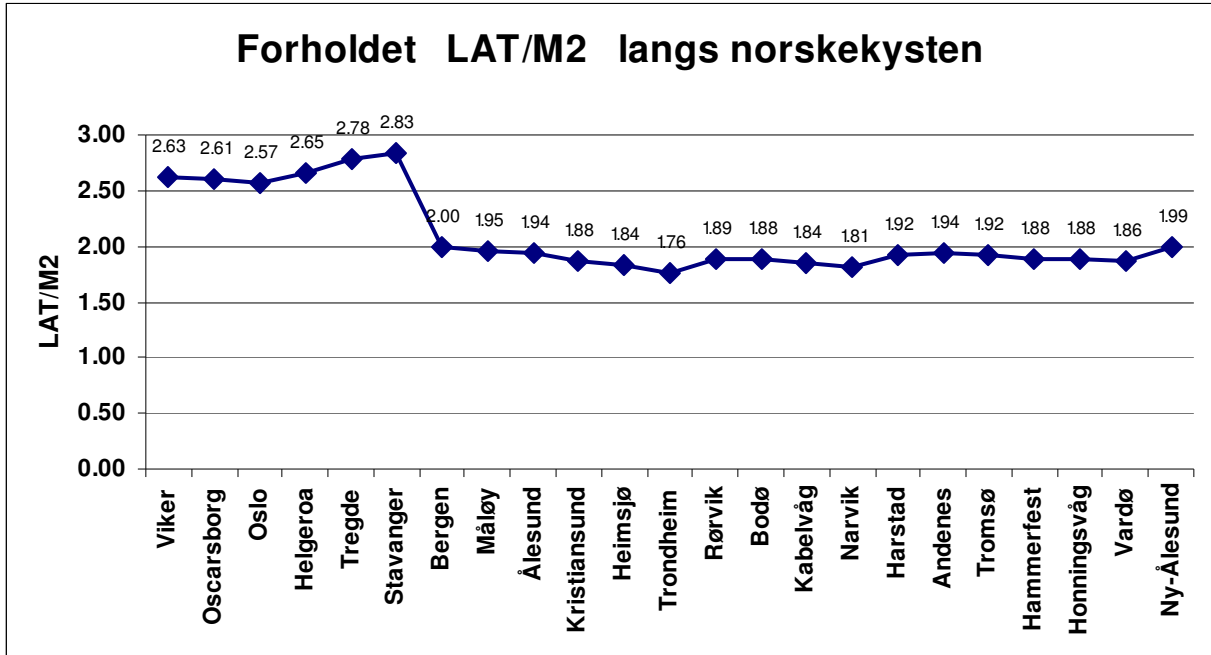
7.1 Standardhavner

I tabell 7.1 er M₂, LAT og forholdet LAT/M₂ presentert og i figur 7.1 er forholdet LAT/M₂ plottet opp for alle standardhavnene. De høyeste verdiene for forholdet LAT/M₂ finner vi i Tregde og Stavanger. Fra Bergen og nordover varierer forholdet fra et minimum på 1,76 i Trondheim til et maksimum på 2,00 i Bergen.

Havn	Observert M ₂ Amplitude (cm)	LAT (cm)	LAT/M ₂
Viker	11,8	31	2,63
Oscarsborg	13,4	35	2,61
Oslo	14,0	36	2,57
Helgeroa	11,3	30	2,65
Tregde	9,0	25	2,78
Stavanger	15,9	45	2,83
Bergen	45,0	90	2,00
Måløy	57,9	113	1,95
Ålesund	61,8	120	1,94
Kristiansund	67,7	127	1,88
Heimsjø	77,8	143	1,84
Trondheim	92,3	162	1,76
Rørvik	78,8	149	1,89
Bodø	87,2	164	1,88
Kabelvåg	92,8	171	1,84
Narvik	100,0	181	1,81
Harstad	69,9	134	1,92
Andenes	66,5	129	1,94
Tromsø	84,0	161	1,92
Hammerfest	88,7	167	1,88
Honningsvåg	86,8	163	1,88
Vardø	101,9	190	1,86
Ny-Ålesund	45,7	91	1,99

Tabell 7.1 M₂, LAT og forholdet LAT/M₂ for norske standardhavner

For nærliggende havner der vi antar at tidevannet har omtrent samme karakteristika viser det seg fra tabell 7.1 og figur 7.1 at forholdet mellom laveste astronomiske tidevann (LAT) og M_2 (månens hovedbidrag) er omtrent det samme.



Figur 7.1 Forholdet LAT/M₂ for norske standardhavner

La oss for eksempel si at LAT og M_2 er godt bestemt for Oscarsborg, mens vi kun har opplysninger om M_2 i Oslo. Dette er nærliggende havner og vi antar at tidevannet har omtrent samme karakteristika i Oslo som i Oscarsborg. Vi kan dermed bruke forholdstallet LAT/M₂ (2,61) for Oscarsborg og gange det med amplituden for M_2 i Oslo (14,0 cm) for å finne et godt estimat for LAT i Oslo ($2,61 * 14,0 \text{ cm} \approx 37 \text{ cm}$). Avviket er bare 1 cm fra den offisielle verdien for LAT i Oslo (36 cm, se tabell 7.1).

På tilsvarende måte kan vi si at LAT og M_2 er godt bestemt for Heimsjø, mens vi kun har opplysninger om M_2 for Kristiansund. Vi bruker forholdstallet LAT/M₂ (1,84) for Heimsjø og ganger det med amplituden for M_2 i Kristiansund (67,7 cm) for å finne et godt estimat for LAT i Kristiansund ($1,84 * 67,7 \text{ cm} \approx 125 \text{ cm}$). Avviket er bare 2 cm fra den offisielle verdien for LAT i Kristiansund (127 cm, se tabell 7.1).

7.2 Oljeplattformer

I tabell 7.2 er M_2 , LAT og forholdet LAT/M₂ for en del oljeplattformer presentert. Det er liten forskjell i forholdstallet LAT/M₂ mellom Valhall (2,21) og Ekofisk (2,23), som begge ligger omtrent midt i Nordsjøen (ca 260 km sørvest for Farsund). Forholdstallet er omtrent det samme ved Sleipner (2,26), som ligger ca 210 km nord-nordvest for Ekofisk og ca 250 km vest for Egersund. Forholdstallet

minker nordover mot Frigg, som ligger ca 160 km vest for Bømlø, og minker enda mer nordover Vestlandskysten til Veslefrikk, Oseberg, Troll og Statfjord. På Haltenbanken (Draugen, Beta og Heidun) er forholdstallene omtrent av samme størrelse som for plattformene lengst nord på Vestlandskysten.

Som vi ser fra tabell 7.2 varierer observasjonsperioden mye for de enkelte plattformene. For Beta bygger den harmoniske analysen kun på 25 dager med observasjoner, mens for Ekofisk (DHI) bygger analysen på 23 år med observasjoner. Vær også oppmerksom på at i beregningene av LAT for de enkelte plattformene er den langperiodiske konstituenten S_a hentet fra den nærmeste standardhavnen ved kysten. Det er kun for Ekofisk (1980-2002 DHI) dette ikke er gjort. Her er S_a beregnet ut fra observasjonene fra Ekofisk for perioden 1980-2002.

Den langperiodiske konstituenten S_a kan beregnes ut fra 1 år med data, men siden S_a kan variere en del fra år til år bør den helst beregnes ut fra mange år med data (se kapittel 3.4). Ut fra opplysninger vi har fått fra Kort & Matrikelstyrelsen (KMS) i Danmark ser det ut som det ikke er så altfor stor forskjell i S_a fra standardhavenene langs kysten og ut til plattformene. Tendensen er at amplituden til S_a ved plattformene er omtrent den samme eller litt mindre enn inne ved kysten. LAT ved plattformene er derfor bra bestemt for de aller fleste av plattformene presentert i tabell 7.2.

Havn	Periode for observasjoner	Posisjon	Observert M_2 Amplitude (cm)	LAT (cm)	LAT/ M_2
Valhall (M1)	07.04.-12.05.02	N 56° 17' E 03° 24'	27,2	60	2,21
Valhall (M1)	(1986 NHS)	N 56° 17' E 03° 24'	26,4	60	2,27
Ekofisk (M2)	07.04.-12.05.02	N 56° 33' E 03° 13'	27,3	61	2,23
Ekofisk (M2)	(1980-2002 DHI)	N 56° 33' E 03° 13'	27,4	61	2,23
Sleipner (M3)	70 dager (1992)	N 58° 11' E 02° 27'	24,8	56	2,26
Frigg (M4)	1 år (1985)	N 59° 53' E 03° 04'	41,4	86	2,08
Veslefrikk (M5)	3 mnd (1987)	N 60° 33' E 02° 38'	45,7	90	1,97
Oseberg (M6)	6 mnd (1983)	N 60° 34' E 02° 48'	44,3	87	1,96
Troll (M7)	1 mnd (1980)	N 60° 50' E 03° 35'	45,8	86	1,88
Statfjord (M8)	1 år (1982)	N 61° 15' E 01° 51'	51,2	100	1,95
Draugen (M9)	1,5 mnd (1986)	N 64° 17' E 07° 47'	67,6	128	1,89
Beta (M10)	25 dager (1991)	N 65° 02' E 06° 55'	63,6	122	1,92
Heidrun (M11)	1 år (1993 –1994)	N 65° 20' E 07° 20'	64,2	125	1,95

Tabell 7.2 M_2 , LAT og forholdet LAT / M_2 for noen norske oljeplattformer

8 Sammenligning av LAT beregninger

For å se på betydningen av hvilke og hvor mange konstituenters som inngår i konstantsettet når vi beregner LAT har vi gjort en del tester. Tabell 8.1 og figur 8.2 viser LAT beregnet ut fra *gjeldende konstantsett* (GK, med og uten S_a), GK med de samme konstituentene som inngår i modellen fra KMS (med og uten S_a), GK med de samme konstituentene som inngår i DCSM (uten S_a) og til slutt GK med de samme konstituentene som inngår i modellen fra UiO (med og uten S_a).

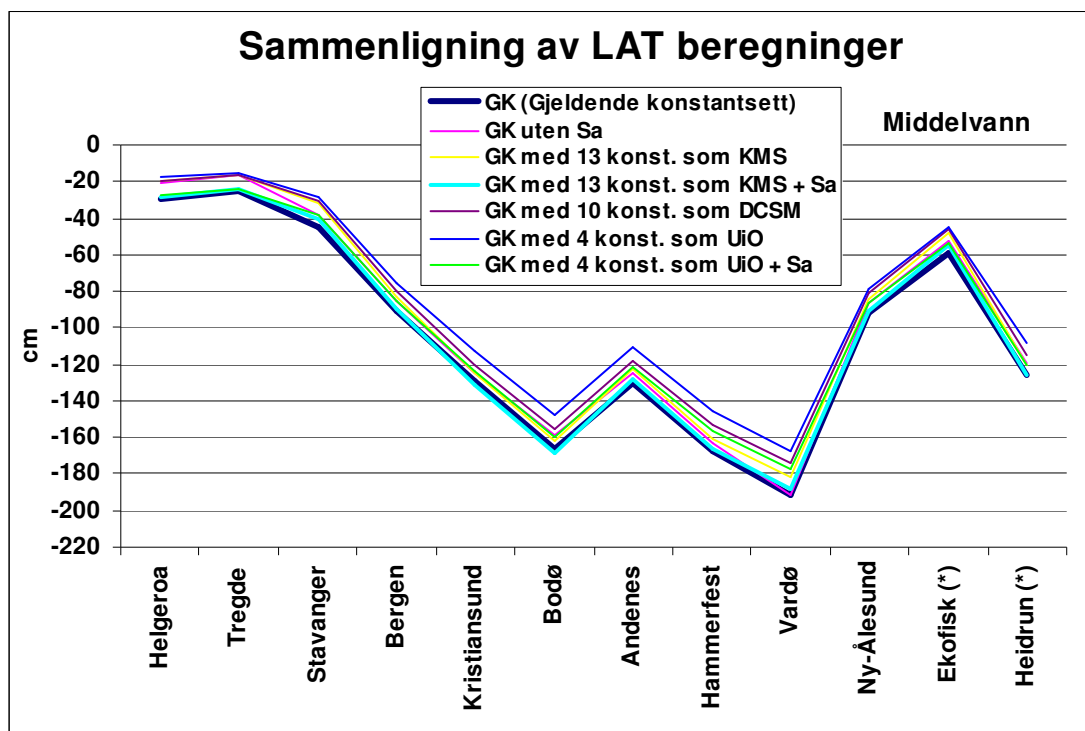
Havn Plattform (*)	LAT i cm relativt middelvann (beregnet på grunnlag av prediksjoner for perioden 1980-1998)						
	GK (Gjeldende konstantsett)	GK uten Sa	GK med 13 konst. som KMS (uten Sa)	GK med 13 konst. som KMS (med Sa)	GK med 10 konst. som DCSM	GK med 4 konst. som UiO	GK med 4 konst. som UiO + Sa
Helgeroa	-30 cm	-21 cm	-20 cm	-29 cm	-20 cm	-18 cm	-27 cm
Tregde	-25 cm	-16 cm	-16 cm	-24 cm	-16 cm	-15 cm	-24 cm
Stavanger	-45 cm	-38 cm	-32 cm	-40 cm	-31 cm	-28 cm	-38 cm
Bergen	-91 cm	-85 cm	-83 cm	-90 cm	-80 cm	-75 cm	-85 cm
Kristiansund	-129 cm	-125 cm	-125 cm	-131 cm	-120 cm	-113 cm	-124 cm
Bodø	-166 cm	-159 cm	-162 cm	-169 cm	-155 cm	-148 cm	-160 cm
Andenes	-130 cm	-125 cm	-123 cm	-128 cm	-118 cm	-111 cm	-121 cm
Hammerfest	-168 cm	-163 cm	-161 cm	-166 cm	-153 cm	-146 cm	-156 cm
Vardø	-192 cm	-192 cm	-182 cm	-188 cm	-174 cm	-167 cm	-177 cm
Ny-Ålesund	-92 cm	-86 cm	-84 cm	-91 cm	-81 cm	-79 cm	-87 cm
Ekofisk (*)	-59 cm (SKSK) -61 cm (DHI)	-52 cm	-48 cm	-55 cm	-46 cm	-45 cm	-54 cm
Heidrun (*)	-126 cm	-119 cm	-120 cm	-126 cm	-115 cm	-108 cm	-120 cm

Tabell 8.1 Sammenligning av LAT beregninger.

GK : Gjeldende konstantsett

SKSK : Statens kartverk Sjø. Ekofisk konstantsettet er basert på observasjoner for perioden 05.01-27.11.1984.

DHI : Dansk Hydraulisk Institutt. Ekofisk konstantsettet er basert på observasjoner for perioden 1980-2001.



Figur 8.1 Sammenligning av LAT beregninger

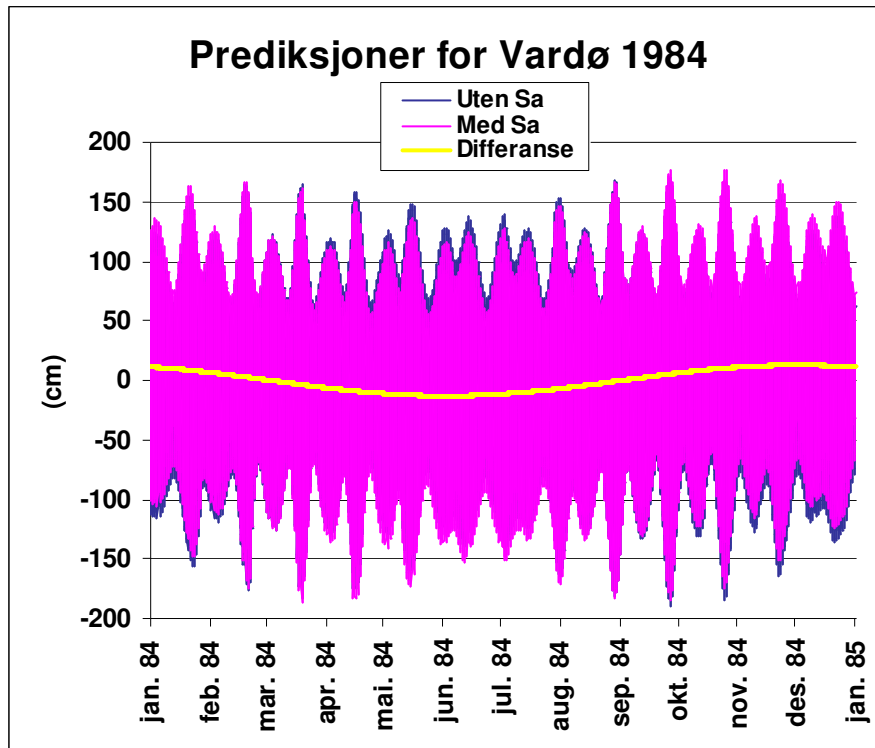
Tabell 8.1 og figur 8.1 viser at LAT stort sett har sitt laveste nivå ved å bruke gjeldende konstantsett (GK), der den langperiodiske konstituenten Sa er inkludert (den tykke mørkeblå kurven i figur 8.1). Ved å bruke gjeldende konstantsett (GK) med de samme 13 konstituentene som inngår i modellen fra KMS og i tillegg inkludere den langperiodiske konstituenten Sa, får vi nesten samme LAT som ved å bruke fullt konstantsett. Ikke oppsiktsvekkende får vi det dårligste resultatet ved å bruke kun de samme 4 konstituentene som inngår i modellen fra UiO (uten Sa). I Vardø er det en forskjell på 25 cm ved å bruke fullt konstantsett (45 konstituentene) mot å bruke de samme 4 konstituentene som i UiO-modellen (uten Sa).

Konklusjonen blir at den langperiodiske konstituenten Sa bør inngå i beregningen av LAT. Vi oppnår en god bestemmelse av LAT ved å bruke de samme 13 konstituentene som inngår i modellen fra KMS og i tillegg inkludere Sa i konstantsettet.

8.1 Funderinger rundt beregningen av LAT

Vi hadde i utgangspunktet forventet at LAT ville være lavere til flere konstituenten som var med i konstantsettet og når Sa var inkludert. Det var derfor litt overrasket når det f.eks. for Vardø ble beregnet samme verdi for LAT både når Sa var inkludert og når den ikke var inkludert. Ved å undersøke dette litt nærmere fant vi ut at den laveste verdien for 19 år med prediksjoner når Sa var inkludert i konstantsettet var den 30.08.1992 kl. 12.15 : -192 cm relativt middelvann. Uten Sa ble den laveste prediksjonen for den samme 19 års perioden (1980-1998) beregnet til å være den 27.09.1984 kl. 12.14 : -192 cm relativt middelvann. Det vil si samme verdi. I figur 8.2 har vi plottet opp prediksjoner generert ut fra konstantsett med og uten Sa for det året (1984) vi fikk lavest predikert vannstand når Sa ikke var inkludert. Det er lett å se den årlige svingningen i plottet når Sa er inkludert (Sa har en amplitude på 13 cm i Vardø). Om høsten og vinteren ligger prediksjonene generert ut fra konstantsett der Sa er inkludert høyere enn prediksjonene generert ut fra konstantsettet der Sa ikke er med. Om sommeren er det omvendt. Den laveste verdien i 1984 for prediksjonene generert ut fra konstantsettet uten Sa er i slutten av september (den 27. september). Når Sa er inkludert ligger prediksjonene litt høyere denne datoen.

Når det lages prediksjoner så gjøres dette ved å summere cosinusbølger med amplituder og faser (harmoniske konstanter) som er funnet ved harmonisk analyse av vannstandsobservasjoner. Det er altså "samspillet" mellom de harmoniske konstantene som er viktig. For enkelte havner kan vi derfor få like lave verdier for LAT selv om ikke Sa er med i konstantsettet som om Sa er med. På tilsvarende måte kan det forklares at de laveste verdiene for LAT i Kristiansund og Bodø oppnås når bare de samme 13 konstituentene som inngår i modellen fra KMS og i tillegg Sa brukes i konstantsettet.



Figur 8.2 Prediksjoner for Vardø 1984

9 Anbefaling / Konklusjon

Slik vi ser det er det viktig å følge vedtaket i North Sea Hydrographic Commission (NSHC, tilsluttet International Hydrographic Organization, IHO) der det var enighet om å innføre et felles sjøkartnull for alle nordsjølandene. Det var ønskelig med en harmonisering av sjøkartnull blant annet for å unngå sprang i datum ved passering av "landegrenser". Vedtaket i NSHC anbefalte å bruke laveste astronomiske tidevann (LAT) som felles sjøkartnull. Sjøkartnull og Z_0 i havområdene bør derfor prinsipielt sett bestemmes på samme måte som for standardhavnene langs norskekysten.

Vi har i denne rapporten sett på noen alternative metoder for å bestemme LAT, sjøkartnull og Z_0 . Selv om disse metodene kan gi et godt estimat for de aktuelle verdiene, så anbefaler vi at LAT i havområdene bør beregnes ut fra 19 år med tidevannsprediksjoner på samme måte som for standardhavnene. Så mange konstituenten som mulig bør inngå i konstantsettet som brukes for å lage prediksjonene og den langperiodiske konstituenten S_a bør være med. Det som begrenser nøyaktigheten til beregningen av LAT i havområdene vil da være nøyaktigheten til de numeriske modellen som brukes for å beregne konstantsettene. Med bedre numeriske modeller tilgjengelig, vil bestemmelsen av LAT i havområdene bli bedre.

10 Referanser

- [1] Statens kartverk. Norges offisielle høydesystemer og referansenivåer, Versjon 2.0, 2002.
- [2] D.T.Pugh. Tides, Surges and Mean Sea-Level, John Wiley & Sons, 1987.
- [3] Brith Korsbø, Noralf Slotsvik og Tor Tørresen, Innføring av nytt sjøkartnull, Rapport nr. GEO 98-4, Statens kartverk Sjøkartverket, 1998.
- [4] Gabriel Godin, The Analysis of Tides, Liverpool University Press, 1972.
- [5] B.D. Zetler. A necessary constraint on the use of extended harmonic analysis for tide predictions. International Hydrographic Review, Monaco, LXVIII(2):109-111, 1991.
- [6] M.G.G. Foreman, Manual for Tidal Heights - Analysis and Prediction, Institute of Ocean Sciences, Canada, Pacific Marine Science Report 77-10, 1977, Revised 1996.
- [7] Birgit Kjoss Lynge, Samanlikning av tidvassmodellar i arbeidet med K_0 -flata. Rapport nr. GEO 03-2, Statens kartverk Sjø, 2003.
- [8] National Institute for Coastal and Marine Management (RIKZ), Data Assimilation with altimetry Techniques Used in the Continental Shelf Model, bcrs project no. 2.1/TO-08, bcrs report 94-08, ISBN 90 5411 119 4, November 1994.