

Forskjeller i transmisjonstap beregnet med målt, modellert og klimatologisk lydshastighetsprofil

Petter Østenstad

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

13. juni 2007

FFI-rapport 2007/01573

1062-METOC II

ISBN 978-82-464-1246-7

Emneord

Lyd – Forplantning i sjøvann

Oseanografi

Havmodeller

Akustisk deteksjon

Godkjent av

Atle Ommundsen

Prosjektleder

Elling Tveit

Forskningssjef

John-Mikal Størdal

Avdelingssjef

Sammendrag

Under anti-ubåt og andre undervannsoperasjoner er det svært viktig å ha god og nøyaktig informasjon om lyd hastigheten i området hvor en opererer. For å ha oversikt og kontroll på lyd hastigheten i tid og rom i et operasjonsområde, kreves det urealistisk store måleressurser. En løsning er å kjøre en numerisk havmodell over operasjonsområdet. Fordelen med en modell er at den ikke bare gir deg lyd hastigheten for nå-tidspunktet, men også sier noe om hvordan forholdene vil utvikle seg en gitt tid framover.

Meteorologisk institutt drifter to numeriske havmodeller. Sjøforsvaret benytter disse i planlegging og gjennomføring av anti-ubåtoperasjoner, samt til å evaluere sonarytelsen på de nye Nansenklasse-fregattene. Fra slike havmodeller kan brukeren ta ut lyd hastighetsprofiler for å beregne lydets utbredelse i havet. Hensikten med denne rapporten er å se hvor godt modellerte lyd hastighetsprofiler beskriver lyd utbredelsen i vannet sammenliknet med målte profiler, se på forskjellene, hvorfor det er forskjell og hva som skal til for å gjøre forskjellene mindre. Det er også gjort sammenlikning mellom målte og klimatologiske profiler.

Det er brukt 39 målte profiler, tatt med HU Sverdrup II utenfor Bergen, med tilhørende lyd hastighetsprofiler fra modellene og en klimatologisk database. En fiktiv ubåt ble plassert på fire gitte posisjoner i vannvolumet, gitt som dyp og avstand fra sonaren. For disse fire ubåtposisjonene ble transmisjonstapet beregnet med målte, modellerte og klimatologiske profiler og resultatene sammenlignet. Til å beregne transmisjonstapet er det brukt Sjøforsvarets lydberegningsprogram Lybin.

Arbeidet viste at det var stor variasjon i transmisjonstap beregnet med henholdsvis målte, modellerte og klimatologiske profiler. For det datasettet som er brukt i rapporten, ser det ut til at klimatologi er et fullgodt alternativ til modellerte lyd hastighetsprofiler.

For å gjøre de numeriske modellene bedre er det viktig å få bedre inputdata. Blant annet bør oppløsningen på vindfeltet som brukes i modellene økes og det er viktig med bedre data for ferskvannstilførsel. Begge disse tingene er relativt enkle grep som bør komme på plass i nær framtid. På sikt vil dataassimilering og feature modellering kunne øke riktigheten til modellene.

English summary

In anti-submarine operations and other under water operations it is very important to have accurate information about sound speed in an operation area. For temporally and spatially control of the sound speed in an area, unrealistic resources to do measurements are needed. One solution is to run a numerical ocean model covering the operation area. A numerical model will not only give you a diagnostic sound speed profile, but also prognostic sound speed profile.

The Norwegian Meteorological institute runs two numerical ocean models. Sound speed profiles can be extracted and the Norwegian Navy uses these profiles to calculate propagation of sound in the sea.

The aim of the report is to study propagation of sound calculated with sound speed profiles from the ocean models compared to measured profiles, describe the differences, why there is a difference and what can be done to reduce it. Comparisons between measured and climatological sound speed profiles are also made.

39 sound speed profiles were measured west of Bergen, and profiles from the ocean models and the climatology database were extracted from the same position and time. The comparison is made by looking at the transmission loss at four chosen points in the water column calculated for all profiles with the Norwegian Navy's sound propagation model Lybin.

The study showed at times great variation in transmission loss calculated with measured sound speed profiles compared with profiles from the ocean model. Climatology seemed to be as good as the models for this particular dataset.

To improve the numerical ocean models to get better input data. The resolution of the wind field used in the models should be increased. More correct fresh water inflow is also important. These two suggestions are relatively easy to implement in near future. In the longer term data assimilation and feature modeling will improve the quality of the models.

Innhold

1	Innledning	7
2	Lydhastighet	7
3	Data	7
3.1	Modellene	7
3.2	Målingene	8
3.3	Klimatologi	9
4	Metode	9
5	Resultater	10
5.1	Salt, temperatur og lydhastighet	10
5.2	Transmisjonstap	14
5.2.1	Mål på 20m dyp, avstand 13 km fra sonaren	14
5.2.2	Mål på 50 m dyp, avstand 7 km fra sonaren	16
5.2.3	Mål på 100 m dyp, avstand 5 km fra sonaren	18
5.2.4	Mål i 150 m dyp, avstand 2,5 km fra sonaren	20
5.2.5	Felles dyp i måling og fin modell	22
5.2.6	Flytte gradienten i fin modell	24
5.2.7	Sammenligne måling med nedsamlet måling	25
6	Konklusjon og oppsummering	26
	Litteratur	27

1 Innledning

Meteorologisk institutt (met.no) er pålagt gjennom kongelig resolusjon¹ å støtte Forsvaret med data og informasjon om været og havet. Til dette brukes numeriske modeller som gir varsler om hvordan havet og atmosfæren (været) er forventet å bli.

For Sjøforsvaret er god informasjon om lyd hastigheten i havet viktig. Siden lyd brukes til å detektere ubåter og miner etc. er det viktig å kunne beregne lydets utbredelse i havet.

Lyd hastigheten bestemmes ut fra saltinnholdet, temperaturen og trykket (eller dypet), se likning (2.1). Siden Sjøforsvaret kun kan måle lyd hastigheten ved eget fartøy, er havmodeller et viktig redskap både for å si noe om lyd hastigheten fram i tid og for andre posisjoner.

2 Lyd hastighet

Lyd hastigheten i vann bestemmes av temperatur, saltholdighet og trykk, gitt ved ligningen til Mackenzie [1]

$$c(T, S, D) = 1448.96 + 4.591T - 5.304 \times 10^{-2}T^2 + 2.374 \times 10^{-4}T^3 + 1.34(S - 35) + 1.63 \times 10^{-2}D + 1.675 \times 10^{-7}D^2 - 1.025 \times 10^{-2}T(S - 35) - 7.139 \times 10^{-13}TD^3 \quad (2.1)$$

Hvor T er temperatur, S saltholdighet og D er dyp.

For at likningen skal være gyldig, bør temperaturen ligge fra 2 til 30 °C, saltholdigheten mellom 25 og 40 ‰ og dypet 0-8000 m. Dette er godt innenfor de verdiene som forekommer i dette studiet.

3 Data

3.1 Modellene

Forsvaret har tilgang på to havmodeller, Nordic4km og Vestland200m, som met.no drifter. Dekningsområdene til modellene er vist i Figur 3.1. Nordic4km, i denne rapporten kalt grov modell, har som navnet indikerer en horisontal oppløsning på 4km og dekker områdene Norskehavet, Barentshavet og Nordsjøen med Skagerrak. Modellen bruker terrengfølgende kurvelineære vertikalkoordinater (sigmakoordinater), og har 17 lag i vertikalen. På rendene bruker modellen klimatologi basert på data fra Havforskningsinstituttet og Levitus [2].

Ferskvannstilførselen er basert på klimatologi fra Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE). Vestland200m, i denne rapporten kalt fin modell, har 200m mellom gridpunktene horisontalt og 14 sigmalag i vertikalen. På rendene får modellen inputverdier fra en 1,5km modell som dekker Nordsjøen, som igjen får input fra Nordic4km.

¹ Kronprinsregentens resolusjon av 13. juli 1973, kongelig resolusjon av 19. november 1982, 6. august 1993 og 9. desember 2005.

Met.no legger ut temperatur, saltholdighet og strøm fra de to nevnte modellene på <http://metoc.met.no>. Disse datasettene inneholder kun et utvalg av dataene. Datasettet fra Nordic4km inneholder data for dypene 0, 3, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250 og 300 meter. Tilsvarende datasett for Vestland200m har data fra de samme dypene, bortsett fra dypene 20, 125 og 250 meter, og for hver kilometer horisontalt.



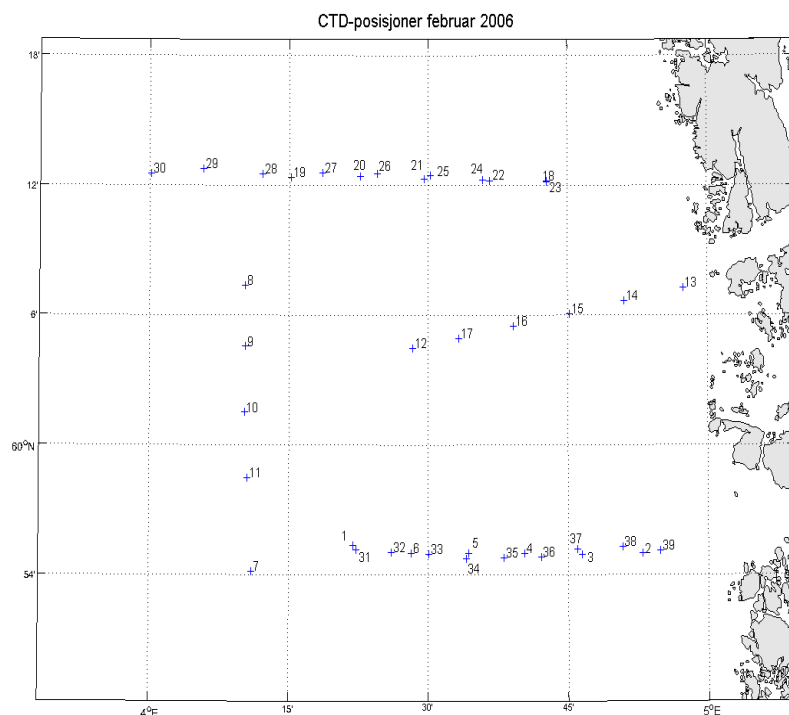
Figur 3.1 Modellområdene for Nordic4km(grov modell) og Vestland200m(fin modell).

3.2 Målingene

Datasettet består av 39 salt- og temperaturprofiler målt med CTD-sensor (Conductivity Temperature Depth) vest av Bergen i februar 2006 med HU Sverdrup II (Figur 3.2). Det er tatt ut seks tverrsnitt langs seks linjer i datasettet. Disse består av følgende stasjoner, Tabell 3.1 og Figur 3.2.

Linje nr	1	2	3	4	5	6
Stasjonsnr	2-6	8-11	13-17	19-22	23-30	31-39

Tabell 3.1 Stasjonsnummer som tilhører de seks linjene.



Figur 3.2 CTD-stasjoner februar 06.

3.3 Klimatologi

De klimatologiske lyd hastighetsprofilene som er brukt, er månedsmiddel for februar. De er hentet fra GDEM-V 3.0, en database som dekker nesten hele verden. Denne driftes av Naval Oceanographic Office og har en horisontal oppløsning i Nordsjøen på $\frac{1}{4}$ grad, som tilsvarer 28 km nord-sør og 14 km øst-vest ved 60 grader nord. Vertikalt er inndelingen 2 meter fra 0-10 meter, 5 meter fra 10-100, 20 m 100-200 meter (for detaljer, se [3]) Dette er ikke den samme klimatologien som den grove modellen bruker som input, se kapittel 3.1.

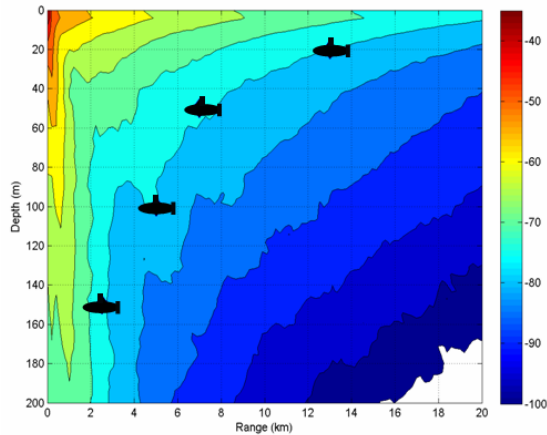
4 Metode

For hver CTD-måling er det også tatt ut salt- og temperaturprofiler fra Nordic4km og Vestland200m for samme posisjon og tidspunkt, samt klimatologi fra det nærmeste gridpunktet. Lybin er brukt til å beregne transmisjonstapet (TL) for alle profilene. Følgende innstillinger i Lybin er brukt: sonar på 5 meters dyp, ingen vind og flat bunn på 200 meter. I tillegg er det brukt avstandsuaavhengig lyd hastighet, d.v.s. én profil for hver kjøring.

Parameter	Verdi	Parameter	Verdi
Frekvens	7 kHz	Bunntype	3
Tilt	4°	pH	8
Pulslengde	1000 ms	Sonardyp	5 m
Åpningsvinkel	15°	Kildenivå	230 dB
Sidelobe	13°		

Tabell 4.1 Sonarinnstillinger brukt i Lybinkjøringene.

Videre ble det plassert en fiktiv ubåt fire ulike steder i vannvolumet. TL er beregnet til 75 dB. Det vil si at man ville detektere ubåten når TL var 75 dB eller lavere. Gjennomsnittet av beregnet TL for hver lydshastighetsprofil ble beregnet, og ubåtene ble plassert ved fire ulike dyp og posisjoner hvor TL var 75 dB (Figur 4.1). De fire dypene som ble valgt var 13 km og 20 m dyp, 7 km og 50 m dyp, 5 km og 100 m, og 2,5 km og 150 m dyp.



Figur 4.1 Gjennomsnittlig TL (dB) for målingene.

5 Resultater

5.1 Salt, temperatur og lydshastighet

Figur 5.1 og Figur 5.2 viser alle 39 temperatur og saltholdighetsprofiler henholdsvis for målinger, modeller og klimatologi. Temperaturmålingene varierer mye fra profil til profil, noe som er forventet, siden målingene er tatt i et område med mye dynamikk og stor oseanografisk variasjon i både tid og rom [4]. Noe overraskende viser den grove modellen større variasjon enn fin modell ned til rundt 150 meter, mens klimatologien som ventet har minst variasjon.

Gjennomsnittskurvene for grov modell og klimatologi har samme trend, noe som er forventet siden grov modell bruker klimatologi som input. I saltholdighet ser en tydelig at den grove modellen viser for høye verdier de øverste hundre meterne i forhold til målingene, fin modell og klimatologi.

Figur 5.3 viser de målte, modellerte og klimatologiske lydshastighetsprofilene. Fra likning (2.1) har en at temperaturen er den viktigste parameteren for å bestemme lydshastigheten. Dette ser en også tydelig ved at profilene i Figur 5.1 og Figur 5.3 har samme form. Sammenligner en de fire gjennomsnittlige lydshastighetsprofilene (Figur 5.4), ser en at grov modell har en økende gradient i de øverste 100 meterne, mens målingene viser en avtagende gradient i samme området. Den fine modellen har en kraftigere gradient enn målingene i de øverste 70 meterne, men gradienten avtar raskt mellom 70 og 100 meter.

Klimatologien har som ventet liten variasjon, men har jevnt over lavere lydshastighet enn målingene og modellene. Profilen viser en svakt økende gradient i de øverste 25 meterne, og har samme form som gjennomsnittprofilen for målingene videre nedover, men en antydning til svakere gradient.

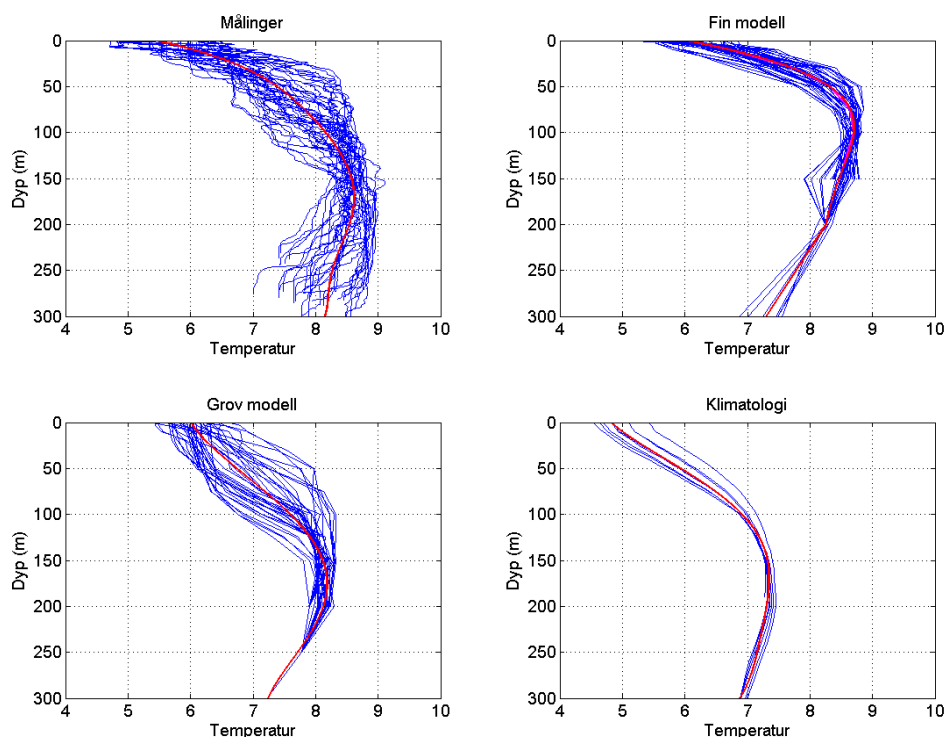
Lydhastigheten langs linje 3 og linje 6 er vist i Figur 5.5 og Figur 5.6 og viser samme tendens som Figur 5.3. Man ser tydelig de horisontale variasjonene i målingene i forhold til modellene og klimatologien.

En grunn til at fin modell har kraftigere gradienter enn målingene, kan forklares at det kjøres med høyere viskositet og diffusjon i Vestland200m enn Nordic4km. Dette gjøres for at fin modell skal kjøre stabilt siden fin modell har en mer komplisert topografi pga den høye oppløsningen.

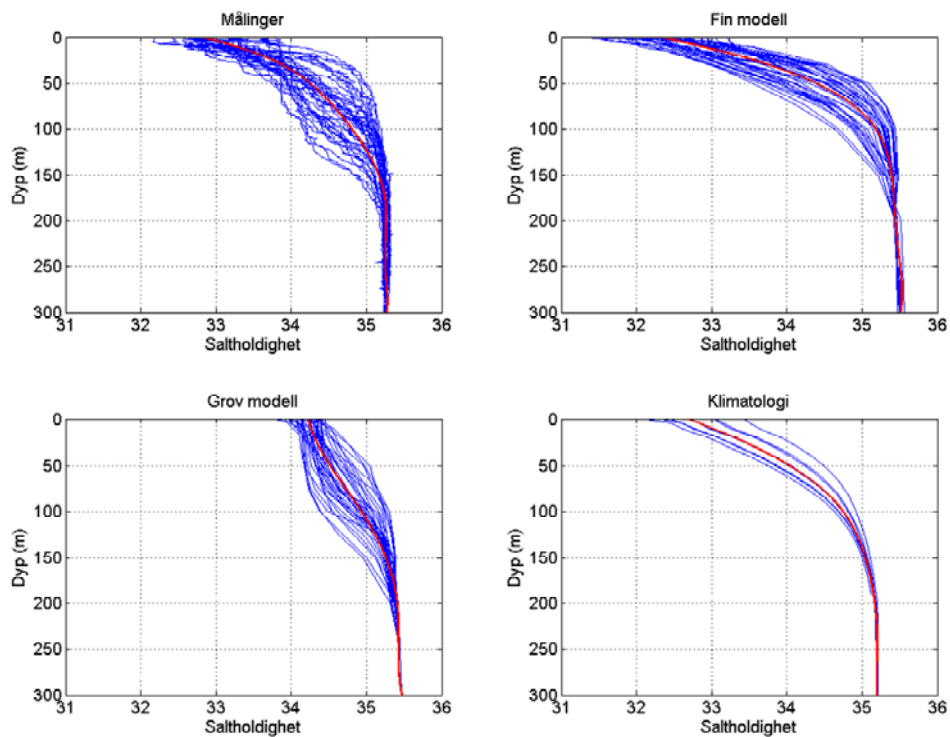
Det atmosfæriske pådraget er det samme for begge modellene og kommer fra HIRLAM20 som har 20 km oppløsning. Dette gir et ”glattere” atmosfærefelt i Vestland200m.

Siden modellene benytter sigmakoordinater vil tykkelsen av lagene variere med dypet som gjør at på grunt vann vil tykkelsen bli liten. Dette fører til at det blir lett for vinden å ”dra” på modellen, noe som kan gjøre at overflatelagene kan ”skli” oppå lagene under uten at noe særlig miksing mellom lagene finner sted. Siden fin modell er ”grunnere” enn grov modell, vil sigmalagene i overflaten i fin modell oftere ligge tettere enn i grov modell.

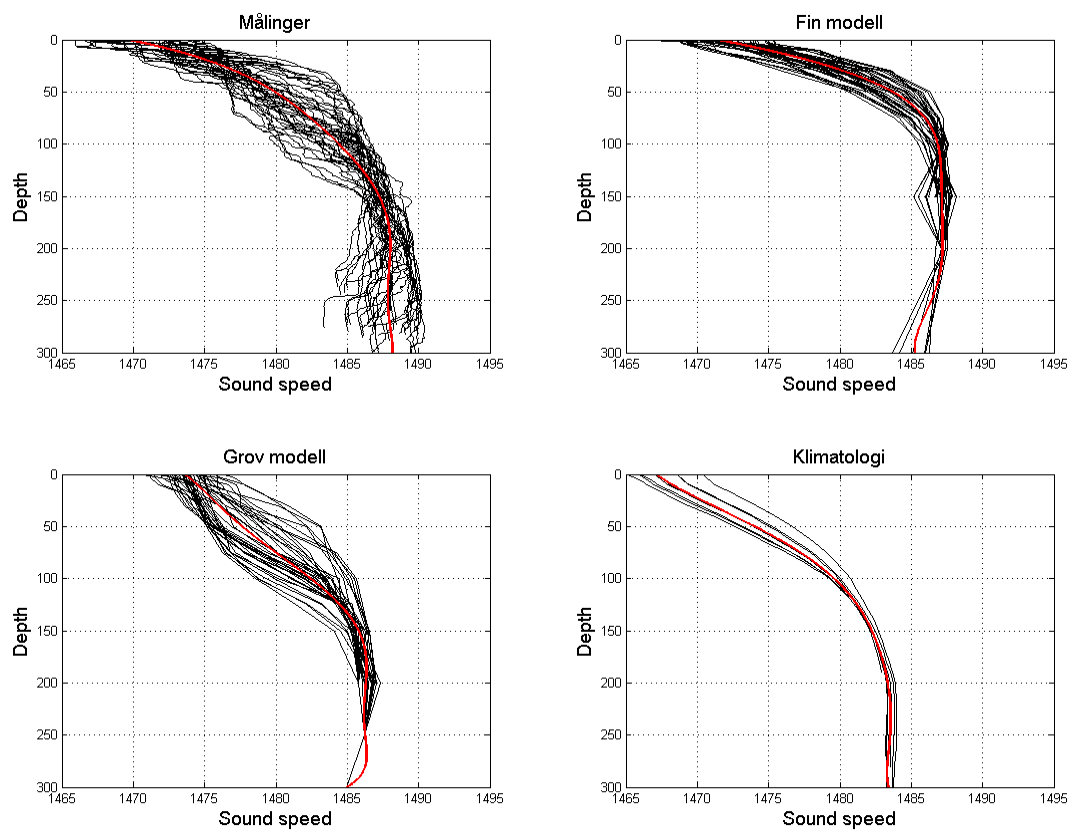
Alle de tre nevnte grunnene vil føre til at gradientene i fin modell er skarpere enn i grov (refererer til muntlig og skriftlig korrespondanse med Harald Engedahl ved met.no).



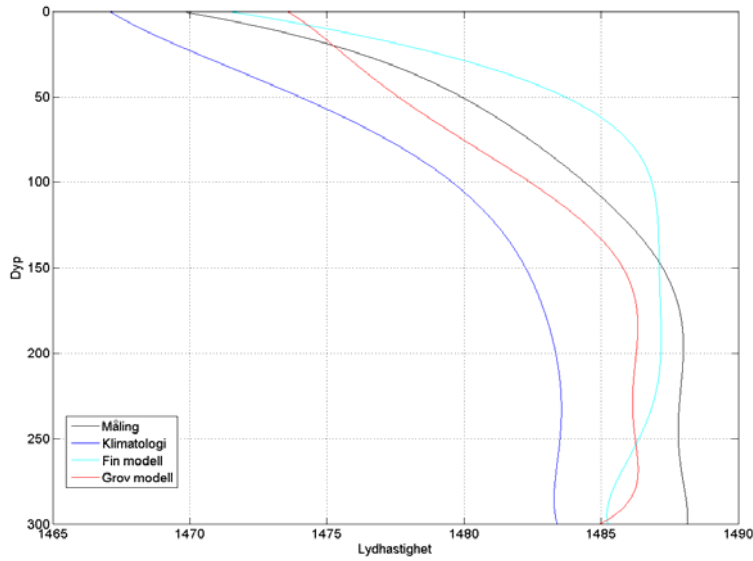
Figur 5.1 Temperatur. Rød kurve er gjennomsnitt.



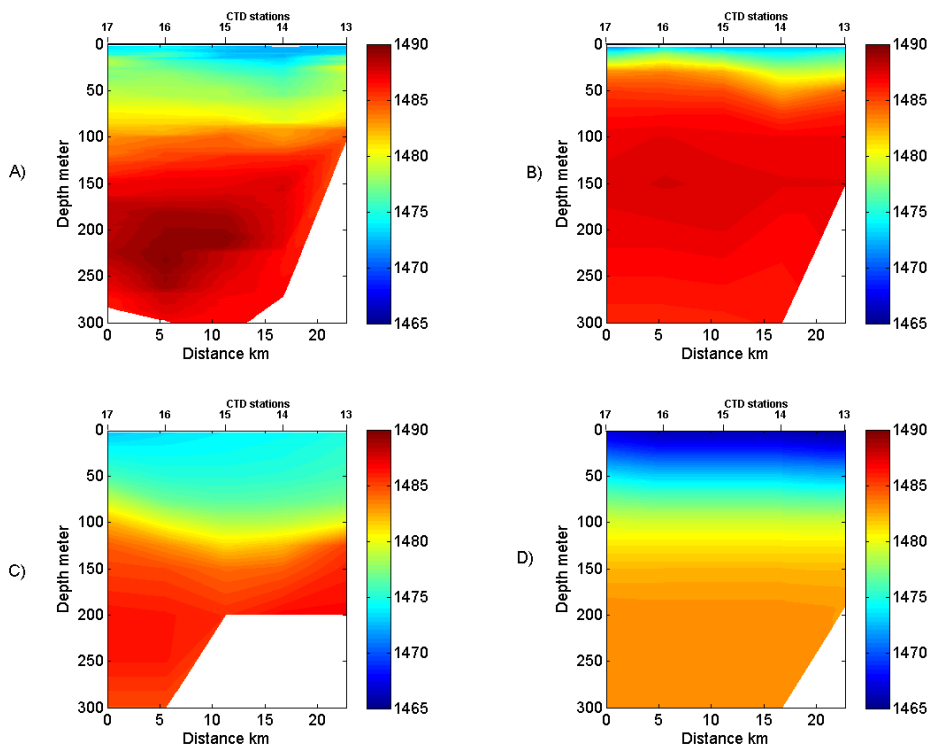
Figur 5.2 Saltholdighet. Rød kurve er gjennomsnitt.



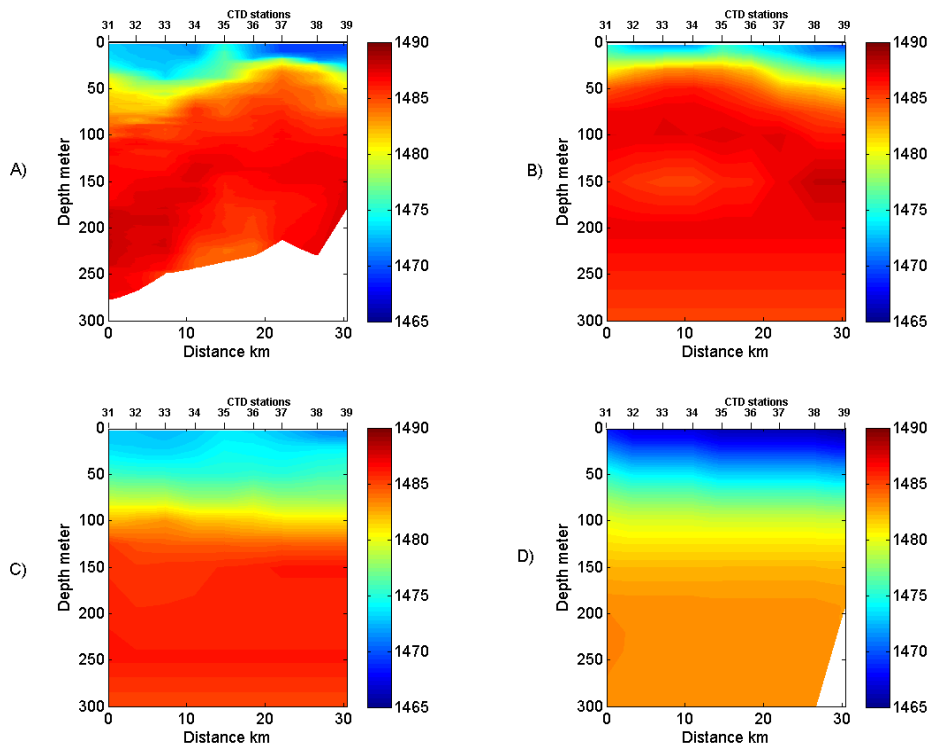
Figur 5.3 Lydhastighetsprofiler. Rød kurve er gjennomsnittlig lydhastighet.



Figur 5.4 Gjennomsnittlig lydhastighet for målinger, grov og fin modell og klimatologi.



Figur 5.5 Lydhastighet (m/s) langs linje 3 (5 målepunkt). A) målinger, B) fin modell, C) grov modell og D) klimatologi. Avstand mellom punktene er ca 4,5 km.



Figur 5.6 Lydhastighet (m/s) langs linje 6 (9 målepunkt). A) målinger, B) fin modell, C) grov modell og D) klimatologi. Avstand mellom punktene er ca 3,5 km.

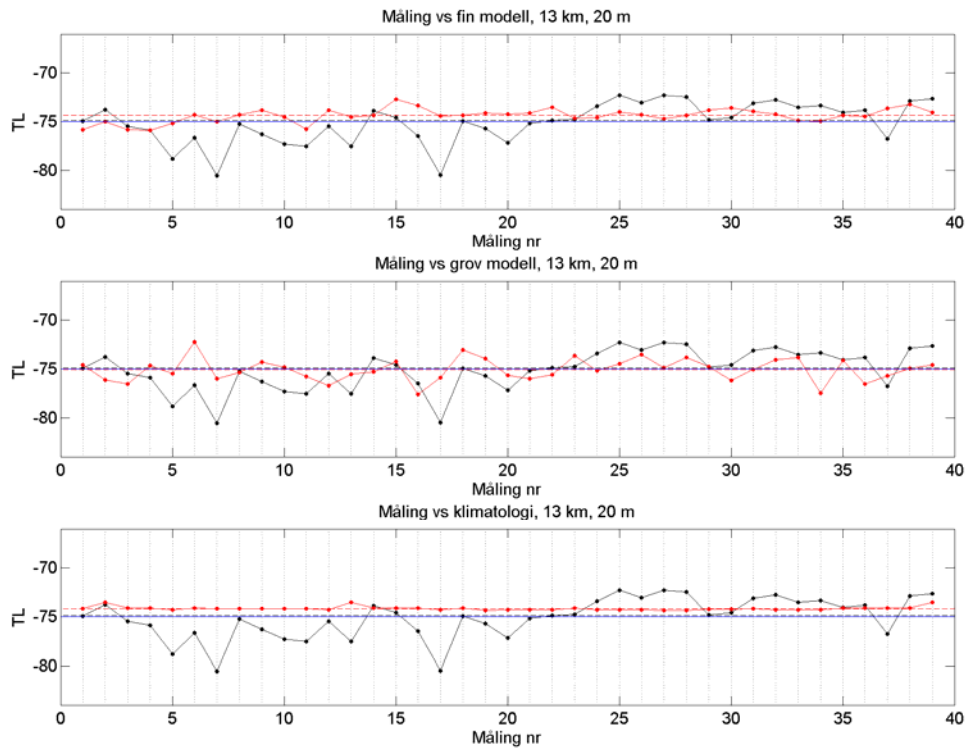
5.2 Transmisjonstap

5.2.1 Mål på 20m dyp, avstand 13 km fra sonaren

I 13 km 20 m dyp (Figur 5.7 og Tabell 5.1) ser en at det er størst variasjon i TL beregnet med de målte profilene, enn med profiler fra modellene og klimatologien. Dette er forventet, siden målingene varierer mest fra profil til profil. Medianen for grov modell samsvarer meget godt med medianen til målingene, mens klimatologi og fin modell ligger henholdsvis 0,7 og 0,6 dB under målingene. 16 % og 84 % percentilene viser at spredningen i TL er noe større med grov modell enn fin modell. En burde i utgangspunktet forventet at det skulle vært motsatt siden fin modell burde fanget opp mer oseanografisk variasjon enn den grove modellen.

Ser man på forskjellen mellom målingene og fin modell, grov modell og klimatologi (Figur 5.8 og Tabell 5.2), er avviket bare noen få tiendedels dB. Det samme gjelder spredningen hvor største forskjell i 84 % percentilen er 0,4 dB mellom måling/fin modell og måling/grov modell.

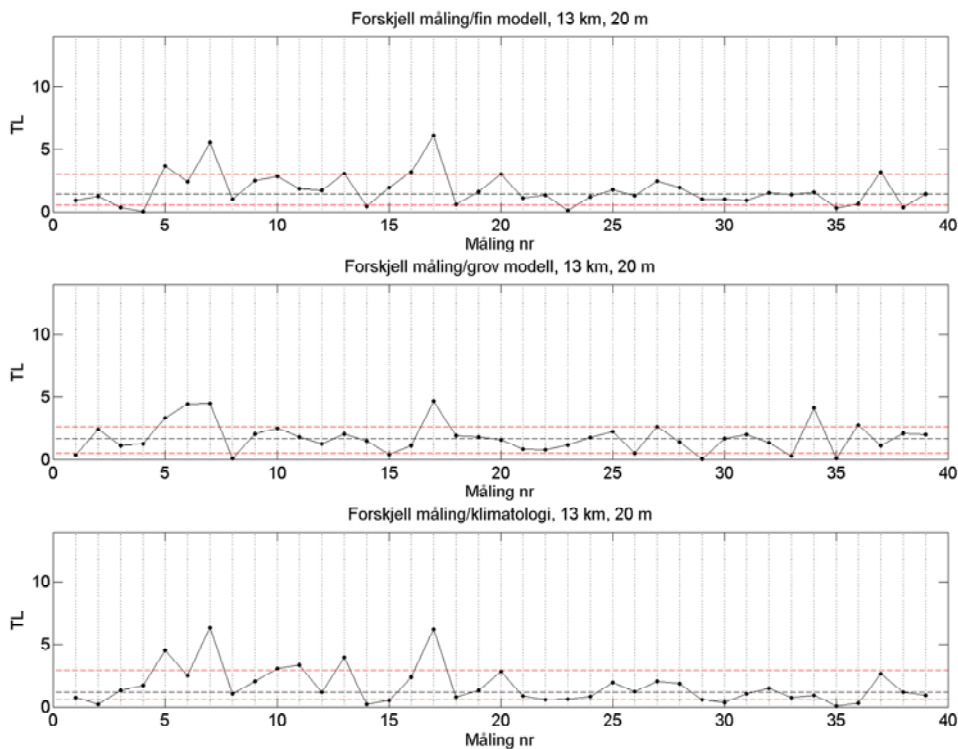
At forskjellene i transmisjonstap for modell-måling og klimatologi-måling ikke er særlig store, skyldes at alle profilene er oppoverrefrakterende. Dette gjør at energien vil bøye oppover igjen mot havoverflaten uavhengig om gradienten er sterk eller svak. I [5] er det også brukt oppoverrefrakterende lydhastighetsprofiler og tendensen er den samme der.



Figur 5.7 TL ved avstand 13km og 20m dyp for målinger (svart), fin modell, grov modell og klimatologi (alle rød). Svart stiplet: Median målinger. Rød stiplet: Median for modell eller klimatologi. Blå: -75 dB.

	Målinger	Fin modell	Grov modell	Klimatologi
Median TL (dB)	-74,9	-74,3	-75	-74,2
16 % percentil (dB)	-77,2	-75	-76,2	-74,3
84 % percentil (dB)	-73	-73,8	-73,9	-74,1

Tabell 5.1 Median og percentiler for TL for målinger, fin modell, grov modell og klimatologi ved avstand 13 km 20m dyp.



Figur 5.8 Forskjell mellom målinger, fin og grov modell og klimatologi ved 13km, 20 meters dyp. Svart stiplet: Median. Rød stiplet: 16 % og 84 % percentil.

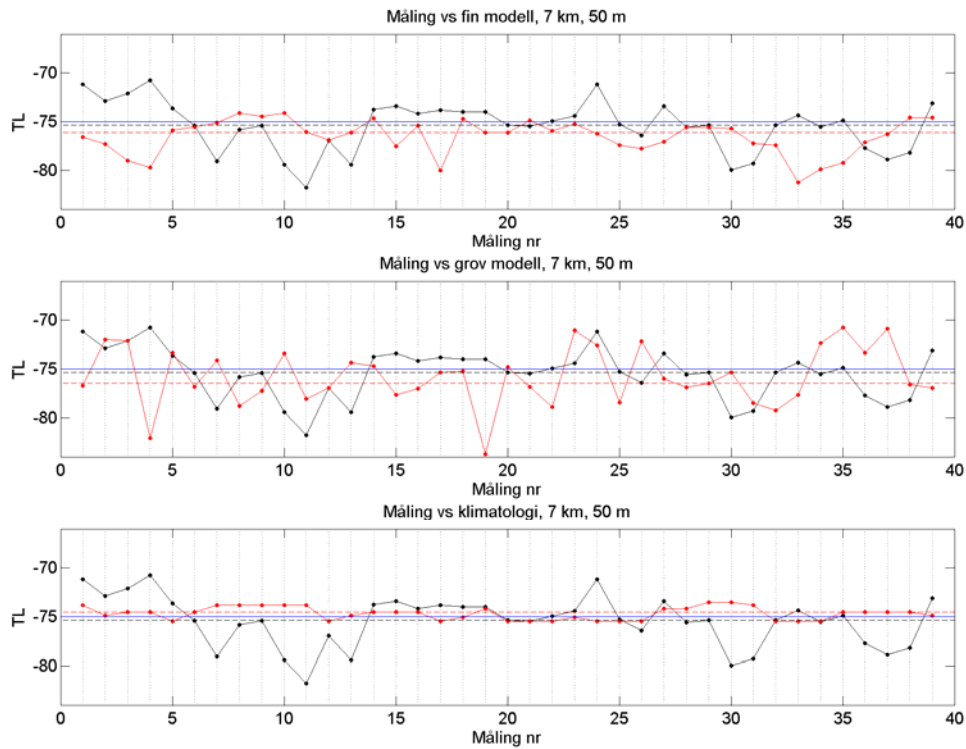
	Måling/Fin modell	Måling/Grov modell	Måling/Klimatologi
Median (dB)	1,4	1,6	1,2
16 % percentil	0,5	0,5	0,5
84 % percentil	3	2,6	2,9

Tabell 5.2 Median og percentiler for forskjellene mellom målinger, fin og grov modell og klimatologi ved 13km, 20 meters dyp.

5.2.2 Mål på 50 m dyp, avstand 7 km fra sonaren

Tabell 5.3 og Figur 5.9 viser TL i 50 m dyp i en avstand 7 km fra sonaren. I denne posisjonen er variasjonene i TL større enn ved 13 km og 20 m dyp. Medianene for modellene viser litt større transmisjonstap enn målingene, mens klimatologien ligger litt over. Spredningen i TL beregnet med målinger og grov modell er henholdsvis 2,2 og 2,7 dB større enn for fin modell. Det er forventet siden lydshastighetsprofilene i grov modell og målingene varierer relativt mye i dette dypet, mens fin modell ikke gjør det. Tilsvarende er samme tall 2 dB for måling sammenliknet med fin modell. TL beregnet med klimatologi viser fortsatt relativ liten spredning.

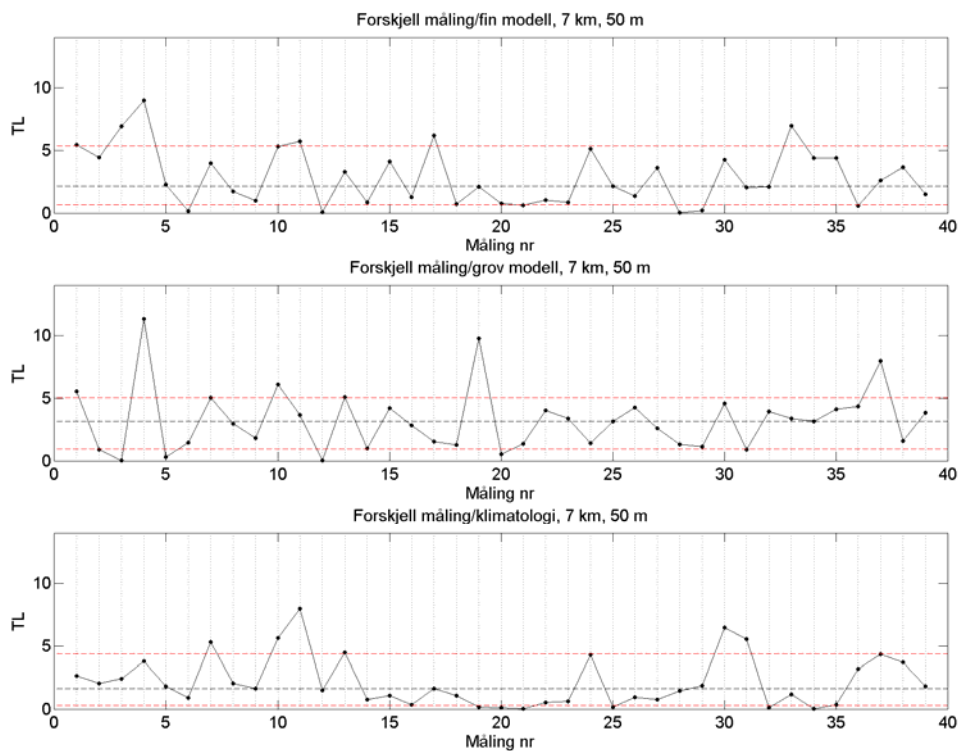
Forskjellen i TL er vist i Figur 5.10 og Tabell 5.4. Medianen fin/måling ligger 1 dB under grov/måling, mens spredningen til feilen er noe større for fin/måling.



Figur 5.9 TL ved avstand 7km og 50m dyp for målinger (svart), fin modell, grov modell og klimatologi (alle rød). Svart stiplet: Median målinger. Rød stiplet: Median for modell eller klimatologi. Blå: -75 dB.

	Målinger	Fin modell	Grov modell	Klimatologi
Median TL (dB)	-75,3	-76,1	-76,5	-74,5
16 % percentil	-78,9	-78,1	-78,4	-75,5
84 % percentil	-73,3	-74,7	-72,3	-73,8

Tabell 5.3 Median og percentiler for TL for målinger, fin modell, grov modell og klimatologi ved avstand 7 km 50m dyp.



Figur 5.10 Forskjell mellom målinger, fin og grov modell og klimatologi ved 7km, 50 meters dyp. Svart stiplet: Median. Rød stiplet: 16 % og 84 % percentil.

	Måling/Fin modell	Måling/Grov modell	Måling/Klimatologi
Median (dB)	2,1	3,1	1,6
16 % percentil	0,7	1	0,3
84 % percentil	5,3	5	4,3

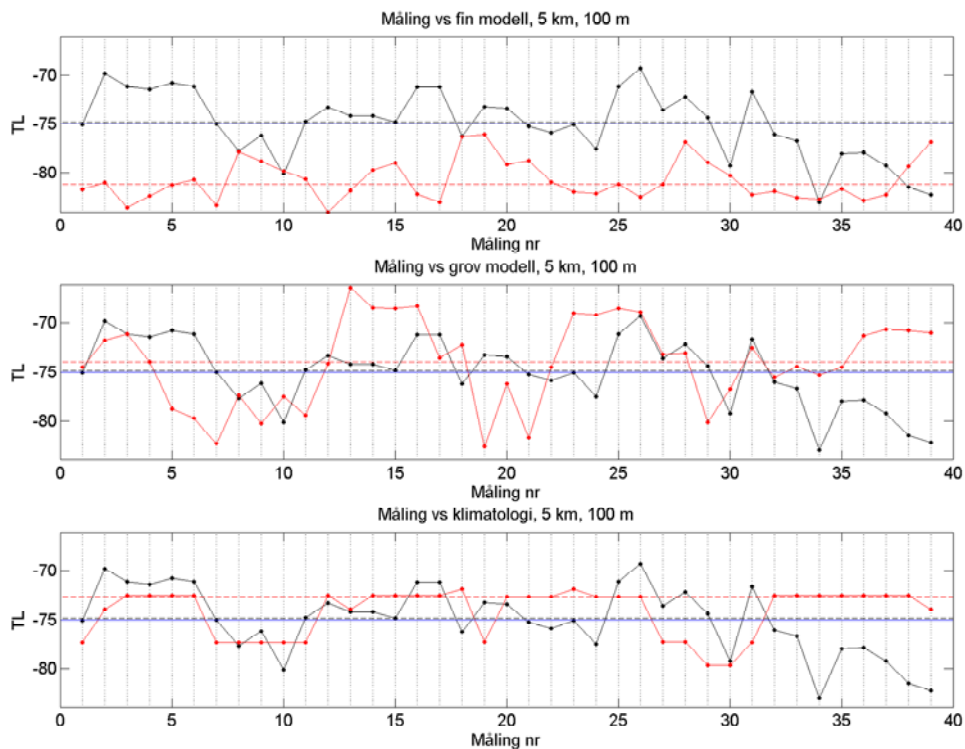
Tabell 5.4 Median og percentiler for forskjellene mellom målinger, fin og grov modell og klimatologi ved 7km, 50 meters dyp.

5.2.3 Mål på 100 m dyp, avstand 5 km fra sonaren

TL i punktet 100 m dyp avstand 5 km vises i Figur 5.11 og Tabell 5.5. Medianene for grov modell og klimatologi over terskelen på 75 dB, noe som tilsvarer jevnt over større sannsynlighet for deteksjon i dette punktet. Fin modell derimot har en median som ligger hele 6 dB under terskelen på 75 dB. Faktisk så vil ikke TL beregnet med noen av profilene i fin modell ligge over 75 dB. Dette skyldes den gjennomgående skarpe gradienten mellom i de øvre vannmassene i fin modell som fører til at lite energi når ned til 100 meter ved avstand 5 km.

En ser at spredningen på dataene er større i denne posisjonen enn de to foregående, særlig for grov modell. Årsaken er at lydshastighetsprofilene varierer mest i dette området. Spredningen for TL beregnet med klimatologi har også økt relativt mye fra de to foregående posisjonene.

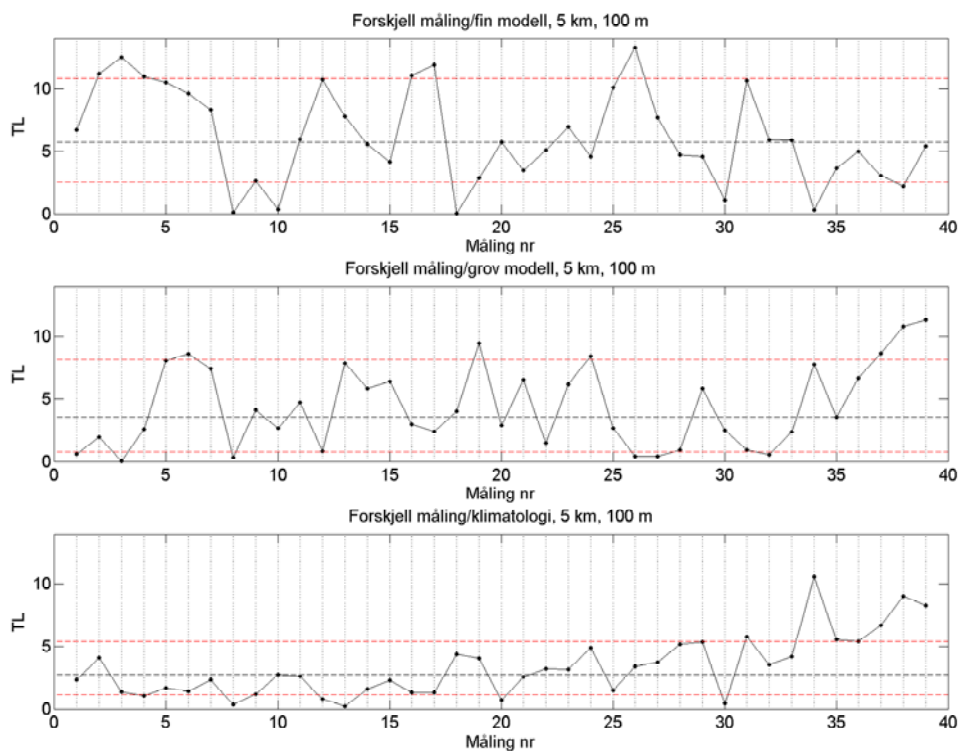
Forskjellene mellom målingene og de to modellene samt klimatologi er presentert i Figur 5.12 og Tabell 5.6. Som ventet er forskjellen fin/måling størst, mens feilen grov/måling og klimatologi/måling er 2 og 3 dB lavere når en ser på medianen. Den store spredningen i TL for fin/måling har sammenheng med at de målte profilene varierer mye rundt 100 m dyp.



Figur 5.11 TL ved avstand 5km og 100m dyp for målinger (svart), fin modell, grov modell og klimatologi (alle rød). Svart stiplet: Median målinger. Rød stiplet: Median for modell eller klimatologi. Blå: -75 dB.

	Målinger	Fin modell	Grov modell	Klimatologi
Median TL (dB)	-74,8	-81,2	-74	-72,7
16 % percentil	-78,3	-82,6	-79,5	-77,4
84 % percentil	-71,1	-78,8	-68,9	-72,5

Tabell 5.5 Median og percentiler for TL for målinger, fin modell, grov modell og klimatologi ved avstand 5 km 100m dyp.



Figur 5.12 Forskjell mellom målinger, fin og grov modell og klimatologi ved 5km, 100 meters dyp. Svart stiplet: Median. Rød stiplet: 16 % og 84 % percentil.

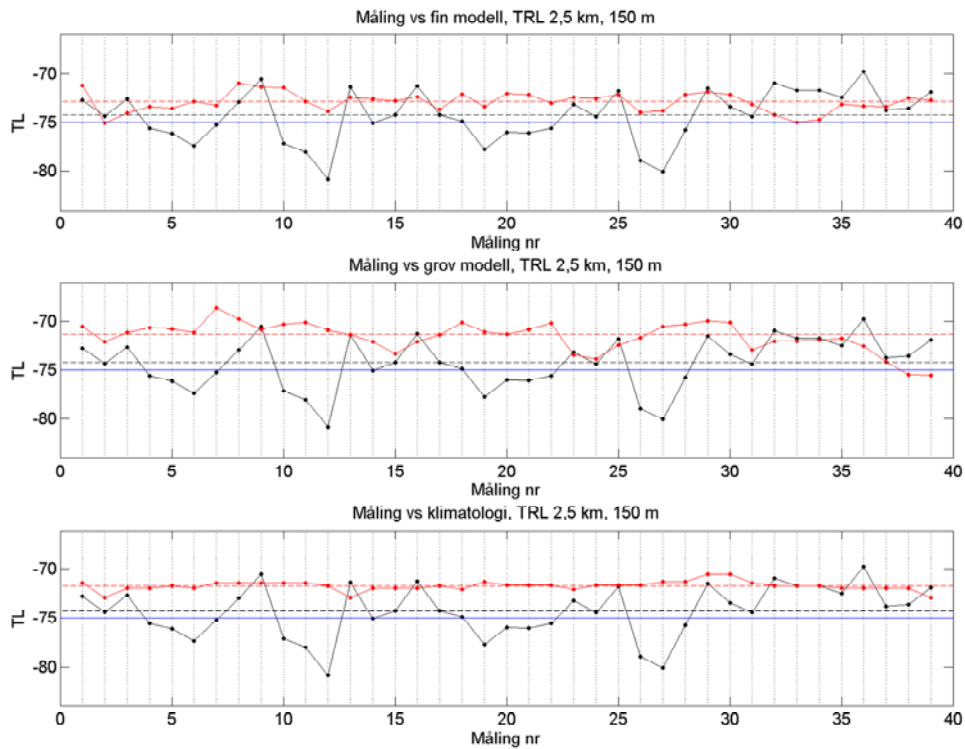
	Måling/Fin modell	Måling/Grov modell	Måling/Klimatologi
Median (dB)	5,7	3,6	2,8
16 % percentil	2,5	0,8	1,1
84 % percentil	10,8	8,1	5,4

Tabell 5.6 Median og percentiler for forskjellene mellom målinger, fin og grov modell og klimatologi ved 5km, 100 meters dyp.

5.2.4 Mål i 150 m dyp, avstand 2,5 km fra sonaren

Fra Figur 5.13 og Tabell 5.7 viser at klimatologien og modellene underestimerer TL i forhold til målingene. Spredningen i TL er til dels betydelig mindre i denne posisjonen enn ved 5 km og 100 m dyp.

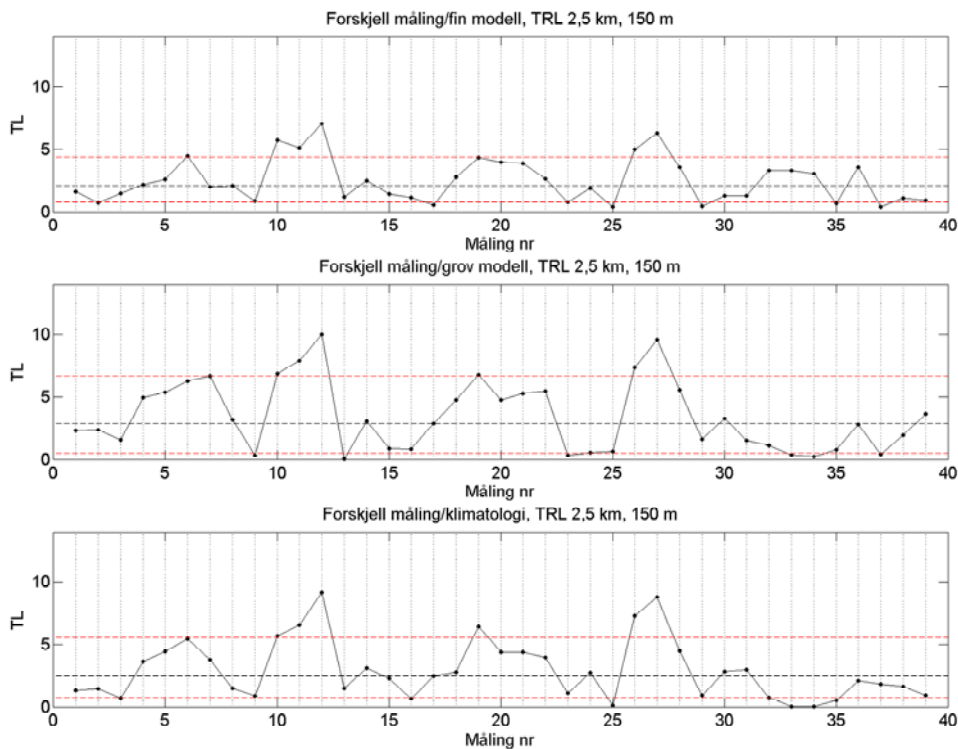
Figur 5.14 og Tabell 5.8 viser at medianen til forskjellen fin/måling er redusert 3,7 dB i forhold til ved 5 km og 100 m dyp. For grov/måling og klimatologi/måling er reduksjonen marginal i forhold. Dermed er forskjellen mellom de tre "feil"-medianene under 1 dB. Dette forklares ved at målet her er plassert i et område hvor lydstrålene blir lite refraktert, d.v.s. de strålene som har bratt nok utgangsvinkel til å 'slippe gjennom' gradienten i de øverste 100 meterne.



Figur 5.13 TL ved avstand 2,5km og 150m dyp for målinger (svart), fin modell, grov modell og klimatologi (alle rød). Svart stiplet: Median målinger. Rød stiplet: Median for modell eller klimatologi. Blå: -75 dB.

	Målinger	Fin modell	Grov modell	Klimatologi
Median TL (dB)	-74,2	-72,9	-71,3	-71,7
16 % percentil	-77,2	-73,9	-73	-71,9
84 % percentil	-71,6	-72,1	-70,1	-71,4

Tabell 5.7 Median og percentiler for TL for målinger, fin modell, grov modell og klimatologi ved avstand 2,5 km 150m dyp.



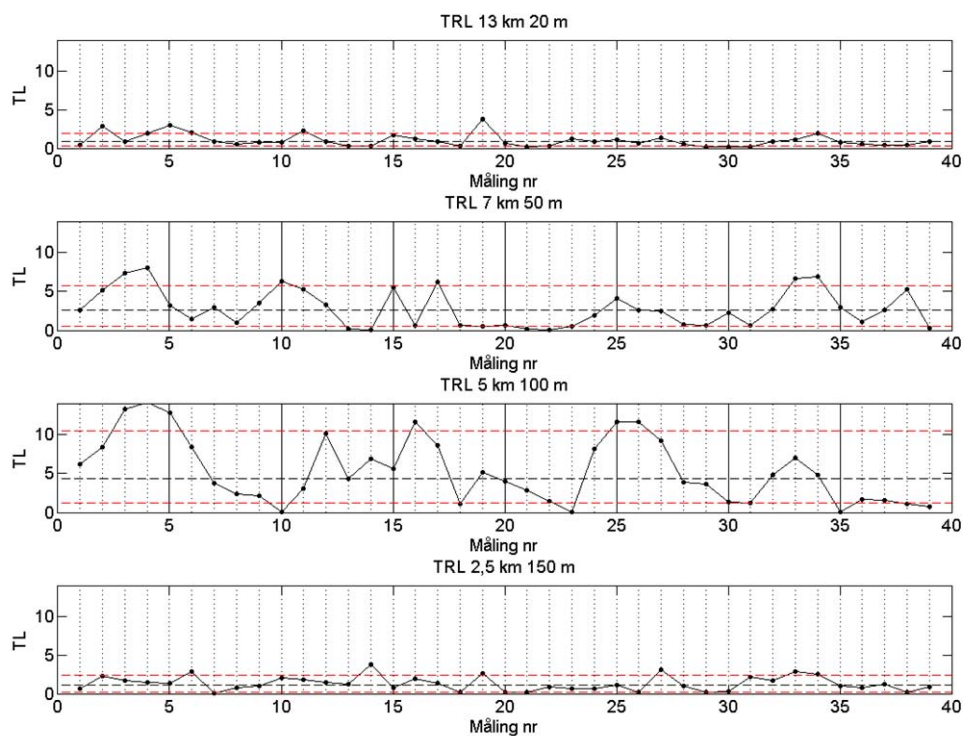
Figur 5.14 Forskjell mellom målinger, fin og grov modell og klimatologi ved 2,5km, 150 meters dyp. Svart stiplet: Median. Rød stiplet: 16 % og 84 % percentil.

	Måling/Fin modell	Måling/Grov modell	Måling/Klimatologi
Median (dB)	2	2,8	2,5
16 % percentil	0,7	0,5	0,8
84 % percentil	4,4	6,7	5,5

Tabell 5.8 Median og percentiler for forskjellene mellom målinger, fin og grov modell og klimatologi ved 2,5km, 150 meters dyp.

5.2.5 Felles dyp i måling og fin modell

En målt lydshastighetsprofil inneholder et stort antall samplinger, ca en for hver meter, mens en modellert profil har langt færre punkter. Dette gjør at en måling inneholder langt flere detaljer og strukturer enn det modellen klarer å løse opp. Vestland200m har verdier for dypene 0, 3, 10, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300 meter. I resultatene under er det brukt data fra de målte profilene i de samme dypene som fin modell har verdier. Intensjonen er å se hvor mye detaljene i målingene har å si for avviket mellom fin modell og målingene. Figur 5.15 viser forskjell i transmisjonstap mellom fin modell og målinger med samme dyp som fin modell.



Figur 5.15 Forskjell i TL mellom fin modell og målinger med verdi i samme dyp som fin modell. Svart stiplet: Median. Rød stiplet: 16 % og 84 % percentil .

	13km, 20m	7km, 50m	5km, 100m	2,5km, 150m
Median	0,8	2,6	4,3	1,1
16 % percentil	0,3	0,5	1,2	0,2
84 % percentil	1,9	5,7	10,5	2,4

Tabell 5.9 Median og percentiler for forskjellene mellom fin modell og målinger med felles dyp som fin modell.

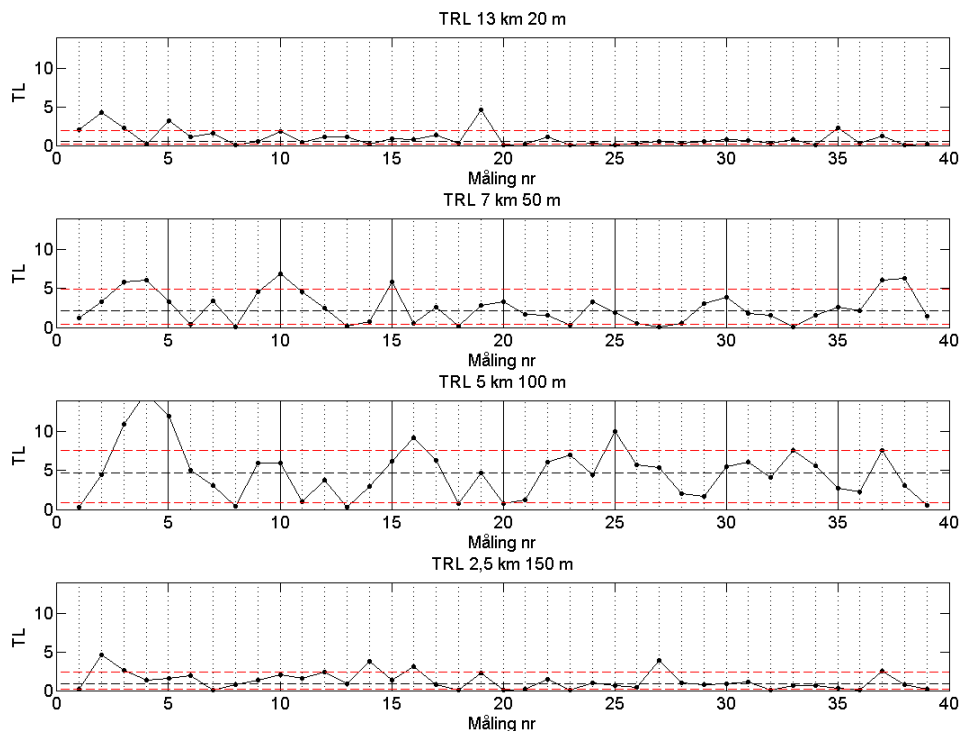
Fra Figur 5.15 og Tabell 5.9 ser vi mye av det samme mønsteret som de foregående plottene, nemlig liten forskjell og liten variasjon i TL på 20 meter og 150 meter, og stor variasjon og forskjell i de to dypene i mellom. Medianen i de ulike dypene er redusert noe bortsett fra i posisjonen 7 km og 50 meters dyp, hvor den har økt litt.

Ved å bare bruke et visst antall punkter fra de målte profilene, får man en glattere profil uten små, lokale effekter, og profilen vil "ligne" mer på en modellert profil. Dette er også forventet, siden man ved denne glattingen fjerner lokale effekter som små lydkanaler og sjikt som modellen ikke er i stand til å få med. Men siden reduksjonen i avviket er relativt lite, viser det at plassering av gradienten har større betydning enn små, lokale strukturer. Unntaket er i øverste og nederste posisjon hvor reduksjonen kan forklares med at de lokale strukturene i målingene er fjernet. Men her var forskjellen i utgangspunktet liten sammenliknet med de to midtre posisjonene.

5.2.6 Flytte gradienten i fin modell

I Figur 5.3 ser vi at gjennomsnittlig lydshastighetsprofil for fin modell har skarpere gradient enn gjennomsnittlig målt profil. Under er det gjort forsøk på å flytte gradienten for profilene i fin modell nedover i vannvolumet. Måten det ble gjort på er enkel, og bestod i å flytte alle verdiene et dyp ned i forhold til originalprofilen. D.v.s. at verdien i 3 meter flyttes til 10 meter, 10 meter flyttes til 30 meter osv. Merk at denne metoden gjorde at *gjennomsnittsprofilene* for fin modell og målingene lignet mer på hverandre. Forskjellen mellom målt og modellert profil kan i noen tilfeller bli større enn den var i utgangspunktet.

Figur 5.16 og Tabell 5.10 viser at spredningen og medianen til forskjellen måling/fin modell er redusert med ca 1 dB i forhold til i kapittel 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3 og 5.2.4, bortsett fra i posisjonen 7 km på 50 m dyp hvor den er tilnærmet uendret. Grunnen kan være at variasjonene i lydshastighet er størst på dette dypet, samtidig som den store forskjellen i gradienten ikke gjør seg gjeldene i samme grad som på 100 m. Ser en på TL i posisjonen 5 km og 100 m dyp er forbedringen størst der ved at medianen er redusert 1 dB og 84 % percentilen redusert med 3 dB.



Figur 5.16 Forskjell i TL mellom fin modell hvor gradienten er flyttet nedover i dypet og målinger med verdi i samme dyp som fin modell. Svart stiplet: Median. Rød stiplet: 16 % og 84 % percentil.

	13km, 20m	7km, 50m	5km, 100m	2,5km, 150m
Median	0,5	2,2	4,7	0,9
16 % percentil	0,1	0,3	0,9	0,1
84 % percentil	1,9	4,9	7,5	2,4

Tabell 5.10 Median og percentiler for forskjellene mellom fin modell hvor gradienten er flyttet nedover i dypet og målinger med verdi i samme dyp som fin modell.

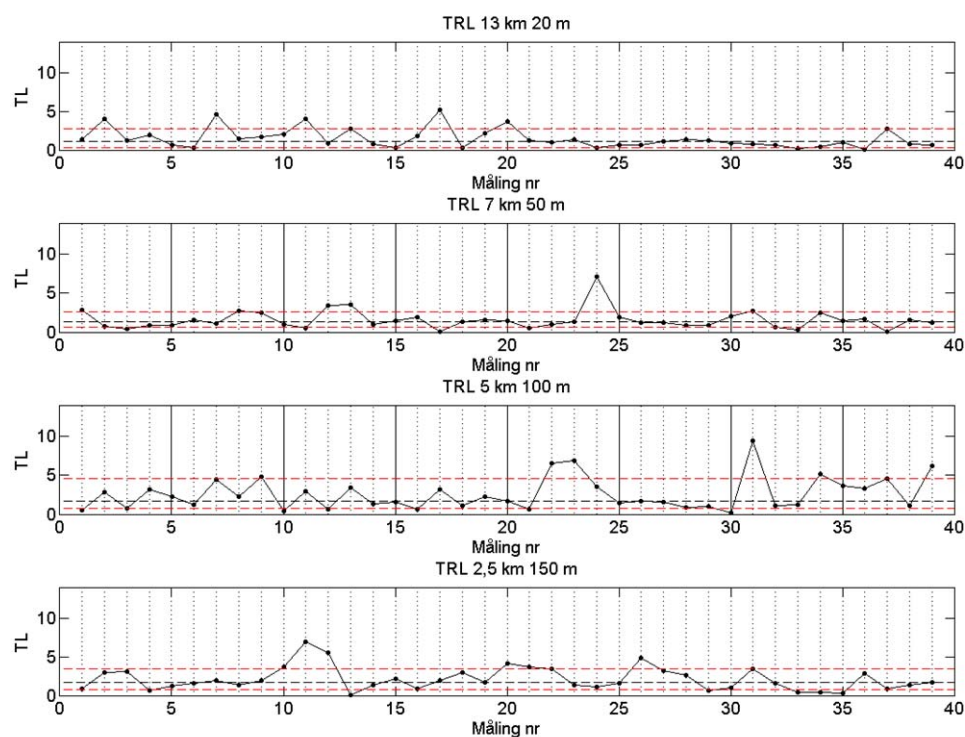
5.2.7 Sammenligne måling med nedsamlet måling

Ved å sammenligne måling nedsamlet til de dypene som modellen inneholder med originalmåling, vil en kunne si noe om hvor god modellen kan bli. Figur 5.17 og Tabell 5.11 viser forskjell i TL beregnet med nedsamlede målinger og originale målinger.

Det som tydeligst kommer fram i denne sammenligningen er at forskjellen i 100 m betydelig redusert, noe som viser hvor viktig det er å plassere gradienten på riktig plass og hvor kraftig den er. I tillegg er også forskjellen i 7 km på 50 meters dyp også lavere enn i sammenligningene i kapittel 5.2.1 - 5.2.4. Noe forskjell er det i TL for de ulike dypene, men dette skyldes at det meste av lokale effekter glattes ut.

En kan merke seg at begge situasjonene under kapittel 5.2.5 gav mindre forskjeller i TL i det øverste og nederste dypet. Man burde kanskje forvente at sammenligningen i kapittel 5.2.7 burde gi minst forskjell i alle dypene i forhold til når måling ble sammenlignet med modell/klimatologi.

Når en ser på alle verdiene for TL i de ulike posisjonene i delkapitlene over kan en stille seg spørsmålet hvor bra Lybin modellerer transmisjonstap sammenliknet med målt transmisjonstap. Forsøk omtalt i [6] viser en forskjell på opp mot 8 dB mellom målt og modellert transmisjonstap.



Figur 5.17 Forskjell i TL mellom målinger og nedsamlede målinger. Svart stiplet: Median. Rød stiplet: 16 % og 84 % percentil.

	13km, 20m	7km, 50m	5km, 100m	2,5km, 150m
Median	1,1	1,3	1,7	1,7
16 % percentil	0,3	0,6	0,7	0,8
84 % percentil	2,7	2,6	4,6	3,5

Tabell 5.11 Gjennomsnittlig forskjell i TL mellom original måling og måling nedsamlet til dypene i fin modell. Standardavvik i parentes.

6 Konklusjon og oppsummering

Når man sammenligner numeriske havmodeller med målinger er det viktig å ikke forvente at modellen skal gi nøyaktig samme resultat som målingene. Til det kreves det en urealistisk høy oppløsning samt at det stilles store krav til de parametere og randverdier som benyttes. En modell vil dermed ha vanskeligheter for å løse opp de fine detaljene en ser i målinger, som små lydkanaler og sjikt. Typisk utstrekning på slike fenomener i havet er meter, og for å løse opp dette i modellene må en ha flere gridpunkter pr meter i vertikalen. Til sammenlikning har modellene fire punkter i de øverste 20-30 meterne.

Datasettet viser at den grove modellen har større variasjon i lydshastighet enn den fine modellen. I utgangspunktet burde fin modell gi størst variasjon, siden den inneholder langt flere gridpunkter. At grov modell har større variasjon enn fin modell har sammenheng med at fin modell kjører med høyere viskositet og diffusjon enn grov modell, samtidig som atmosfærepådraget er glattere i fin modell enn i grov modell. Begge disse tingene er med på å begrense ”bevegelsesfriheten” til fin modell.

Den store forskjellen mellom transmisjonstap beregnet med fin modell og målinger som framkommer i rapporten, viser hvor viktig det er å plassere gradientene riktig. Til sammenlikning plasserer klimatologien gradienten mest riktig, men sammenlikner en absoluttverdien i temperatur og lydshastighet mellom måling og klimatologi, har klimatologien lavere verdier. Modellene derimot ligger mye nærmere målingene i absoluttverdi, og er dermed riktigere oseanografisk sett. Selv om klimatologien kommer best ut i sammenlikningen i dette datasettet, ville for eksempel en annen vær-situasjon eller mindre/større ferskvannsavrenning fra land kunne ført til et stikk motsatt resultat, siden klimatologien ikke vil ta med endringer på kortere tidssteg enn en måned.

Et annet aspekt er at modellene ikke plasserer riktig oseanografisk fenomen på rett sted, eller rett og slett ikke klarer å fange det opp. Dersom modellen plasserer en front eller virvel på et sted hvor målingene viser at det ikke er et slikt fenomen, vil forskjellene i beregnet TL mellom modell og måling bli dramatiske. Det pågår arbeid med dataassimilering og feature modellering som vil kunne forbedre numeriske havmodeller på dette feltet i framtiden.

I rapporten er det gjort sammenlikning mellom original måling og måling nedsamlet til samme dyp som fin modell. Ved å sammenligne nedsamlede målinger med de opprinnelige målingene kan man få et mål på hvor godt det er mulig å modellere. Forskjellene ble noe mindre i forhold til den beste sammenlikningen mellom målingene og fin modell, hvor man flyttet gradienten nedover i dypet. Særlig gjaldt dette på 100 meter, hvor fin modell bommet med plasseringen av gradienten. Men alt i alt viser det at modellen aldri vil kunne gjenskape resultatet som målingene gir på grunn av for få gridpunkt vertikalt til å løse opp lokale effekter.

Litteratur

- [1] National Physical Laboratory, "Underwater Acoustics. Technical Guides - Speed of Sound in Sea-Water," 2000.
- [2] "NODC World Ocean Atlas 1994," 1994.
- [3] "Naval Oceanographic Office's GDEM-V 3.0," 2007.
- [4] P. Østenstad, "FFI-rapport2007/01313. Oseanografiske variasjoner i SAT2 testområde,"2007.
- [5] K. T. Hjelmervik, "FFI-rapport 2006/03746. SAT2 - LYBIN's sensitivity to variations in environmental parameters,"2007.
- [6] T. S. Såstad and K. T. Hjelmervik, "FFI-rapport 2004/02131. Analysis of the NAT III experiments - A comparison of recorded and modelled submarine transponder level in CEX02 and LOC01 part 2,"2004.