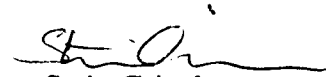


FFIBM/791/350

Godkjent
Kjeller 27 desember 2001



Stein Grinaker
Forskningsjef

**SIMULERING AV LYDBANER I NORSKE KYST-
FARVANN**

JØDAHL Hege

FFI/RAPPORT-2001/03550


FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT (FFI)
Norwegian Defence Research Establishment
 P O BOX 25
 NO-2027 KJELLER, NORWAY

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2001/03550 1a) PROJECT REFERENCE FFIBM/791/350	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE	3) NUMBER OF PAGES 49												
4) TITLE SIMULERING AV LYDBANER I NORSKE KYSTFARVANN (SIMULATION OF SOUND PROPAGATION IN NORWEGIAN INSHORE WATER)														
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) JØDAHL Hege														
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited (Offentlig tilgjengelig)														
7) INDEXING TERMS <table border="0"> <tr> <td>IN ENGLISH:</td> <td>IN NORWEGIAN:</td> </tr> <tr> <td>a) <u>Underwater sound propagation</u></td> <td>a) <u>Lydbaner under vann</u></td> </tr> <tr> <td>b) <u>Sonar</u></td> <td>b) <u>Sonar</u></td> </tr> <tr> <td>c) <u>Norwegian inshore water</u></td> <td>c) <u>Norske kystfarvann</u></td> </tr> <tr> <td>d) <u>LYBIN</u></td> <td>d) <u>LYBIN</u></td> </tr> <tr> <td>e) <u>Simulation</u></td> <td>e) <u>Simulering</u></td> </tr> </table>			IN ENGLISH:	IN NORWEGIAN:	a) <u>Underwater sound propagation</u>	a) <u>Lydbaner under vann</u>	b) <u>Sonar</u>	b) <u>Sonar</u>	c) <u>Norwegian inshore water</u>	c) <u>Norske kystfarvann</u>	d) <u>LYBIN</u>	d) <u>LYBIN</u>	e) <u>Simulation</u>	e) <u>Simulering</u>
IN ENGLISH:	IN NORWEGIAN:													
a) <u>Underwater sound propagation</u>	a) <u>Lydbaner under vann</u>													
b) <u>Sonar</u>	b) <u>Sonar</u>													
c) <u>Norwegian inshore water</u>	c) <u>Norske kystfarvann</u>													
d) <u>LYBIN</u>	d) <u>LYBIN</u>													
e) <u>Simulation</u>	e) <u>Simulering</u>													
8) ABSTRACT <p>This report describes the results from simulations of sound propagation in Norwegian inshore water. The simulations are performed with LYBIN, a program for simulation of sound propagation developed by the Royal Norwegian Navy Materiel Command.</p> <p>This work is part of the underwater surveillance section of project 791, "Protection of the Royal Norwegian Navy's installations". The simulations show that there are minor problems caused by sound deflection at short distances (< 300 m), but "unlucky" placement of the sonar could cause dead zones. At greater distances (> 300 m) there will be increasing problems with dead zones caused by sound deflection.</p>														
9) DATE 27 December 2001	AUTHORIZED BY This page only  Stein Grinaker	POSITION Director of Research												

ISBN 82-464-0569-1

UNCLASSIFIED

FFI-B-22-1982

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOOLD

	Side
1	INNLEDNING 7
2	LYDHASTIGHETSPROFILER 8
2.1	Lydprofiler for dypt vann 9
2.2	Lydprofiler for grunt vann 13
2.3	Spesielle lydprofiler 17
3	SIMULERINGSOPPSETT 20
4	SIMULERINGER DYPT VANN 22
4.1	Sommer 22
4.2	Høst 22
4.3	Vinter 22
4.4	Vår 22
5	SIMULERINGER GRUNT VANN 31
5.1	Sommer 31
5.2	Høst 31
5.3	Vinter 31
5.4	Vår 31
6	SIMULERING MED SPESIELLE LYDPROFILER 36
7	OPPSUMMERING 46
	Litteratur 47
	Fordelingsliste 49

SIMULERING AV LYDBANER I NORSKE KYSTFARVANN

1 INNLEDNING

I forbindelse med prosjekt 791, "Sikring av Sjøforsvarets anlegg", skal det gjennomføres sikkerhetsanalyser for Korsnes torpedobatteri, Haakonvern orlogsstasjon og marinefartøy ved norsk kai utenfor base. Sikkerhetsanalysene skal resultere i anbefalte sikringsløsninger for de tre metodeeksemplene i form av fysisk beskyttelse, overvåking og varsling, samt reaksjonstiltak.

Som en del av total sikringsløsning vil overvåking og varsling av trusselementer som kommer sjøveien være av stor betydning. Fysisk beskyttelse, overvåking og varsling, samt reaksjonstiltak må balanseres på en slik måte at krav til sikring av objektet er tilfredsstillt. Tidlig deteksjon og klassifikasjon av disse truslene vil dermed kunne redusere kravene til fysisk beskyttelse og reaksjonstiltak.

I delprosjekt 2 skal ulike sensortyper og systemer for undervannsovervåking kartlegges. Sensorenes egenskaper med hensyn til deteksjon og klassifikasjon av trusselementene skal beskrives. Forskjellige sensorer er vurdert (1), og aktiv sonar er foreløpig funnet som en av de mest aktuelle for deteksjon av trusler under vann (2). Dykker med lukket pustesystem vil være den undervannstrusselen som er vanskeligst å detektere, og har derfor vært dimensjonerende under arbeidet. Multistrålesonar kan ha en deteksjonsrekkevidde på opp til flere hundre meter (2).

Lydens forplantning i vann har stor betydning for en sonars dekningsområde. Det er foretatt simuleringer for å se hvordan lyden forplanter seg i vann ved forskjellige forhold. Resultatene av disse simuleringene er gjengitt i denne rapporten.

For å finne ut hvordan sonarer kan plasseres for å få best mulig dekning, er det foretatt simuleringer med forskjellige lydshastighetsprofiler. Det er valgt ut profiler for dypt vann (300 m) og grunt vann (50 m), for sommer, vinter, vår og høst. Det er i tillegg simulert med enkelte spesielle lydprofiler for å se hvilke utslag disse gir på lydens avbøying. Det er simulert med avstander fra null til 300 m horisontalt, med tanke på at det er dykkere som skal detekteres. Det er i tillegg foretatt enkelte simuleringer med mye større avstander for sammenligningens skyld.

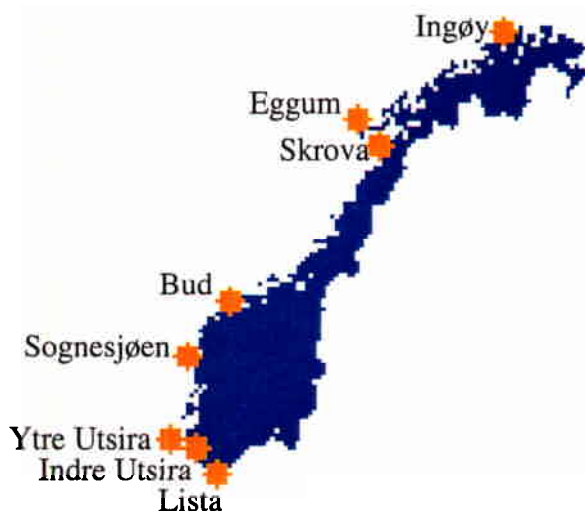
Simuleringene er foretatt med LYBIN, et simuleringsprogram for sonarer utviklet ved Sjøforsvarets forsyningskommando (SFK) av Svein Mjølåsnes. Modellbeskrivelse til LYBIN er gitt i (3). Programmet foretar simulering i to dimensjoner, og gir ut resultatet i form av lydbaner, demping og deteksjonssannsynlighet. Detaljert brukerveiledning er gitt i (4).

Først blir det sett på valg av lydshastighetsprofiler i kapittel 2. Kapittel 3 omhandler oppsett av LYBIN, mens simuleringsresultater i form av lydbaner er gitt i kapittel 4–6. Til slutt er det gitt en oppsummering i kapittel 7.

2 LYDHASTIGHETSPROFILER

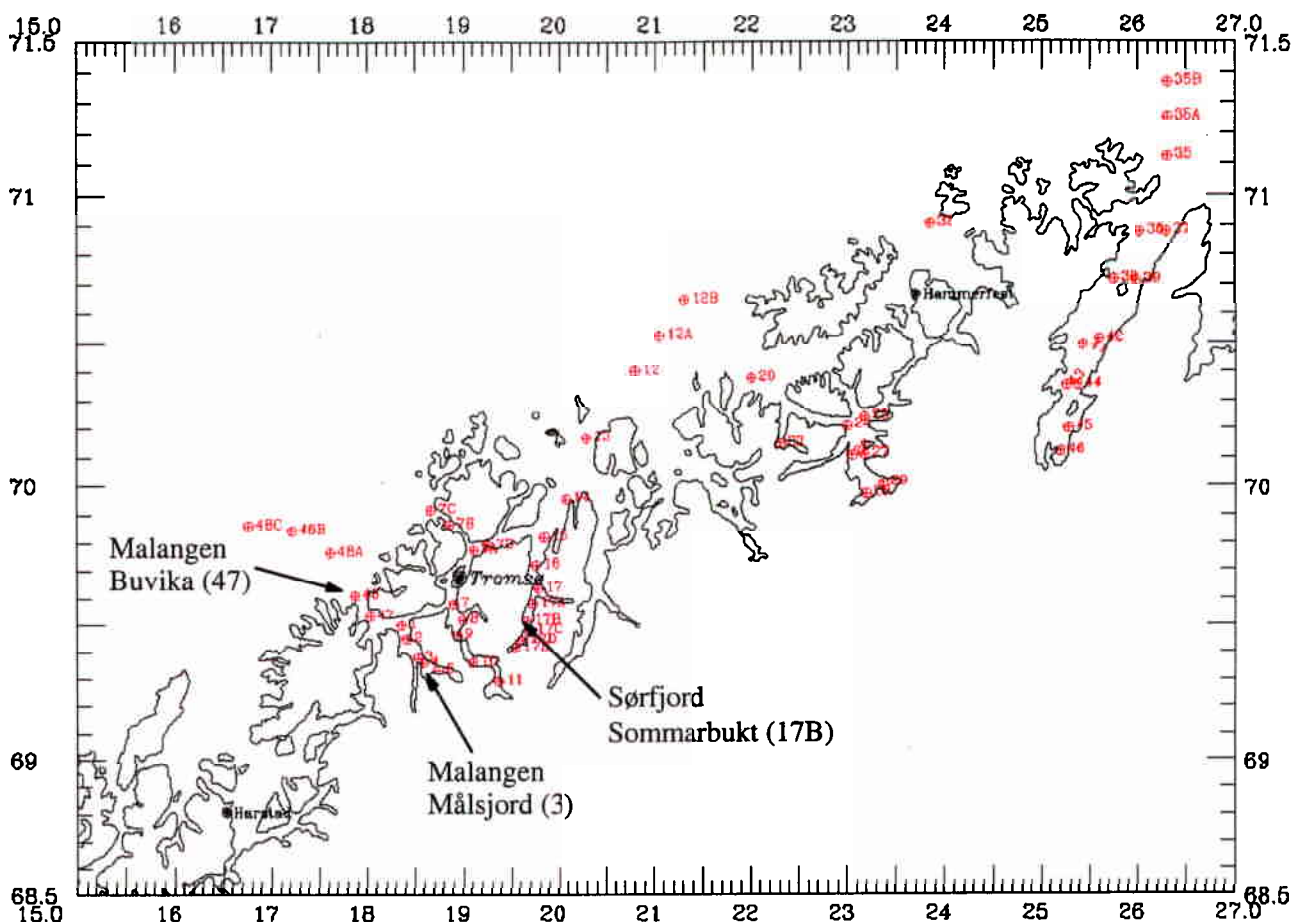
Lydhastighetsprofiler vil variere med geografisk beliggenhet, omkringliggende miljø (spesielt tilsig av ferskvann), årstider og tid på dagen. Det ville derfor være en uoverkommelig oppgave å simulere med alle mulige profiler. Antall benyttede lydprofiler er begrenset ved å finne "typiske" profiler for sommer, høst, vinter og vår for dypt vann (300 m) og grunt vann (50 m). I tillegg ble det plukket ut noen spesielle profiler.

Havforskningsinstituttet i Bergen har 8 målestasjoner hvor det foretas jevnlig målinger av vannets temperatur og saltinnhold for forskjellige dybder. Målestasjonenes beliggenhet er vist i figur 2.1. Alle disse målestasjonene var plassert på dypt vann. Data fra Sognesjøen, som ligger ytterst i Sognefjorden, ble valgt som grunnlag for dypt vann for høst, vinter og vår. Data fra Lista ble valgt for å representere sommerprofil for dypt vann. Data som ble benyttet var midlere verdier for aktuell kalendermåned i tidsrommet 1934 til 1993.



Figur 2.1 Målestasjoner for temperatur og saltholdighet i sjøen, operert av Havforskningsinstituttet i Bergen

Data for grunne farvann ble hentet fra målinger i nordnorske fjorder, utført av Fiskerihøgskolen i Tromsø. Figur 2.2 viser hvor det er foretatt regelmessige målinger av temperatur og saltinnhold. Sørfjord Sommarbuk (nummer 17B på figuren) ble valgt ut som grunnlag for grunt vann både sommer, høst, vinter og vår. Dybden ved dette målepunktet er på 54 m.



Figur 2.2 Beliggenhet for regelmessige målinger av temperatur og saltholdighet i nord-norske fjorder, utført av Norges fiskerihøgskole i Tromsø

2.1 Lydprofiler for dypt vann

Lydhastighetsprofiler fra Sognesjøen og Lista er benyttet som profiler for dypt vann. Dybden ved målepunktet for begge lokasjonene er 300 m. Data fra Havforskningsinstituttet, som viser månedsmiddel for temperatur og saltinnhold fra 1934 til 1993, er brukt for å velge ut de representative lydhastighetsprofilene.

Lydhastigheten regnes ut fra vannets temperatur og saltinnhold ved hjelp av formel (2.1), gitt i (5). Av formelen ser vi at lydhastigheten øker med økende temperatur, saltholdighet og dybde.

$$c = 1448.6 + 4.618T - 0.0523T^2 + 1.25(s - 35) + 0.017D \quad (2.1)$$

c = lydhastighet (m/s)

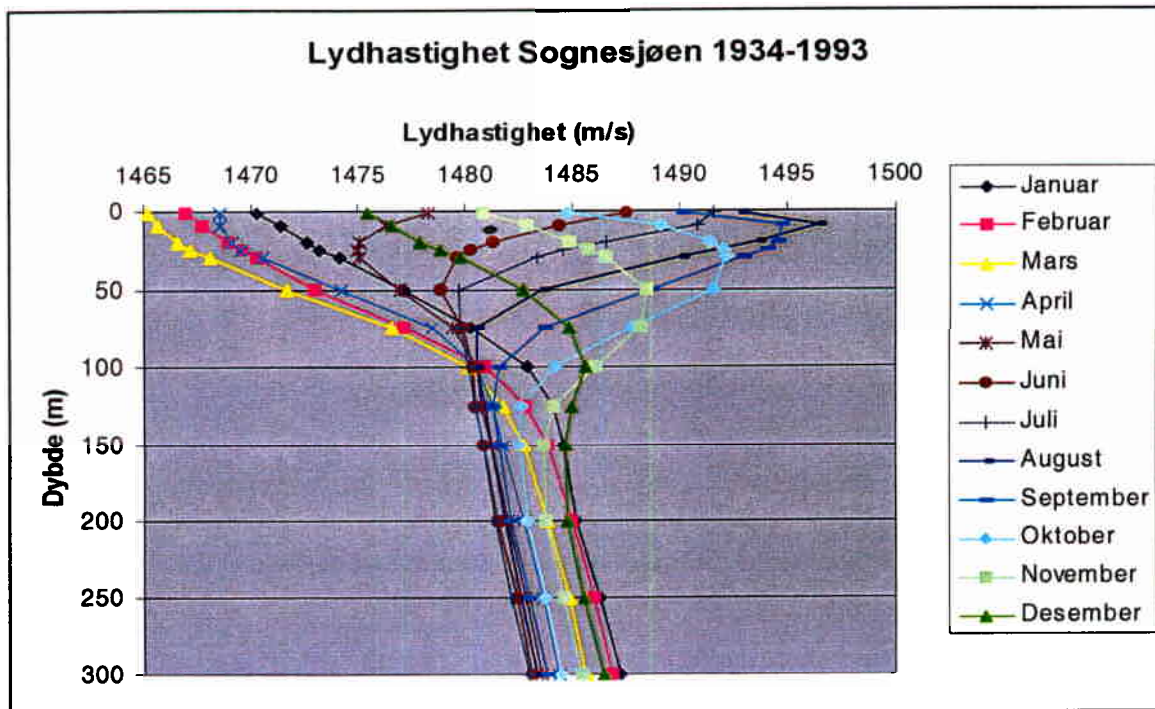
T = temperatur (grader Celsius)

S = saltholdighet i promille

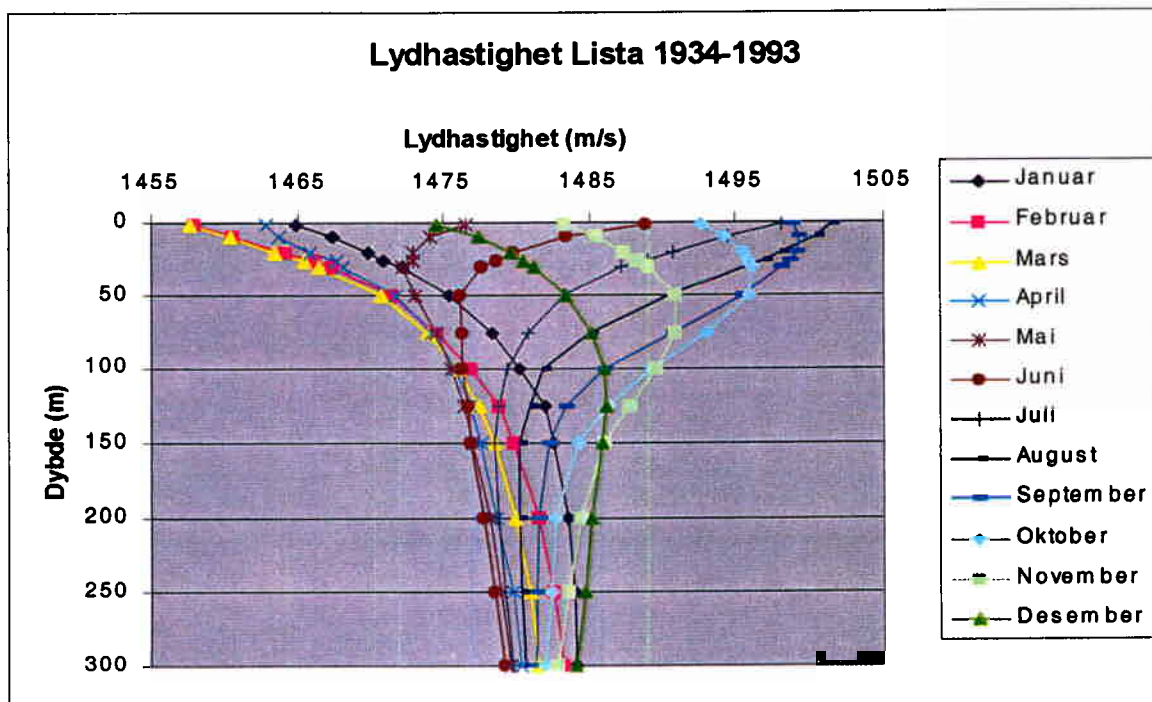
D = dybde (m)

Figur 2.3 viser de midlede lydhastighetsprofilene fra Sognesjøen for hver kalendermåned, mens figur 2.4 viser tilsvarende for Lista. Ut fra disse figurene er det valgt ut hvilken måned som skal representere profilene for sommer, høst, vinter og vår. Som vintermåned er

valgt den måneden med lavest temperatur i overflaten, som er mars måned. Måneden med høyest temperatur nær overflaten er august eller september, hvor september er valgt som sommermåned. Vår- og høstmåned er lagt midt mellom vinter og sommer, altså juni for vår og desember for høst.



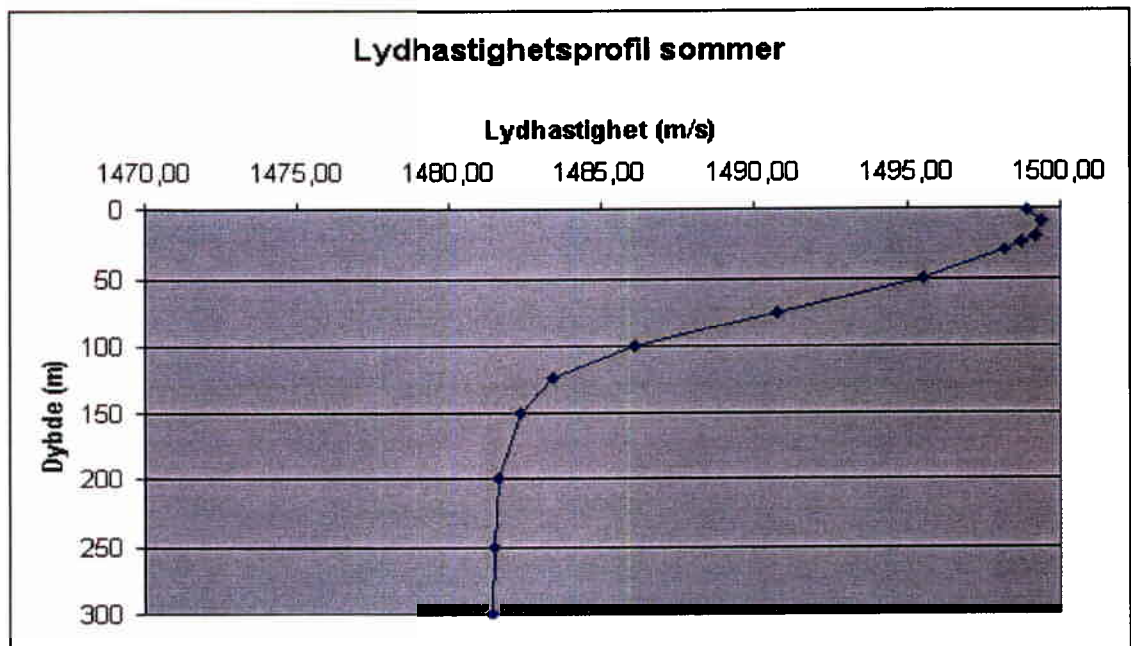
Figur 2.3 Lydhastighetsprofiler per måned for Sognesjøen. Kurvene viser middelerdi per måned for perioden 1934–1993



Figur 2.4 Lydhastighetsprofiler per måned for Lista. Kurvene viser middelerdi per måned for perioden 1934–1993

Sommer dypt vann

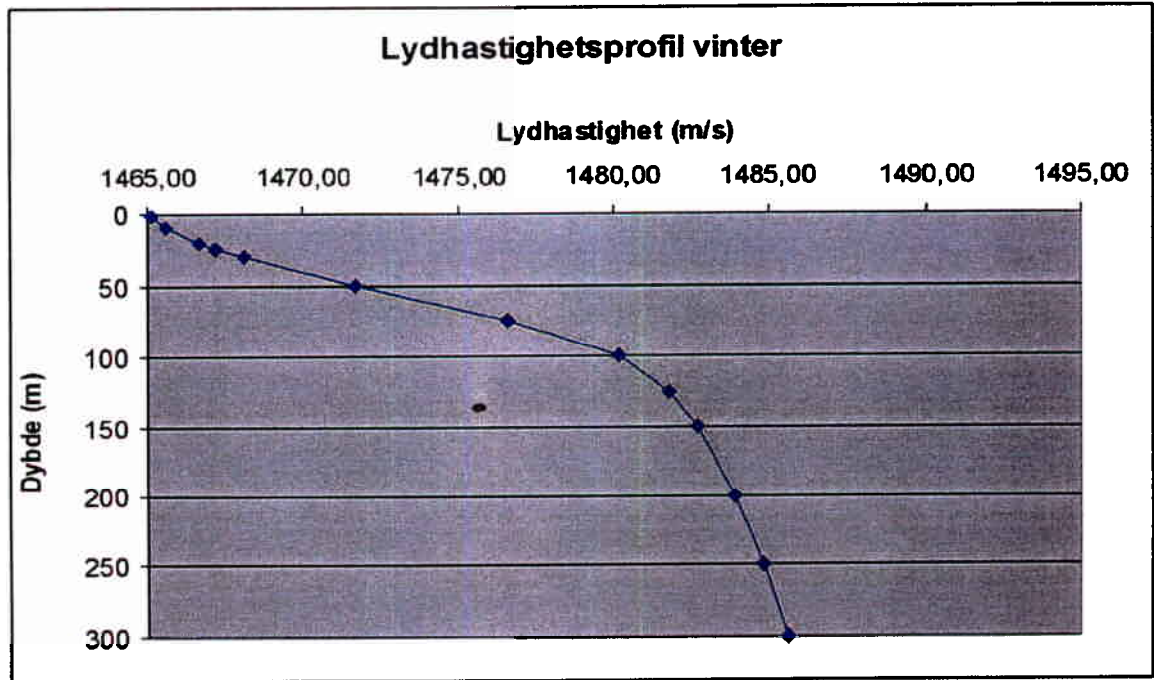
September måned er en av de månedene hvor det er høyest temperatur i vannoverflaten. Lydhastighetsprofilen for Sognesjøen i september har et lokalt minimum ved overflaten. Dette kommer av at saltkonsentrasjonen er vesentlig lavere ved overflaten for denne måneden, som igjen kan komme av stor tilførsel av ferskvann. Ved å se på tilsvarende data fra 7 andre målestasjoner langs kysten viser det seg at denne formen ikke er typisk for sommerprofilen. Lydprofilen for de 7 andre målestasjonene har maksimalverdi ved overflaten, eller i noen tilfeller litt lavere hastighet i overflaten. Siden det er typiske lydprofiler som skal velges ut for disse simuleringene, er data fra en av de andre målestasjonene valgt som sommerprofil. Lista ble valgt for å representere sommerprofilen, fordi denne målestasjonen var plassert på et sted med tilsvarende dybde som Sognesjøen. Lydhastighetsprofilen for Lista i septentember måned er vist i figur 2.5. Som figuren viser er lydhastigheten også her noe lavere akkurat i overflaten, men forskjellen i hastighet nær overflaten er ikke på langt nær så stor som for Sognesjøen.



Figur 2.5 Lydhastighetsprofil for sommer, dypt vann. Profilen er fra Lista i september måned (midlet over perioden 1934–1993)

Vinter dypt vann

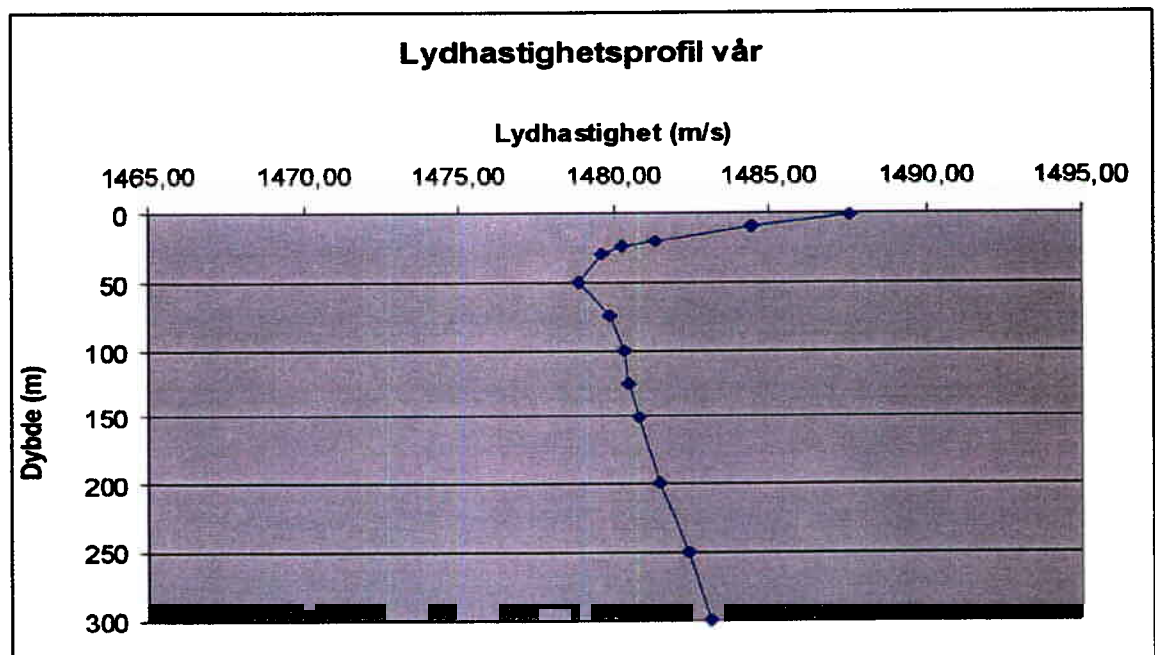
Mars måned er den måneden med lavest temperatur og lydhastighet nær overflaten. Lydhastighetsprofilen for mars er derfor brukt som vinterprofil, vist i figur 2.6. Tilsvarende data fra de 7 andre målestasjonene viser tilnærmet lik profil.



Figur 2.6 Lydhastighetsprofil for vinter, dypt vann. Profilen er fra Sognesjøen i mars måned (midlet over perioden 1934–1993)

Vår dypt vann

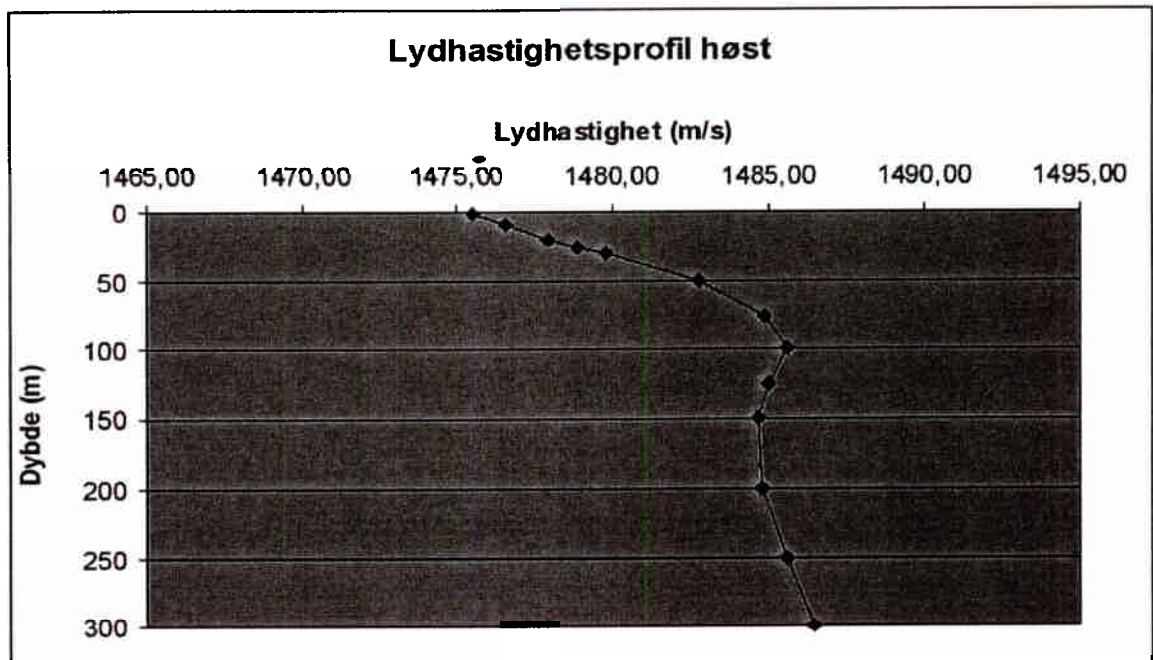
Vårprofilen er valgt ut fra at den ligger midt imellom sommer- og vinterprofilen når det gjelder tid, dvs juni måned. Lydhastighetsprofilen for denne måneden er vist i figur 2.7. Tilsvarende data fra 7 andre målestasjoner viser tilnærmet lik profil.



Figur 2.7 Lydhastighetsprofil for vår, dypt vann. Profilen er fra Sognesjøen i juni måned (midlet over perioden 1934–1993)

Høst dypt vann

Høstprofilen er også valgt ut fra at den ligger midt imellom sommer- og vinterprofilen når det gjelder tid, dvs desember måned. Lydhastighetsprofilen for denne måneden er vist i figur 2.8. Tilsvarende data fra 7 andre målestasjoner viser tilnærmet lik profil.

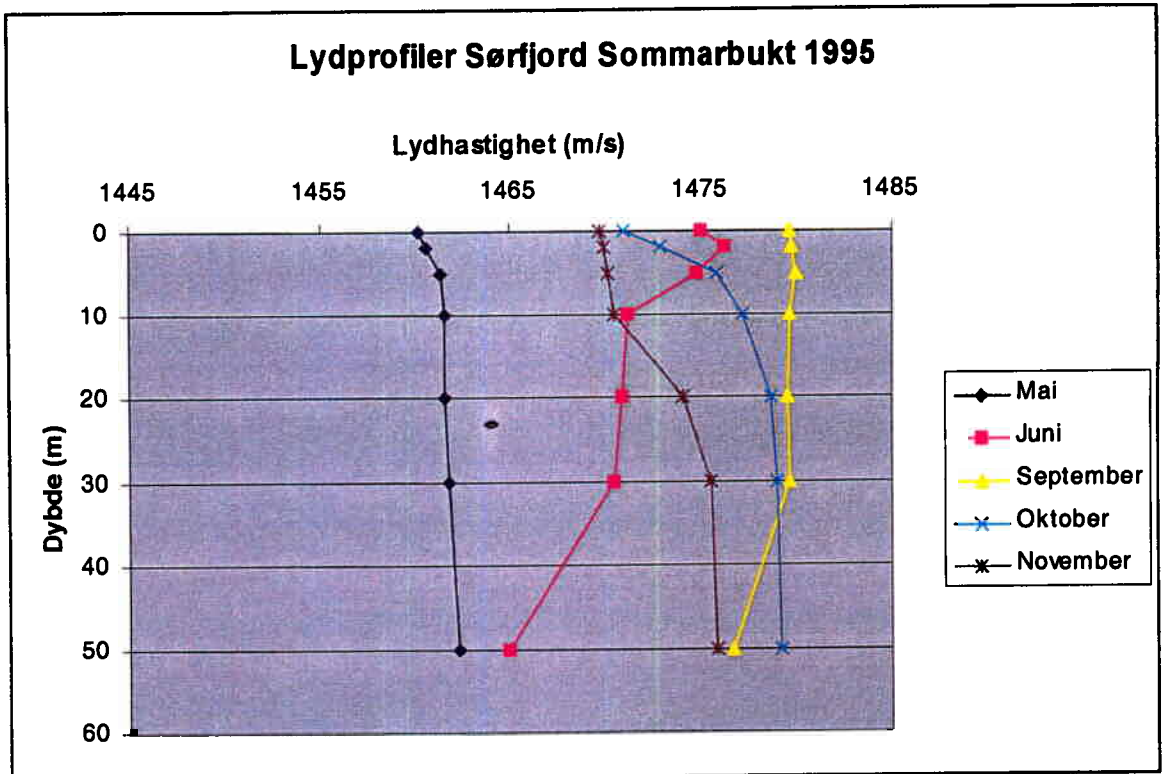


Figur 2.8 Lydhastighetsprofil for høst, dypt vann. Profilen er fra Sognesjøen i desember måned (midlet over perioden 1934–1993)

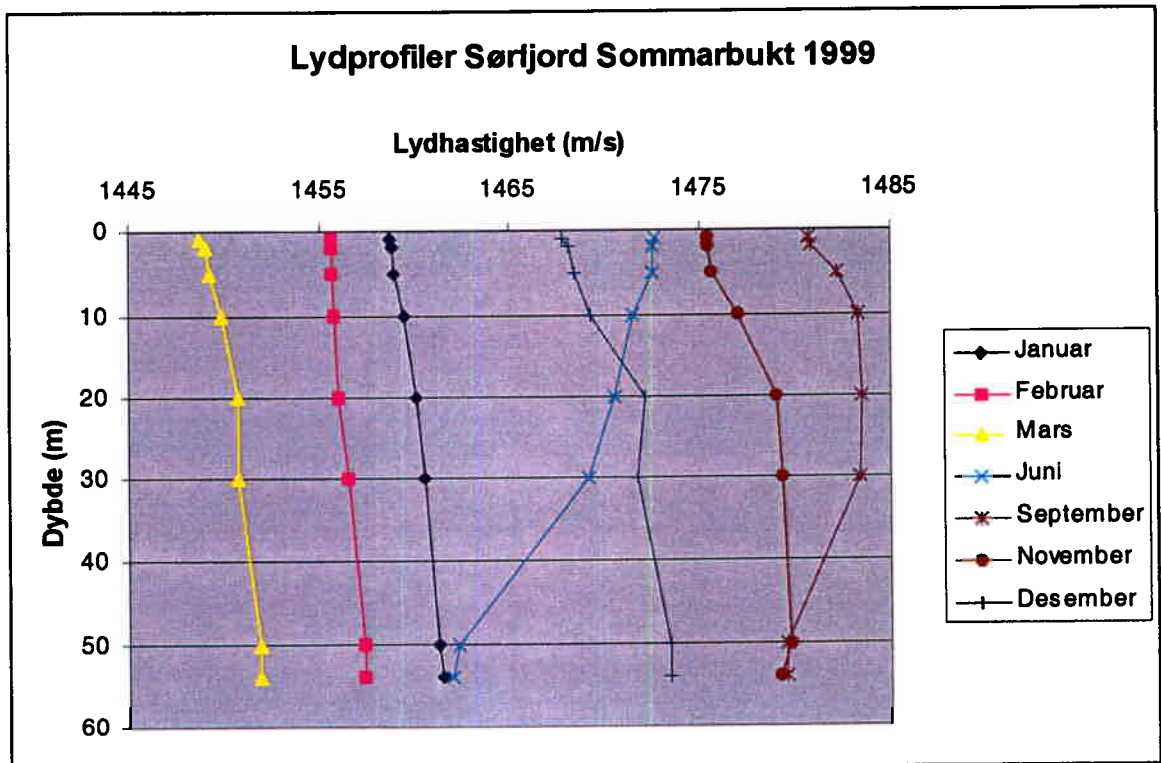
2.2 Lydprofiler for grunt vann

For grunt vann er det valgt ut et målepunkt med dybde 50 m. Data for Sørfjord Sommarbukt, som ligger litt øst for Tromsø, er tatt opp av Fiskerihøgskolen i Tromsø. Målingene består av temperatur og saltinnhold for forskjellige måneder. Figur 2.9 viser lydhastighetsprofiler for forskjellige måneder i 1995, mens figur 2.10 viser profiler fra 1999. Målingene er enkeltmålinger foretatt på enkelte dager, og er ikke midlet over flere dager.

De samme månedene er valgt ut for de forskjellige profilene som for dypt vann. Lydhastigheten er beregnet ut fra formel (2.1), og lydhastighetsprofilene presenteres i figur 2.11 til 2.14.



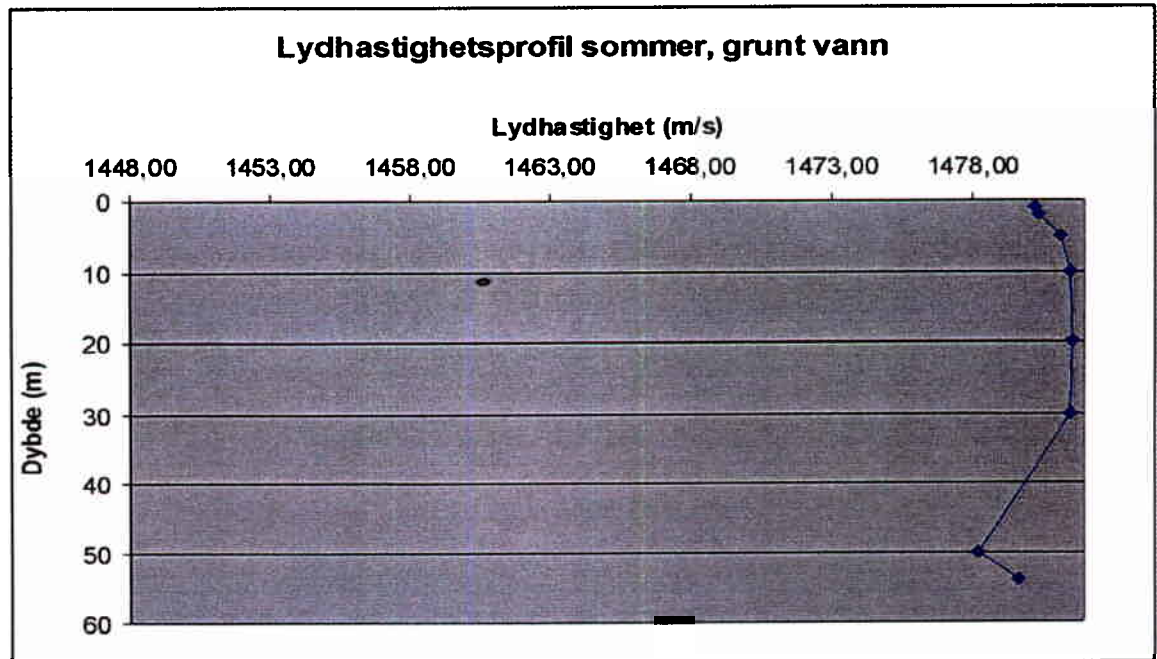
Figur 2.9 Lydhastighetsprofiler for Sør fjord Sommarbuk i 1995



Figur 2.10 Lydhastighetsprofiler for Sør fjord Sommarbuk i 1999

Sommer grunt vann

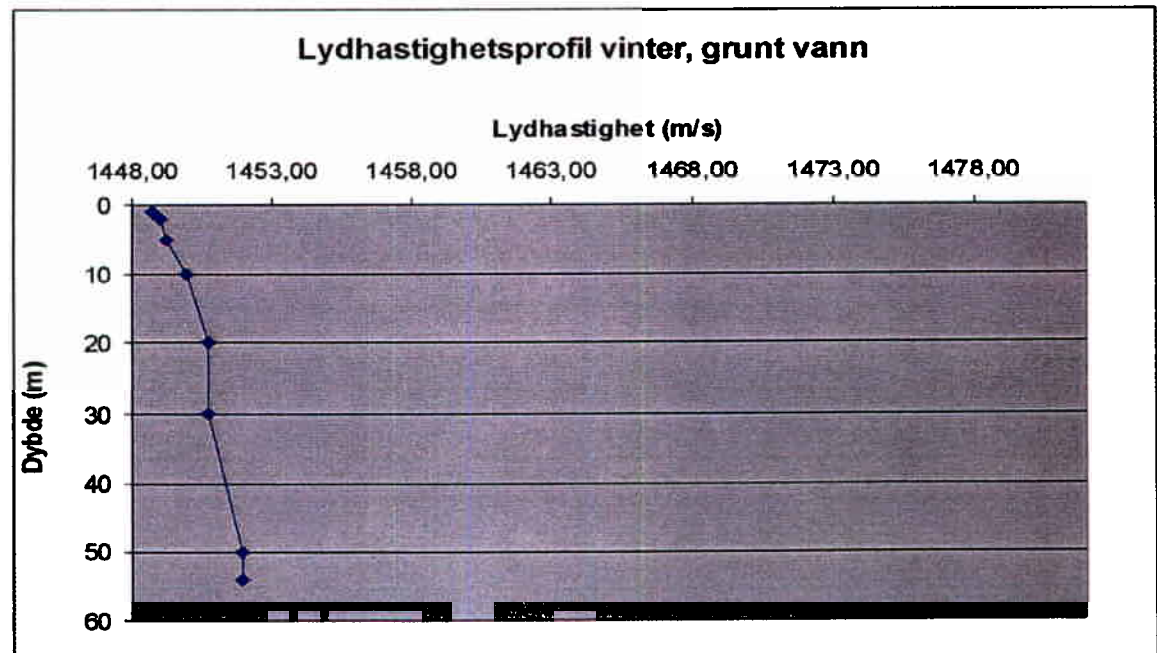
Sommerprofilen er middelverdi av målinger utført september 1995 og 1999 (figur 2.11).



Figur 2.11 Lydhastighetsprofil for sommer, grunt vann. Profilen er midlede verdier fra Sør fjord Sommarbukta september 1995 og 1999

Vinter grunt vann

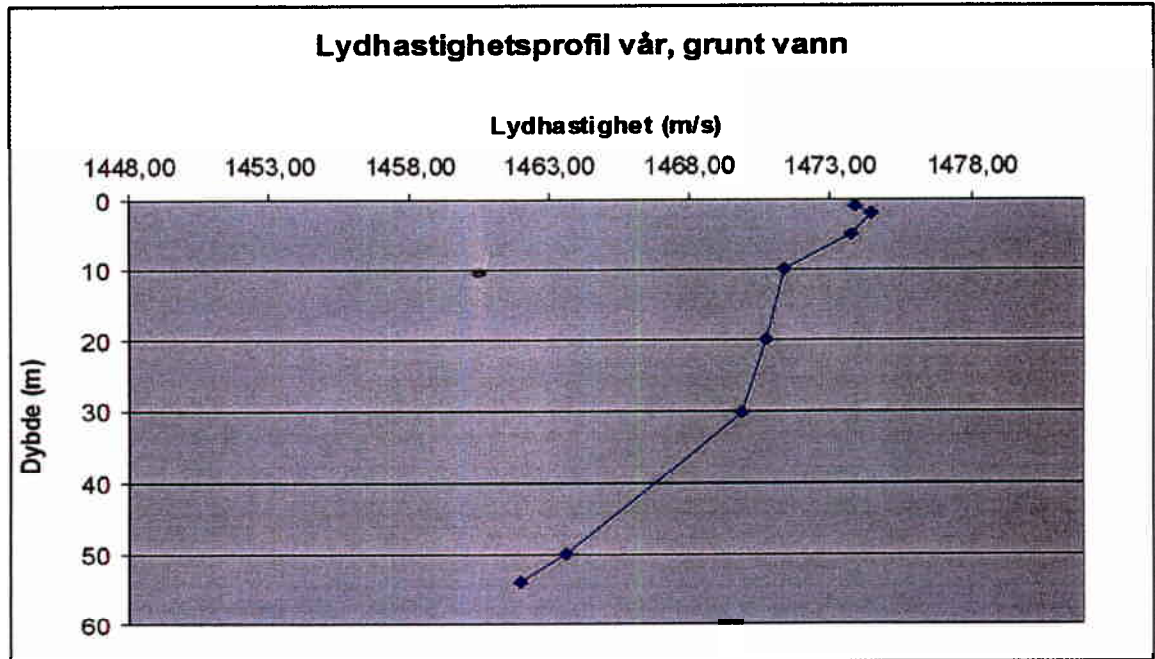
Vinterprofilen er verdier fra mars 1999 (figur 2.12).



Figur 2.12 Lydhastighetsprofil for vinter, grunt vann. Profilen er fra Sør fjord Sommarbukta mars 1999

Vår grunt vann

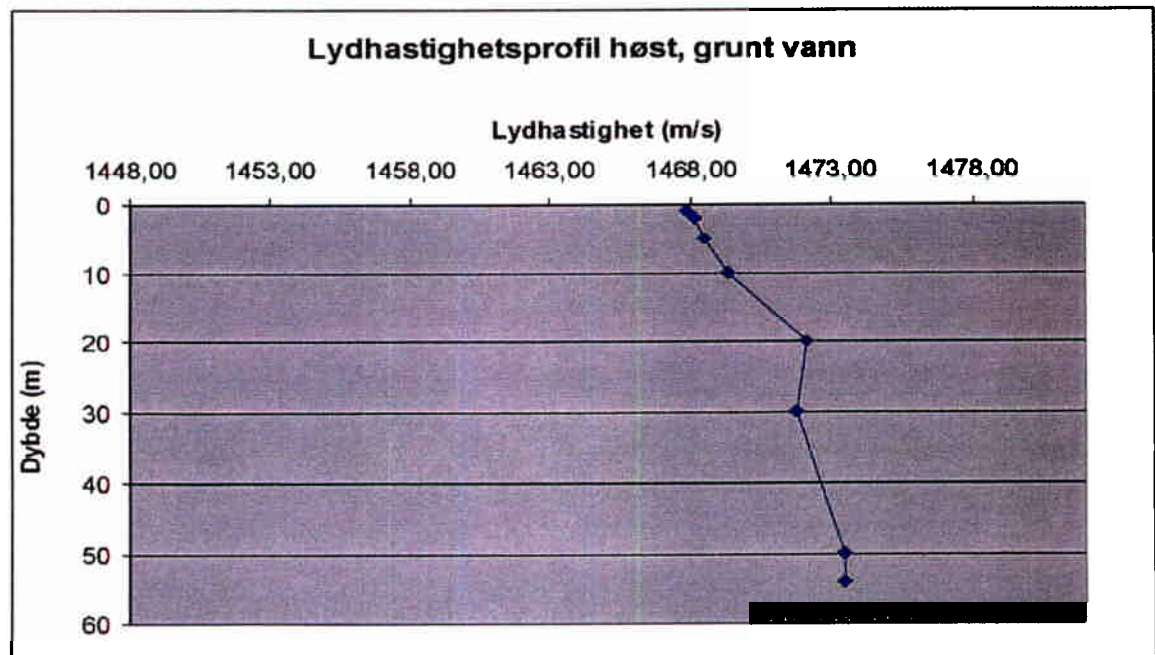
Vårprofilen er middelverdi av målinger utført juni 1995 og 1999 (figur 2.13).



Figur 2.13 Lydhastighetsprofil for vår, grunt vann. Profilen er midlede verdier fra Sør-fjord Sommarbukta juni 1995 og 1999

Høst grunt vann

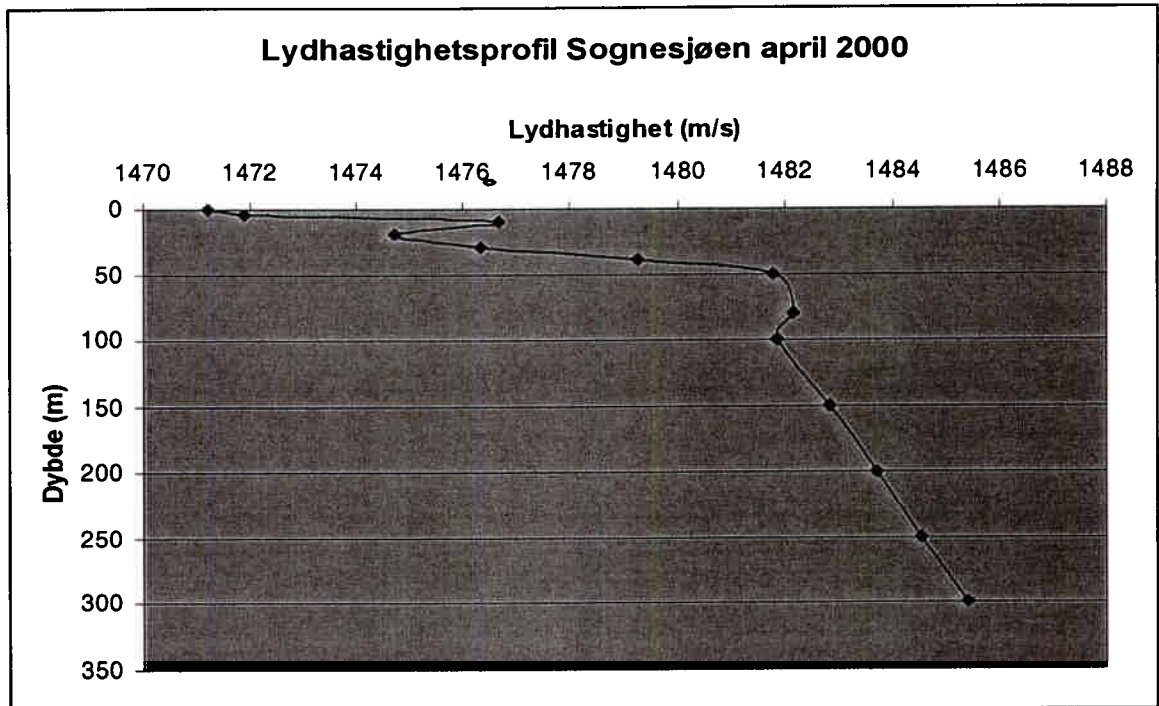
Høstprofilen er verdier for desember 1999 (figur 2.14).



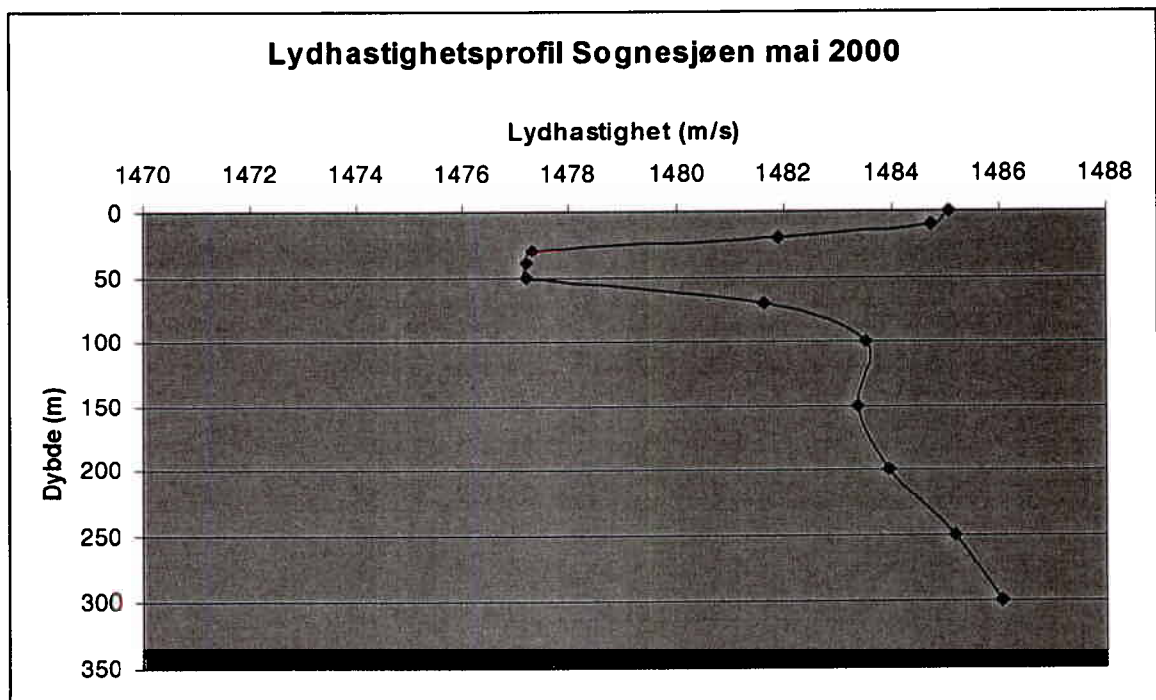
Figur 2.14 Lydhastighetsprofil for høst, grunt vann. Profilen er fra Sør-fjord Sommarbukta desember 1999

2.3 Spesielle lydprofiler

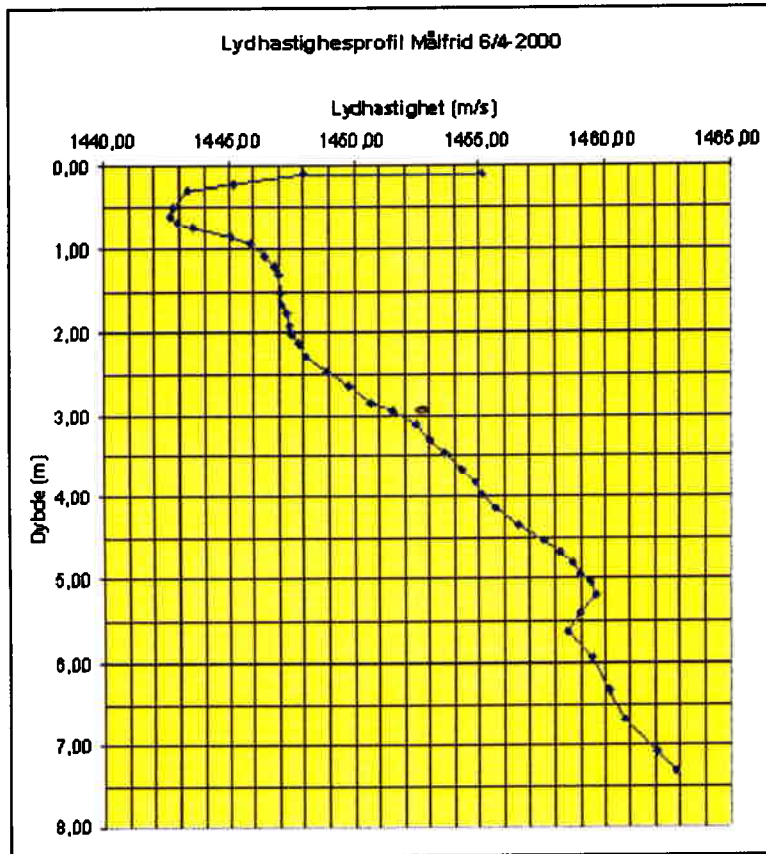
Det er valgt ut noen spesielle lydprofiler som skiller seg kraftig ut fra månedsmidlene. Dette er gjort for å simulere andre og muligens vanskeligere forhold. Profilene som er valgt ut er vist i figur 2.15–2.19.



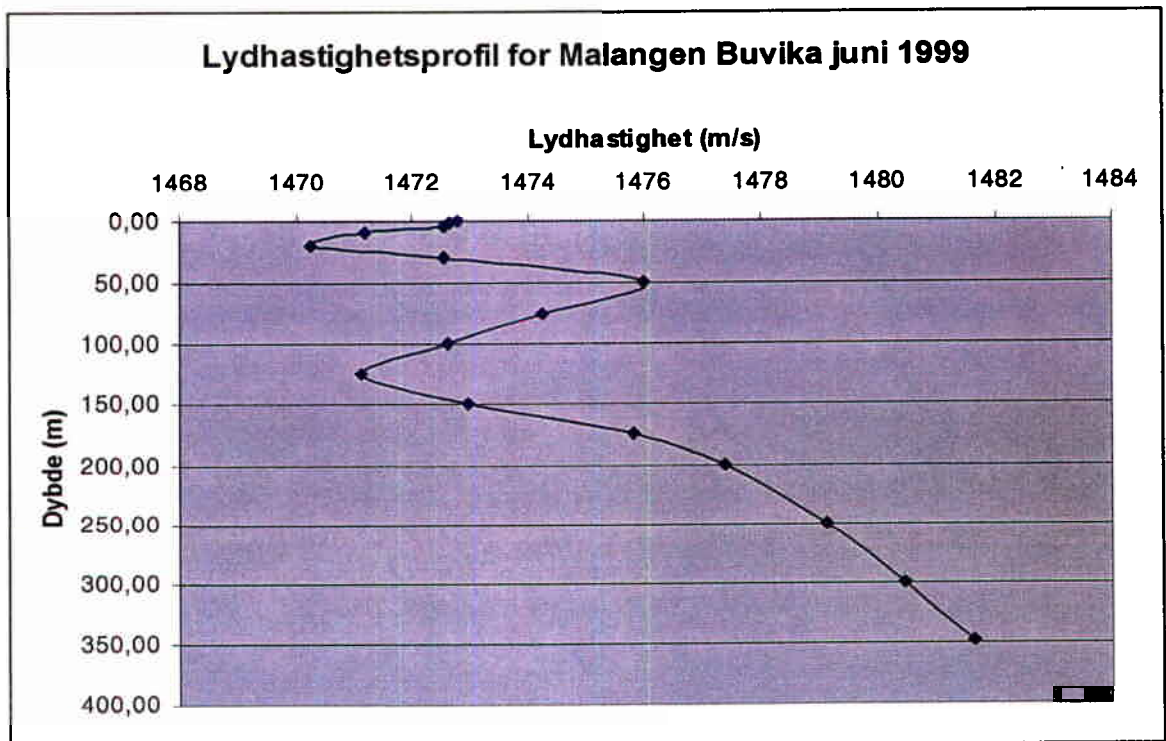
Figur 2.15 Lydhastighetsprofil fra Sognesjøen 16. april 2000



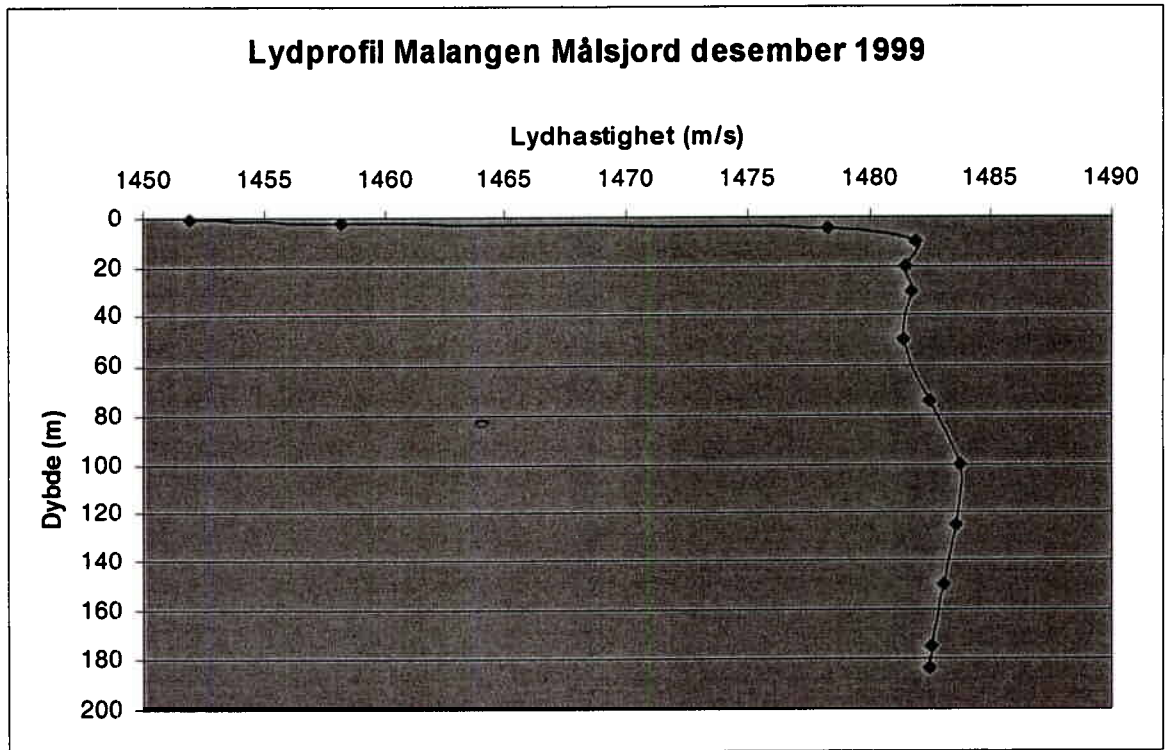
Figur 2.16 Lydhastighetsprofil fra Sognesjøen 20. mai 2000



Figur 2.17 Lydhastighetsprofil fra Horten, tatt opp fra Målfrid 6/4-2000



Figur 2.18 Lydhastighetsprofil fra Malangen Buvika juni 1999



Figur 2.19 Lydhastighetsprofil fra Malangen Målsjord desember 1999

3 SIMULERINGSOPPSETT

Ved simulering er det en del parametre som må settes opp. For å begrense antall simuleringer, er de fleste parametrene satt til faste verdier. De faste verdiene er satt som vist i tabell 3.1.

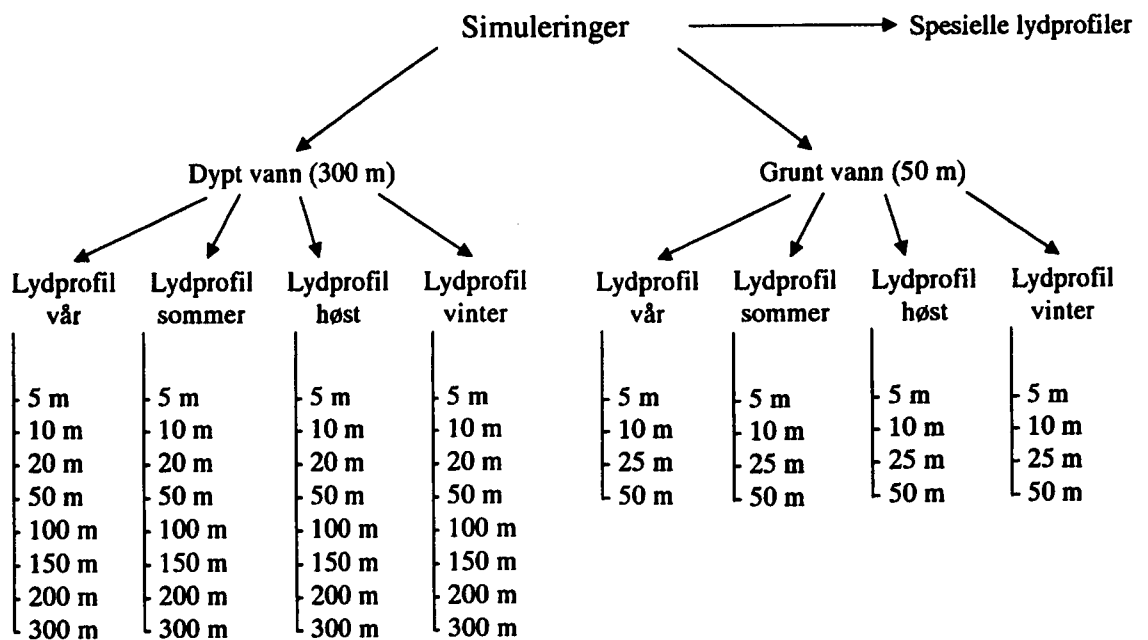
Navn	Verdi	Påvirkning	Forklaring
Avstand horisontalt	300 m	Kun for presentasjon	Synlig område horisontalt
Avstand vertikalt	300 m ¹	Kun for presentasjon	Synlig område vertikalt
Vindstyrke	6,5 m/s	Liten	Valgt ut fra værdata på Flesland
Antall stråler	91/37 ²	Kun for presentasjon	Antall stråler vist i lydbanevinduet
Antall refleksjoner	0	Kun for presentasjon	Antall refleksjoner i bunn og overflate
Dempning sidelobe	30 dB	TL	Dempning sidelobe i forhold til hovedlobe
Pulsform	FM	PD	Pulsform på utsendt puls
Pulslengde	50 ms	PD	Lengde på utsendt puls
Båndbredde filter	100 Hz	PD	Båndbredde til mottaker
Utgangseffekt	100 dB	PD	Effekt på utsendt signal
Bunntype (0–8)	4	TL	Middels reflektivitet (sandbunn)
Direktivitetsindeks	28 dB	PD	Retningsfølsomhet
Åpningsvinkel	180 °	PD, lydbaner	Sonarens åpningsvinkel
Tilt	0 °	PD, lydbaner	Sonarens vinkling opp/ned. Ved null grader ser den rett fremover.
Frekvens	100 kHz	TL, PD	Sonarens frekvens

Tabell 3.1 Parameterverdier under simulering med LYBIN. "TL" står for "Transmission Loss" (transmisjonstap/dempning), mens "PD" står for "Probability of Detection" (deteksjonssannsynlighet)

1. Det er brukt en kortere avstand i noen tilfeller for lettere å se lydets avbøying
2. Antall stråler er variert noe for å få fram eventuelle avbøyninger i lydbanene

Verdien for vindstyrke på 6,5 m/s er valgt ut fra værdata for Flesland. I perioden 1990 til 1999 lå 90 prosent av alle værmålinger på dette stedet under 6,5 m/s. Åpningsvinkel på 180 grader er valgt for å få størst mulig dekningsområde for hver simulering. Med et kjent antall grader mellom hver stråle i lydbanediagrammet, kan ideell tilt og åpningsvinkel velges ut fra simuleringresultatene. Refleksjoner fra bunn og overflate er ikke tatt med i simuleringen fordi bildene som viser lydbaner fort vil bli uoversiktlige og dekkes helt med stråler (dempningen vises ikke i strålene).

Parametrene som ble variert ved de forskjellige simuleringene var plassering av sonar (dybde) og lyd hastighetsprofil. En oversikt over de utførte simuleringene er vist i figur 3.1. Simuleringresultatene er gitt i kapittel 4 til 6.



Figur 3.1 Oversikt over utførte simuleringer

4 SIMULERINGER DYPT VANN

Ved simuleringer for dypt vann er dybden ved sonaren på ca 300 m. Lydbanene blir vist med 91 stråler, som tilsvarer 2 grader mellom hver stråle. Reflekterte stråler fra bunn og overflate er ikke tatt med i resultatet. Lydprofilene blir gjengitt ved siden av strålebanene, men det blir også referert til de mer detaljerte profilene i kapittel 2.

4.1 Sommer

Figur 4.1 og 4.2 viser resultatene fra simulering av sommerprofil ved dypt vann, med sonaren plassert i ulike dybder. Lydhastighetsprofilen fra september, vist i figur 2.5, har maksimum ved overflaten, synker nedover til ca 100 m, for så å stige noe igjen på grunn av dybden. Reduksjon i lydhastighet under overflaten fører til at lyden bøyes noe nedover i dette området (fra overflaten og ned til 100 m). Ved plassering av sonaren på 10, 20 eller 50 m dyp, bøyes lyden som sendes rett ut fra sonaren ca 10 m ned på en strekning på 300 m. Ved plassering på 5 m dyp er tilsvarende avbøyning 5 m. Dette vil på avstand gi en dødsone nær overflaten for de minste sonardybene. Ved plassering på 100 m eller dypere vil det ikke være noen særlig avbøyning av lyden. Sonaren er da plassert under "knekkpunktet" på lydhastighetsprofilen.

4.2 Høst

Figur 4.3 og 4.4 viser resultatene fra simulering av høstprofil ved dypt vann. Lydhastighetsprofilen fra desember (vist i figur 2.8) har minimum ved overflaten, og et lokalt maksimum ved 100 m dyp. Mellom 100 og 300 m dyp er det liten endring i lydhastighet. Dette fører til at lyden vil bøyes noe oppover nær overflaten. Ved plassering av sonaren på 5, 10 eller 15 m dyp, vil lyden som sendes rett ut fra sonaren bøyes opp med ca 5 m på en strekning på 300 m. Ved plassering av sonaren på 50 m eller dypere, vil det være veldig liten avbøyning.

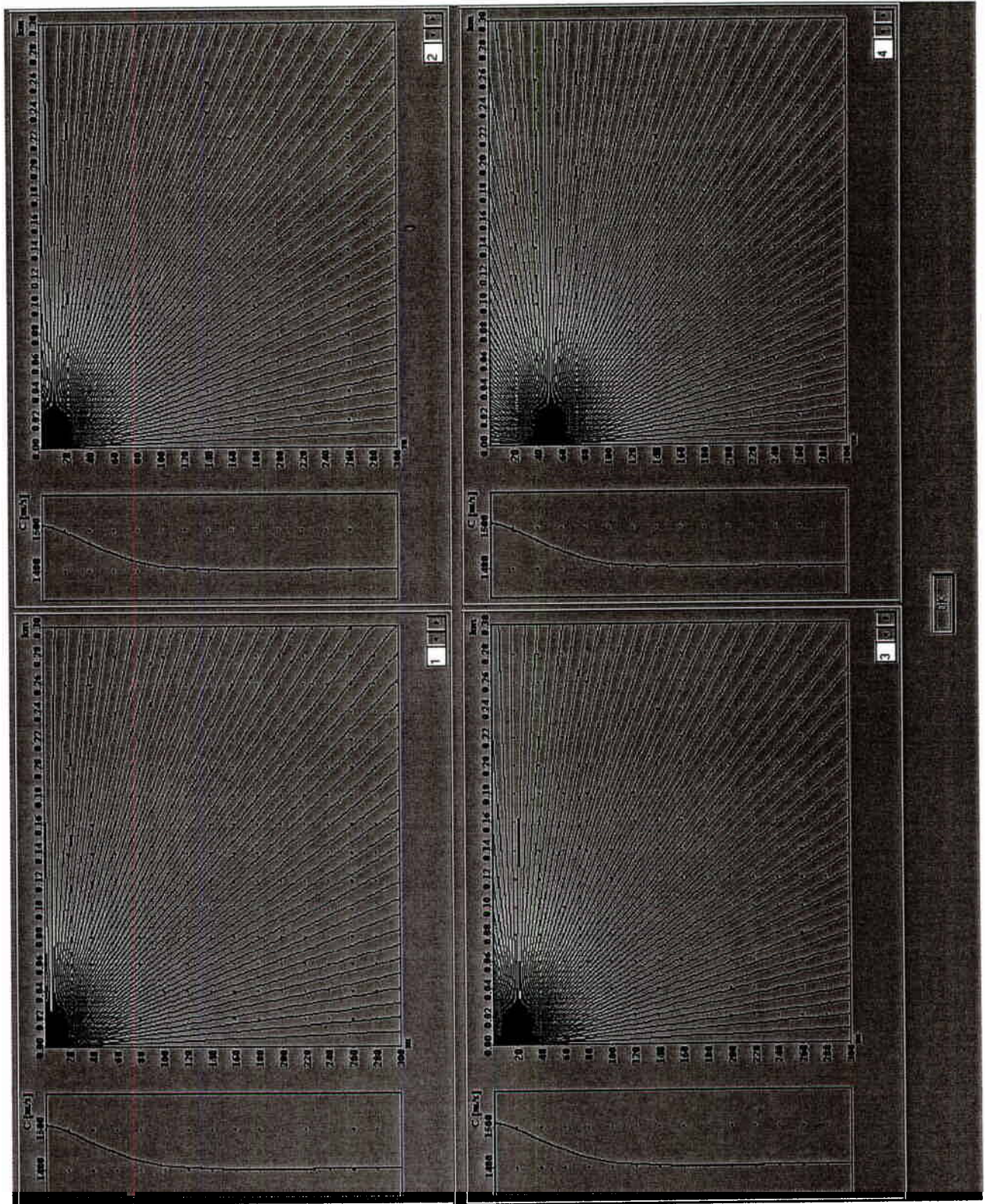
4.3 Vinter

Figur 4.5 og 4.6 viser resultatene fra simulering ved dypt vann med lydhastighetsprofil for vinter. Lydhastighetsprofilen (vist i figur 2.6) har omtrent samme form som høstprofilen, med minimum ved overflaten. Lyden vil også her bøyes noe oppover ved plassering av sonaren grunnere enn 100 m. Med sonaren plassert på 50 m, vil lyden som sendes rett ut fra sonaren bøyes opp ca 2 m på en strekning på 300 m. Med plassering på 5, 10 og 20 m dyp er det veldig liten avbøyning.

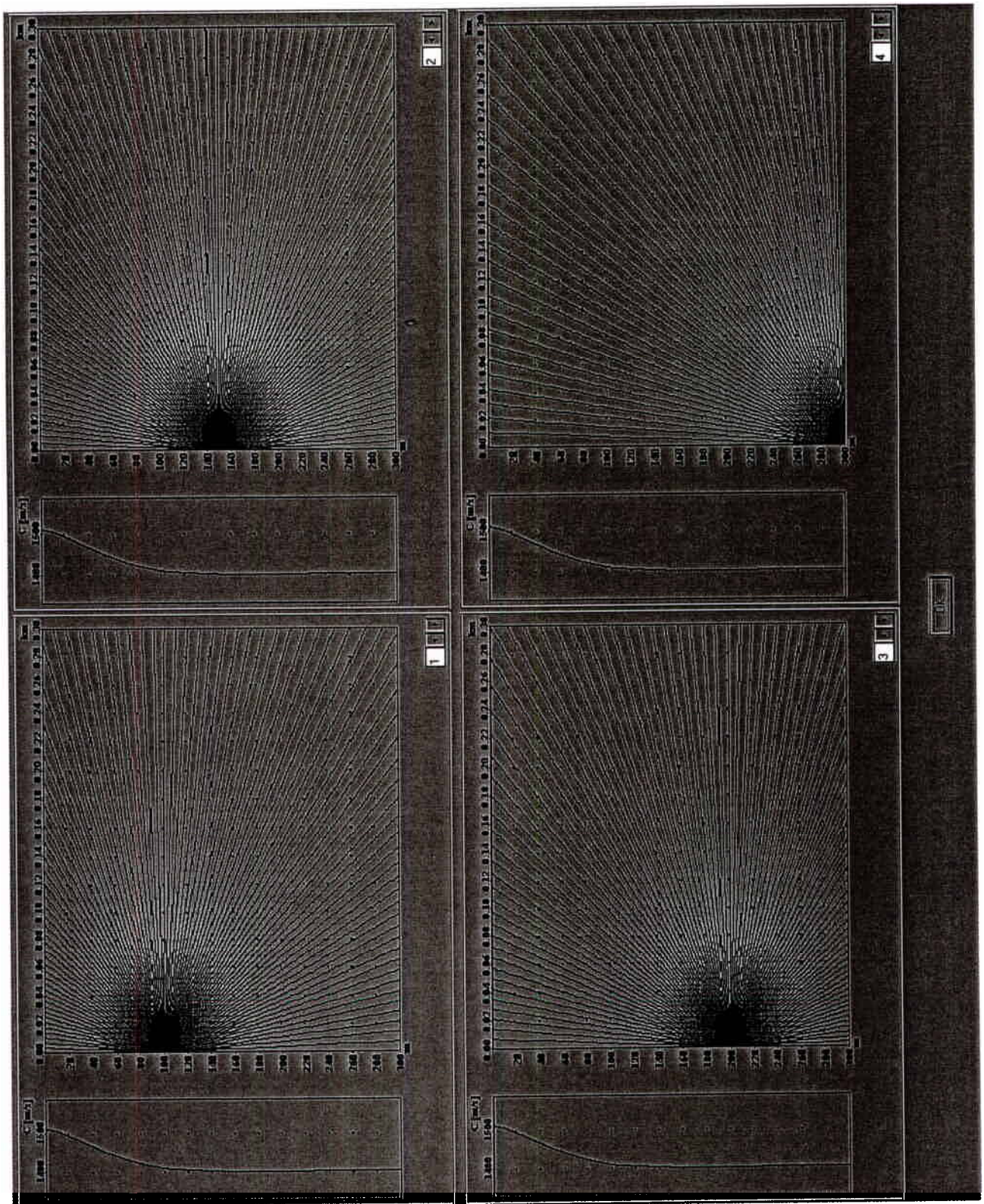
4.4 Vår

Figur 4.7 og 4.8 viser resultatene fra simulering ved dypt vann med lydprofil for vår (vist i figur 2.7). Vårprofilen har omtrent samme form som profilen for sommer, men med knekkpunktet (minimumspunkt) høyere opp (på 50 m dyp). Stigningen i lydhastighet opp mot overflaten fører til at lyden bøyes noe nedover i overflateområdet (ned til ca 50 m). Ved plassering av sonaren grunnere enn 50 m, vil lyden som sendes rett ut fra sonaren bøyes

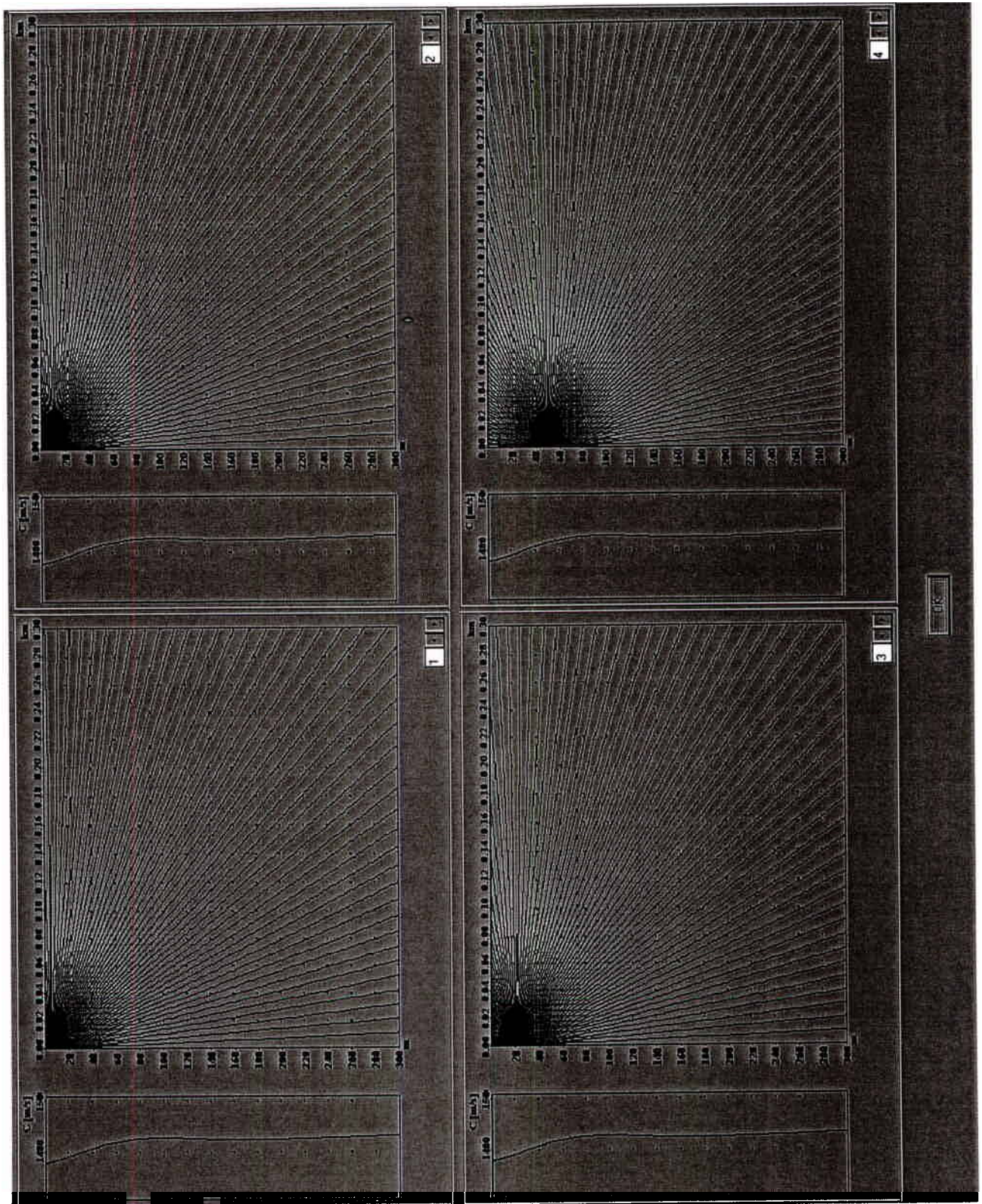
ned med ca 10 m på en strekning på 300 m. Dette vil på avstand gi en dødsone nær overflaten for de minste sonardybdene.



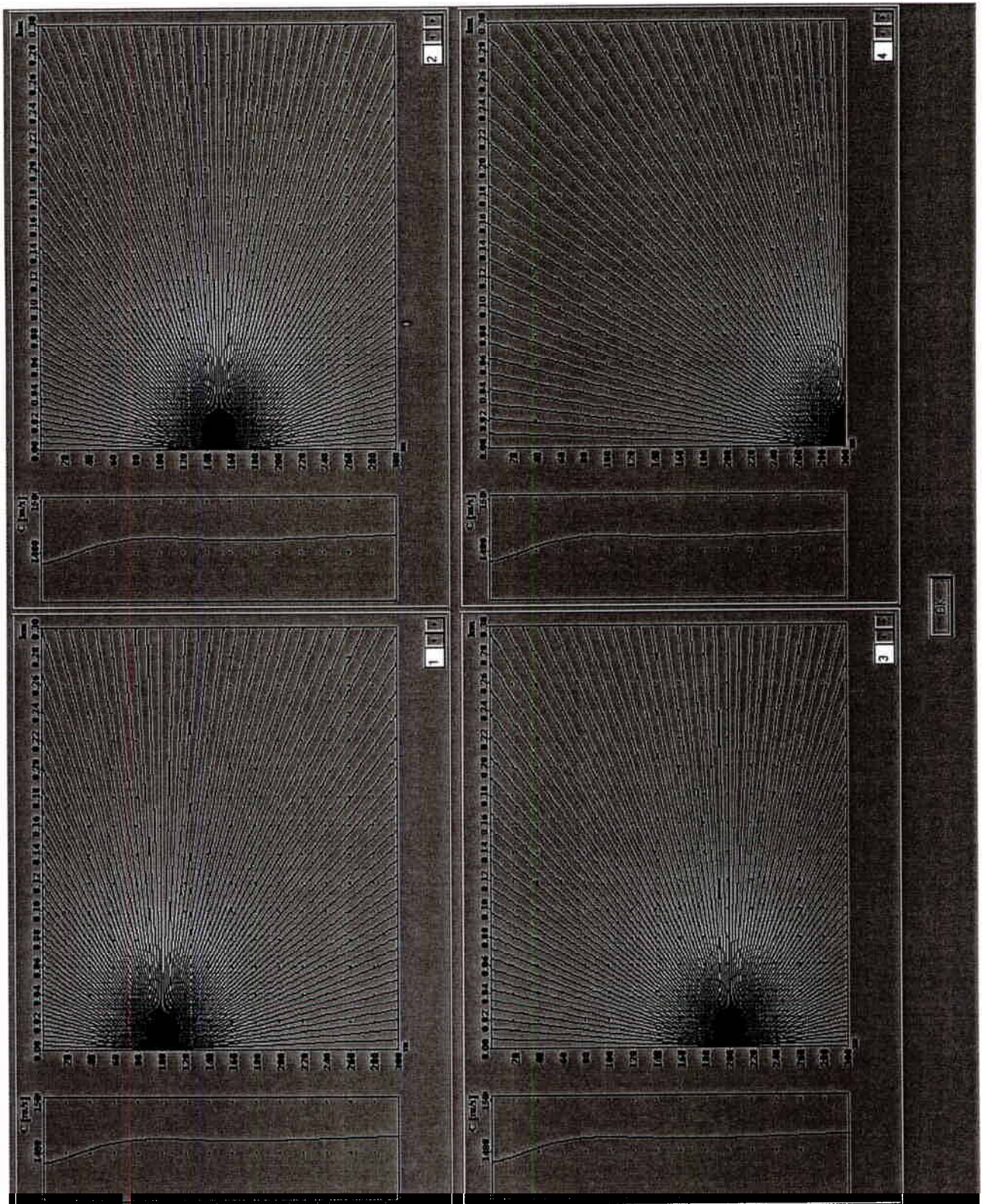
Figur 4.1 Lydbaner ved simulering i dypt vann med sommerprofil. Sonaren er plassert på 5, 10, 20 og 50 meters dyp. Det er tegnet 91 stråler, som tilsvarer 2 grader mellom hver stråle



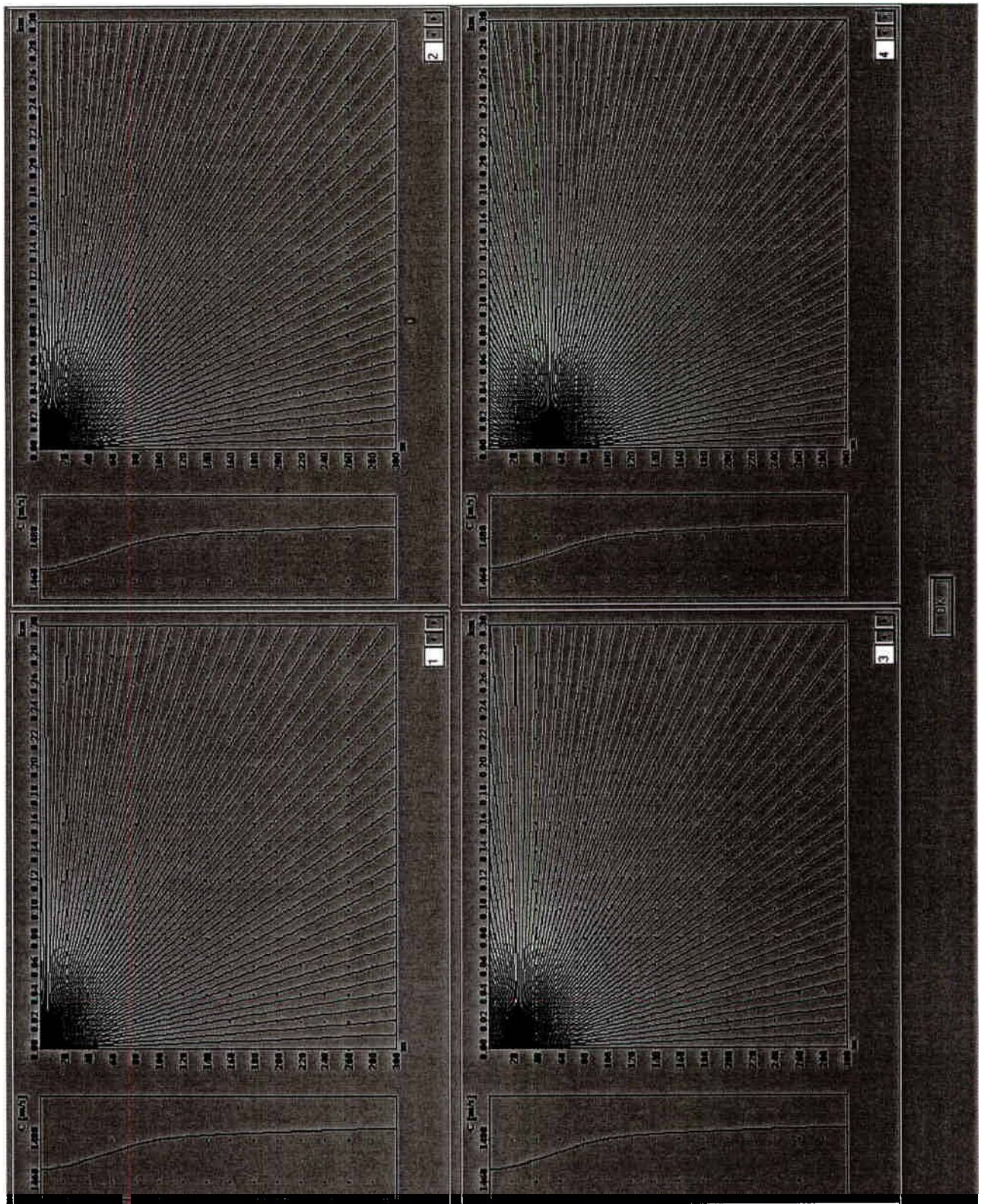
Figur 4.2 Lydbaner ved simulering i dypt vann med sommerprofil. Sonaren er plassert på 100, 150, 200 og 300 meters dyp. Det er tegnet 91 stråler, som tilsvarer 2 grader mellom hver stråle



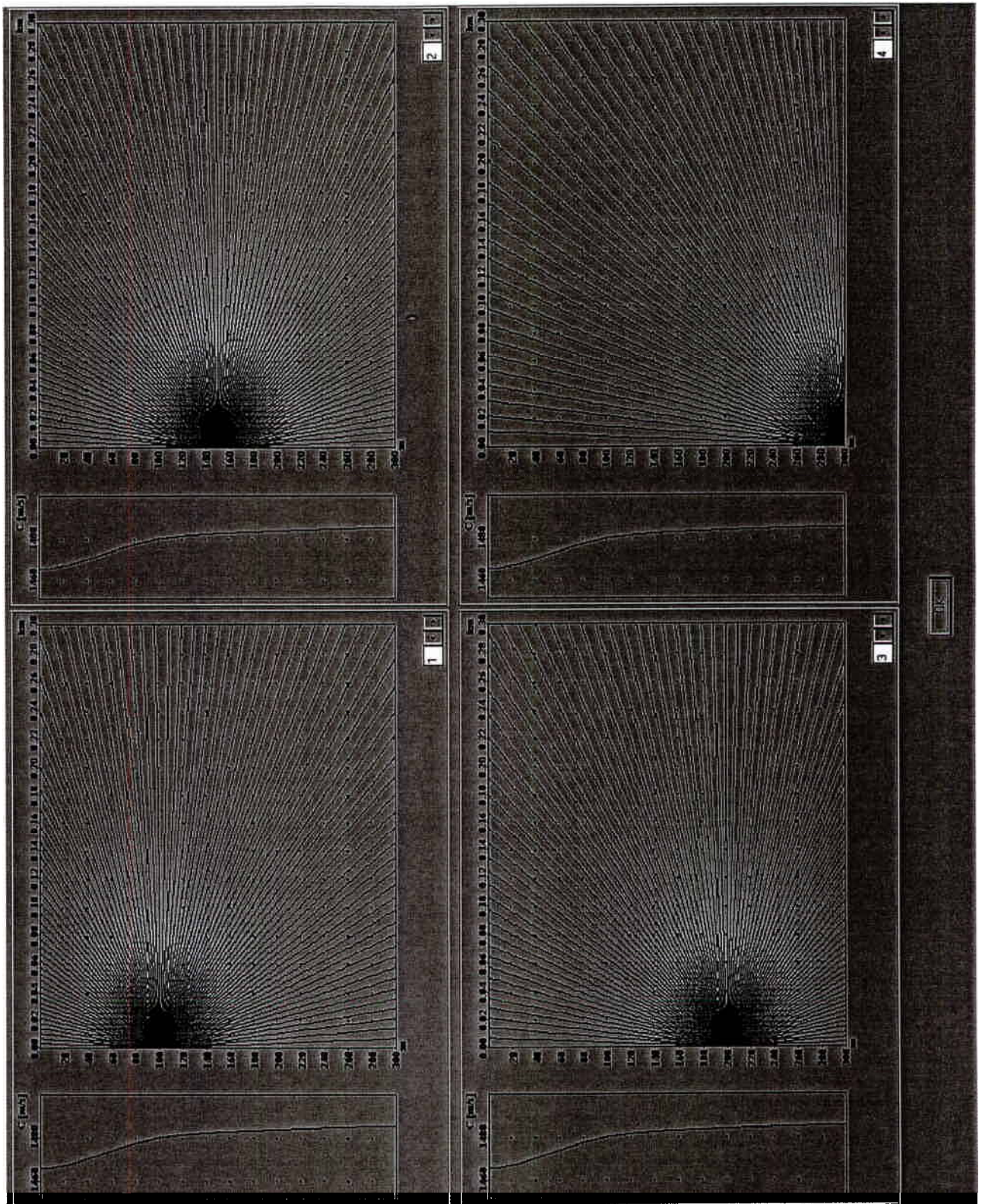
Figur 4.3 Lydbaner ved simulering i dypt vann med høstprofil. Sonaren er plassert på 5, 10, 20 og 50 meters dyp. Det er tegnet 91 stråler, som tilsvarer 2 grader mellom hver stråle



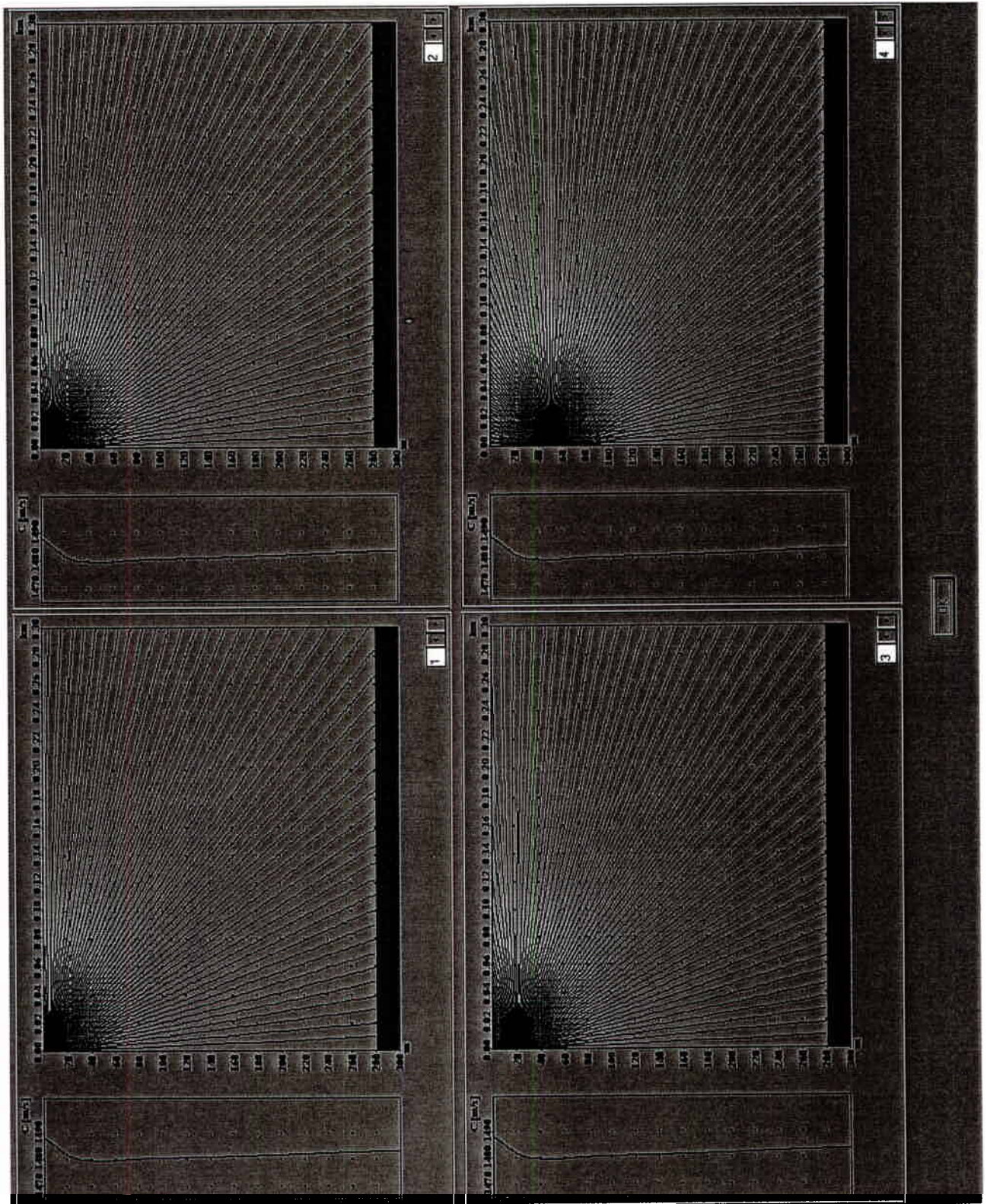
Figur 4.4 Lydbaner ved simulering i dypt vann med høstprofil. Sonaren er plassert på 100, 150, 200 og 300 meters dyp. Det er tegnet 91 stråler, som tilsvarer 2 grader mellom hver stråle



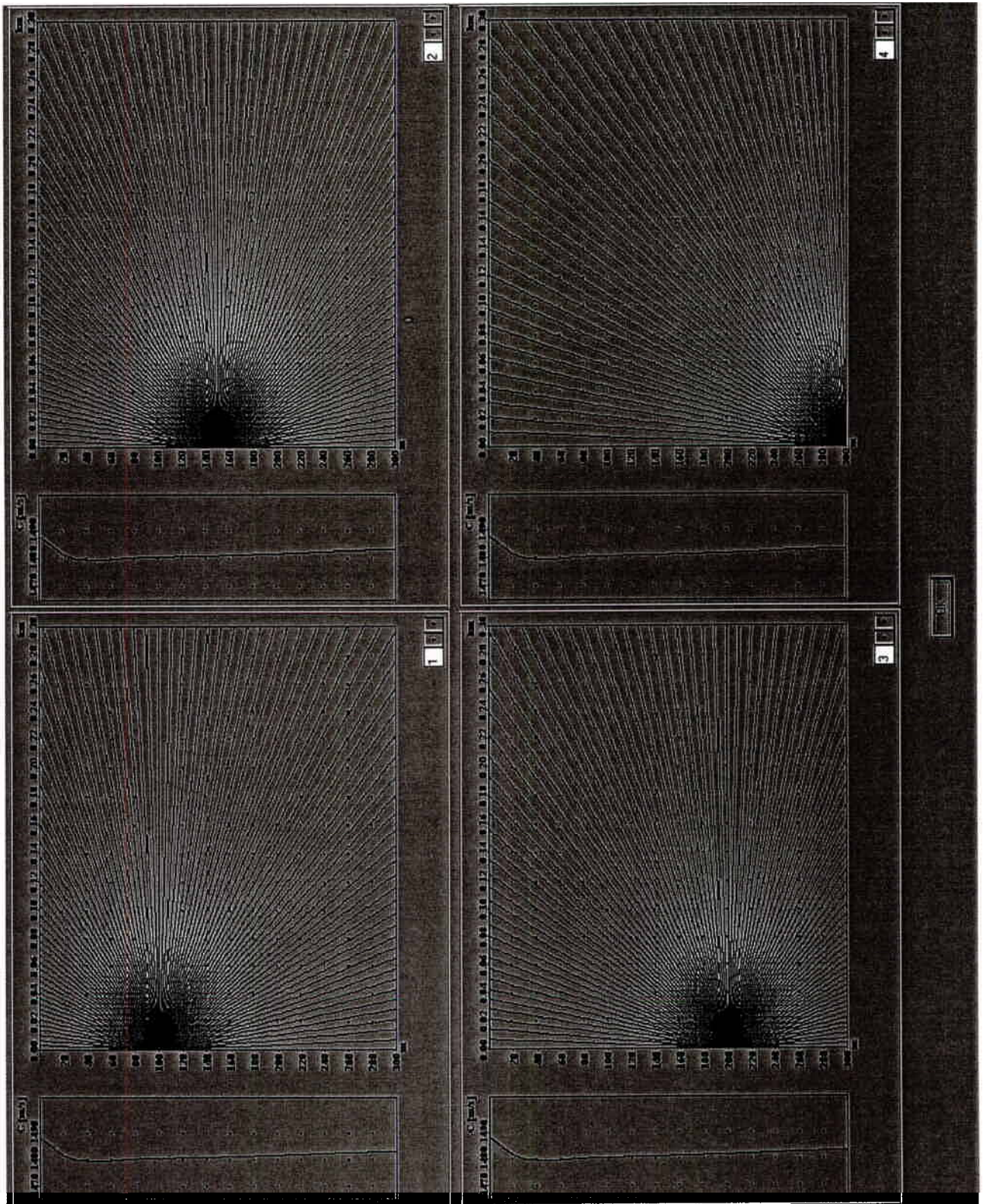
Figur 4.5 Lydbaner ved simulering i dypt vann med vinterprofil. Sonaren er plassert på 5, 10, 20 og 50 meters dyp. Det er tegnet 91 stråler, som tilsvarer 2 grader mellom hver stråle



Figur 4.6 Lydbaner ved simulering i dypt vann med vinterprofil. Sonaren er plassert på 100, 150, 200 og 300 meters dyp. Det er tegnet 91 stråler, som tilsvarer 2 grader mellom hver stråle



Figur 4.7 Lydbaner ved simulering i dypt vann med vårprofil. Sonaren er plassert på 5, 10, 20 og 50 meters dyp. Det er tegnet 91 stråler, som tilsvarer 2 grader mellom hver stråle



Figur 4.8 Lydbaner ved simulering i dypt vann med vårprofil. Sonaren er plassert på 100, 150, 200 og 300 meters dyp. Det er tegnet 91 stråler, som tilsvarer 2 grader mellom hver stråle

5 SIMULERINGER GRUNT VANN

Ved simuleringer for grunt vann er havbunnen tegnet inn. Dybden ved sonaren er på 50–54 m. Lydbanene blir vist med 37 stråler, som tilsvarer 5 grader mellom hver stråle. Reflekterte stråler fra bunn og overflate er ikke tatt med i resultatet. Lydprofilene blir gjengitt ved siden av strålebanene, men det blir også referert til de mer detaljerte profilene i kapittel 2. Lydprofilene som gjengis sammen med strålebanene er tegnet helt ned til 300 m, mens data for profilene kun er gitt ned til 50 m. LYBIN legger selv inn en forlengelse av profilen basert på konstant temperatur og saltinnhold. Dette har ikke noe å si for resultatet, siden det kun er simulert ned til 50 m.

5.1 Sommer

Figur 5.1 viser resultatene fra simulering ved grunt vann med lydshastighetsprofil fra september måned. Sommerprofilen (fra figur 2.11) er ganske rett, men det er en liten økning av lydshastigheten fra overflaten og ned til 10 m dyp. Fra 30 til 50 m dyp avtar lydshastigheten noe. Dette vil ikke føre til noen stor avbøying av lyden. Ved plassering av sonaren på 5 m dyp, bøyes lyden som sendes rett fremover opp ca 5 m på 300 m avstand.

5.2 Høst

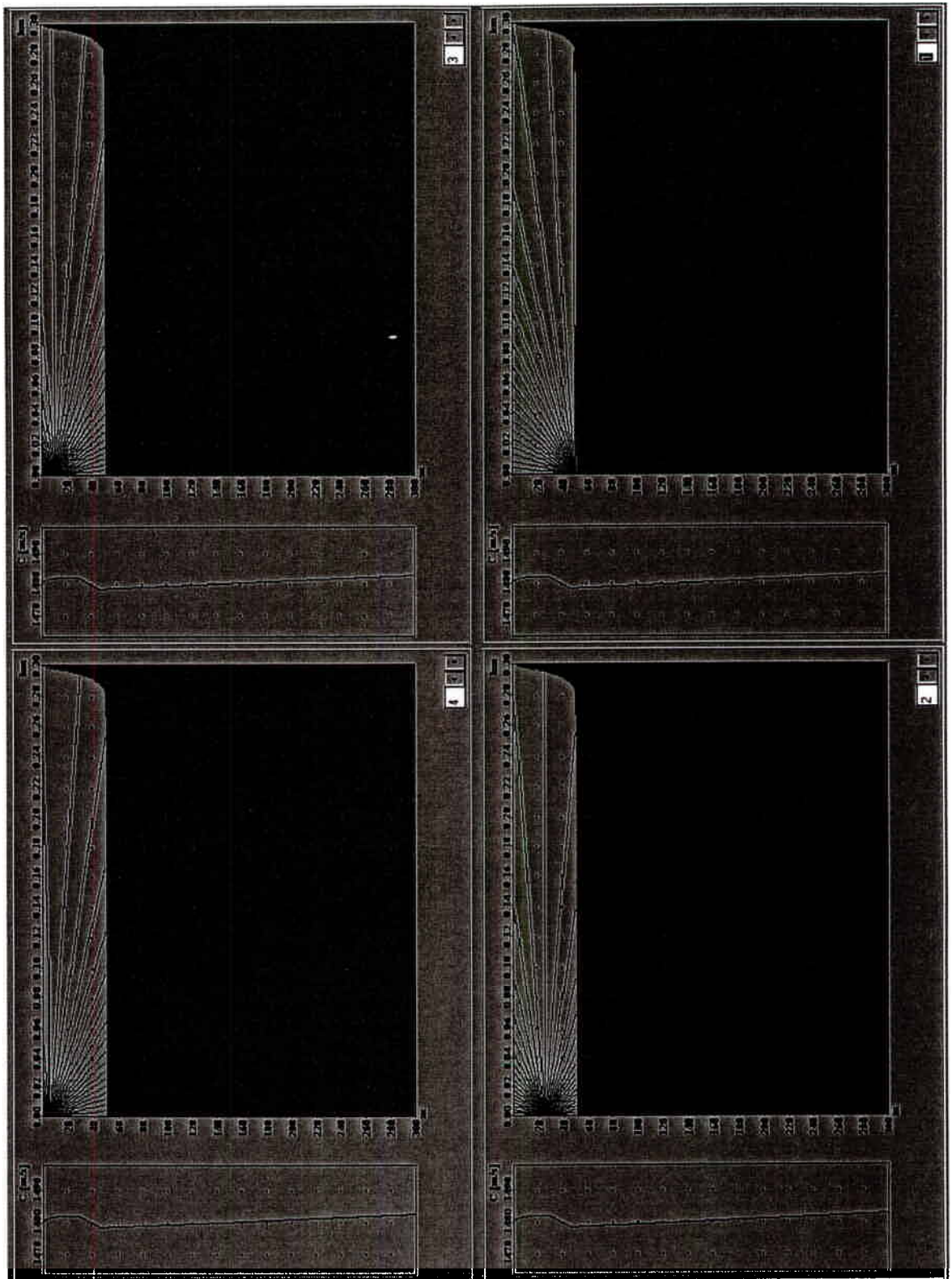
Figur 5.2 viser resultatene fra simulering ved grunt vann med lydshastighetsprofil fra desember. Høstprofilen (fra figur 2.14) har et minimum ved overflaten, og øker svakt med økende dybde. Lydsvævingen vil være svak, og sterkest ved plassering av sonaren på 5 m dyp. Der vil lyden som sendes rett fremover bøyes opp ca 5 m på 300 m avstand.

5.3 Vinter

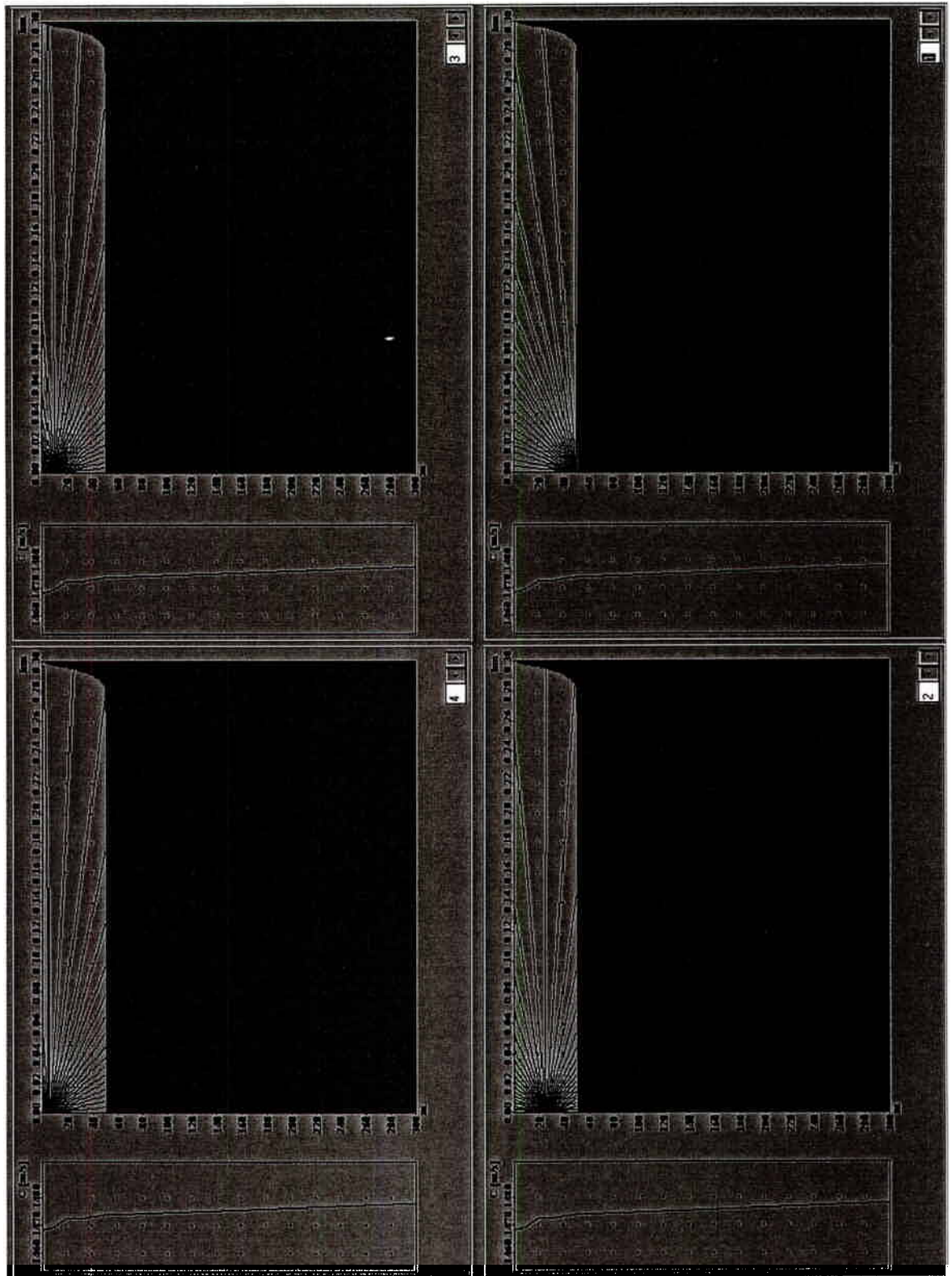
Figur 5.3 viser resultatene fra simulering ved grunt vann med lydshastighetsprofil fra mars måned. Vinterprofilen (fra figur 2.12) er forholdsvis rett, med minimum i overflaten og svakt økende lydshastighet nedover. Dette fører til en svak bøyning oppover. Avbøyningen er på ca 2 m ved 300 m avstand, med plassering av sonaren på 10 m dyp.

5.4 Vår

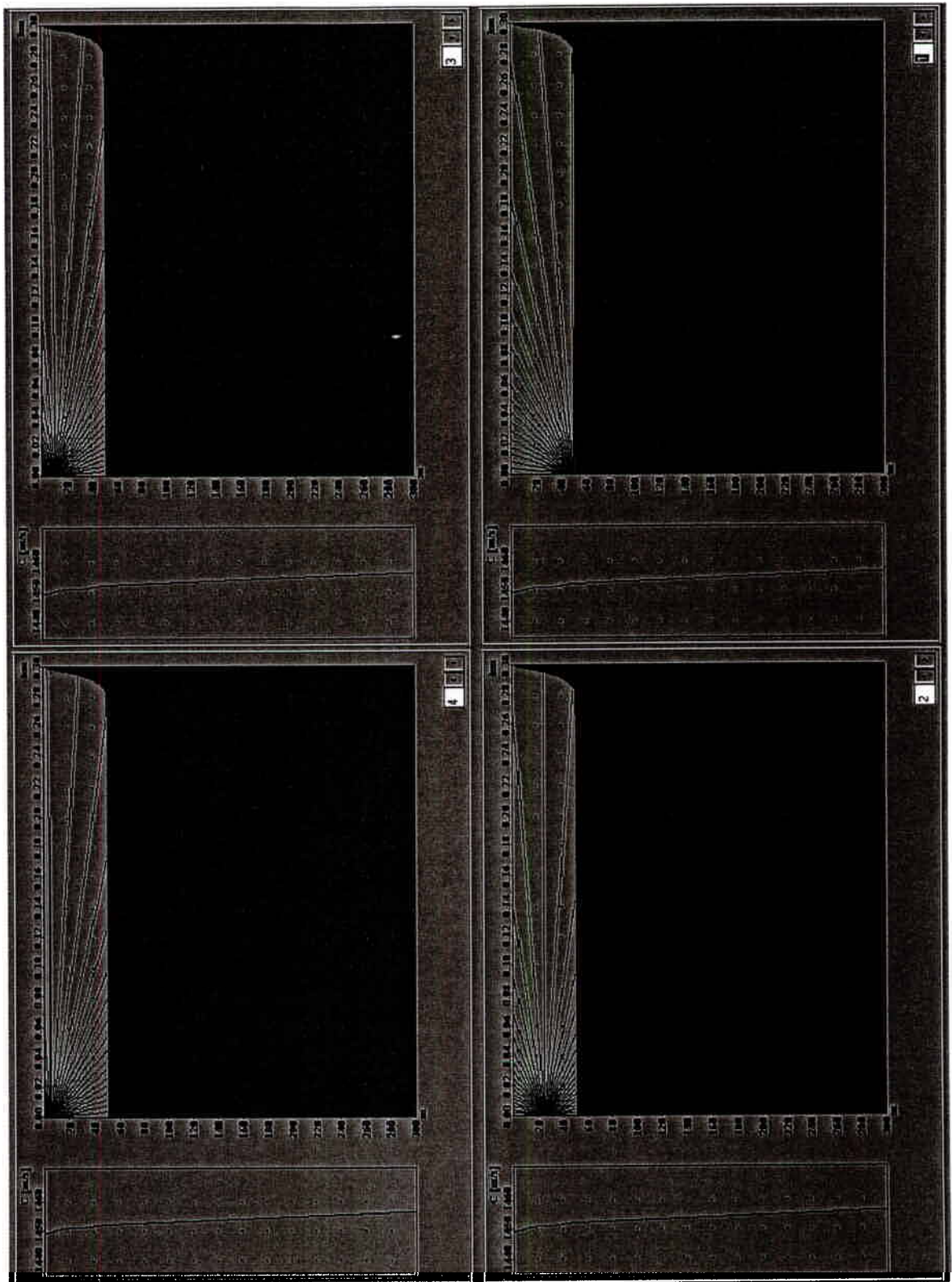
Figur 5.4 viser resultatene fra simulering ved grunt vann med lydshastighetsprofil fra juni. Vårprofilen (fra figur 2.13) har et maksimum nær overflaten, og relativt kraftig (i forhold til profilene for sommer, høst og vinter) avtagning i lydshastigheten nedover. Dette fører til en bøyning ned på nesten 15 m på 300 m ved plassering av sonaren på 5 m dyp. Med sonardybde på 5 m vil det bli en blindsoner ved overflaten for avstander over ca 180 m fra sonaren. Blindsonen forflyttes gradvis utover ved større sonardybder, og for 15 m dybde er den forskjøvet ut til ca 350 m. Disse blindsonene vil delvis dekkes av refleksjoner fra overflaten.



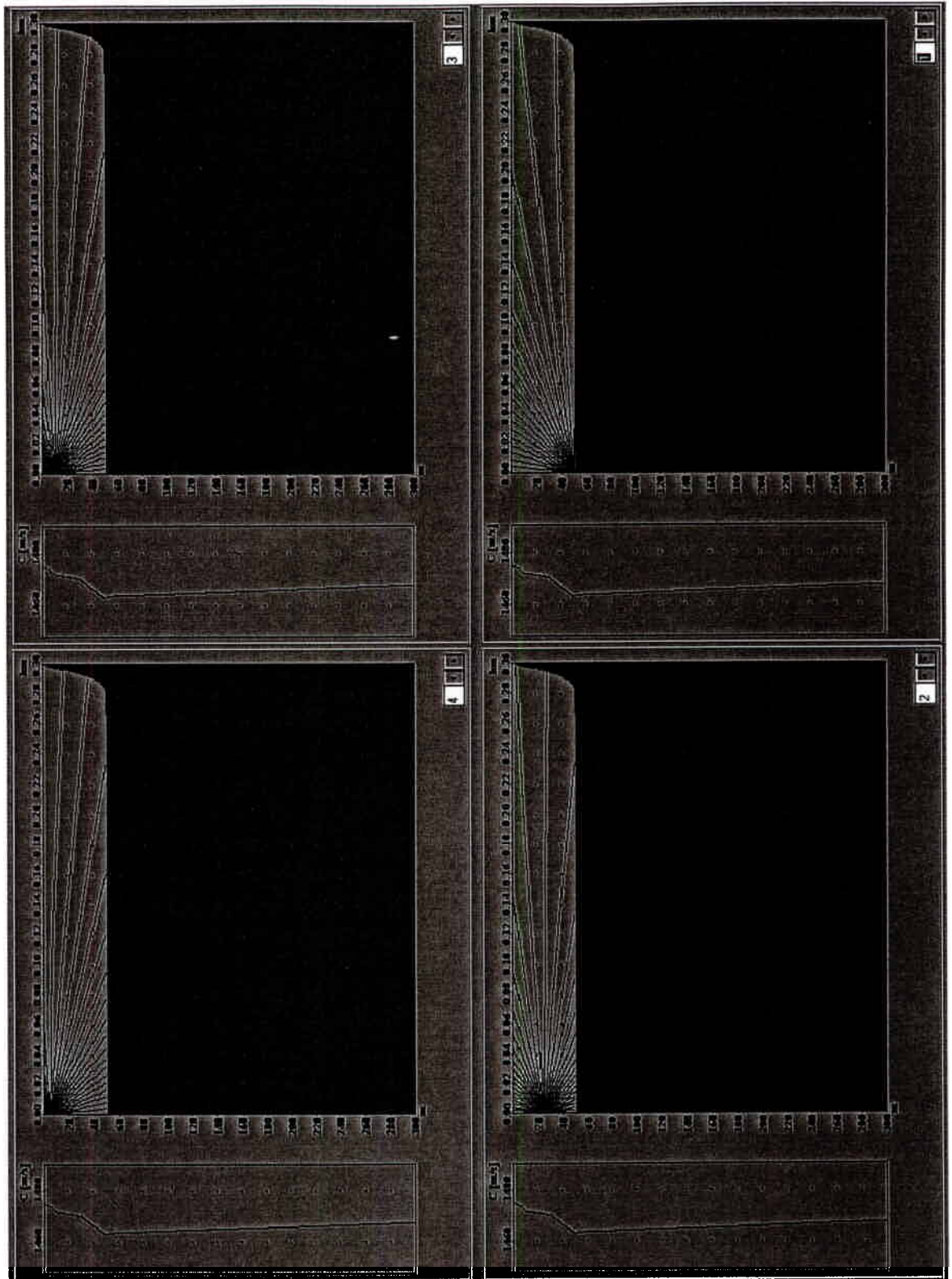
Figur 5.1 Lydbaner ved simulering i grunt vann med sommerprofil. Sonaren er plassert på 5, 10, 25 og 50 meters dyp. Det er tegnet 37 stråler, som tilsvarer 5 grader mellom hver stråle



Figur 5.2 Lydbaner ved simulering i grunt vann med høstprofil. Sonaren er plassert på 5, 10, 25 og 50 meters dyp. Det er tegnet 37 stråler, som tilsvarer 5 grader mellom hver stråle



Figur 5.3 Lydbaner ved simulering i grunt vann med vinterprofil. Sonaren er plassert på 5, 10, 25 og 50 meters dyp. Det er tegnet 37 stråler, som tilsvare 5 grader mellom hver stråle



Figur 5.4 Lydbaner ved simulering i grunt vann med vårprofil. Sonaren er plassert på 5, 10, 25 og 50 meters dyp. Det er tegnet 37 stråler, som tilsvarer 5 grader mellom hver stråle

6 SIMULERING MED SPESIELLE LYDPROFILER

Lydprofilene som ble brukt under simulering for sommer, høst, vinter og vår for dypt og grunt vann hadde ingen brå overganger i lyd hastighet. Det var ingen utpregede sjikt i vannet for de utvalgte profilene. En årsak til dette var at lydprofilene som ble brukt var midlet over tid. For å se hvordan lyden forplanter seg også ved sjiktdannelser og litt spesielle profiler, ble det valgt ut enkelte spesielle lydprofiler for simulering.

Sognesjøen april 2000

Lyd hastighetsprofilen fra Sognesjøen i april 2000 (fra figur 2.15) viser en rask økning av lyd hastighet fra overflaten og ned til 50 m dyp. Lydprofilen viser også et sjikt med avtagende lyd hastighet mellom 10 og 20 m dyp.

Figur 6.1 viser at lyden bøyes av nedover og mot overflaten når sonaren er plassert på 10 m dyp, i starten av sjiktet. For å studere effekten til sjiktet med større nøyaktighet er det kjørt en simulering med 1801 stråler, som tilsvarer 0,1 grad mellom hver stråle. Resultatet av denne simuleringen er vist i figur 6.2. For å få større oppløsning vertikalt er det presenterte utsnittet redusert til 50 m, mens simuleringen er foretatt med full dybde. Ved plassering av sonaren på 5 og 10 m dyp oppstår det dødsoner på henholdsvis 7 og 10 m ved en avstand på 300 m, men det vil være dårlig dekning for et større område (dødsoner oppstår allerede ved en avstand fra sonaren på rundt 100 m). Dersom sonaren plasseres under sjiktet, i dette tilfellet under 20 m, unngår man disse dødsonene. Figur 6.3 viser den samme simuleringen med opp til 3 km avstand. Dette bildet er tatt med for å vise hvordan problemene med avbøying øker over større avstander.

Sognesjøen mai 2000

Lyd hastighetsprofilen fra Sognesjøen i mai 2000 (fra figur 2.16) har et minimum fra 25 til 50 m dyp. Lyd hastigheten er høy ved overflaten, konstant ned til 10 m, og synker raskt ned til 25 m. Fra 50 til 100 m stiger hastigheten kraftig igjen.

Ved plassering av sonaren på 5, 10 eller 20 m dyp, vil det være en avbøying nedover av strålene som sendes rett ut fra sonaren (se figur 6.4). Med sonaren på 20 m dyp bøyes lyden ned rundt 12 m på 300 m avstand. Med sonaren plassert på 10 m dyp vil det være tendens til dødsoner på mellom 10 og 15 m dyp, ved avstand fra sonaren større enn 150 m

Siden lyden bøyes av mot områder med lavere hastighet, vil det med denne lyd hastighetsprofilen dannes en relativt kraftig lyd kanal mellom 25 og 50 m. Som vist på figur 6.5 a, er ikke lyd kanalen synlig ved korte avstander. På figur 6.5 b, som angir lyd banene fram til 3 km fra sonaren, kommer lyd kanalen tydelig fram.

Horten april 2000

Lyd hastighetsprofilen fra Horten i april 2000 er vist på figur 2.17. Profilen viser at det er høy lyd hastighet i overflaten, og et minimum på 0,5 m dyp. Denne profilen er tatt med for-

di prosjektet utførte målinger med sonar i Horten på dette tidspunktet, hvor det ble registrert avbøyninger av lyden som følge av lydprofilen (6). Sonaren var da plassert på 3 m dyp, og rettet horisontalt.

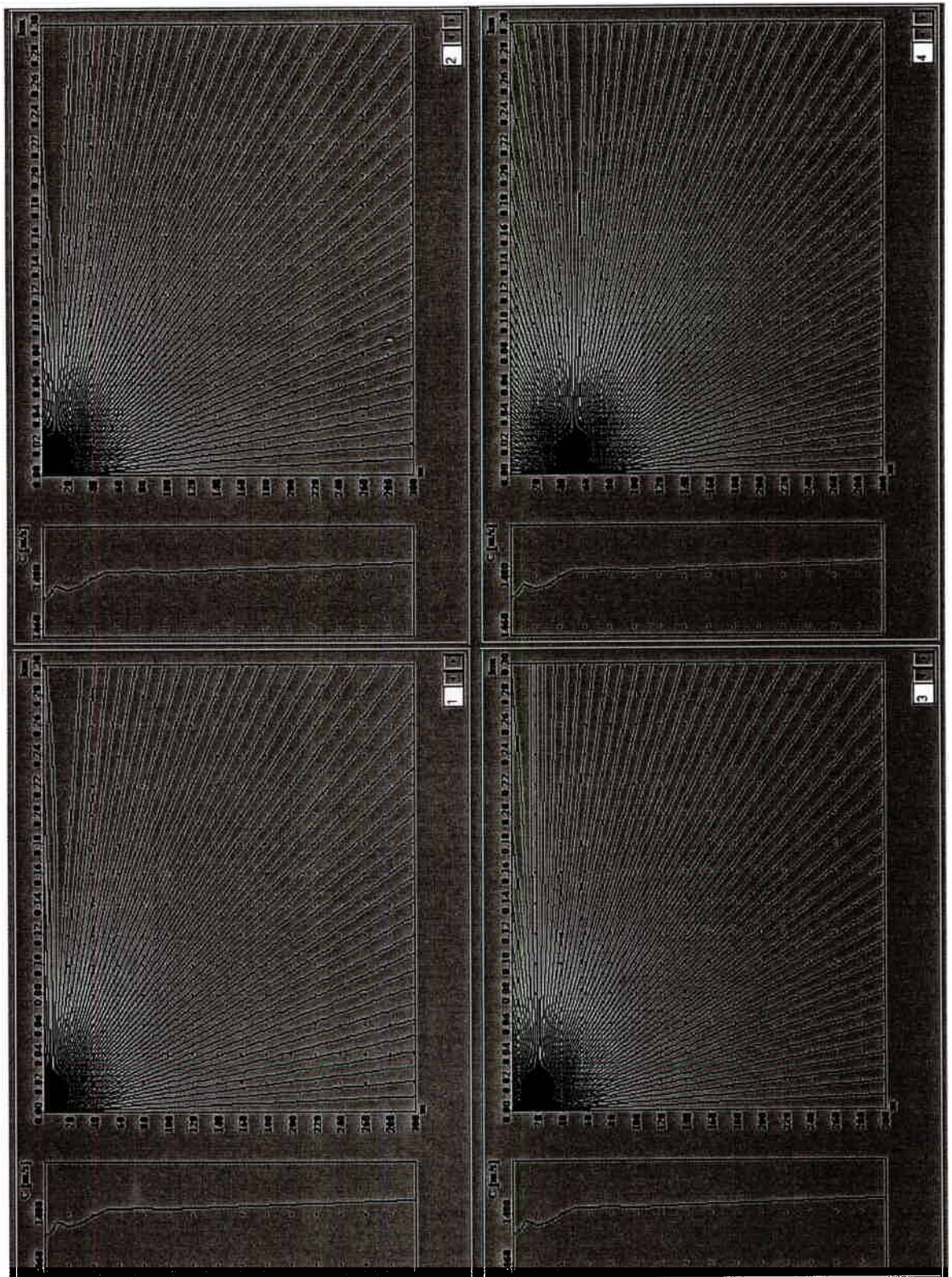
Simuleringsresultater for sonaren plassert på 3 og 5 m dyp er vist i figur 6.6. Bunnen er tegnet inn, og lydbanene er vist ned til 15 m dyp for lettere å se avbøyningen. Med sonaren plassert på 3 m dyp oppstår det soner uten dekning (dødsoner) ved avstand fra sonar på mer enn 40 m. Med sonaren på 5 m dyp er det dødsoner allerede ved 20 m fra sonaren og utover. Det er et lokalt maksimumspunkt på lydprofilen ved 5 m dyp, som fører til at lyden bøyes av begge veier fra denne dybden. Dødsonene som vises på figuren vil dekkes av refleksjoner, men deteksjonsevnen vil avta kraftig for mindre objekter ved bølger.

Malangen Buvika juni 1999

Lydhastighetsprofilen fra Malangen Buvika juni 1999 er tidligere vist i figur 2.18. Av denne profilen ser vi at det er flere sjikt i vannet. Lydhastigheten har et minimum ved ca 20 m, et lokalt maksimum ved 50 m, og et lokalt minimum igjen rundt 125 m. Forskjellen i lydhastighet er ikke veldig stor (6 m/s), så for korte avstander vil ikke avbøyningen være av betydning. Ved større hastighetsforskjeller vil effektene bli synlige også på kortere avstand. Figur 6.7 viser lydbanene ut til 0,3 og 3 km fra sonaren for simulering med sonaren plassert på 50 m dyp. Denne dybden er midt på det lokale maksimumspunktet, og er den mest uheldige plasseringen siden lyden vil bøye av både oppover og nedover. Dette kommer tydelig frem på delfigur b.

Malangen Målsjord desember 1999

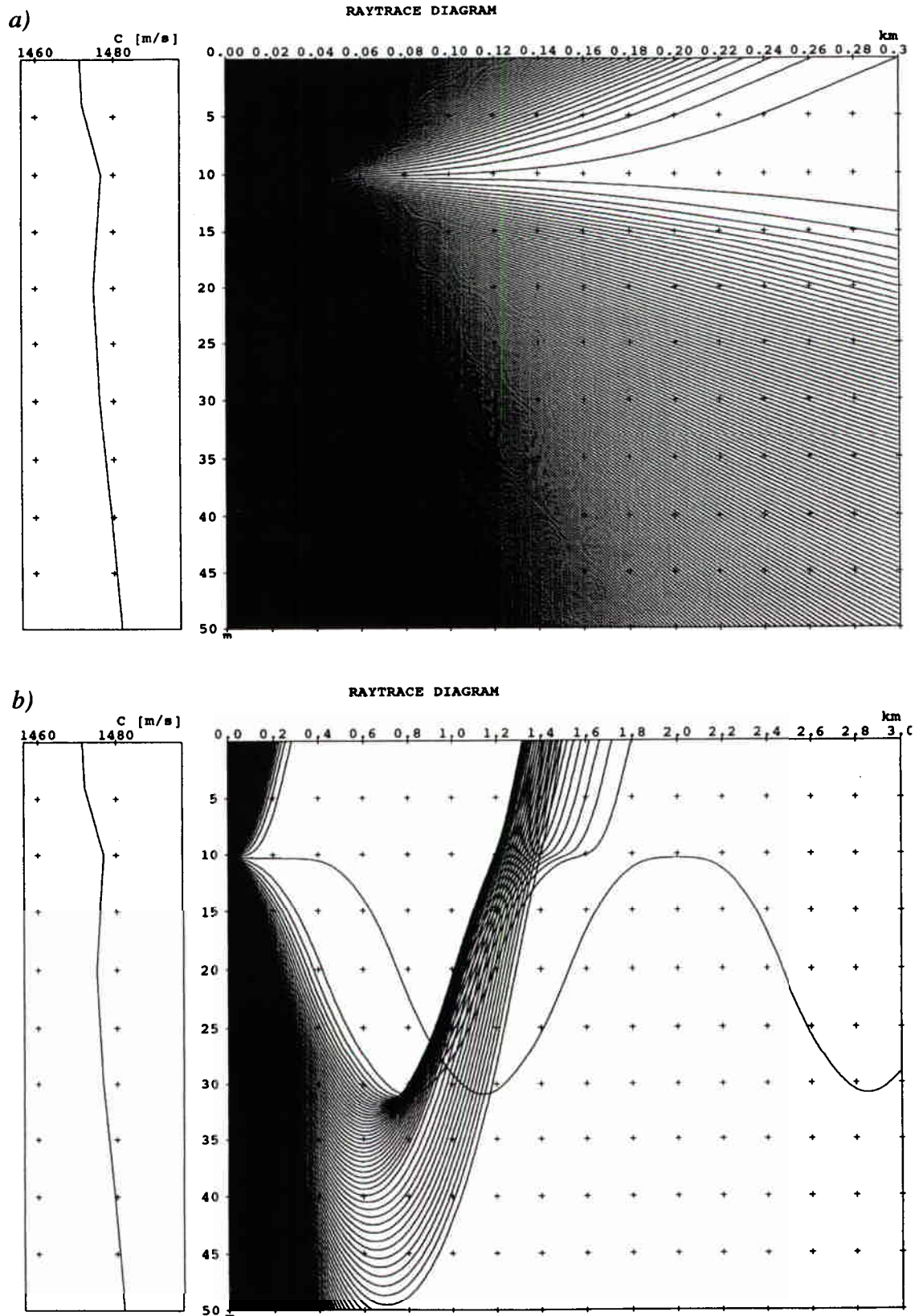
Lydhastighetsprofilen fra Malangen Målsjord desember 1999 er tidligere vist på figur 2.19. Lydhastigheten er veldig lav ved overflaten, mens den stiger kraftig ned til 10 m dyp. Forskjellen i lydhastighet er hele 30 m/s på 10 m, noe som vil føre til en kraftig avbøyning mot overflaten i dette området. For større dybder er lydhastigheten tilnærmet konstant. Figur 6.8 viser resultatet fra simulering med sonaren plassert på 5 m dyp. Med denne plasseringen vil det oppstå dødsoner under overflaten et stykke unna sonaren (fra 200 m og utover). Selve overflatesjiktet vil bli dekket av reflekterte stråler, men deteksjonsevnen vil da avta kraftig ved bølger. Ved å plassere sonaren dypere vil man unngå disse problemene.



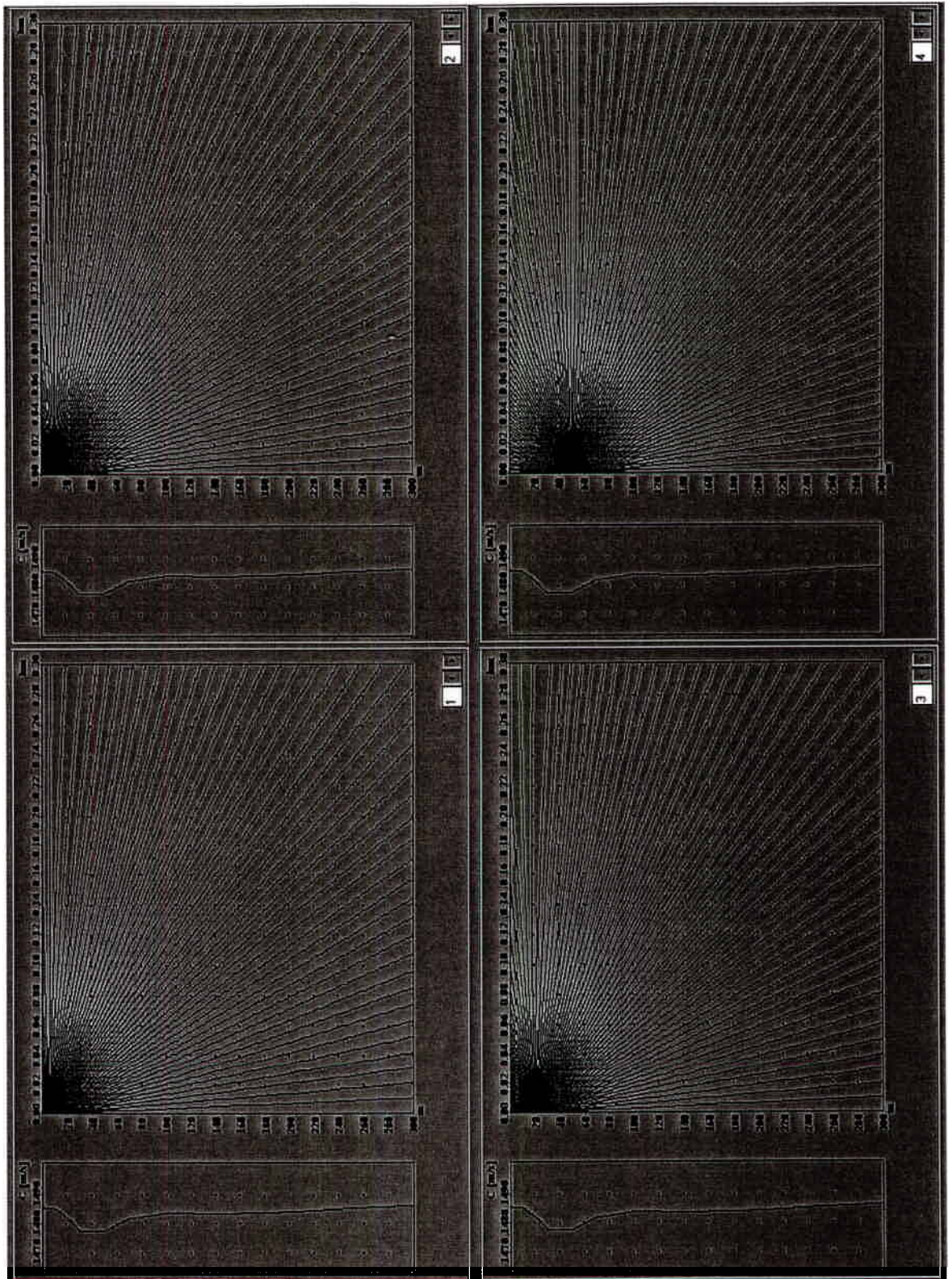
Figur 6.1 Lydbaner fra simulering av Sognesjøen april 2000. Sonaren er plassert på 5, 10, 20 og 50 meters dyp. Det er tegnet 91 stråler, som tilsvarer 2 grader mellom hver stråle



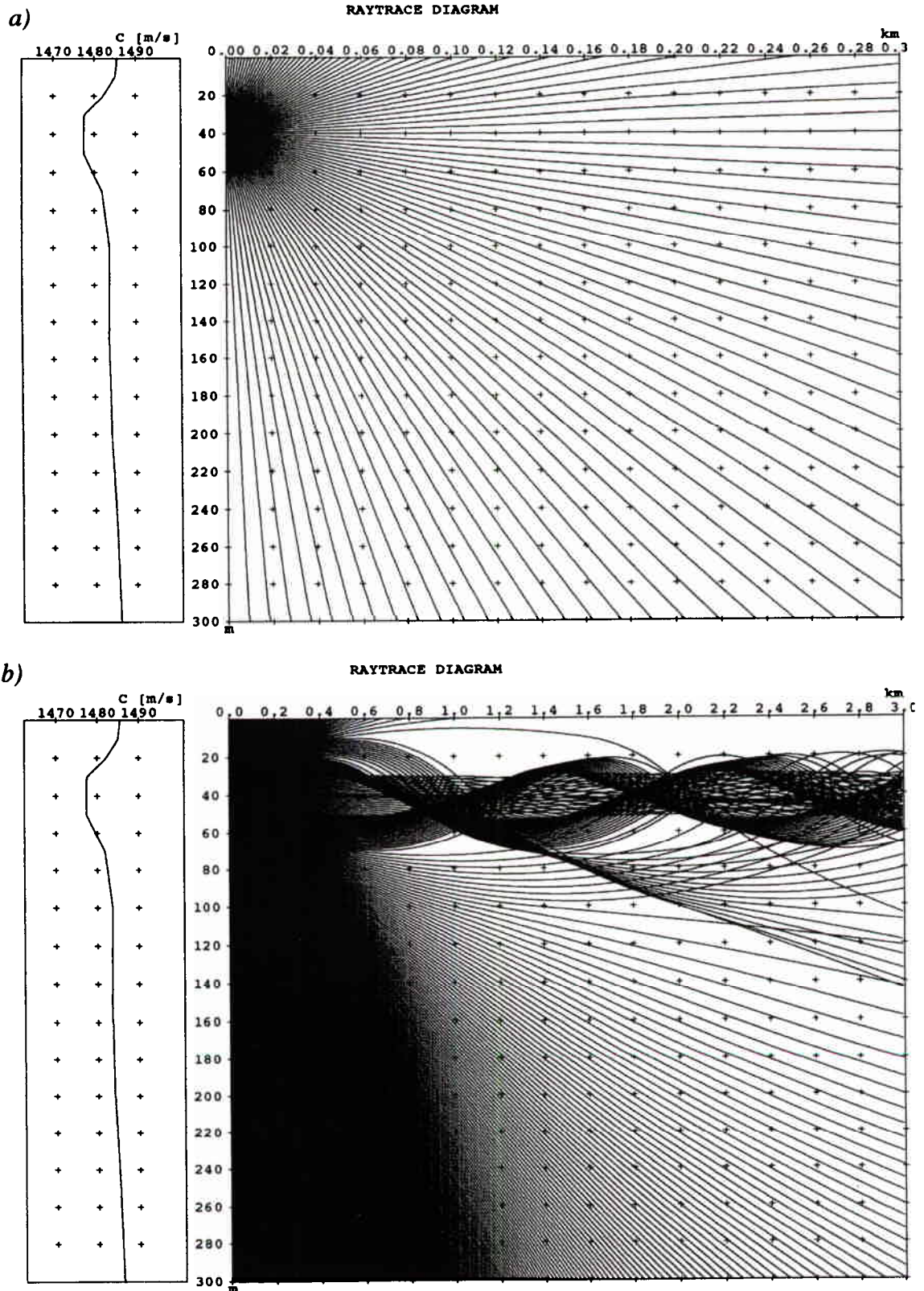
Figur 6.2 Lydbaner fra simulering av Sognefjorden april 2000. Sonaren er plassert på 5, 10, 20 og 50 meters dyp. Presentert utsnitt vertikalt er 0–50 m, mens simulert dybde er 300 m. Det er tegnet 1801 stråler, som tilsvarer 0,1 grad mellom hver stråle



Figur 6.3 Lydbaner fra simulering av Sognesjøen april 2000. Sonaren er plassert på 10 meters dyp. Presentert utsnitt vertikalt er 0–50 m, mens simulert dybde er 300 m. Utsnittet horisontalt er 300 m på delfigur a), og 3 km for delfigur b). Det er tegnet 1801 stråler, som tilsvarer 0,1 grad mellom hver stråle



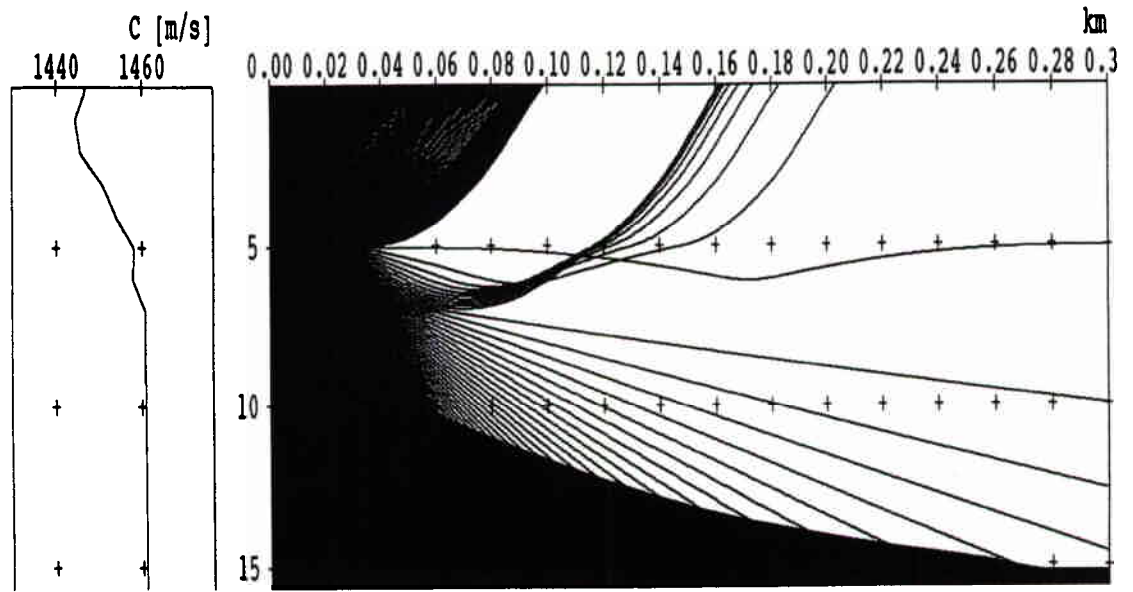
Figur 6.4 Lydbaner fra simulering av Sognesjøen mai 2000. Sonaren er plassert på 5, 10, 20 og 50 meters dyp. Det er tegnet 91 stråler, som tilsvarer 2 grader mellom hver stråle



Figur 6.5 Lydbaner fra simulering av Sognesjøen mai 2000, med sonaren plassert på 40 m dyp. På delfigur a) er horisontalt utsnitt 300 m, og avstand mellom strålene 2 grader. På delfigur b) er horisontalt utsnitt 3 km, og avstand mellom strålene 0,1 grad

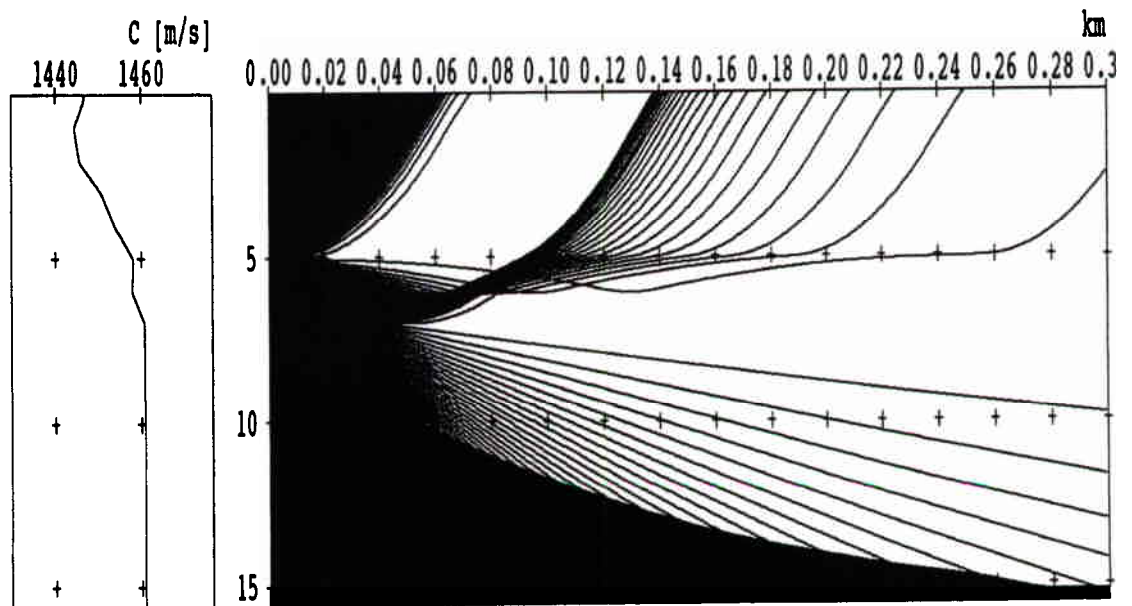
a)

RAYTRACE DIAGRAM

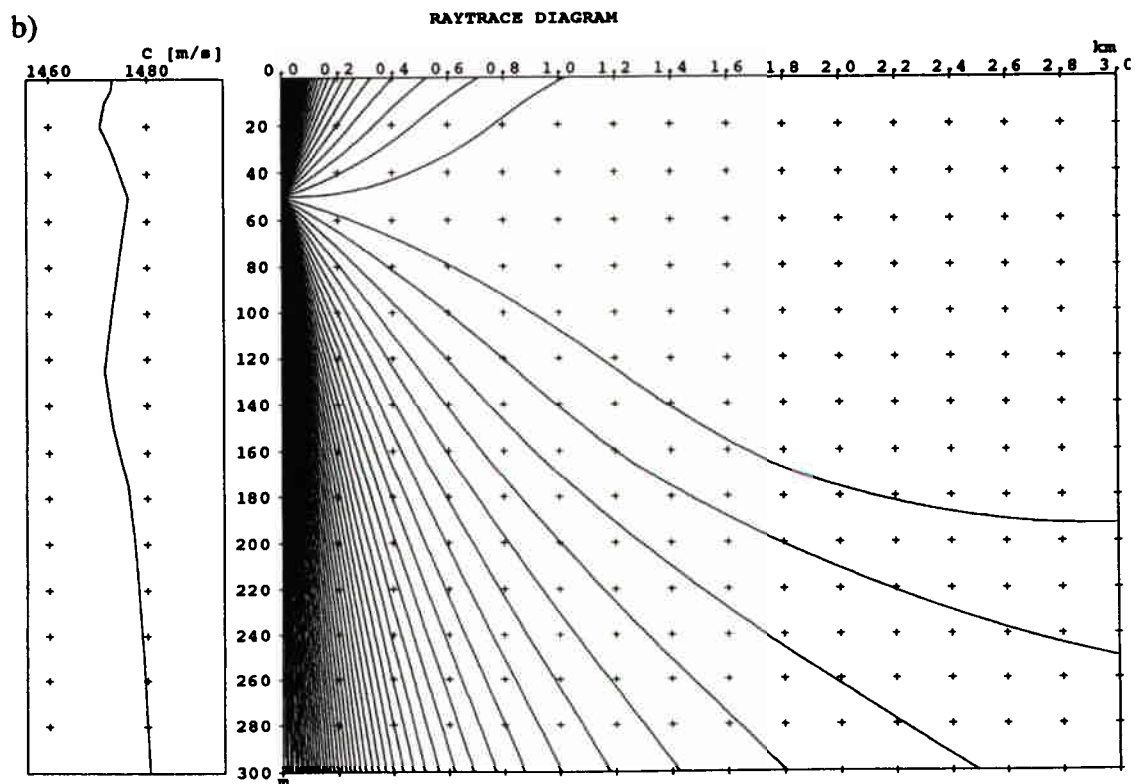
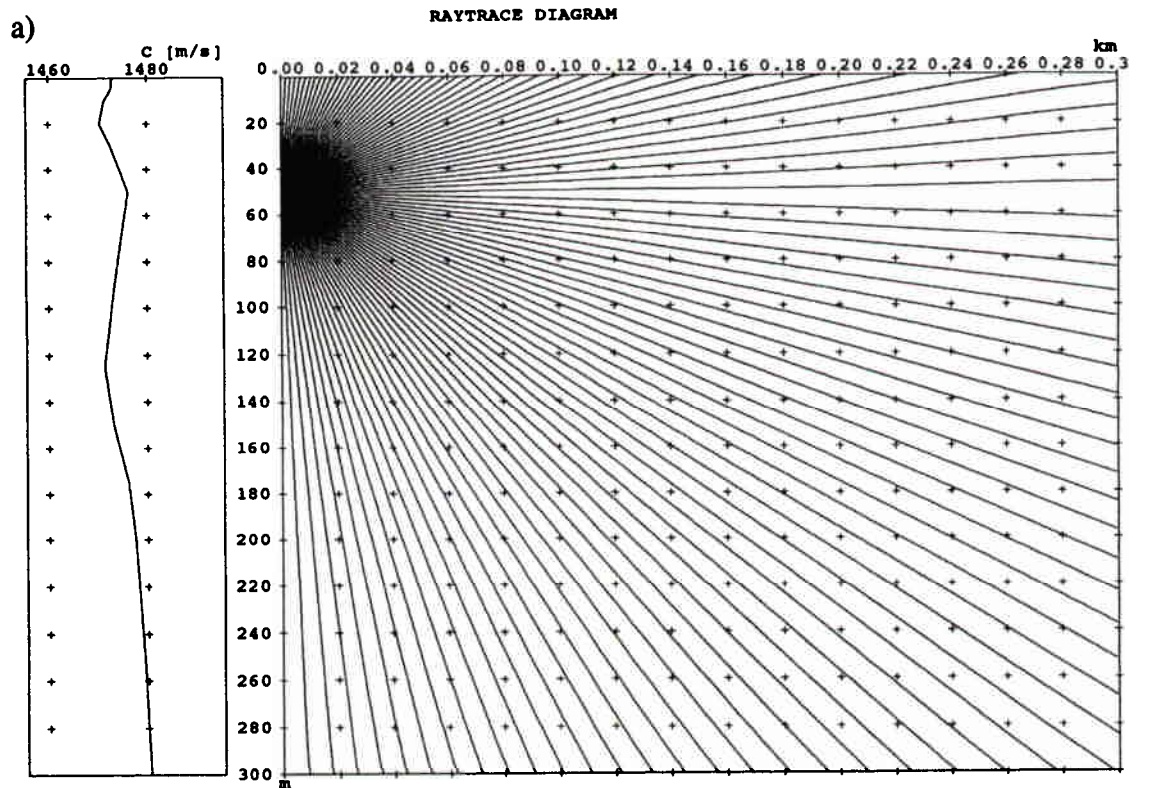


b)

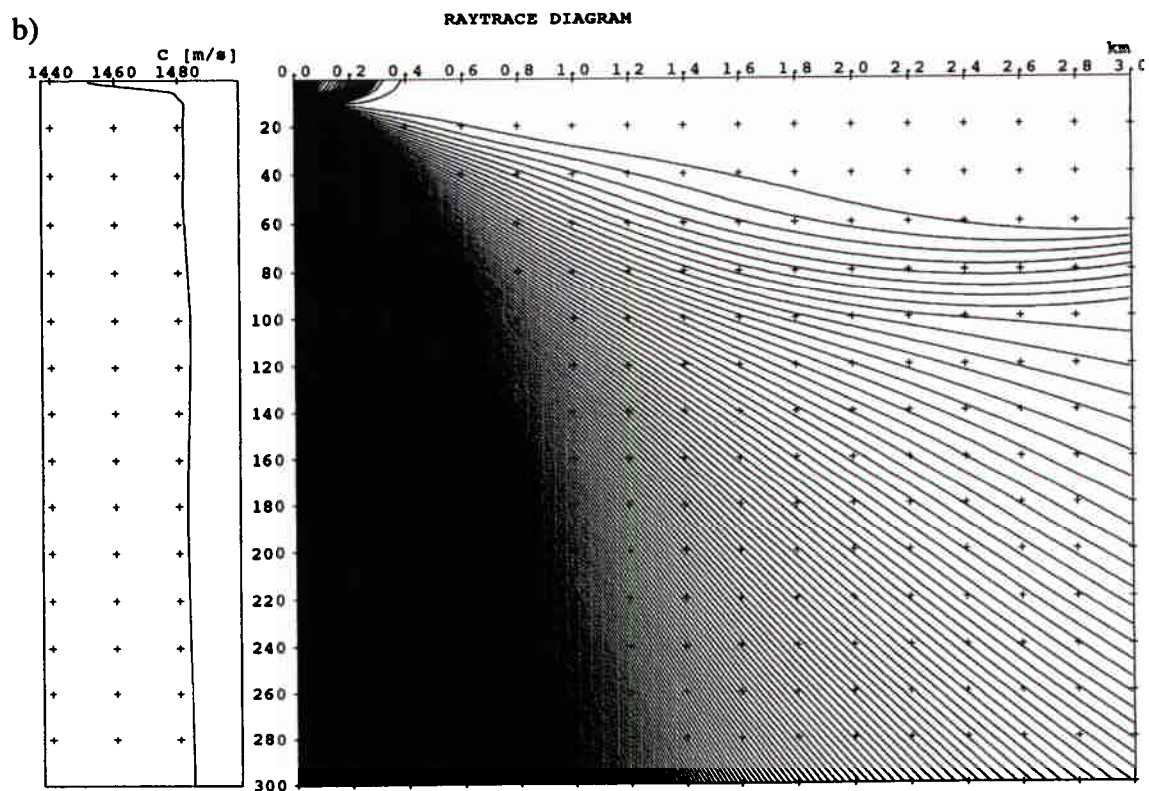
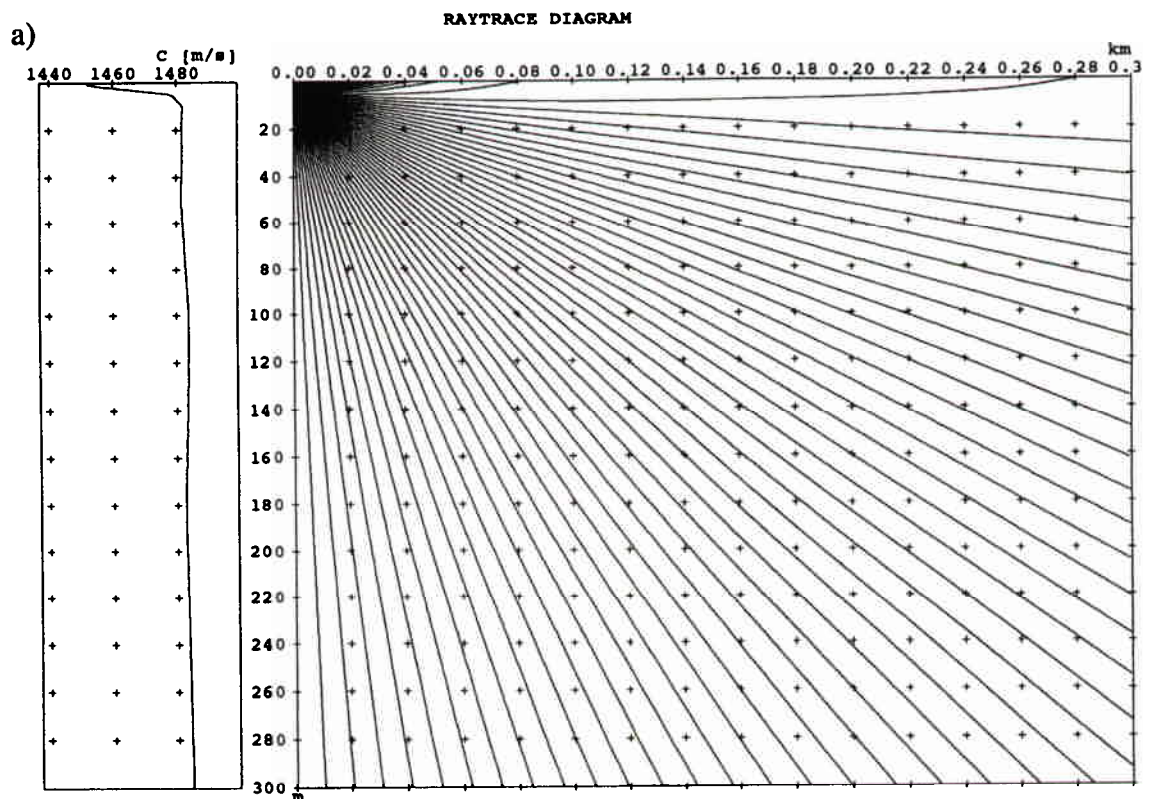
RAYTRACE DIAGRAM



Figur 6.6 Lydbaner fra simulering ved Horten april 2000. Sonaren er plassert på 3 m dyp i delfigur a), og på 5 meters dyp i delfigur b). Vertikalt utsnitt er 15 m, horisontalt utsnitt 300 m. Det er tegnet 1801 stråler, som tilsvarer 0,1 grad mellom hver stråle



Figur 6.7 Lydbaner fra simulering av Malangen Buvika juni 1999. Sonaren er plassert på 50 meters dyp. Horisontalt utsnitt er 300 m på delfigur a) og 3 km på delfigur b). Det er tegnet 91 stråler, som tilsvarer 2 grader mellom hver stråle



Figur 6.8 Lydbaner fra simulering av Malangen Målsjord desember 1999. Sonaren er plassert på 5 meters dyp. Horisontalt utsnitt er 300 m på delfigur a), og 3 km på delfigur b). I delfigur a) er det tegnet 91 stråler, som tilsvarer 2 grader mellom hver stråle. I delfigur b) er det tegnet 1801 stråler, som tilsvarer 0,1 grad mellom hver stråle

7 OPPSUMMERING

Vannets lydshastighetsprofil varierer med bl a årstider, tid på døgnet og geografisk beliggenhet. Lyd vil avbøyes mot dybder med lavere lydshastighet. Det er foretatt simuleringer med sonar plassert på forskjellige dybder. Sonaren er horisontalt plassert, men med en åpningsvinkel på 180 grader. Simuleringsresultatene er gitt i form av lydbaner og påfølgende vurderinger av disse. Presentert horisontalt utsnitt for sonaren er valgt til 300 m, med tanke på at det er dykker som skal detekteres.

I sommerhalvåret, som omfatter vår- og sommerprofil, vil lydshastigheten typisk ha en maksimalverdi nær overflaten. Dette fører til at lyd med relativt lav innfallsvinkel bøyes noe nedover. Ved uheldig plassering av sonar kan det oppstå dødsoner nær overflaten. Problemet forsterkes ved bruk av liten åpningsvinkel. Ved å plassere sonaren dypere, og øke tilt og/eller åpningsvinkel, kan den ønskede overflaten dekkes. Dette vil føre til økt refleksjon fra overflaten. Ved grov sjø kan lyden som treffer overflaten reflekteres tilbake til sonaren og føre til dårligere deteksjon i overflatesjiktet.

Nedenfor en viss dybde (hvor temperatur og saltholdighet er stabil) vil lydshastigheten øke med dybden som følge av økt trykk. Det vil si at en typisk sommerprofil med maksimal lydshastighet nær overflaten vil ha et lydshastighetsminimum ved en viss dybde. For farvann med dybde på rundt 300 m ligger dette minimumspunktet typisk på mellom 50 og 100 m. Ved plassering av sonaren under dette minimumspunktet vil det ikke oppstå problemer med dødsoner på grunn av avbøyning.

I vinterhalvåret, som omfatter høst- og vinterprofil, vil lydshastigheten typisk være lavest nær overflaten. Ved jevn overgang mot høyere lydshastighet (dypere ned) vil lyden få en svak bøyning opp mot overflaten. Det vil ikke oppstå problemer med dødsoner ved avstander opp til 300 m fra sonaren.

Lydshastighetsprofiler for grunne farvann (50 m) er tilnærmet lik profilene for dype farvann (300 m) i området fra overflaten og ned til 50 m dyp. Lyden vil derfor bøyes av på samme måte i grunne og dype farvann. Det kan være et problem i grunne farvann at det ikke er mulig å plassere sonaren så dypt som ønsket for å unngå dødsoner. Sonarens åpningsvinkel eller tilt må da økes for å dekke overflaten i ønsket område. Det vil være vanskeligere å se langt bortover for en sonar i grunt vann, siden det vil være mer refleksjon fra overflate og bunn enn i dypt vann.

Det er foretatt simuleringer med noen spesielle lydprofiler, som viser at sonarens plassering er viktig for dekningsområdet. Profiler som avviker fra de typiske profilene vil kunne oppstå i ethvert farvann, og må tas med ved bestemmelse av sonarvalg og -plassering.


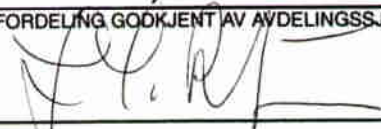
Simuleringene viser at det er relativt små problemer på grunn av avbøyning for korte avstander (< 300 m). Det er kun ved uheldig plassering av sonaren at det oppstår dødsoner. Ved større avstander (> 300 m) vil problemer med avbøyning, og dødsoner som følge av dette, være mye større.

Litteratur

- (1) Tveit B, Helgesen L H, Jødahl H K, Synnes S A (2001): Overvåkingssensorer for sikring av sjøforsvarets anlegg fra sjøsiden, FFI/RAPPORT–2001/00251 (Begrenset)
- (2) Synnes S A (2001): Undervannsovervåking mot sabotasjetrusler med aktiv sonar, FFI/NOTAT–2001/00172
- (3) Royal Norwegian Navy Materiel Command (2000): Model Description for LYBIN 2.0 SPG–108(C) Part C
- (4) Royal Norwegian Navy Materiel Command (2000): User manual for LYBIN 2.0 SPG–108(C)
- (5) Jens M. Hovem (1999), Marin Akustikk Del I, Norges teknisk–naturvitenskapelige universitet (NTNU), Institutt for teleteknikk.
- (6) Jødahl H, Berger T, Synnes S A (2000): (U) Målstyrke for sabotasjetrusler mot sjøforsvarets anlegg, målinger med fiskerisonar EY500, FFI/RAPPORT–2000/05459 (Konfidensielt)

FORDELINGSLISTE

FFIBM Dato: 27 desember 2001

RAPPORT TYPE (KRYSS AV)		RAPPORT NR	REFERANSE	RAPPORTENS DATO
<input checked="" type="checkbox"/>	RAPP	<input type="checkbox"/>	NOTAT	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	RR	2001/03550	FFIBM/791/350	27 desember 2001
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD			ANTALL EKS UTSTEDT	ANTALL SIDER
UGRADERT			37	49
RAPPORTENS TITTEL			FORFATTER(E)	
SIMULERING AV LYDBANER I NORSKE KYST- FARVANN			JØDAHL Hege	
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF:			FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:	
				

EKSTERN FORDELING

INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	
1		FO/SST	2		FFI-Bibl
1		v/Komkapt M Einbu	1		FFIE
1		FKS	1		FFISYS
1		v/Orlkapt K M Ommedal	5		FFIBM
1		HOS/ST	1		Tor Berger, FFIBM
1		v/Orlkapt S Belsvik	1		Stein Grinaker, FFIBM
1		v/Komkapt T Thodesen	1		Marius Halsør, FFIBM
1		FO/E	1		Jarl Johnsen, FFIBM
1		v/Kaptlt A Lund	1		Hege K Jødahl, FFIBM
1		Kysteskadren	1		Lars Kvifte, FFIBM
1		v/Komkapt A Nordhuus	1		Cecilie L Hodnebrog, FFIBM
1		SFK	1		Øivind Midtgaard, FFIBM
1		v/Overing S Sundsback	1		Stig A Synnes, FFIBM
1		v/Sjefing S Mjølunes	1		Bjørn Tveit, FFIBM
1		SJØOPS/FKN			FFI-veven
1		v/Orlkapt Y Årøy			
1		HVST/SjøHVinsp			
1		v/Komkapt S Ose			
		www.ffi.no			