

Simulering av torsk (*Gadus Morhua*) sin reaksjon på fartøystøy.

Hovudoppgåve i anvendt analyse

Nils Olav Handegard

Matematisk institutt
Universitetet i Bergen



7. juni 2000

Forord

Fyrst vil eg takka rettleiarane mine, Egil Ona og Jarle Berntsen, for ei interessant oppgåve.

Litt av motivasjonen for meg i denne oppgåva har vore at problemstillinga er knytt til forvaltinga av ein viktig ressurs. Eg synest det er viktig at det ein driv med kan setjast i ein større samanheng.

I oppgåva har eg hatt bruk for kunnskapar i matematikk, biologi og fysikk, og eg har brukt mykje tid til å setja meg inn i, for meg, ukjende fagfelt. Det har vore spennande, men eg sit att med kjensla av at eg verken er matematikar, fysikar eller biolog, men noko midt i mellom.

Noko som har interessert meg er kor ulikt dei ulike faggruppene tenkjer. Matematikarar krev prov på eksistens og eintyde til problema sine. Dei tenkjer ekstremt kvantitativt, og dersom ein ikkje kan telja det, eller setja tal på det, er det ikkje vitenskap. Biologane har ei anna tilnærming. Dei relaterer seg til den “verkelege” verda, og der er det, etter deira syn, umogeleg å finna eintydige svar. Teoriar endrar seg frå tru på gruppeseleksjon til tru på individseleksjon, i takt med politiske ideologiar.

Det var ein astronom, ein biolog og ein matematikar som reiste med tog gjennom Skottland. 'Sjå, ein svart sau' sa astronomen, 'sauene i Skottland er svarte'. 'Tja', sa biologen, 'det er i alle fall sannsynleg at nokre sauer er svarte i Skottland'. 'Minst ein sau, på minst eitt jorde er svart på minst ei side' svara matematikaren.

Utan å dømme nokon av deltakarane på togturen, summerer dette opp ein del av hovudfaget mitt.

Takk til Leif Nøttestad og Espen Strand for gode tilbakemeldingar og hjelp med biologien, takk til Kathrine Michalsen for å ta meg med på tokt med “G. O. Sars”, og takk til Atle Totland for uthenting av forsøksdata. Takk til far og Oddvin for hjelp med korrekturlesing.

Takk til dei i Parkveien 16, vener og familie for ei fin studietid i Bergen.

Nils Olav Handegard, Bergen 16.mai 2000

Innhold

1	Innleiing	1
2	Teori	3
2.1	Lydbølger	3
2.2	Støy frå fartøy	8
2.2.1	Kjelder til fartøystøy	8
2.2.2	Kvantifisering av fartøystøy	9
2.2.3	Lydnivået frå F/F Johan Hjort	11
2.3	Fiskehøyrse	13
2.3.1	Generering av lyd	13
2.3.2	Høyrseorgana til fisken.	14
2.3.3	Frekvensområdet	16
2.3.4	Retningsbestemming av lyd	17
2.4	Bakgrunnsstøy	18
2.5	Symjekapasitet	19
2.5.1	Symjefart	21
2.5.2	Uthald	25
2.6	Vertikalvandring og symjeblæra	27
2.7	Fiskeåtferd	30
2.7.1	Motivasjon	31
2.7.2	Ulike strategiar for predatorunnaving for pelagisk fisk	34

2.7.3	Reaksjon på akustiske stimuli	35
2.7.4	Responstersklar	36
2.7.5	Ulike utløysande stimuli	38
3	Modell	41
3.1	Modellval	41
3.2	Modelloppbygging	43
3.3	Hastigheitsfeltet	44
3.3.1	Symjefart, $ \vec{v}_i $	46
3.3.2	Symjeretning, $\vec{e}_{v,i}$	47
3.3.3	Uthald	50
3.4	Parameterverdiar	50
3.4.1	Vektor i hastigheitsfeltet	50
3.4.2	Stimingsradius	51
3.4.3	Responstersklar	51
3.5	Sensitivitet	53
3.5.1	Mål på sensitivitet	53
3.5.2	Relative avvik	55
3.5.3	Sensitivitetsindeksar	60
4	Data frå forsøk	67
4.1	Hastigheitsfeltet	67
4.1.1	Metode	67
4.1.2	Resultat	70
4.1.3	Diskusjon	73
4.2	Inversmodellering	74
4.2.1	Initialisering av modellen frå innsamla data	74
4.2.2	Samanlikningsmål	78

4.2.3	Invers modellering	80
4.2.4	Resultat frå inversmodelleringa	82
4.2.5	Diskusjon	84
5	Resultat	87
5.0.6	Ulike stimuli	91
5.0.7	Ulik storleik på fisken	93
5.0.8	Stiming	95
6	Konklusjon	97
A	Nomenklatur	100
A.1	Nomenklatur	100
A.2	Variabelnamn i Matlab- og Fortran-modell	103
A.3	Parameterverdier	104
B	Likningsoversikt	105
C	koordinatsystem	107
D	Forsøksdata	109
D.1	Ekkoloddata	109
D.1.1	Simrad EK500	109
D.1.2	Target tracking	111
D.2	Kompassdata	112
D.3	GPS-data	112
D.3.1	Lengdegrader og breiddegrader	113
D.3.2	Avstand bøye/fartøy/spor	113
E	Datafiler	115
E.1	Model	115

E.1.1	outputx	115
E.1.2	parameters	115
E.1.3	initialvalues	116
E.1.4	pos	116
E.1.5	middepth_modell	116
E.1.6	middepth_bouy	117
E.2	Data frå forsøk	117
E.2.1	Ekkoloddata	117
E.2.2	track.xxx	118
E.2.3	GPS-data	119
E.2.4	Kompassdata	120
F	Forsøk	122
F.0.5	Passering 1	122
F.0.6	Passering 2	122

Kapittel 1

Innleiing

Fornuftig forvaltning av fiskeriressursane er viktig for Noreg. Fisk er den nest største eksportnæringa vår, og fisk frå norske fiskeri vert eksportert kring heile verda. I 1999 eksporterte Noreg 1,689,000 tonn fisk, rund vekt, til ein verdi av 26 478 mill NOK. Til samanlikning eksporterte Noreg olje og oljeprodukt til ein verdi av 101 682 mill NOK. I 1998 tok Noreg i mot 2 844 438 tonn fisk på fiskemottaka, og av dette var 320 314 tonn torsk [Løv99].

Dersom det vert kutt i kvotar, vil det få store konsekvensar for mange næringsinteresser, og dersom ein ikkje regulerer fisket, vil det kunna føra til dårlegare uttak i fleire år, eller i verste fall, kollaps i bestanden. Det er difor svært viktig å regulera fangsten slik at ein får ei bærekraftig utvikling av fiskebestandane. Denne reguleringa vert gjort i internasjonale komitear. Desse støttar seg til tilrådinga frå forskarane. Det er difor eit stort ansvar forskarane har.

Metodane for mengdemåling av fiskebestandar er heile tida under utvikling. Ny teknologi fører til at nye metodar kan nyttast. Med raskare datamaskiner kan meir komplekse matematiske modellar takast i bruk, og betre ekkolodd gjer at ein kan studera korleis enkeltfisk oppfører seg.

Viktige metodar for måling av fiskebestandane inneber bruk av trål og ekkolodd. Ekkoloddet gjev eit bilete av mengda av fisk, og fangstdata gjev eit mengdemål og syner korleis aldersamansetnaden er. Desse resultatata vert nytta i biologiske modellar for fiskebestanden. Resultata frå desse modellane er med på å bestemma kvotane.

Ekkoloddet på forskingsfartøya vert nytta til å måla fisketettleiken under fartøyet. Målingane vert gjort i eit fast mønster, og tettleiken under fartøyet vert integrert opp til å gjel- da heile forsøksområdet. Dersom kvaliteten på datamengda er dårleg, vil resultatet frå integrasjonen verta usikker. Fisk reagerer på fartøystøy [Ols82b] [Ona88a] [Mit95], og målet med oppgåva er å byggja ein modell som kan nyttast saman med data frå split- stråleekkolodd og “target tracking”-data. Det endelege målet med dette er å finna ut korleis fisk sin reaksjon på fartøystøy påverkar mengdemåla, for så å kunna utvikla ein metode til å finna tilbake til opprinneleg fordeling.

Problemet kan løysast på ulike måtar. Ein kan modellera endringa i fiskefordelinga, og byggja modellen på grunnlag av forsøksdata, eller ein kan modellera åtferda til enkeltindivid, og finna endringa i tettleik ut frå reaksjonen til enkeltindivid. Dersom ein skal modellera enkeltindivid sin reaksjon på fartøystøy, lyt ein vita kva som utløyser reaksjonen. Havforskningsinstituttet i samarbeid med Sintef utvikla ein modell for korleis fiskeyngel og fiskelarver reagerer på støy frå seismisk skyting [Hol93], etter dette kalla seismikkmodellen. I dette tilfellet vart det absolutte lydtrykket nytta som det utløysande stimuliet. Andre modellar nyttar endring i lydtrykk som utløysande stimuli [Ols82a].

Ein modell er ei forenkling av verkelegheita. Ein god modell er ein modell som forenkler utan at viktig informasjon går tapt, og utan unødvendige detaljar. Ein sensitivitetsanalyse vil kunna kartleggja kva parametrar og kva effektar som er med på påverka resultatet, og i kva grad resultatet vert påverka. Det vil visa kor ein bør arbeida vidare for å gjera modellen betre.

For å sikra at modellen er ei rimeleg forenkling av verkelegheita, lyt ein prøva ut modellen mot forsøksdata. Forsøksdata kan nyttast til å verifisera modellen, eller til å bestemma parametrane i modellen. Ei målsetjing er å utvikla ein metode som samanliknar modellen med forsøksdata. Metoden skal kunna nyttast til å avgjera kor god modellen er, og vera eit utgangspunkt for estimeringa av parametrane.

Kapittel 2

Teori

Når fisk reagerer på fartøy er det ein respons på eit stimuli frå fartøyet. Stimuliet i denne oppgåva er lydbølgjer frå fartøyet. For å kunna modellera dette, lyt ein ha kunnskap om korleis lydbølgjer oppstår, korleis dei forplantar seg, korleis fisken er i stand til å sansa dei, og korleis fisken reagerer på stimuliet. Dette kapittelet tek føre seg ein del teori kring dette.

2.1 Lydbølgjer

Sidan reaksjonstimuliet er lydbølgjer, er det teke med ein del grunnleggjande teori kring dette. Ei lydbølgje er små perturbasjonar kring likevektstilstanden til molekyla i eit elastisk medium. Grunna elastisiteten i mediet vil bølgerørsla breia seg vidare til nabo-molekyla. Molekyla vil svinga fram og tilbake i retninga til lydbølgja. Dette vert kalla ei longitudinal bølge. I tillegg til rein forflytting av molekyla får vi og endringar i trykket. Ein kan seia at lyden er sett saman av både trykkendringar og partikkelforflytting. La Δp vera trykksvingingane og Ψ vera partikkelforflyttinga som lydbølgja set opp. I ei plan lydbølgje er trykket p relatert til $\frac{\partial \Psi}{\partial t}$ (partikkelfarten) ved likning (2.1).

$$p = \frac{\partial \Psi}{\partial t} c \rho \quad (2.1)$$

der ρ er tettheten til vatn, $\frac{\partial \Psi}{\partial t}$ er partikkelfarten og c er lydfarten i vatn [W.J95]. Faktoren $c\rho$ kalla spesifikk akustisk resistans. For sjøvatt er $c\rho = 42g/cm^2s$. I nokre tilfelle er denne størrelsen kompleks. Dette fører til ein faseskilnad mellom lydtrykket p og partikkelfarten $\frac{\partial \Psi}{\partial t}$. I det tilfelle vert $c\rho$ kalla spesifikk akustisk impedanse. Likning (2.1) vert kalla Ohm's lov for akustikk. Ein kan sjå på lydtrykket p som ein analogi til elektrisk spenning og partikkelhastigheita $\frac{\partial \Psi}{\partial t}$ som ein analogi til elektrisk straum.

Partikkelrørsle

For harmoniske bølger på forma

$$\Psi = Ae^{i(kx-\omega t)}$$

får ein eit middeltrykk gitt ved likning (2.2) [FGT96]. ω er frekvensen, k er bølgetalet og A er amplituden til partikkelrørsla.

$$\bar{p} = A\omega\sqrt{B\rho} \quad (2.2)$$

der B er bulkviskositeten for vatn og ρ er tettleiken.

Intensiteten til lydbølger

Ei lydbølge inneheld mekanisk energi. Bølgja inneheld kinetisk energi representert ved partikkelrørsla og potensiell energi representert ved trykkvariasjonane i mediet. Sidan bølgja flyttar på seg vil ei viss mengde mekanisk energi gå gjennom eit tverrsnitt normalt på retninga til bølgefôrplantinga. Denne energien vert kalla intensiteten til bølgja, og er definert som energi pr. flate og tid. Dersom arealet er lagt inn i ei tilfeldig retning, svarar dette til Poynting vektor i elektromagnetiske bølger. I ei plan bølgje vert intensiteten ved eit gitt tidspunkt gitt ved likning (2.3) [FGT96].

$$I(t) = \frac{p(t)^2}{c\rho} [w/m^2] \quad (2.3)$$

Intensiteten ved eit gitt tidspunkt t er sjeldan av praktisk interesse. For å finna eit praktisk mål på intensiteten, midlar ein likning (2.3) over eit gitt tidsintervall.

$$I = \frac{\overline{p^2}}{c\rho} [w/m^2]$$

der $\overline{p^2}$ er det kvadrerte gjennomsnittstrykket over ein periode.

Vanlegvis vert trykkkomponenten målt i lydbølgjene. Kvadratet av trykket er proporsjonalt med intensiteten, jf. likning (2.3), og vert eit mål på intensiteten.

Decibelskalaen

Fisk og menneske kan detektera lyd over eit stort intensitetsspenn. Menneske kan detektera lyd med ein intensitet på $1/10^{12}$ av smertegrensa [FGT96]. Hjernen er ikkje i stand til å oppfatta små skilnader i intensitet, men oppfattar i staden dB -skalaen som tilnærma lineær. Det er difor ikkje vanleg å nytta I direkte som eit mål på intensiteten [W.J95]. Decibel skalaen måler intensiteten logaritmisk relativt til I_r , likning (2.4).

$$LN = 10 \log_{10} \frac{I}{I_r}, \text{ der } I_r = 1 \text{ pW/m}^2 \quad (2.4)$$

Ein intensitet på 1 pW/m^2 svarer til eit lydtrykk på $1 \mu\text{Pa}$. Lydnivået, med lydtrykk som referanse, er gitt ved likning (2.5).

$$LN = 10 \log_{10} \frac{I}{I_r} = 20 \log_{10} \frac{\bar{p}}{p_r}, \text{ der } p_r = 1 \mu\text{Pa} \quad (2.5)$$

Før SI systemet vart teke i bruk vart andre referansetrykk nytta. Den fyrste storleiken var $p_r = 0,0002 \mu\text{bar}$. Dette trykket svarar til den lågaste intensiteten eit menneske er i stand til å høyra i luft. Sidan dette ikkje hadde relevans lydbølgjer i vatn, vart referansetrykket etter kvart skifta ut med $1 \mu\text{bar}$. Seinare vart SI systemet vanleg, og $p_r = 1 \mu\text{Pa}$ vart innført som referansetrykk. På land vert oftast $20 \mu\text{Pa}$ nytta. Dette svarar til $0,0002 \mu\text{bar}$.

Frekvensspekteret

Eit lydsignal er sett saman av lydbølgjer av fleire frekvensar. Intensitetsfordelinga over frekvensspekteret gjev oss eit mål på intensiteten pr. frekvens. Dersom ein definerer s som fordelinga av gjennomsnittstrykket \bar{p} over frekvensspekteret, vert s^2 eit mål på intensitetsfordelinga, jf. likning (2.3). Den totale intensiteten får ein ved å integrera det kvadrerte gjennomsnittstrykket over frekvensspekteret.

$$I = \frac{1}{c\rho} \int_0^{\text{inf}} s^2(w) dw \quad (2.6)$$

Intensitetsfordelinga er oftast gitt i dB , tilsvarende LN , jf. likning (2.7). Intensitetsfordelinga i dB vert kalla spektralnivået.

$$SPN = 20 \log_{10} \frac{s}{s_r} = 10 \log_{10} \frac{s^2}{s_r^2}, \text{ der } S_r = 1 \mu\text{Pa}/(\text{Hz})^{\frac{1}{2}} \quad (2.7)$$

Eit fartøy sender ut støy over eit breidt frekvensområde, jf. kap 2.2. Kor kraftig stimuliet er, er avhengig av kor mykje av denne energien fisken er i stand til å sansa, jf. kap 2.3. Intensiteten innanfor eit gitt frekvensområde er gitt ved likning (2.8).

$$I = \frac{1}{c\rho} \int_{w_1}^{w_2} s^2(w) dw \quad (2.8)$$

der w_1 og w_2 er randa på frekvensintervallet. Trykkfordelinga og bandbreidder er gitt som diskrete storleikar. Likning (2.9) er likning (2.8) på diskret form.

$$I \approx \frac{1}{c\rho} \sum_{i=a}^b s_i^2 \Delta w_i \quad (2.9)$$

der a og b er indeksane til frekvensgrensene og s_i er trykkfordelinga i middel over frekvensintervallet Δw_i . Dersom ein reknar i dB får ein likning (2.10).

$$LN = 10 \log_{10} \frac{I}{I_r} = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{i=a}^b s_i^2 \Delta w_i}{s_r^2} \right) \quad (2.10)$$

Oftast får ein oppgitt spektralnivået, SPN_i i staden for s_i . Samanhengen mellom spektralnivå SPN og s får ein frå likning (2.7), og er gitt ved likning (2.11).

$$s_i^2 = s_r^2 10^{SPN_i/10} \quad (2.11)$$

Likning (2.10) og (2.11) gjev oss LN gitt ved spektralnivå og bandbreidder, jf. likning (2.12).

$$LN = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=a}^b 10^{SPN_i/10} \Delta w_i \right) \quad (2.12)$$

Oktavband

I teorien kan ein nytta likning (2.6) til å finna den totale intensiteten til lydsignalet. Dette krev at ein nyttar “perfekte” bandfilter der Δw_i går mot null. I praksis er dette umogeleg, men ein kan få til svært små Δw_i dersom ein digitaliserer signalet. Tradisjonelt vert oktav- eller 1/3-oktav-band nytta. I begge tilfella er bandbreidda proporsjonal med senterfrekvensen, likning (2.13).

$$f_c = k \cdot \Delta w_i \quad (2.13)$$

der f_c er senterfrekvensen, w_i er bandbreidda og k er ein konstant.

1 oktav svarar til ei dobling i frekvensen. Bandbreidda til eit 1 oktavband er 70,7% av senterfrekvensen ($k = 2^{\frac{1}{2}}$). Ved senterfrekvens f_c ligg bandet i intervallet frå $f_c \cdot 2^{-\frac{1}{2}}$ til $f_c \cdot 2^{\frac{1}{2}}$. For 1/3-oktavband vert det tilsvarende intervallet frå $f_c \cdot 2^{-\frac{1}{6}}$ til $f_c \cdot 2^{\frac{1}{6}}$, eller ei bandbreidd på 23% av senterfrekvensen ($k = 2^{\frac{1}{6}}$) [W.J95]. Oftast vert det nytta standard senterfrekvensar for 1/3-oktavband. Standard frekvensar inneheld denne rekkja:

50 63 80 100 125 200 250 315 400 500

Høgare og lågare frekvensar får ein ved å multiplisera desse med faktorar av 10. Bandbreidda til 1/3-oktavband er gitt ved likning (2.14).

$$\Delta w_i = f_c \cdot 2^{\frac{1}{6}} \quad (2.14)$$

Intensiteten frå lydbølger målt i 1/3-oktav der nivået er korrigert for bandbreidda (nivået tilsvarar SPN) er gitt i likning (2.15).

$$LN = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=a}^b 10^{SPN_i/10} \cdot f_c \cdot 2^{\frac{1}{6}} \right) \quad (2.15)$$

Den bandbreidda som øyra til menneske greier å skilja svarar omlag til ein 1/3-oktav. Lydnivå vert difor ofte delt inn i 1/3-oktavband. Eininga til det målte nivået over ein

oktav eller 1/3-oktav er $dB//\mu Pa/(Hz)^{\frac{1}{2}}$, men det målte nivået er ulikt spektralnivaet. Det er difor viktig å veta kva for bandbreidd som er nytta under spektralanalysen. Likning (2.16) viser samanhengen mellom det målte nivået, BN_i , over bandbreidda, Δw_i , og spektralnivaet, SPN_i , i gjennomsnitt i bandet SPN .

$$SPN_i = BN_i - \log_{10} \Delta w_i \quad (2.16)$$

I litteraturen vert ofte data korrigert for bandfilterbreidda og gitt som spektralniva, SPN .

Tonenivå

Lyd er ofte samansett av “reine” tonar. Det er sinusiodale bølger der all energien er samla på ei bølglengd. Slike lydsignal får ein ofte frå roterande utstyr med ein fast rotasjonsfrekvens. Propell, aksling, motor, gear osv er døme på kjelder til denne typen støy. Sidan all energien er samla på ein frekvens, vil intensitetsfordelinga vera uendeleg for den aktuelle frekvensen. Når ein måler lydnivå vert lydsignalet dekomponert i frekvensband. Når ein deler opp frekvensspekteret slik, måler ein over ei viss bandbreidd. Dersom signalet inneheld reine tonar vert nivået ein måler avhengig av bandbreidda til måleutstyret. Dersom ein har eit spektralniva på $110db//1\mu Pa/(Hz)^{\frac{1}{2}}$ over ei bandbreidd på $4Hz$, og lydsignalet er ein rein tone, vert tonenivået $110 + \log_{10}(4)$. Når ein måler lydsignal, vil intensitetsfordelinga vera avhengig av bandbreidda. Dersom ein nyttar ei smal bandbreidd, vil eventuelle enkelttonar koma mykje betre fram. Når ein skal finna den totale intensiteten til fartøystøyen spelar ikkje bandbreidda noko rolle, jf. likning (2.12).

Sonarlikninga

Når lydbølger vert spreidd frå ei punktkjelde og spreier seg sfærisk kan ein nytta sonarlikninga på enklaste form, likning (2.17.)

$$I = I_r \frac{10^{-\alpha r}}{r^2} b(\theta) \quad (2.17)$$

Der I_r er utsendt intensitet på akustisk akse $1m$ frå lydkjelda, r er avstanden til lydkjelda, α er absorpsjonskoeffisienten og $b(\theta)$ er direktiviteten i ein vinkel θ ut frå akustisk akse [Uri75]. Dersom ein reknar om til decibel får ein sonarlikninga på enklaste form.

$$LN = 10 \log_{10} \frac{I_0 \frac{10^{-\alpha r}}{r^2} b(\theta)}{I_r} \quad (2.18)$$

$$LN = KN - 20 \log_{10} r - \alpha r + 10 \log_{10} [b(\theta)] \quad (2.19)$$

der KN er:

$$KN = 10 \log_{10} \frac{I_0}{I_r}$$

2.2 Støy frå fartøy

Dersom støynivået frå eit fartøy i eit gitt punkt ligg over bakgrunnsstøynivået, kan fartøyet i teorien lokalisrast. Hørsla på fisken avgjer kor mykje fartøystøyen må liggja over bakgrunnsstøynivået. Målet er å finna lydnivået frå fartøyet som funksjon av avstanden til fisken.

$$LN = LN(\vec{r})$$

der \vec{r} er avstanden til fartøyet (propellen).

2.2.1 Kjelder til fartøystøy

Kjeldene til fartøystøy er mest knytta til framdriftsmaskineriet til fartøyet.

Det finst i dag retningsliner for korleis støynivået skal vera inne i fartøy. Dette er reglar som skal betra arbeidskvardagen for dei som arbeider der. For fiske- og forskings-fartøy er støyfeltet på utsida viktig. Dette har ikkje fått nok merksemd. Rapporten til ICES No.209 [Mit95] viser at støynivået ikkje er lågare på moderne fartøy enn på fartøy bygd for 30 år sidan. Eit fartøy vil senda ut støy frå heile kontaktflata mellom skroget og sjøen. Frå støyande maskineri osb. inne i fartøyet forplantar lydbølgjene seg gjennom skroget og ut i sjøen.

Dei siste åra har motorstyrken auka i høve til storleiken på båten, og dette har hatt innverknad på støynivået. Tidlegare varierte dei turtalet på motoren for regulera farten. Dette skapte store variasjonar i støynivået. Variasjonar i støyniva er ikkje heldige, jf.kap. 2.7.2. I dag koplpar ein motoren til eit gear som igjen er kopla til aksling og propell. Ved hjelp av vridbar propell kan ein halda eit meir konstant motorturtal, og dette reduserer variasjonane i utsendt lyd. Motoren kan dempast ved å festast i elastiske oppheng.

Gearet generer støy. Frekvensen på den største amplituden er omlag 500–1000 Hz. Gearet må stå fast i skroget og kan ikkje dempast på same måte som motoren kan. Tannhjula i gearet kan skapa svært høge nivå på enkeltfrekvensar, og det kan ofte høyrast som eit “kvin”.

Det eksisterer fleire ulike typar propellar som alle har sitt bruksområde. Dette fører til at det alltid vert ei avveging mellom ulike bruksområde, som t.d. tråling og “survey”. Spesielt ved tråling er det viktig å kunna stoppa og starta framdrifta utan for mykje heft. Vridbare propellar (CPP) er dei som oftast er nytta. Rask endring av propellstillinga fører til ei dramatisk auke i støyen. Dette er inga god eigenskap dersom ein skal starta eit trålhal. Propellkavitasjon under tråling er og ei viktig støykjelde.

Diesel/elektrisk drift er ein annan metode. Her vert propellane kopla direkte til elektromotorar. Dieselmotoren(ane) driv generatorar som forsyner framdriftsmotorane med straum. Dette er dyrare, og investeringskostnadane ligg omlag 1.2 gonger over vanleg framdriftssystem, men det er lettare å oppnå eit lågt støynivå med dette systemet. Det vil truleg verta satsa på dette i framtida [Mit95].

2.2.2 Kvantifisering av fartøystøy

Fartøystøyen er ikkje lik i alle retningar kring fartøyet, og det er vanskeleg å laga ein generell modell for støybilete kring fartøyet. Støybilete vil vera avhengig av havdjupn, temperaturskifting vertikalt og horisontalt, og korleis båten er konstruert. Ein slik modell vil verta svært komplisert og vil ikkje kunne erstatta direkte målingar [CPP86].

Avstanden mellom støykjelda og fisken

Støyen fisken oppfattar er avhengig av posisjonen til fisken, \vec{x} , og tida, t . Fartøyet har ein utgangsposisjon ved $t = 0$ lik $\vec{s} = \vec{s}_0$. Farten til fartøyet er tilnærma konstant og gitt ved $v_{fartøy}$. Fartøyet går langs x -aksen i koordinatsystemet, figur C.1 (Basis A). Posisjonen til fartøyet i høve til koordinatsystemet er gitt ved likning (2.20). Posisjonen til fisk i i høve til fartøyet er gitt ved likning (2.21).

$$\vec{s} = \vec{s}_0 + t\vec{v}_{fartøy} \quad (2.20)$$

$$\vec{r}(t) = -\vec{s}(t) + \vec{x}(t) \quad (2.21)$$

Dersom fartøyet går langs x -aksen får ein likning (2.22) som eit mål på avstanden mellom fartøyet og fisken.

$$|\vec{r}|^2 = \vec{r} \cdot \vec{r} = (s_{01} + v_{fartøy}t + x_1)^2 + x_2^2 + x_3^2 \quad (2.22)$$

der s_{01} er x -komponenten til \vec{s} .

Lydnivået kring fartøyet

Dersom ein går ut frå sfærisk utbreiing av støyen frå ei punktkjelde kan ein nytta sonarlikninga (2.17). Propellen er ei signifikant støykjelde. Lydfeltet kring båten vert rekna ut ved hjelp av sonarlikninga med propellen som punktkjelde. Direktiviteten er liten for denne typen støy [Mit95], og $b(\theta)$ vert difor sett til 1. På låge frekvensar er absorpsjonen liten [Uri75] (α ved 1000Hz er $0,06 \text{ dB/km}$), og ein kan difor sjå bort frå absorpsjon på avstandar denne modellen er meint for. Med desse føresetnadene kan ein forenkla likning (2.19) til likning (2.23).

$$LN(\vec{x}, t) = KN - 20 \log |\vec{r}(\vec{x}, t)| = KN - 10 \log |\vec{r}(\vec{x}, t)|^2 \quad (2.23)$$

der KN er kjeldenivået og $|\vec{r}(\vec{x}, t)|^2$ er avstanden mellom fisk og fartøy, jf. likning 2.22. KN får ein ved å nytta likning (2.12) over fisken sitt høyrleområde og ved å nytta måledata for fartøystøy, jf. kapittel 2.2.3.

Dette er ei forenkling av det reelle støy nivået, og denne måten å modellera støyfeltet på gjer at ein t.d. mister den støysvake sona framom fartøyet. Det er likevel eit rimeleg utgangspunkt, jf. figur 2.2.

Endring i lyd nivå

Det finst ulike teoriar om kva som er det utløysande stimuliet for reaksjon hjå fisk. Både absolutt intensitet og endring i intensitet er aktuelle kandidatar. Endringa i intensitet er gitt som den tidsderiverte til lydintensiteten, likning (2.23), med omsyn på tida, likning (2.24).

$$\frac{dLN(\vec{x}, t)}{dt} = \frac{\partial LN}{\partial t} + \frac{\partial LN}{\partial \vec{x}} \cdot \frac{\partial \vec{x}}{\partial t} = \frac{\partial LN}{\partial t} + \nabla LN \cdot \vec{v}_{fisk} \quad (2.24)$$

Leddet $\nabla LN \cdot \vec{v}_{fisk}$ representerer delen av den tidsderiverte fisken sjølv set opp ved å flytta seg. Som ei forenkling kan ein nytta $\frac{\partial LN}{\partial t}$ som eit mål på endringa i lydbilete fisken oppfattar. Dette er endringa i lydfeltet som fartøyet set opp. Dersom farten til fartøyet er mykje større enn symjefarten til fisken vil feilen verta liten. Skilnaden i fart vert mindre dess snarare fisken sym. Ved panikkrespons kan fisken oppleve at han greier å symja frå fartøyet, fordi endringa i lydfeltet fisken sjølv set opp, $\nabla LN \cdot \vec{v}_{fisk}$, vil motverka endringa i $\frac{\partial LN}{\partial t}$. Dersom farten til fartøyet er låg, som t.d. ved tråling, kan denne feilkjelda vera viktig. Forenklinga spelar mindre rolle ved "survey"-fart. Dersom ein skal ta med begge ledda lyt ein iterera på kvart integrasjonssteg. Dette fører til ein tyngre løysingsprosess. $\partial LN / \partial t$ vert difor nytta som ei tilnærming til dLN / dt i modellen.

$\frac{\partial LN}{\partial t}$, likning (2.25), får ein ved å derivera likning (2.23) partielt med omsyn på tida.

$$\frac{\partial LN}{\partial t} = \frac{-10}{\ln 10} \frac{1}{|\vec{r}|^2} \frac{\partial |\vec{r}|^2}{\partial t} = \frac{-10}{\ln 10} \frac{1}{|\vec{r}|^2} \frac{\partial}{\partial t} (r_1^2(t) + r_2^2 + r_3^2) \quad (2.25)$$

$$\frac{\partial LN}{\partial t} = \frac{-20}{\ln 10} \frac{1}{|\vec{r}|^2} \vec{r} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial t} = \frac{20}{\ln 10} \frac{r_1(t)}{|\vec{r}|^2} \vec{r} \cdot \vec{v}_{fartoy} \quad (2.26)$$

der $\frac{\partial \vec{r}}{\partial t} = -\vec{v}_{fartoy}$. Dersom ein nyttar $|\vec{r}|^2$ gitt ved likning (2.22), vert endringa i lyd nivået gitt ved likning (2.26).

2.2.3 Lydnivået frå F/F Johan Hjort

I alle forsøksdata som er nytta i oppgåva er F/F Johan Hjort nytta som “skrømfartøy”. Modellen nyttar støynivået til Johan Hjort som referanse.

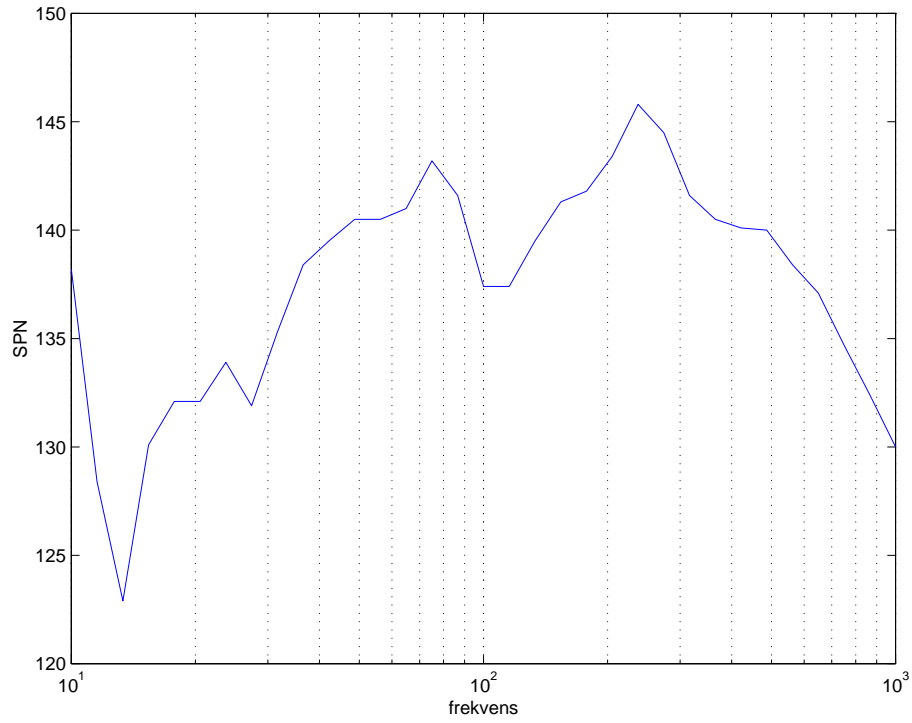
Støyspekteret til Johan Hjort vart målt av sjøforsvaret 29.november 1990 [Ano90]. Målingane vart utført ved målefeltet i Mastrafjorden, Åmøy, med botnmontert hydrofon på 100m djupn. Det vart gjennomført 15 registreringar med ulik fart og propellstiging. Målingane vart gjort ved passering rett over målehydrofonen. Ved passering vart støyen avlest på ein Bruel & Kjør type 2131 1/3 Octave frequency analyser. Analysen vart gjort i 1/3-oktavnivå med senterfrekvens frå 1,6Hz til 100kHz. Dei avleste verdiane vart korrigert for bakgrunnsstøy, avstand, hydrofon-kjensle og filterbandbreidder. Resultata vert representert i $dB//1\mu Pa/\sqrt{Hz}@1m$. Spektralnivået ved 11knop, ein meter frå støykjelda, er gitt i figur 2.1. Spektralnivået er gitt ved standard 1/3-oktav frekvensintervall. Lydnivået over ulike frekvensar er gitt i tabell tabell 2.1.

Det er og gjort målingar av den romlege fordelinga av støynivået [Ole96], jf. figur 2.2.

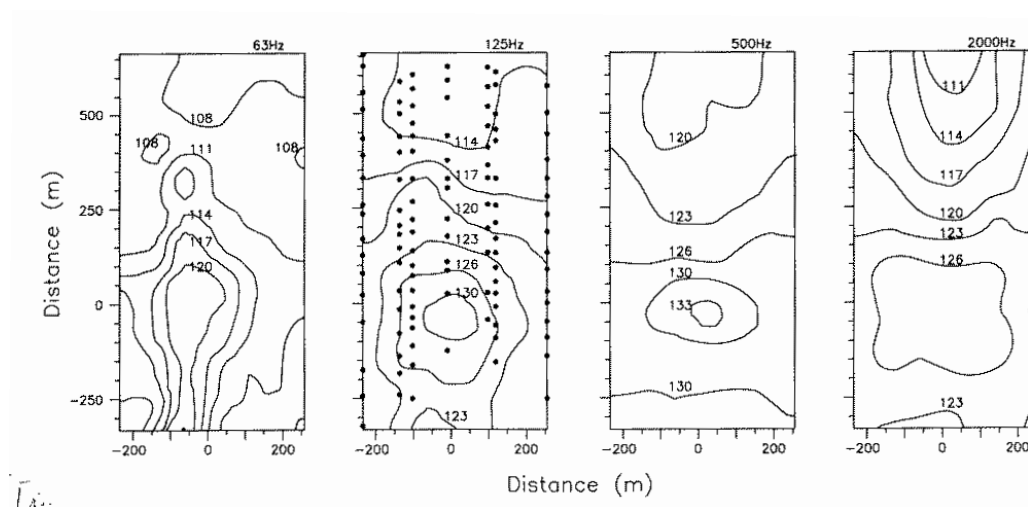
frekvensintervall	KN
[10Hz 1kHz]	169, 6dB//1 μPa
[10Hz 500Hz]	168, 8dB//1 μPa
[10Hz 200Hz]	164, 1dB//1 μPa
[10Hz 100Hz]	159, 5dB//1 μPa

Tabell 2.1: Kjeldenivået frå Johan Hjort over ulike frekvensintervall. Kjeldenivået som vert nytta er avhengig av hørsla til fisken.

Frekvensområde mellom 10Hz og 500Hz vert nytta fordi fisken høyrer godt i dette frekvensområdet, jf. kapittel 2.3.



Figur 2.1: Lydsignatur til Johan Hjort ved “surveyfart” (11 knop). Spektralnivåa er gitt i $dB/1\mu Pa/\sqrt{Hz}@1m$



Figur 2.2: Horisontal fordeling av fartøystøy frå R/V Johan hjort ved ulike senterfrekvensar og 1/1 oktav bandbreidde. Senterfrekvensane er vist over kvar delfigur. Punktmarkeringane i 125kHz figuren markerer posisjonen til dei individuelle målingane. Isolinjene er interpolert ved hjelp av UNIRAS UNIMAP programvare, og lydnivået er gitt i $dB/1\mu Pa$ for kvar isolinje i figuren [Ole96].

2.3 Fiskehørsel

I sjøen er det generelt lite lys, og på større avstandar er det vanskeleg å nytta synet. Hørsla til fisken spelar difor ei viktig rolle. Evna fisken har til å skilja mellom ulike lydar er avgjerande for å overleva. Ikkje berre for å unngå predatorar, men og for å kunna lokalisera byttedyr.[Pit93]

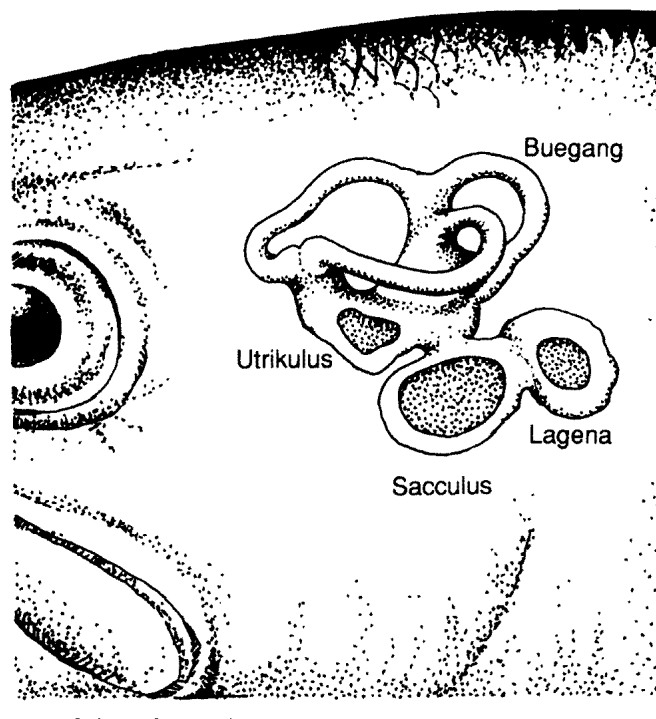
2.3.1 Generering av lyd

Fisk sender ut lyd. Når fisken sym, generer han hydrodynamisk støy. Dette vert oppfatta som lyd. Denne lyden kan nyttast av annan fisk til å lokalisera predatorar ev. byttedyr. Fisk kan og kommunisera vha lyd. Nokre artar har trommemusklar på symjeblæra, og andre kan generera lyd ved å sleppa gass porsjonsvis ut av symjeblæra. Symjeblæra fungerer som ei kraftig dempa resonanskasse. Lyden dør raskt ut, men fisken kan senda ut fleire pulsar etter einannan. Det eksisterar teoriar på at fisk er i stand til skilja mellom lyd generert av same art. Dette vert gjort ved å skilja mellom ulike mønster i pulsane. Fisk nyttar lyd i paringsrituala slik som pattedyr gjer, og ein trur at fisk nyttar lyd for å skrøma vekk predatorar [Pit93].

2.3.2 Hørselsorgana til fisken.

I havet breier lyden seg mykje raskare og lenger enn på land. Lydfarten i sjøen er 1470 - 1500 m/s , medan lydfarten på land er 330 m/s . Dette fører til større bølgjelengder i vatn enn på land. For ei bølge med frekvens 100 Hz er bølgjelengda 3,3 m på land og omlag 14,5 m i sjøen [FGT96]. Absorpsjonen er låg, og bakgrunnsstøyen vert difor høg, jf. kap 2.4. Evna fisken har til å skilja mellom ulike frekvensar og styrke er difor viktig. Hysa kan skilja ei endring i styrke på 1,3 dB ved 50 Hz . Einskilde artar kan og skilja mellom fasen i signalet. Terskelen for deteksjon vert høgare dersom bakgrunnsstøyen er høg. Maskering av lyd verkar best dersom lyden ligg i same frekvensområdet som bakgrunnsstøyen.

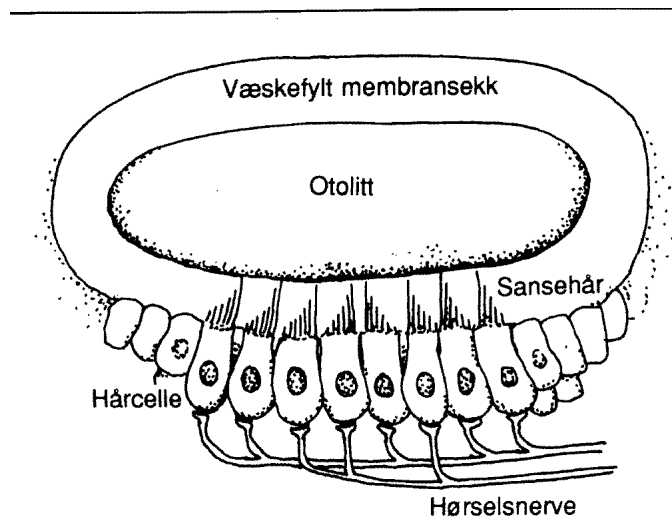
Fisk har ikkje eit ytre øyre slik vi menneske har. Det har likevel vore kjent lenge at fisken er i stand til å høyra, men kunnskapen om mekanismane for denne eigenskapen er relativt ny. Framleis er mykje uklårt når det gjeld høyrsla til fisken. Det indre øyra er sett saman av tre øyregangar og tre otolittar, sacculus, utriculus og lagena. Øyregangane sansar rotasjonsrørsle, medan otolittane fungerer som aksellerometer som sansar aksellerasjon. Symjeblæra fungerer som ei resonanskasse, og måten symjeblæra er kopla saman med øyra på, er viktig for kor godt fisken høyre. Figur 2.3 viser ei skisse av øyra til fisken.



Figur 2.3: Plassering av det venstre, indre øyra. Figuren er kopiert frå [DR92].

Otolitten

Otolitten finn ein i det indre øyra på fisken. Denne er festa med nervetrådar til innerøyra (maculae). Sidan otolitten er tyngre, og dermed tregare enn fisken, vert den relative rørsla mellom fisken og otolitten fanga opp. Fisken fangar opp partikkelrørsla, men ikkje trykkendingane. Otolitten oppfattar difor berre ¹hastigheitskomponenten til lydbølgja. Figur 2.4 viser ei skisse av otolitten.



Figur 2.4: Skisse som viser skjematisk korleis dei tunge otolittane ligg i direkte kontakt med sanseshårbuntane i hårcellene. Hårcellene vert stimulerte når organet vert aksellerert. Figuren er kopiert fra [DR92].

Otolitten kan og hjelpa fisken til å bestemma retning og aksellerasjon. Ved aksellerasjon vert otolitten pressa bakover. Otolitten vert påverka av tyngdekrafta. Dette hjelper fisken til å bestemma orientering i høve til gravitasjonskrafta. Forsterka lyd frå symjeblera forstyrrar signalet og forvirrar fisken. Det er difor usikkert kor nøyaktig fisken kan bestemma retninga.

Symjeblera

Symjeblera har mange funksjonar. Primærfunksjonen er å kontrollera oppdrifta, men for nokre artar fungerer den og som ei resonanskasse for lyd. Gass er lettare å komprimera enn væske, og trykksvingingane i lydsignalet får symjeblera til å vibrera. Denne vibrasjonen vert overført til øyra. På denne måten vert fisken indirekte sensitiv til trykkkomponenten i lydsignalet, og det fører til auka sensitivitet til lydbølgjer.

¹Hastighet er fart med retning, \vec{v} .

Ikkje alle artar har denne eigenskapen, og ein kan dela inn artar i kor godt dei høyrer alt etter kva type symjebære dei har, jf. kap 2.6. Nokre artar manglar symjebære, nokre har symjebære knytt til øyra, medan andre har symjebære som ikkje er knytt til øyra i det heile [DR92].

2.3.3 Frekvensområdet

Fisk kan, avhengig av art og type symjebære, høyra frekvensar mellom $50Hz$ til $2000Hz$. Dei fleste artane er mest sensitive kring $120Hz$.

Dersom fisken manglar symjebære, som t.d. flyndrefiskane, er fisken døv for tonar over $250Hz$. Sild har kanalar mellom symjebæra og øyra, og høyrer tonar opp til $2000Hz$. Dei fleste artar med symjebære har ingen spesielle strukturar som knyter symjebæra saman med øyra, og desse dannar ei mellomgruppe. Torsk er eit typisk døme. Torsk kan høyra frekvensar opp til omlag $500Hz$ [DR92].

Det er likevel indikasjonar som tyder på at fisk er i stand til høyra i eit vidare frekvensområde.

Infralyd

Sand og Karlsen [SK86] viste at fisk var sensitive til infralyd. Med infralyd meiner vi området mellom $0,02Hz$ og $20Hz$. Måling av fisk sin respons på så låge frekvensar er vanskeleg. Mange målingar viser ein auke i høyrsesterskelen for fleire artar kring $1Hz$. Grunnen til dette er uklar, men ei årsak kan vera maskering av denne frekvensen med støy frå gjellene, eller bakgrunnsstøy frå målekaret som hadde ein resonansfrekvens på $4,7Hz$. Målingane ved $0,1Hz$ er truleg utan feil. På grunnlag av dette trur ein at sensitiviteten på partikkelaksellerasjon er omlag lik i heile infralydsområdet. Dersom lyden frå gjellene maskerer lyd har dette berre biologisk interesse. Fisk reagerer på infralyd eit par meter frå lydkjelda. Dette er av lita interesse for oss.

Ultralyd

Det er rapportert om fisk som har reagert på frekvensar nytta av ekkolodd. Dette stiller spørsmålet om fisk er i stand til å høyra i ultralydsområdet. I vårt tilfelle er det frekvensar over $10kHz$; frekvensar nytta til akustisk mengdemåling. Det er gjort forsøk med torsk der det kan tyda på ein viss reaksjon på høge frekvensar [AM93], men dette er berre for tilfelle nær støykjelda og med svært høg intensitet.

2.3.4 Retningsbestemming av lyd

Fisk er i stand til å retningsbestemme akustiske signal [SdMJ87] [BSH83] [HS77]. Spørsmålet er kor godt fisken er i stand til å gjera det.

Mekanismar for retningsbestemming av lyd.

Sjølv enkle lydbølgjer er nok for at fisk skal kunna bestemme retninga og amplituden til stimuliet [BGD81]. Polariteten til lydbølgja spelar inga rolle. Dette indikerer at fisken har eit presist system for retningsbestemming av lyd. Korleis fisken skil mellom ulike polaritet er enno ikkje forklart (om lydbølgja byrjar med kompresjon eller dekompresjon).

Ei lydbølgje er sett saman av ei partikkelrørsle og ei trykkbølgje. Fisk med symjeblære er i stand til å detektera begge komponentane. Otolitten vil detektera lydsignalet direkte frå partikkelkomponenten til lydbølgja, og indirekte via symjeblæra. Det indirekte stimuliet inneheld ingen informasjon om retninga til lydbølgja. Det direkte og indirekte stimuliet vil vera ute av fase. Lyd frå motsett retning vil ha ulike faseskilnader mellom direkte og indirekte stimuli. Det eksisterer teoriar på at fisken nyttar denne faseskilnaden til å skilja 180° mellom signal [Sch75] [Sch76]. Det eksisterer eksperimentell støtte for denne teorien. Det er vist at torsk [SB75] kan skilja signal 180° frå ein annan. Det er og vist at torsk kan skilja mellom motsette signal i vertikal- og transversalplanet [BSH83]. Det er difor rimeleg å gå ut frå at fisken er i stand til å skilja retning i vertikalplanet til liks med horisontalplanet.

For fisk utan symjeblære held ikkje denne teorien. Fisken nyttar otolitten til å bestemme retninga, men korleis han skil retningar 180° frå ein annan er enno ikkje skikkeleg forklart.

Faseskilnaden mellom partikkelrørsle og trykkbølgje endrar seg med avstanden til kjelda. Denne faseskilnaden kan fisken truleg detektera og nytta til å bestemme avstanden til kjelda. Det er gjort forsøk med torsk og det er vist at han kan skilja mellom lyd kjelder plassert 1, 3m, 4, 5m, og 7, 7m frå fisken [SA83]. På lange avstandar er denne faseskilnaden tilnærma konstant. Det er difor lite truleg at fisken kan avgjera avstanden til båten på lengre avstand.

Kor nøyaktig kan fisk avgjera retninga til lyd kjelda?

At fisk er i stand til å bestemme retninga til ei lyd kjelde er viktig, men like viktig er det kor nøyaktig han kan avgjera retninga. Ved å observera fluktretninga under akustisk stimuli, fann Olsen [Ols69] [Ols76] ut at silda kunne avgjera retninga til stimuliet i eit område innanfor 45° . Dette vart stadfesta av Sorokin [Sor89]. Ved bruk av “reward conditioning” på wrasse vart det observert ei retningsbestemming innanfor 20° [Sch74a]. Liknande data for retningsbestemming vart funne for torsk, både for “cardiac” og “reward conditioning” eksperiment [CJ74], [SS74], [Sch75], [HS77]. Ein får ulike resultat ved ulike forsøk, men det er rimeleg å tru at retningsbestemminga ligg innanfor ei fordeling på

$\pm 25^\circ$. Lydnivået kan og vera med på å avgjera kor nøyaktig fisk er i stand til å avgjera retninga til stimuliet.

Ved kva lydnivå kan fisken avgjera retninga til stimuliet?

Den teoretiske minste partikkelpåverkinga otolitten kan registrera ligg på omlag $2 \cdot 10^{-11}m$. Estimat på grensa for retningsbestemming av lyd ligg kring $3 \cdot 10^{-11}m$ [Sch75]. I dB svarar dette til $35dB$ rel $1\mu Pa$ og $33dB$ rel $1\mu Pa$ (frå likning 2.2 og 2.4). Dette er teoretiske verdiar, og dei verkar urimeleg låge. Truleg vil mange faktorar påverka desse grensene. Sidan nivået på bakgrunnsstøyen overstig desse nivåa for retningsbestemming av lyd, er det rimeleg å tru at fisken er i stand til å retningsbestemma lydstimuliet når han er i stand til å registrera det. Schuijf skriv (s.106 [Sch74b]): “There is no distance limit for directional hearing (provided that the signal level exceeds the threshold for directional hearing at the existing ambient noise level)”. Det er viktig å vera klar over at desse resultatata ikkje er prova. For lengre distansar må ein nytta åtferdsforsøk for å verifisera resultatet. Som ei forenkling vert reaksjonslydtrykk sett likt lydtrykket for retningsbestemming av lyd.

Ved kva frekvensar kan fisken avgjera retninga til stimuliet?

Truleg er evna til å retningsbestemma lyd avhengig av frekvensen til lydsignalet. Den øvre frekvensgrensa for torsk ligg truleg kring $150Hz$ [Sch74b].

Er lydnivået for retningsbestemming avhengig av storleiken til fisken?

Det eksisterar lite data om storleik og retningsbestemming i litteraturen. Dersom fisken nyttar faseskilnaden mellom dei ulike otolittane, kan avstanden mellom dei vera eit mål på kor nøyaktig fisken kan retningsbestemma lyden. Det vil seia at større fisk kan registrera retninga til lydsignalet betre enn liten fisk, medan lydnivået for deteksjon er det same for alle fiskelengder. Dette er ikkje verifisert.

Det er vist skilnad i responsen hjå torsk ved støy frå seismisk skyting. Stor fisk hadde tendens til å flytta seg ut av området, medan mindre fisk vart att i støyfeltet [ELOS93]. Dette kan ha med ulik evne til å avgjera retninga til stimuliet, ulik høyrsel, eller ulik motivasjon for å reagera, jf. kap 2.7.

2.4 Bakgrunnsstøy

Bakgrunnsstøy er definert som lyd uavhengig av det observerte systemet, og bakgrunnsstøyen er alltid tilstades i ei eller anna form [Uri75]. Bakgrunnsstøyen er den teoretisk lågaste grensa for deteksjon av eit signal. Dette gjeld både for ekkolodd og høyrsel til fisk. I

havet ber lydbølgjene langt, jf. kap 2.3.2, og det er difor alltid noko bakgrunnsstøy. Det er mange typar bakgrunnsstøy i havet, og dei kan klassifiserast etter kva type lydkjelda er:

- Fysisk
Støy frå fysiske prosessar i havet som vind, turbulens, seismisk aktivitet, termisk aktivitet, regn, osb.
- Biologisk
Støy frå organismar i havet. Mesteparten av biologisk bakgrunnsstøy ligg mellom $5kHz$ til $100kHz$. Dette er eit frekvensområde som ikkje ber særleg langt. Biologisk bakgrunnsstøy er difor ikkje dominerande. Mikroseismikk influerer på infralydsområdet $0,02Hz - 20Hz$. Fisk er i stand til å høyra i dette området, og det eksisterer teoriar på at dette kan hjelpe fisken til å orientera seg [SK86].
- Menneske
Støy generert av menneskeleg aktivitet. Dette kan vera skip, boreriggjar, osb. Etter 2. verdskrig har støyen i havet auka monaleg. Somme stader med over $10dB$ [Ros76]. Dette har samband med ein auke i talet på skip, men og bruken av stadig kraftigare framdriftsmaskineri.

Bakgrunnsstøyen varierer med skipstrafikk og vertilhøve i området. Figur 2.5 viser gjennomsnittleg bakgrunnsstøy på djupt vatn [Uri75] ved ulike vertilhøve og skipstrafikk. I grunt farvatn er det vanskelegare å finna eit generelt mål på bakgrunnsstøyen. Inne i hamner, i fjordar og på grunt vatn på kontinentalsokkelen (til dømes $50m$ djupn), er bakgrunnsstøyen meir avhengig av varierende skipstrafikk og biologisk støy. Dersom ein tek bort fartøystøy og biologisk støy, er bakgrunnsstøyen tilnærma lik det ein finn på djupare vatn.

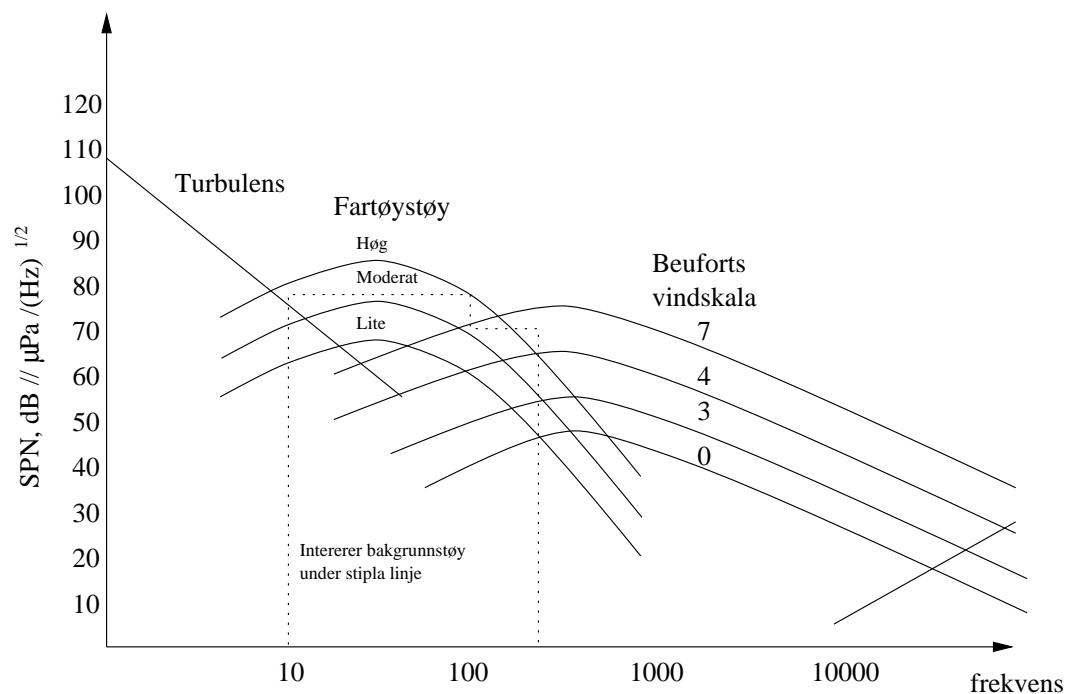
Dersom ein går ut frå moderat fartøystøy i eit område, kan ein finna ein øvre skranke for lydnivået, LN , tilbakgrunnsstøyen mellom $10Hz$ og $500Hz$. Ved hjelp av hjelpelinene (stipla) i figur 2.5 og likning (2.12) får ein:

$$LN_{bakgrunnstøy} < 100dB / 1\mu Pa$$

Dersom reaksjonstersklane ligg godt over denne terskelen, omlag $10dB$ [Mit95], vil fisken vera klar over fartøyet før han reagerer, og reaksjonen vil vera “gjennomtenkt”, jf. kap 2.7.

2.5 Symjekapasitet

Det er mange faktorar som er med på å bestemma symjekapasiteten til fisk. Symjekapasiteten er viktig for å modellera åtferda ved unnviking frå fartøy. Dersom fisken over lengre tid har tappa energireserven, har ikkje fisken krefter til å utføra fluktrespons når støyenivået er høgt nok. Faktorar som er med på bestemma symjekapasiteten:



Figur 2.5: Gjennomsnittleg bakgrunnstøy på djupt vatn, frå [Uri75]

- Art
- Storleik (lengd)
- Temperatur
- Underernæring/for

Det eksisterer data om symjefart og uthald for ulike fiskeslag i litteraturen. Datasetta har tildels stor uvisse. Det er og store variasjonar mellom individ av same storleik og art [Bea66]. Individuelle skilnader kan koma opp mot 24% [Bai60] [Bre67].

Data ein finn i litteraturen om symjefart er ikkje konsistente. Det er nytta ulike målemetodar i dei ulike forsøka, og det er individuelle skilnader mellom individ av same storleik. Det er og skilnad på symjefart mellom ideelle tilhøve og naturlige. Forsøka er gjort medan fisken sym rettlinja (steady swimming). I naturen vil fisken ofte endra retning, aksellerera og deaksellerera (unsteady swimming). Dette fører til eit auka energiforbruk.

Modellen skal lagast for torsk. Det eksisterer lite data på symjefart til torsk, men for sei finn ein eit betre datagrunnlag. I modelleringa vert seidatamengda nytta for å finna storleiksvariasjonane i symjefartane. Forsøk på torsk vert nytta til å justera kurva til rett temperatur og for å kompensera for at sei er ein raskare fisk. Dette er ei grov tilnærming, men det er gjort grunna manglande datagrunnlag.

Sjølv om data for symjefart og uthald er heft med tildels stor uvisse har dei likevel ein del støtte i litteraturen. Data for symjefart og uthald er difor sett som faste parameter

i modellen.

2.5.1 Symjefart

Omgrep for korleis farten til fisk skal klassifiserast vart innført av Hoar & Randal[HR9]. Desse er framleis i bruk.

- Vedvarande symjing (“Sustained swimming”) er definert som farten fisken er i stand til å halda i minst $200min$ utan å verta utmatta. Tilførsle av energi og oksygen er tilstrekkeleg for å gje nødvendig forbrenning (aerobt arbeid). v_{ms} er maksimal vedvarande fart.
- Prolongert symjing (“Prolonged swimming”) er den farten fisken er i stand til å halda i $20s$ til $200min$. Farten er større enn ved vedvarande symjing. Dette er ein mellomting mellom aerobt og anaerobt arbeid. v_{mp} er maksimal prolongert symjefart.
- Sprintsymjing (“Burst swimming”). Når fisken prøver å fanga eit byttedyr eller prøver å sleppa unna ein predator, kjem han opp i maksimal fart. Energtilførsla er anaerob, og fisken vert utmatta etter kort tid, typisk etter omlag $20s$. v_{ms} er maksimal fluktfart.
- Utmatting (“fatigue”) er når fisken ikkje lenger er i stand til å oppretthalda ei viss fart.

Symjefart vert gitt i kroppslengder pr. sekund [kl/s].

Vedvarande symjing

Ein symjefart mellom 0 og $2kl/s$ kan dei fleste aktuelle fiskeslaga oppretthalda over lenger tid. I tabell 2.5.1 er det oppgitt maksimal vedvarande symjefart for ulike artar. Vanleg symjefart for torsk mellom $25cm$ og $50cm$ ligg i området $1,4kl/s$ til $2kl/s$ [Vid81].

Vedvarande symjefart er ein funksjon av storleiken (lengda) til fisken. Wardle & He har undersøkt maksimal symjefart for sei som funksjon av lengda l [cm/s] [HW88]. Likning (2.27) viser samanhengen mellom symjefart og lengd ved $14^{\circ}C$.

$$v_{ms14^{\circ}C} = 29,5l^{-0,66}[kl/s] \quad (2.27)$$

I dei fleste forsøka der symjefart og uthald er undersøkt, har vasstemperaturen vore $10^{\circ}C$ til $20^{\circ}C$. Temperaturen i dei nordlegaste farvatna ligg mellom $4^{\circ}C$ og $12^{\circ}C$. Ved

²Frå artikkel[HW88]

³Frå formel (2.27) [HW88]

⁴[Bea66]

Tabell 2.2: Maksimal vedvarande symjefart for ulike artar og ulike storleikar

Art	Lengde [cm]	Temperatur [C]	Symjefart [kl/s]
Makrell	31	12	3,5
Sei ²	25	14	3,4
Sei ²	35	14	3,1
Sei ²	43	14	2,5
Sei ²	50	14	2,2
Sei ³	35	14	2,8
Sild	25	14	4,1
Torsk ⁴	35	8	2,6
Torsk ⁴	35	5	2,1

reduksjon frå $8^{\circ}C$ til $5^{\circ}C$ vert til dømes maksimal vedvarande symjefart for torsk redusert frå $2,6\text{kl/s}$ til $2,1\text{kl/s}$ [Bea66]. Dette viser at temperaturen er ein viktig parameter. Verdiane frå likning (2.27) er truleg for høge for kaldare farvatn. Dersom ein går ut frå at $\partial v_{ms}/\partial l$ er uavhengig av T , kan ein finna symjefarten for andre temperaturar ved å tilpassa kurva for sei til datamengda til torsk for $4^{\circ}C$ og $8^{\circ}C$, likning (2.28) og likning(2.29). Figur 2.6 syner resultatata grafisk.

$$v_{ms5^{\circ}C} = 29,5l^{-0,66} - 0,72[\text{kl/s}] \quad (2.28)$$

$$v_{ms8^{\circ}C} = 29,5l^{-0,66} - 0,22[\text{kl/s}] \quad (2.29)$$

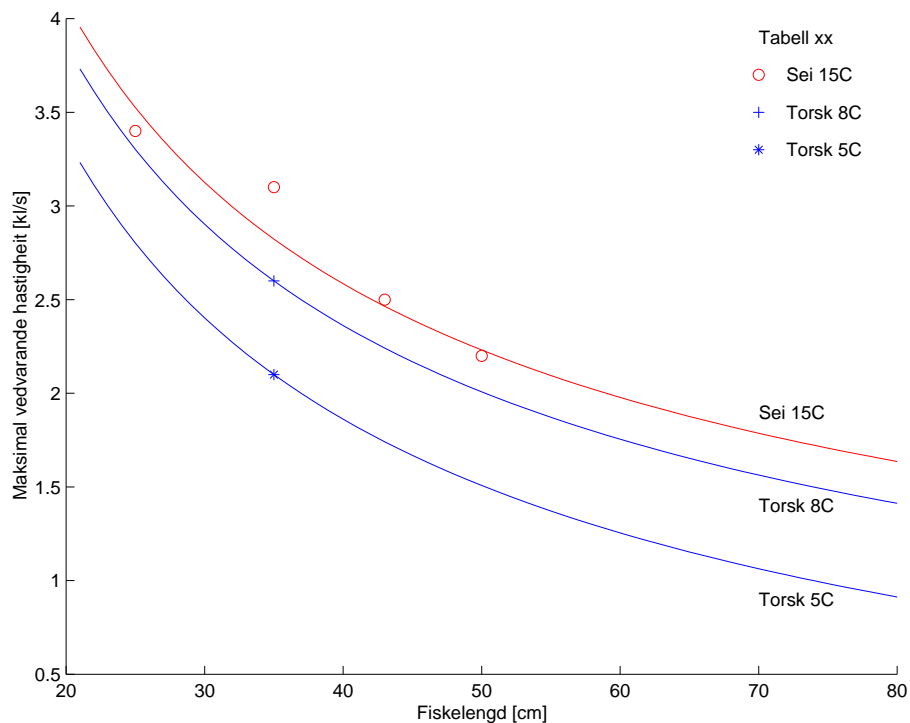
Dersom ein går ut frå at $\partial v/\partial T$ er uavhengig av l , kan ein setja opp ein samanheng slik likning (2.30) viser.

$$v_{ms}(l, T) = f(l) + g(T) \quad (2.30)$$

Dersom ein går ut frå ein lineær samanheng mellom symjefart og temperatur, for temperaturar mellom $4^{\circ}C$ og $12^{\circ}C$, får ein likning (2.31).

$$v_{ms}(l, T) = v_{ms5^{\circ}C}(T) + (v_{ms8^{\circ}C}(35\text{cm}) - v_{ms5^{\circ}C}(35\text{cm}))\frac{(T - 5)}{3} \text{ for } 5^{\circ}C < T < 8^{\circ}C \quad (2.31)$$

Det er viktig å presisera at dette gjeld kun dersom $\partial v_{ms}/\partial l$ er uavhengig av T , og at symjefarten, som funksjon av lengda, er lik for sei og torsk. Dette er ikkje nødvendigvis tilfelle, men det vert nytta som ei tilnærming.



Figur 2.6: Maksimal vedvarande symjefart for ulike lengder.

Prolongert symjing

I tabell 2.5.1 er maksimal prolongert symjefart gitt for ein del artar. Det er verdt å merka seg at den relativt store variasjonen i uthald ved symjefarten som er definert som maksimal prolongert symjefart. Dette gjer det vanskeleg å samanlikna data for ulike artar direkte.

Tabell 2.3: Maksimal vedvarande symjefart for nokre artar

Art	Lengde [cm]	Temperatur [C]	Symjefart [kl/s]	Uthald [min]
Makrell ²	31	12	4,5	15
Sei ²	25	14	4,9	2,0
Sei ²	35	14	4,1	3,0
Sei ²	43	14	3,6	1,6
Sei ²	50	14	3,4	1,6
Sild ²	25	14	5,5	3,0
Torsk ⁴	35	8	3,8	5,6
Torsk ⁴	35	5	3,4	4,2

Wardle & He [HW88] nytta samanhengen $\log v_{mb} = a \log l + b$ for å finna likning (2.27). Dersom ein tilpassar data frå tabell 2.5.1 mot funksjonen $v_{mb} = al^b$ ved å nytta minste kvadraters metode, får ein likning (2.32).

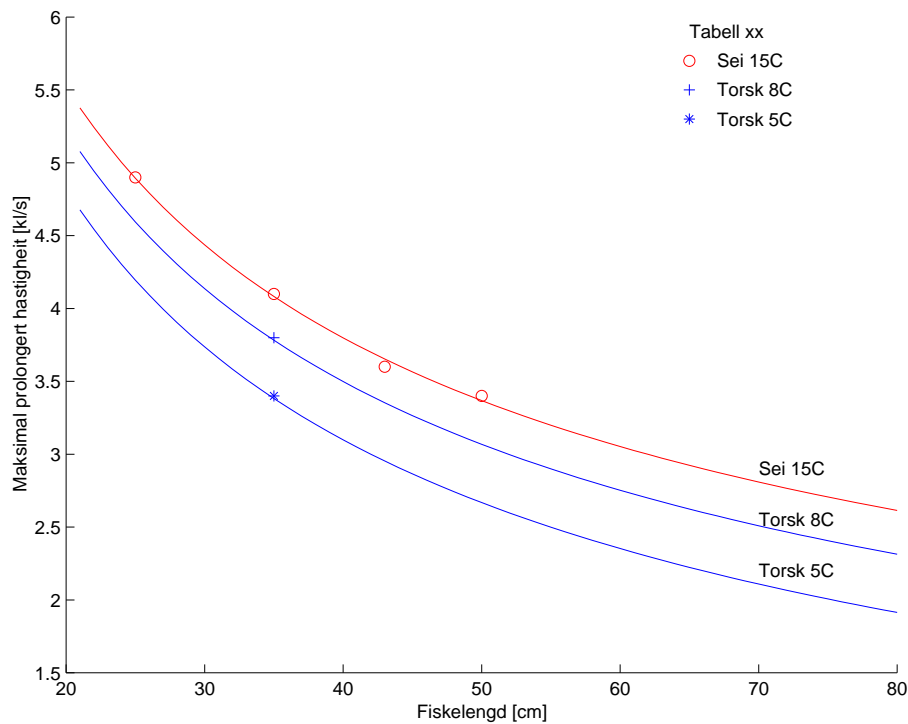
$$v_{ms14^{\circ}C} = 27,8l^{-0,54}[kl/s] \quad (2.32)$$

Likning (2.32) gjeld for $14^{\circ}C$. Dersom ein tilpassar likninga til data for torsk for $8^{\circ}C$ og $5^{\circ}C$ får ein likning (2.34) og likning (2.33).

$$v_{ms5^{\circ}C} = 27,8l^{-0,54} - 0,3[kl/s] \quad (2.33)$$

$$v_{ms8^{\circ}C} = 27,8l^{-0,54} - 0,3[kl/s] \quad (2.34)$$

For temperaturar mellom $5^{\circ}C$ og 8° vert lineær tilpassing nytta, på same måte som for v_{ms} . Resultata er synt i figur 2.7.



Figur 2.7: Maksimal prolongert symjefart for ulike lengder.

Det er gjort forsøk på korleis prolongert symjefart for torsk varierer som funksjon av temperaturen. Det vart ikkje funne signifikante endringar når temperaturen vart redusert frå $8^{\circ}C$ og $5^{\circ}C$ [Bea66]. Data frå tabellen indikerer ein skilnad i symjefart som funksjon av temperatur. Denne skilnaden vert nytta til å finna temperaturavhenge mellom v_{mp} og T , men det er viktig å vera klar over at denne skilnaden kan skuldast ulik prøvemetode e.l.

Sprintsymjing

I tabell 2.5.1 er maksimal symjefart gitt for nokre artar.

Tabell 2.4: Maksimal symjefart for nokre artar

Art	Lengde [cm]	Temperatur [C]	Symjefart [kl/s]
Makrell ²	31	12	18,0
Sei ⁵	19	9-12	5,3
Sild ⁵	18	10-15	6,7
Torsk ⁵	20	9,5-12	6,0
Uer ⁴	16	5-11	8,0
sei ²	25	14	8,7
sei ²	35	14	7,6
sei ²	43	14	7,0
sei ²	50	14	6,5

Temperaturen påverkar ikkje den maksimale symjefarten [Bla69]. v_{mb} er difor berre avhengig av art og lengde. Nyttar lengdedata for sei i tabell 2.5.1.

Dersom ein tilpassar datamengda for sei mot $\log v_{mb} = a \log l + b$ ved hjelp av minste kvadraters metode får ein likning (2.35). Figur 2.8 syner resultatata grafisk.

Denne funksjonen vert nytta for torsk slik den er. Sei er ein rask fisk, og det er feil å nytta symjefarten for sei på torsk, men det er ikkje ein kritisk parameter, jf. kap 3.5.1, og feilen vert ikkje stor.

$$v_{mb} = 33,3l^{-0,42}[\text{kl/s}] \quad (2.35)$$

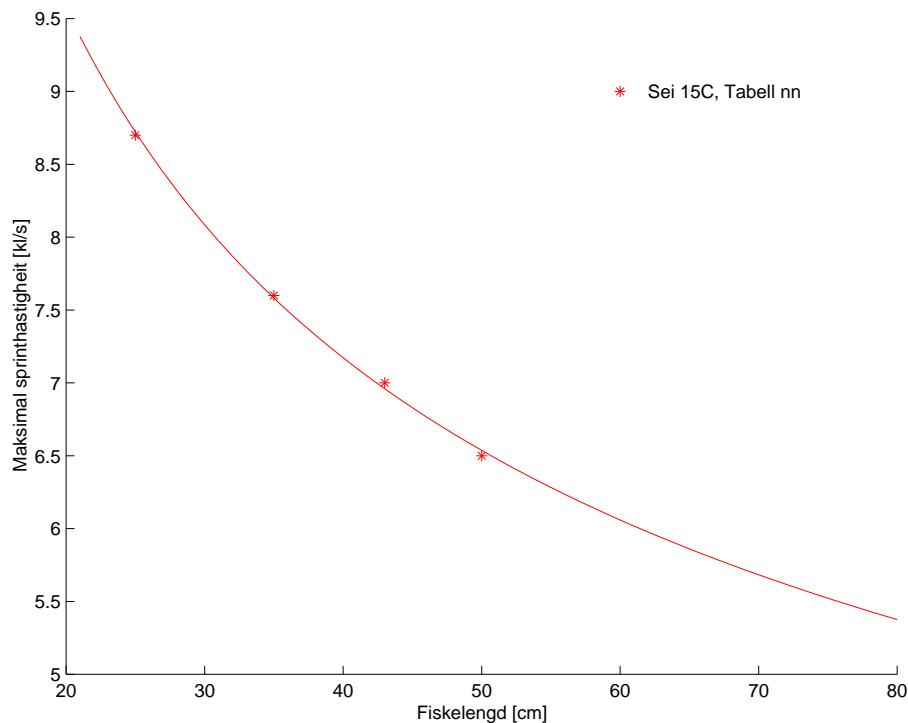
2.5.2 Uthald

Fisk, og fleire andre levande organismar, nyttar oksygen til å frigjera energi bunde opp i protein, feitt og karbohydrat. Energien vert nytta til å veksa, til å reprodusera, og andre aktivitetar, som rørsle og vandring. I denne omdanningsprosessen vert det danna vatn, varme og karbondioksyd. Fisken lyt kvitta seg med karbondioksyd og varme. Varme er sjeldan eit problem å kvitta seg med. Oksygensirkulasjonen vert difor den viktigaste avgrensande faktoren for uthald. So lenge fisken held seg under v_{ms} greier han å tilføra nok oksygen til forbrenninga (aerob energitilførsle). Dersom fisken sym fortare enn v_{ms} , går han over til dels anaerob og dels aerob energitilførsle.

Uthald $E(l, art, v, T)$ vert definert som den tida fisken kan oppretthalda ein gitt symjefart før han vert utmatta. E vil vera funksjon av lengd(l), symjefart(v), art og temperatur(T) i vatnet. Den vanlegaste samanhengen mellom uthald og symjefart er gitt ved likning (2.36) (prolongerte symjefart) og likning (2.39) (maksimal symjefart).

Etter utmatting vil fisken nytta ei viss tid til restitusjon. Denne tida varierer mellom ulike

⁵[BD59]



Figur 2.8: Maksimal symjefart for ulike lengder.

artar. For “sockeye salmon” [Bre64] tek det 8 timar for å nå 63% av maksimalverdien. Det tek eit par minutt for eit fartøy å gå eit par hundre meter. Det er difor ikkje noko poeng i modellera restitusjon av energi.

Uthald ved prolongert symjefart

Data for uthald hjå sei for prolongert symjefart er godt dokumentert [HW88]. Sidan data for temperaturvariasjonar ikkje er funne, vert berre storleiksvariasjonane frå tabell 2.5.2 nytta for prolongerte hastigheiter.

$$E_p(l, v) = a(l)v + b(l) \text{ når } v_{ms} < v < v_{mp} \quad (2.36)$$

Tabell 2.5: Uthald for sei ved prolongert-symjing[HW88]

Lengd [cm]	Temp	a	b	Uthald [min]
25	15	-1,17	5,95	2,0
35	15	-1,36	6,16	3,0
43	15	-1,52	5,91	1,6
50	15	-1,63	5,60	1,6

Lineær tilpassing av data frå tabell 2.5.2 vert nytta for å få samanhengane $a(l)$ og $b(l)$, gitt i likning (2.37) og likning (2.38).

$$a(l) = 0,708500 - 0,018601l \quad (2.37)$$

$$b(l) = 6,454895 - 0,014376l \quad (2.38)$$

Verdiane for $a(l)$ og $b(l)$ er frå sei. Forsøk har vist at parametrane varierer mykje mellom ulike artar, medan storleik og temperatur har mindre å seia [Vid93]. Det er derfor ei grov tilnærming å nytta data for sei. Frå tabell 2.5.1 ser ein at torsk har noko betre uthald enn sei, men at dette er definert ved ein lågare v_{mp} . Men sidan uthaldsparametrane ikkje er ein kritisk parameter, jf. kap 3.5.1, vert feilen frå desse tilnærmingane liten.

Uthald ved sprintsymjing

Data for uthald ved sprintsymjing er det ikkje funne like gode data for (!). Det er ikkje funne data for verken storleiksvariasjonar eller temperaturvariasjonar. Uthaldsfunksjonen er på same forma som for prolongerte hastigheiter, og er gitt ved likning (2.39).

$$E_b(v) = cv + d \text{ når } v > v_{mp} \quad (2.39)$$

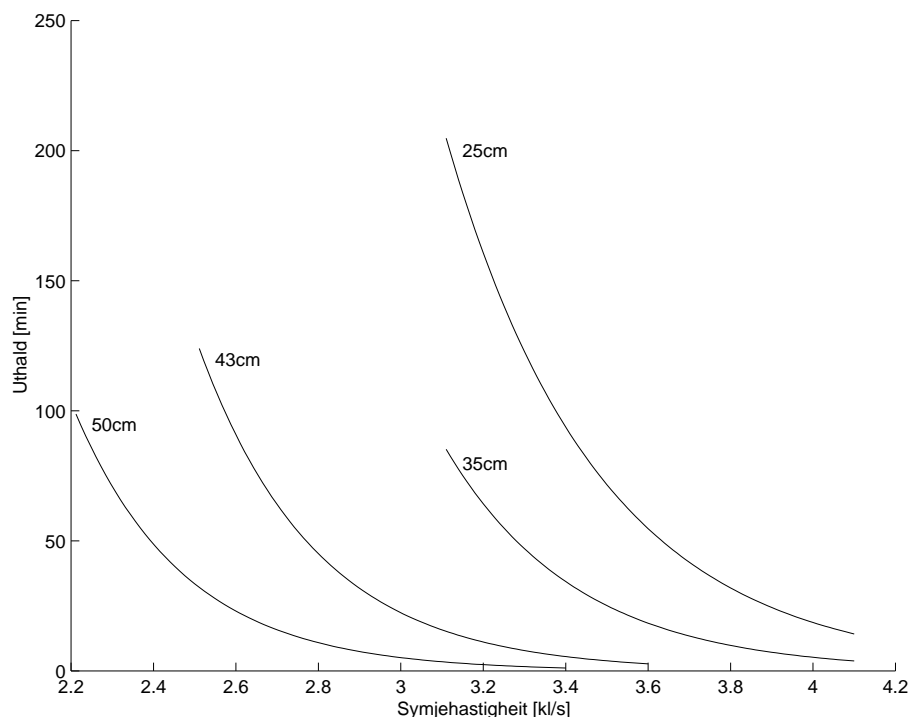
For c og d vert parameterverdier frå seismikkmodellen [Hol93] for 35cm torsk nytta, likning 2.40. Verdiane for c og d er torskedata, men utan storleiksvariasjonar. Det gjer at stor og liten fisk har "same" uthald ved sprintsymjing i modellen. Det er likevel rimeleg fordi parameteren er lite sensitiv, jf. kap 3.5.1.

$$\log E_b = -0,37v + 1,7 \quad (2.40)$$

I figur 2.5.2 er uthald i minutt vist som funksjon av symjefart.

2.6 Vertikalvandring og symjeblerå

Symjeblerå har to hovudfunksjonar. Den eine er å forsterka trykkkomponenten i lydbølgjene slik at fisken kan høyra betre, jf. kap 2.3.2, og den andre er å regulera oppdrifta. Utan symjeblerå har fisk ein tettleik som er høgare enn sjøvatn. Ved hjelp av symjeblerå regulerer fisken eigenvekta til å vera lik vatnet ikring. Når fisken har same tettleik som vatnet, har fisken nøytral oppdrift (flotasjon). Dersom fisken har negativ, eller positiv oppdrift lyt fisken nytta energi for å halda seg i ro på ei djupn i vassøyla.



Figur 2.9: Uthald som funksjon av symjehastighet for ulike lengder. $v_{mp}(l)$

Dei fleste pelagiske⁶ artane har utvikla symjeblære. Makrell manglar symjeblære, men fisk som sild, laksefisk, ål og torsk har symjeblære [DR92]. Botnfisk manglar i regelen symjeblære. Ein kan dela inn fisk etter kva type symjeblære dei har.

- Physostome artar

Hjå dei physostome artane er det ein kanal mellom symjeblæra og tarmen. Desse artane kan fylla blæra med å svelgja luft i overflata, og tømme den ved å sleppa gass ut i tarmen. Sild er eit døme på ein slik art. Sild kan og sleppa gass direkte ut via ein kanal ved gattet. Nokre av dei physostome artane kan og danna gass ved sekresjon, på same måte som dei physokliste kan. Då kan dei fylla symjeblæra utan å gå til overflata.

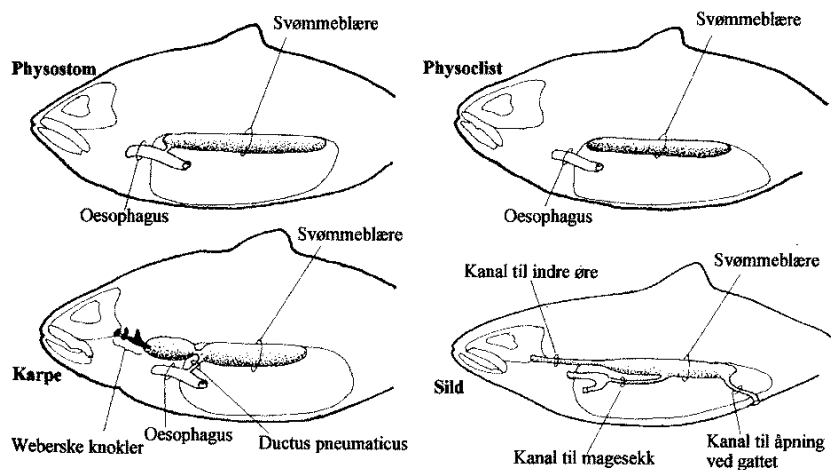
- Physokliste artar

Hjå dei physokliste er symjeblæra lukka. Torsk er ein slik art. Desse artane har eit organ som kan skilja ut og absorbera gass i symjeblæra. Dersom fisken endrar djup for eit lenger tidsrom, vil fisken regulera gassmengda i symjeblæra. Denne endringa tek tid, og den vil ikkje vera rask nok til å kompensera oppdrifta ved ein fluktrespons.

Gassen i symjeblæra er kompressibel, og ved vertikal vandring vil volumet endra seg pga. trykkendringa. Denne endringa fører til ustabil oppdrift. Ved vandring oppover i

⁶Pelagisk (gr. *pelagikos*, til *pelagos*, hav), som høyrer til, har med det opne hav å gjera, i motsetnad til kysten eller havbotn [ano92].

vassmassane, vil volumet verta større og oppdrifta auka. I ekstreme tilfelle vil oppdrifta verta så stor at fisken ikkje er i stand til å stogga, og symjeblerå vil brista. Dette gjeld berre dei physokliste artane. Ved vandring nedover vil symjeblerå verta komprimert, og oppdrifta vil minka. Symjeblerå brist ikkje, men fisken vil få negativ oppdrift og må nytta energi for å halda seg på den nye djupna.



Figur 2.10: Skjematiske figurar som viser symjeblerå si utforming hjå ein del teleostar. A.: Den physostome type har kanal til matrøyret. B.: Physokliste artar manglar denne kanalen. C.: Hjø karpesfisk er det to avdelingar av symjeblerå, og ei gruppe knoklar (dei Weberske knoklane) som fører lydsvingane inn i det indre øyret. D.: Sild er spesiell ved at det er ein kanal til det indre øyret, ein til magesekken og ein til baktarmen rett ved gattet. Figuren er henta frå [Har97]

Det som er interessant i denne oppgåva, er om symjeblerå legg avgrensingar på vertikal flukt nedover. Dersom fisken er nøytralt, eller negativt flottert⁷ ved fluktrespons, vil ikkje symjeblerå fysisk hindra ein fluktrespons. Etter kvart vil den negative oppdrifta hjelpe fisken til raskare vertikal flukt. Dersom fisken har positiv oppdrift, vil fisken måtta overvinna den positive oppdrifta ved vertikal flukt. Dette vil ha noko å seia før fisken kjem forbi punktet med nøytral oppdrift.

Ved flukt oppover i vassmassane vil fisken kunna sprenga symjeblerå.

Dersom ein fisk med lukka symjeblerå vil flytta seg over eit større område i vertikalplanet, kan ein tenka seg at han vil vera i nøytral oppdrift kring gjennomsnittsdjupna (det tek tid å innstilla seg på ei ny djupn). Dersom det er slik, vil fisk som er høgt i vassøyla ha positiv oppdrift, og dette sannsynleggjer redusert vertikal flukthastigheit for fisk høgt i

⁷Nøytralt eller negativt flottert er om fisken har nøytral eller negativ oppdrift

vassøyla.

Det er vist med merkeforsøk [Mic99] at torsk er i stand til å vandra vertikalt over større avstandar enn det symjeblæra i teorien greier å tilpassa ved gassekresjon/resorpsjon. Dette indikerer at fisken kan flykta nedover sjølv om han vert kraftig underflottert.

I modellen er ikkje ein redusert vertikal symjefart viktig for resultatet, jf. kap 3.5.1. Ein gjer truleg ingen stor feil ved å sjå bort frå den reduserte vertikale flukthastigheita pga. for stort symjeblærevolum, men det er viktig å merka seg at det kan medføra ein kostnad for torsken å vera underflottert. Dette vil kunna påverka motivasjonen for reaksjon, jf. kap 2.7. Dette kan vera med å avgjera reaksjonstersklane til fisken, som er svært sensitive i modellen.

2.7 Fiskeåtferd

Fisken si åtferd er avhengig av informasjonen frå sanseorgana. Sjølv om fisken har oppdaga eit fartøy, er det ikkje sikkert fisken vel å unnvika likevel. Dette skuldast at fisken kan ha ulik motivasjon og terskel for å reagere. Ulik motivasjon kan ha samheng med ytre faktorar, indre faktorar, og vektinga mellom dei ulike faktorane, jf. figur 2.11.

For å kunna reprodusera seg må fisken ta til seg føde, gyta og unngå å verta eten opp. Alt som fisken gjer, lyt sjåast i samheng med dette. I biologien er det vanleg å forklara åtferd hjå dyr som eit resultat av evolusjon. Dersom ein går ut frå at ulikskapar i reprodutiv suksess⁸ mellom individ skuldast ulik åtferd, og at denne åtferda er arveleg, kan ein visa at individ med høg reprodutiv suksess vil spre sine gener, og med det si åtferd, i populasjonen [Pit93]. Dette gjer at fisk er i sterk intraspesifikk konkurranse med fisk av same art. Graden av denne konkurransen er med på å avgjera seleksjonspresset.

Darwin [Dar59] meinte at individuelle skilnader er ein føresetnad for evolusjonen. Darwin nytta denne teorien til å forklara utviklinga av utsjånaden til artane. Dersom ein går ut frå at åtferd er eit resultat av evolusjon, lyt ein på same måte gå ut frå at fisk frå same art kan ha ulik åtferd, sjølv om dei ytre og indre faktorane er like. Desse ulikskapane er representerte ved ulik vekt på motivasjonsfaktorane.

Åtferd treng ikkje berre vera avhengig av arv. Læring kan påverka åtferda til individ. Dersom læring er viktig, vil evolusjonen kunna favorisera individ med høg lærekapasitet. Dette vil sjølvstakt vera ei avveging mot andre eigenskaper, slik som symjekapasitet, utvikling av sanseorgan osv. Det er definert ulike omgrep når det gjeld læring [Pit93]:

- Learning - Læring: Langsiktig endring i sannsynlegheit for at ein spesiell åtferdreaksjon skal inntreffa ved eit spesielt stimuli. Denne endringa skjer over tid. Eit typisk døme er Pavlov sine hundar. Hundane vart trent til å forbinda ei bjelle med mat. Etter ei stund fekk hundane same reaksjon, sjølv om dei ikkje fekk mat når bjella ringde [Pav41].

⁸fitness

- Imprinting - Preging: Refererer til utvikling av sosial tilhørsle og miljøtilpassing som eit resultat av erfaringar i ei sensitiv livsfase tidleg i livet.
- Habituation - Habituering: Tilvenning til eit stimuli. Minkande respons etter å ha vore utsett for eit bestemt stimuli gjentekne gonger, på same måte som i eventyret “Ulv! Ulv!” [Ano66], om guten som skulle gjeta sauene til far sin.

Habituering er viktig i høve til fisk sin reaksjon mot fartøystøy. Ein kan tenka seg at fisken vert habituert til fartøystøy. Reaksjonen vil då kunna vera avhengig av skipstrafikken i området. Når det gjeld habituering er og livslengde viktig. Fisk med eit langt livsløp vil verta eksponert oftare for eit stimuli enn eit individ med eit kort livsløp. Dette fører til større sannsynlegheit for habituering. Torsk har eit langt livsløp. Skreien vert kjønnsmoden etter 7-15 år, 8-9 år er vanleg, og han kan verta 40 år gamal [Pet89], dersom det ikkje er stort fiskepress.

Figur 2.11 viser eit oversyn over faktorar fisken lyt ta omsyn til, og klassifiserer dei ulike faktorene i indre faktorar, biotiske ytre faktorar og abiotiske ytre faktorar. Abiotiske faktorar har med det fysiske miljøet å gjera, medan biotiske faktorar har med det biologiske miljøet å gjera. Arv og læring avgjer vekta på dei ulike stimulia.

2.7.1 Motivasjon

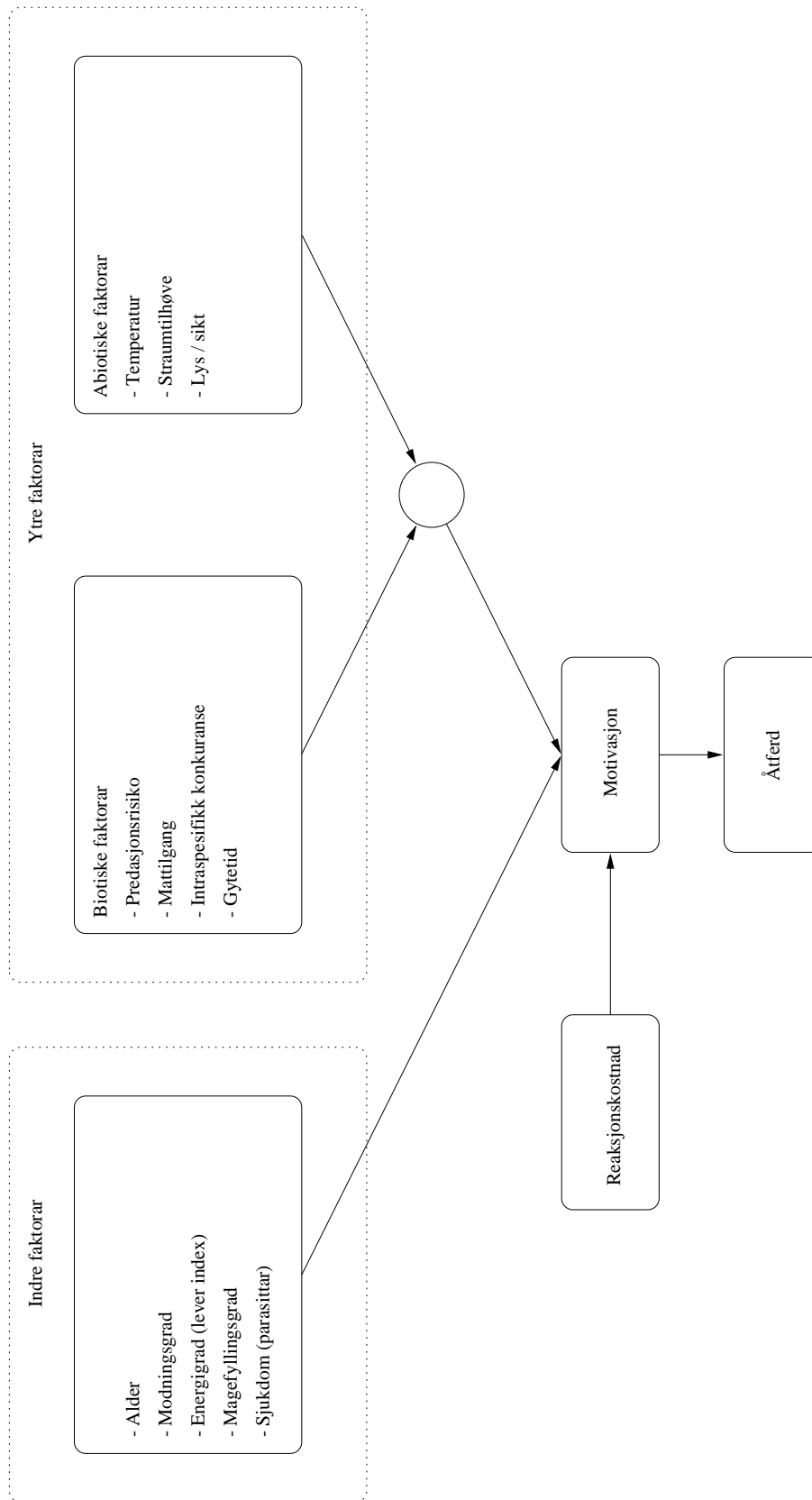
Det er gjort ein god del åtferdsforsøk som viser at fisken endrar åtferd alt etter kva tilstand han er i. Dette får konsekvensar for fisk sin reaksjon på fartøy. Reaksjon på fartøystøy kan tenkast å vera ei form for antipredatoråtferd [Fer]. Dersom det er slik vil faktorar som verkar inn på antipredatoråtferda og verka inn på fisk sin reaksjon mot fartøy.

Endra motivasjon ved underernæring

Den indre tilstanden til fisken påverkar motivasjonen for predatorreaksjon. Dersom fisken til dømes er underernært, vil fisken bruka meir tid til å finna føde. Det vert relativt viktigare med mattilgang enn vigilans⁹. Vektinga mellom vigilans og søking etter mat endrar seg. Ein fisk som ikkje er underernært kan nytta meir tid til å passa seg for eventuelle predatorar. Det er vist at ørekyte som er underernært tek større sjansar enn ørekyte som ikkje er underernært [Mil85].

Dette fører til at fisken endrar motivasjonen for reaksjon, og legg relativt mindre vekt på predator-deteksjon og unnviking enn mattilgang.

⁹Vigilans er kor årvaken og klar fisken er til å reagere på eventuelle predatorar.



Figur 2.11: Ulike faktorar, delt inn etter type, som kan tenkjast å ha innverknad på motivasjonen.

Ulik motivasjon ved ulike alder

Alder kan påverke åtferdsmønsteret. Liten fisk er ofte meir sårbar mot predasjon, medan stor fisk har få eller ingen naturlege predatorar. Ungtorsk er utsett for predasjon frå mange artar, til og med sin eigen, medan stor torsk har nesten ingen naturlege predatorar. Dette endrar truleg motivasjonen for reaksjon ved ulike stadium i livet.

Sidan dietten til stor og liten fisk er ulik [Meh89] er det ikkje sikkert stor og liten fisk vurderer kvaliteten på mattilgangen likt. Dersom kvaliteten på maten er god for stor fisk og dårleg for liten fisk, vert motivasjonen for å reagere ulik.

Ulik motivasjon ved ulike tider på året

Det er ulike strategiar for å overleva alt etter kva situasjon fisken er i. Eit døme på dette er sild som har ulike åtferdstrekk før, etter og under gyting [NAB⁺96]. Under vandring til gytefeltet er det viktig å minimera risikoen for predasjon. Fisken er gytemogen og ber på ei viktig “last”. Fisken sym på djupt vatn i store stimar og er ikkje villig til å beita. Etter gyting må fisken ta til seg føde for å overleva. Motivasjonen endrar seg og fører til at stimstorleiken går ned, fisken står høgare i vassøyla, og fisken byrjar å beita. Dette tyder på at fisk har ulik motivasjon til reaksjon alt etter kva livssituasjon han er i.

Ulik motivasjon ved ulike tider på døgeret

Ulike tider på døgeret gjev ulike åtferdsmønster hjå fisk. Syn er viktig for deteksjon av predatorar og byttedyr. Dei varierende lystilhøva påverkar fisken si evne til å sjå og verta sett. Dette kan verka inn på vurderinga av kor stor predasjonsrisikoen er. Dersom sikten er god, kan fisken vurdere det slik at faren er mindre fordi han har “kontroll” over situasjonen. Dersom det er lite lys, vil fisken kunna føla seg trygg, og mindre tid vert nytta til vigilans. Dette endrar motivasjonen, og sannsynleggjer at døgervariasjonar kan påverka reaksjonsmønsteret.

Ved soloppgang og solnedgang kan liten laks beita høgare i vassmassane utan ei stor auke i predasjonsrisiko [CL88]. Dette viser at lyset spelar ei viktig rolle når det gjeld predatorpress. Eit endra predatorpress fører til endra motivasjon, som kan føra til endra reaksjon mot fartøy.

Ulike artar har ulik motivasjon

Ulike artar har som regel eit ulikt reaksjonsmønster fordi dei har ulike føresetnader for reaksjon. Fysiologien til fisken set avgrensingar som fisken må kompensera for med ulik åtferd. Ulike artar har ulikt predatorpress og mattilgang. Artar som har eit lågt predatorpress og dårleg fødetilgang vil leggja større vekt på søking etter føde, medan artar med eit større predatorpress truleg vil nytta meir tid til vigilans. Terskelen for

reaksjon vert då truleg lågare. Fisk under eit sterkt predatorpress kan utvikla stimåtferd som eit mottiltak.

Individuelle skilnader i motivasjon mellom individ av same populasjon

Dersom ein skal modellera korleis fisk reagerer på fartøystøy, er det rimeleg at fisk av ulik storleik og art reagerer ulikt. Dette er målbare storleikar. Det er ikkje sikkert at individ som er like store og av same art reagerer likt i same situasjon. Med same situasjon meiner ein at dei ulike faktorane i figur 2.11 er like. Små skilnader i det genetiske materialet gjev små ulikskapar i åtferda. To tilsynelatande like fisk kan ha litt avvikande åtferdsmønster. Det gjer det difor vanskeleg å modellera.

2.7.2 Ulike strategiar for predatorunnaviking for pelagisk fisk

Ved predatorunnaviking kan ein tenka seg ulike predatorunnavikingsstrategiar. Reaksjonsmønsteret kan tenkast å vera avhengig av dei same faktorane som styrer motivasjonen, sjå figur 2.11.

Pelagisk fisk er tilnærma vektlaus i vassøyla, avhengig av fyllingsgraden i symjeblæra. Fisken kan flytta seg i tre retningar. På den andre sida har ikkje fisk som går pelagisk nokon stad å gøyme seg. Typiske reaksjonsmønster kan vera:

- “Vertikal flukt”.
- Minimering av stimuli.
- Stimdanning.

“Vertikal flukt”

Dersom ein predator nyttar synet til å finna byttet, vil bytte lettare kunna identifiserast frå undersida, grunna kontrastar mot lyset frå oversida. Ein kan tenka seg ein reaksjon der fisken prøver å hindra predatoren å koma under seg. Det vil han kunne gjera ved å flykta nedover i vassmassane.

Minimering av stimuli

Ein kan tenka seg at fisken ved ein reaksjon prøver å minimera stimuliet basert på informasjonen han sit inne med.

Dersom fisken i utgangspunktet ligg rett framom fartøyet er det observert at fisken sym i sikksakk framom fartøyet [Ole96]. Lydfeltet er i verkelegheita dempa rett framom

fartøyet. Dette fører til at fisken sym inn i eit felt med høgare lyd når han sym på tvers av fartsretninga til fartøyet. Stimuliet aukar og fisken snur for å prøva å minimalisera stimuliet. Dette kan indikera at fisken prøver å minimera stimuliet.

Stimdanning

Fisk oppnår fleire fordelar ved å gå i stim. Fisken utvekslar informasjon mellom individ [Pit93], og det fører til betre lokalisering av føde og tidlegare predator-deteksjon. Dette gjev meir tid til å beita. I tillegg har ein del artar utvikla spesielle predatorunnavikingsstrategiar.

Kostnadane ved å gå i stim er auka intraspesifikk konkurranse. Dersom mattilgangen er avgrensa vil konkurransen om føda i stimen verta stor. Fordelane med stiming aukar ikkje like raskt som ulempene når stimen vert stor nok. Ein enkel analyse foreslår difor at det vil vera ein optimal stimstorleik [Ber78]. Den optimale stimstorleiken vil vera sterkt avhengig av preadatorpress, art, mattilgang osv. Dersom preadatorpresset aukar, vil den optimale stimstorleiken auka.

Di fleire auge som ser, dess større sjanse er det for at predatoren vert oppdaga tidleg. Fisken kan då vurdera faren og beita lenger på ein stad enn om predatoren overraskar fisken. Dersom fisken oppdagar predatoren seint, har ikkje fisken tid til å vurdera faren, og vil reagere før det som hadde vore optimalt [Pit93]. Det er viktig å halda seg lengst mogeleg på eit beite med stor mattilgang.

I tillegg til fordelane med deteksjon av predatorar og enklare søking etter mat, vil fisk i stim kunna nytta spesielle predatorunnavikingsstrategiar. Døme på antipredatorstrategiar er predatorinspeksjon [Pit86], forvirringseffekten [LT86] og fleire. Felles ved alle desse strategiane er at ein treng ein viss storleik på stimen for at det skal vera effektivt.

Stimåtferd og predatorunnaviking er modellert for sild [VN97]. Det er nytta to strategiar for enkeltindividet i modellen:

- 1 Silda sym mot felt der tettleiken er høgare
- 2 Dersom det er ein predator i nærleiken, vil silda symja i motsett retning av posisjonen til predatoren.

2.7.3 Reaksjon på akustiske stimuli

Det er fleire moment ved responsen på akustiske stimuli som er viktig.

- Ulik åtferd ved ulike lydnivå
Nivået på stimuliet påverkar motivasjonen for reaksjon.

- Frekvensavhengig respons
Øyret oppfatar ulike frekvensar ulikt. Lydstimuli i frekvensområde der øyret er mest sensitivt vil gje ein sterkare motivasjon for reaksjon.
- Alder på fisken
Storleiken på fisken vil påverka motivasjonen for unnvikning.
- Kondisjon
Ernæringsgrad og ev. parasittar påverkar motivasjonen for predatorunnvikning.

Døme på reaksjon på fartøystøy

Feltforsøk har vist at torsk reagerer 200m framom fartøy med trål [Ona88a], og at ein får ein svakare, men tilsvarande respons dersom fartøyet går utan trål. Etter fartøyet har passert tek det 6min til 10min til den evakuerte plassen er fylt opp igjen. Ved passering av propellen får fisken ei kraftig vertikal unnarømming. Dette gjeld særleg mellom overflata og 200m djupn [OG90].

Ved overflatetråling etter 0-gruppe-fisk¹⁰ kan effekten vera dramatisk. Sjølv med moderat horisontal rørsle kan effekten føra til dramatiske reduksjonar i fangsten. Der propellen har gått, vert det danna ein “tunnel” mest utan fisk. Tråldørane er med på å forsterka denne effekten ved å skrøma fisk vidare utover. Vanlegvis skrømer tråldørane fisk innover mot trålen, men det krev at fisken i utgangspunktet er innanfor tråldørane. Effektiviteten ligg på omlag 3 til 5% på 0-gruppe “redfish” og sild [Ona88b].

Åtferd ved ulike storleikar

Det er vist at seismisk skyting endrar fordelinga mellom aldersklassane. Dette syner at fisk i ulike alderklassar reagerer ulikt på akustiske stimuli. Om dette har med symjekapasitet, høyrsel eller ulik åtferd for ulike årsklassar å gjera er uvisst [ELOS96]. Sidan seismisk aktivitet fører til endra storleiksfordeling, er det rimeleg at vanleg fartøystøy kan gjera det same.

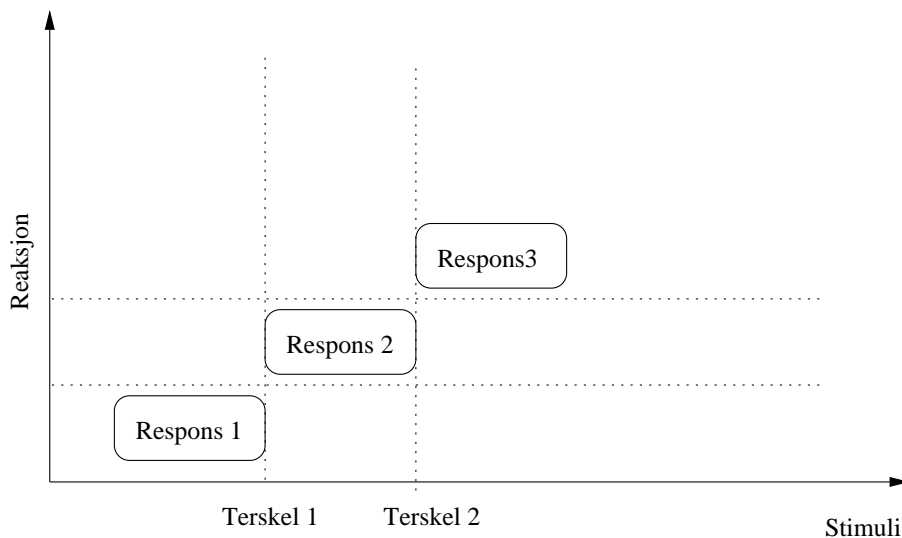
2.7.4 Responstersklar

Ein responsterskel er knytt til endring i fisken si åtferd grunna eit eksternt stimuli. Ein kan tenka seg at fisken får ulike typar åtferdreaksjonar ved ulik styrke på stimuliet, og at desse reaksjonane er klårt åtskild med reaksjonstersklar, figur 2.12.

I seismikkmodellen [Hol93] set dei opp tre responstersklar:

- Responsterskelen (RT). Nivå på stimuli der fisken fyrst reagerer. (Ikkje det same som deteksjonsterskel.)

¹⁰0-gruppefisk er fisk yngre enn eitt år.



Figur 2.12: Klare tersklar for endring av åtferd [Fer].

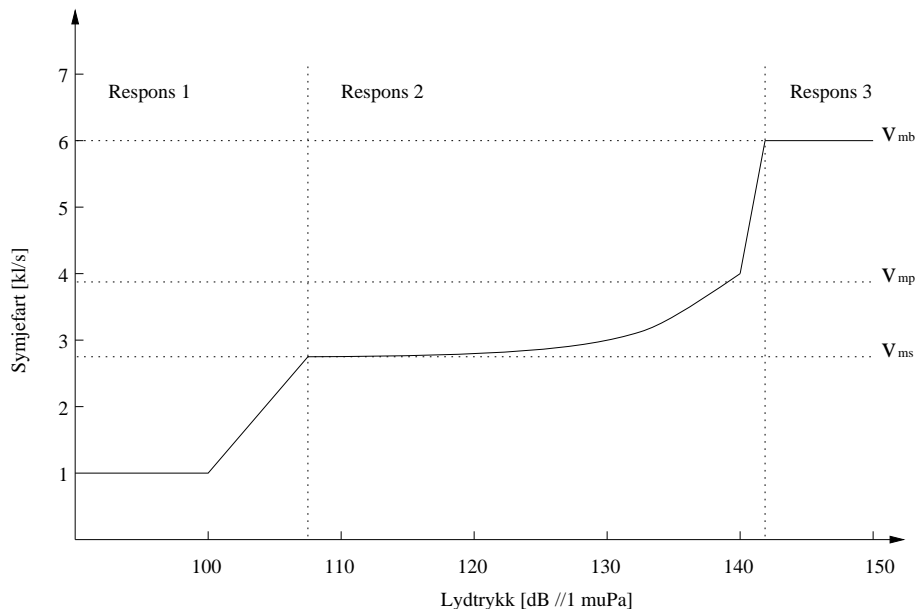
- Retningsresponserskelen (RRT). Nivå på stimuli der fisken er i stand til å bestemme retninga mot lyd kjelda, og der fisken får ein typisk retningsbestemt respons.
- Fluktresponserskelen (FRT). Lydtrykk der fisken får ein typisk fluktreaksjon.

I tillegg vil deteksjonsterskelen (DT) vera med å definera ei sone. I denne oppgåva vert det ikkje skilt mellom RT og RRT, jf. 2.3.4.

DT, RT og FRT definerer tre soner der fisken har ulik respons på stimuliet. I kvar sone kan ein definera eigenskapar som karakteriserer fisken sitt åtfersmønster. Typiske eigenskapar kan vera:

- $DT < Stimuli < RT$
Ingen forflytting, men reagerer med auka vigilans og ev. inspeksjonsåtferd.
- $RT < Stimuli < FRT$
Reagerer ved å forflytta seg.
- $FRT < Stimuli$
Panikk

I seismikkmodellen vert det modellert ein fartsfunksjon ved hjelp av desse tre sonene, jf. figur 2.13. Utløysande stimuli i seismikkmodellen er det absolutte lydtrykket.



Figur 2.13: Fartsfunksjonen til seismikkmodellen [Hol93]

2.7.5 Ulike utløysande stimuli

Når fisken reagerer på fartøystøy er det viktig å finna ut kva stimuli som utløyser reaksjonen. Lydintensitet, endring i lydintensitet, visuelle stimuli og reaksjon til andre individ kan utløysa reaksjon.

Seismikkmodellen [Hol93] nyttar lydintensiteten som stimuli. Modellen er utvikla for lydkanoner frå seismiske fartøy. Støy frå seismiske kanoner og støy frå fartøy kan ikkje samanliknast. Støyen frå seismiske kanoner er pulserande medan støyen frå fartøy er kontinuerleg. Sjølv om støytpane er ulike, er det rimeleg at dersom fisken reagerer på intensiteten frå seismiske kanoner, kan fisken og reagera på intensiteten i fartøystøyen.

Totalintensiteten til støykjelda er nytta som det utløysande stimuliet i denne modellen, men ein kan og tenka seg at svært høge enkeltfrekvensar kan motivera til reaksjon. Dette krev ei fin oppløysing av støyspekteret i støykjelda for å kunna modellera, jf. kap 2.1.

Fisken kan og reagera på endring i stimuli over tid [Ols69]. Reint intuitivt kan det verka rimeleg. Dersom endringa i stimuliet er negativt (lyden avtar), eller er konstant, vil fisken tru at han kan symja bort frå faren. Ein del forsøk viser at fisken reagerer kraftig rett under propellen, t.d. [OG90]. Dette kan ikkje forklarast med endring i lydnivå frå fartøystøyen fordi denne endringa er null når ein er rett under båten, men det kan

forklarast med endring i lydnivå frå “trålwarpa” (wire mellom båt og tråldørar). Ein kan difor ikkje utelukka endring i lydnivå som utløysande stimuli.

Visuell deteksjon av ein eventuell fare kan utløysa ein reaksjon. Det er dokumentert reaksjon på fartøystøy på 200m avstand. Sikten i sjøen kan koma opp i 30m – 50m. Det er difor lite truleg at visuell deteksjon kan vera det utløysande stimuli. Likevel kan lyset spela ei viktig rolle i motivasjonen til reaksjon. Dersom sikten er god, vil fisken kunna sjekka om det er ein fare i nærleiken. Dersom han ikkje ser noko, og sikten er god, vil kanskje motivasjonen vera for låg til reaksjon sjølv om det akustiske stimuli er høgt.

Dersom fisk som står høgt i vassøyla reagerer, vil denne reaksjonen kunna forplanta seg nedover i vassøyla, uavhengig av det utløysande stimuli. Fisk vil oppfatta det som om det er fare på ferde og reagera. Kostnaden ved ikkje å reagera kan vera fatal. Fisken reagerer då utan fartøystøy som stimuli, men med reaksjonen til andre fisk som stimuli.

Dersom ein ser på LN og dLN/t som to uavhengige stimuli, kan reaksjonen frå kvart stimuli finnast og den totale reaksjonen vil vera ei vekt mellom dei.

Responstersklar i lydnivå

Verdiane på responstersklane finn ein lite om i litteraturen. [Hol93] og [ELOS93] gjev forslag på verdiar. Det er ikkje kjeldereferansar til nokon av verdiane. Det er meir erfaringsverdiar enn godt dokumenterte åtferdstersklar.

Kjelde	Deteksjonsterskel	LN_{reak}	LN_{burst}
[Hol93]		100dB//1 μ Pa	140dB//1 μ Pa
[ELOS93]	$\approx 100dB//1\mu Pa/Hz$		

Tabell 2.6: Ulike reaksjonstrykk

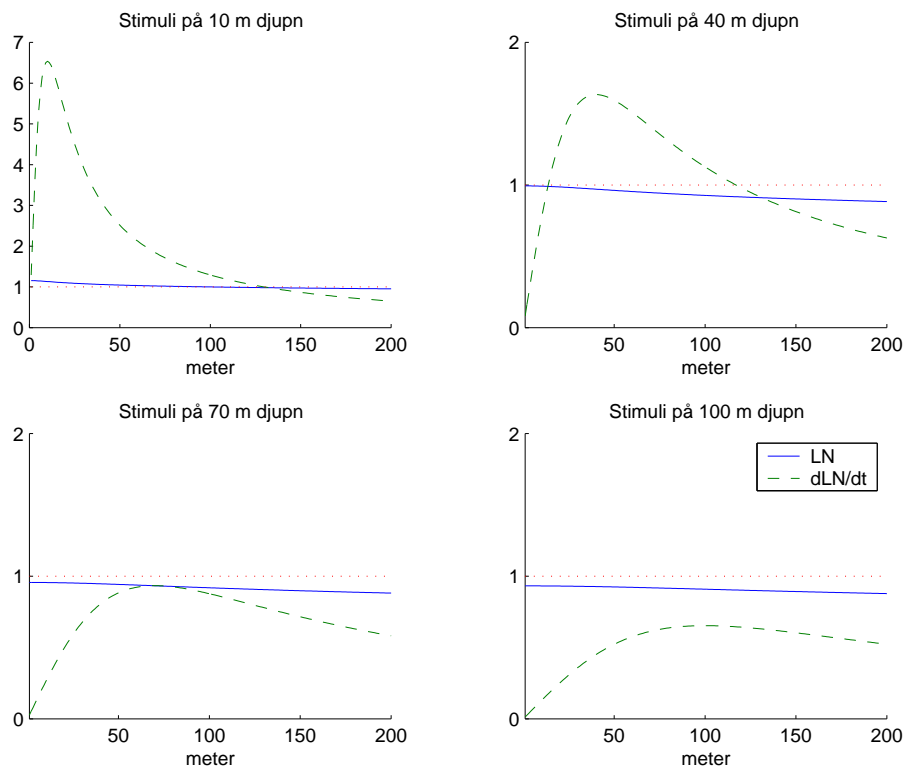
Tabell 2.6 viser dei ulike reaksjonstersklane. [ELOS93] er oppgitt i spektralnivå. Dersom ein reknar om frå spektralnivå til absolutt nivå over eit frekvensband på frå 20Hz til 500Hz, og føreset at nivået er konstant over frekvensbandet, vert lydnivået 126db//1 μ Pa. Dette deteksjonsnivået ligg over reaksjonsnivået som seismikkmodellen nyttar. Ulik bakgrunnsstøy kan verka inn på desse grensene, men det er uvisst kva denne store skilnaden kjem av. Det er og viktig å vera klar over at desse grensene er for lydtrykk for seismiske kanoner. Sidan støyen er fundamentalt ulik støyen frå fartøy kan ikkje desse reaksjonstrykka nyttast utan omtanke i tilfelle der ein har reaksjon mot fartøystøy.

Responstersklar i endring i lydnivå

Responstersklar for endring i lydnivå har eg ikkje funne dokumentasjon på.

Samanlikning av dei to stimulia

Figur 2.14 syner ulike stimuli på ulike djupn. Den stipla lina viser reaksjonsterskelen for begge stimulia. Forma på kurvene viser grunnleggande skilnader i dei to stimulia. Det er viktig å vera klar over at styrken på stimulia, slik dei er representerte i figuren, er avhengig av reaksjonstersklane. dLN/dt har toppunktet eit stykke frå kjelda. dLN/dt vil ikkje stimulera til reaksjon når lyd kjelda er over fisken. LN er jamt minkande med avstanden, og har ikkje noko toppunkt. Stimuliet minkar svært sakte som funksjon av avstanden, og dette fører til stor sensitivitet i modellen, jf. kap 3.5.1.



Figur 2.14: Samanlikning av LN og dLN/dt på ulike djupn. Storleikane er skalert etter reaksjonstersklane for LN og dLN/dt . Den stipla lina viser reaksjonsterskelen for begge stimulia. X-aksen viser avstanden til fartøyet i x-retning, jf. koordinatsystem, basis A, fig C.1

Kapittel 3

Modell

3.1 Modellval

For å modellera fisk sin reaksjon på fartøystøy kan ein enten velja ein individbasert modell, eller ein tettleiksbasert modell. Den individbaserte modellen gjev stor valfridom til å leggja ulike eigenskapar på individnivå, medan ein tettleiksbasert modell vil vera mindre fleksibel når det gjeld individskilnader. Fordelen med ein tettleiksmodell er at køyretida vert uavhengig av talet på individ, og den vil gje direkte svar på korleis fisketettleiken endrar seg ved fartøypassering.

Individbasert modell

Ein individbasert modell er ein partikkelmodell (Lagrangesk skildring). Kvar partikkel, eller fisk, vert studert. Som nemnt er den individbaserte modellen fleksibel når det gjeld å leggja ulike eigenskapar på individnivå. Ein definerer eit differensiallikningsystem med n likningar, der kvar fisk er representert ved eitt sett likningar. Likning (3.1) viser likninga for fisk i på generell form.

$$\frac{d\vec{X}_i}{dt} = \vec{f}(t, \vec{X}_i) \quad (3.1)$$

\vec{X}_i er tilstanden til fisk i . Dersom fisken er avhengig av tilstanden, \vec{X} , til dei andre fiskane, går likning (3.1) over til likning (3.2).

$$\frac{d\vec{X}_i}{dt} = \vec{f}(t, \vec{X}_1, \vec{X}_2, \dots, \vec{X}_i, \dots, \vec{X}_n) \quad (3.2)$$

\vec{X}_i kan innehalda ulike eigenskapar til fisken, som posisjon, energitilstand, symjebærevolum osv. Fordelen er at variablane er knytt direkte til individet og gjer difor modellen i stand til å modellera ulik framferd for kvart einskilt individ. Ein kan plukka ut eit

individ frå køyringane, og studera t.d. energitilstand eller posisjon som funksjon av tida for dette individet.

Dersom dei ulike individa er avhengige av åtferda til kvarandre, vil systemet verta tungt å løysa. Det kan verta eit problem å få køyretida ned på eit rimeleg nivå. Det kan likevel gjerast med nokre forenklingar og effektive metodar.

Det er kanskje unødvendig med ein detaljert modell som er umogeleg å etterprøva. Parametrane og delmodellane som vert nytta på individnivå, er heft med tildels stor uvisse. Ein kan kanskje oppnå like gode resultat med ein metode som ikkje tek omsyn til eigenskapar på individnivå, sidan uvisse på dette nivået er så stort.

Tettleiksbasert modell

Ein tettleiksbasert modell er ein feltmodellmodell (Eulersk skildring). Rommet vert diskretisert, og kvart punkt i rommet inneheld informasjon om fisketettleik for ulike storleiksfordelinga og ev. artar. Problemet med denne type modell er at ein ikkje kan leggja eigenskapar direkte på kvart individ. Ein kan til dømes ikkje modellera energitilstanden eller motivasjonen til kvar einskild fisk.

Den store fordelten med ein modell av denne typen er at ein kan lesa av tettleiken direkte i både tid og rom. Det gjer det enklare å nytta data frå forsøk til å verifisera modellen, og ein får direkte ut det ein vil ha svar på.

Ein slik modell nyttar prinsippet om konservering av masse. Masse, i dette tilfelle fisk, som går inn i eit geometrisk volum¹ må vera lik endring av masse i volumet, gitt ved likning (3.3). Dersom ein skal kunna nytta denne metoden, krevst det at kontinuumshypotesen² er oppfylt. Det er i beste fall ei grov tilnærming når det gjeld stimfisk i tett stim, som t.d. sild. Det er truleg langt unna når det gjeld torsk.

$$\frac{d}{dt} \int_{\Omega} \rho dV = - \int_S \rho \vec{v} \cdot \vec{n} dS \quad (3.3)$$

Likning (3.3) gjev oss kontinuitetslikninga i Eulerske variable, likning (3.4).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (3.4)$$

Ω er det geometriske volumet, S er overflata, ρ er tettleik, \vec{n} er einingsnormalen ut av Ω og \vec{v} er hastigheitsfeltet. Hastigheitsfeltet er symjefarten og symjeretninga til fisk i ein gitt posisjon.

¹Eit geometrisk volum er eit volum med faste grenser i rommet [Eng80]

²Kontinuumshypotesen krev at det som vert modellert er kontinuerleg i rommet [Eng80].

Modellval

Tradisjonelt har folk med fysisk bakgrunn rekna i Eulersk skildring. Modellar er bygd opp for næringsalt, planteplankton, havstraumar osb. Skilnaden på dette og fisk er at fisk er individ som prøver å maksimera eigen “fitness” ved å flytta på seg. “Enkle” fysiske likningar for hastigheitsfeltet er ikkje råd å setja opp. Kvar fisk er eit individ med eit komplekst åtferdmønster som kan vera avhengig av indre variable, jf. kap 2.7. Sjølv om ein kunne sett på fisk som eit kontinuum, er ikkje den tettleiksbaserte modellen god nok. Ein individbasert modell synest å vera det mest fornuftige valet.

Ein annan fordel med den individbaserte modellen er at “target tracking” data frå ekoloddet er individbasert, jf. kap 4.

3.2 Modelloppbygging

Sidan det er ein individbasert modell som vert nytta, og sidan reaksjonen til individa truleg er avhengig av kva dei andre individa føretek seg, er det teke utgangspunkt i likning (3.2). \vec{X}_i inneheld alle variablane som karakteriserer fisk i . Eigenskapar i modellen som er knytt til kvart einskilt individ er posisjon, \vec{x}_i og energitilstand, e_i , jf. likning (3.5). \vec{X}_i kan utvidast med til dømes symjeblærevolum for å avgrensa vertikalvandringa, eller med variablar for å få fisken til å “hugsa”. Det kan vera aktuelt dersom fisken vert skremt, og ein vil at responsen skal vara lenger enn stimuliet.

$$\vec{X}_i = \begin{bmatrix} \vec{x}_i \\ e_i \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Fisk i sin reaksjon (hastigheit) er avhengig av tida, t , fisk i sine variablar, \vec{X}_i , og dei andre fiskane sin *posisjon* i rommet, $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_{i-1}, \vec{x}_{i+1}, \dots, \vec{x}_n$. Likning (3.2) vert forenkla, og saman med likning (3.5), får ein likning (3.6).

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \vec{X}_1 \\ \vec{X}_2 \\ \vdots \\ \vec{X}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{v}_1(t, \vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_{i-1}, \vec{X}_i, \vec{x}_{i+1}, \dots, \vec{x}_n) \\ \frac{de_1}{dt}(|\vec{v}_1|) \\ \vec{v}_2(t, \vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_{i-1}, \vec{X}_i, \vec{x}_{i+1}, \dots, \vec{x}_n) \\ \frac{de_2}{dt}(|\vec{v}_2|) \\ \vdots \\ \vec{v}_n(t, \vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_{i-1}, \vec{X}_i, \vec{x}_{i+1}, \dots, \vec{x}_n) \\ \frac{de_n}{dt}(|\vec{v}_n|) \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

der

$$\vec{v}_i = \frac{d\vec{x}_i}{dt}$$

\vec{v}_i får ein frå likning (3.8) og $\frac{de}{dt}$ får ein frå likning (3.20).

Numerisk løysing av differensiallikninga

Euler framover, likning (3.7) [Atk88], vert nytta til å løysa differensiallikningane (3.6). Dette er ein relativt primitiv løysingsmetode, men det er ikkje store krav til nøyaktigheit i resultatata. Køyretida kan regulerast ved å endra steglengda. I køyringane er ei steglengd på $\Delta t = 1s$ nytta.

$$\begin{bmatrix} \vec{X}_1 \\ \vec{X}_2 \\ \vdots \\ \vec{X}_n \end{bmatrix} (t + \Delta t) = \begin{bmatrix} \vec{X}_1 \\ \vec{X}_2 \\ \vdots \\ \vec{X}_n \end{bmatrix} (t) + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \vec{X}_1 \\ \vec{X}_2 \\ \vdots \\ \vec{X}_n \end{bmatrix} (t) \cdot \Delta t + O(\Delta t^2) \quad (3.7)$$

Dersom differensiallikningane (3.6) hadde vore avhengig av symjefarten til fiskane, måtte ein nytta ein implisitt metode for løysing av differensiallikningsystemet. Dette er ville gjort løysingsprosessen tyngre, og det er difor ikkje gjort, jf. kap 2.2.2.

Ved å regulera steglengda under integrasjonen kan ein endra køyretida og nøyaktigheita. Ved å endra steglengda under integrasjonen får ein eit bilete av kor stor feilen i integrasjonen er. Figur 3.1 viser ei typisk trajektorie y-z-planet. Firkantane viser posisjonen integrert med ei steglengd på $1s$, medan den heiltrekte linja viser banen integrert med ei steglengd på $1/100s$. Skilnaden i posisjon er liten, og det er difor rimeleg å tru at ei steglengd på $\Delta t = 1s$ er rimeleg.

Figur 3.2 viser “avviket i resultat”³ frå modelleringa, mot endring i steglengda, Δt . Ein skulle forventast at for kortare steglengder ville grafen auka jamt mot ei øvre grense, der avstanden mellom denne grensa og null er feilen ein får ved ei steglengd på $1s$. Grunnen til den tilsynelatande merkelege grafen er uviss. Dette kunne ein studert nærare, men feilen er i alle høve liten nok til ikkje å skipla resultatet. Det er difor ikkje gjort.

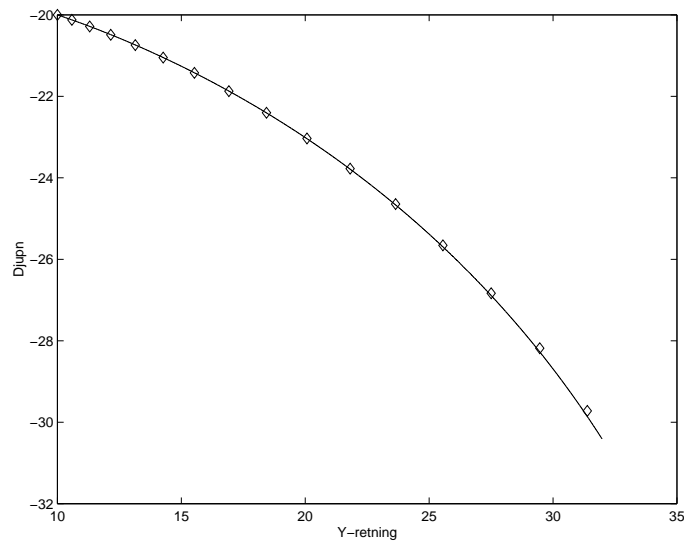
3.3 Hastighetsfeltet

For å kunna løysa differensiallikningsystemet (3.6), lyt ein modellera symjehastigheita til kvar einskild fisk. Symjehastigheita er responsen på fartøystøy som stimuli, i tillegg til ev. naturleg⁴ åtferd. Symjehastigheita er avhengig av mange faktorar. Fysiologiske avgrensingar set ei grense på kva evne fisken har til å reagera, medan motivasjonen er eit mål på kva vilje fisken har til å reagera.

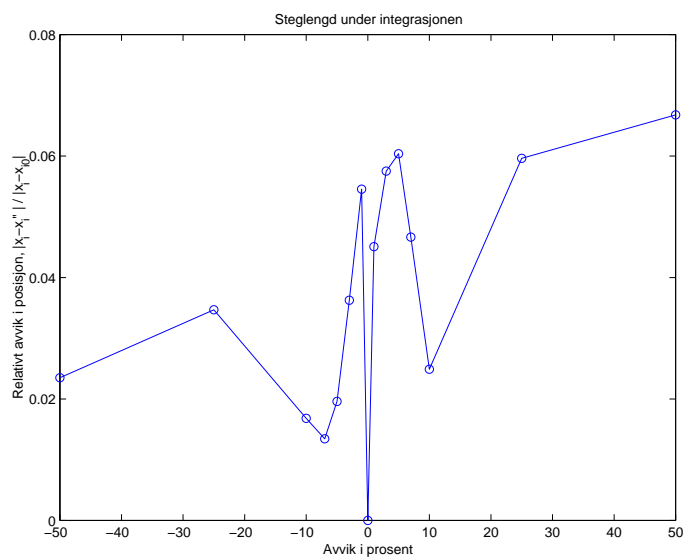
For å forenkla modelleringa, vert hastigheita til fisk i delt opp i symjefart, $|\vec{v}_i|$, likning (3.9), og symjeretning, \vec{e}_i , likning (3.12). I modellen vert symjefarten sett som ein funksjon av det, eller dei, utløysande stimulia, medan symjeretninga er avhengig av predatorunnvikingsstrategien, posisjonen til anna fisk kring fisken og retninga til båten.

³“Avviket i resultatet” er $\frac{\Delta X}{X}$ frå kapittel 3.5.1

⁴“Naturleg åtferd” vert i denne oppgåva definert som åtferd initiert av andre stimuli enn fartøyet.



Figur 3.1: Firkantane er symjebane med $\Delta t = 1s$, og den heiltrekte linja er symjebane med $\Delta t = 1/100s$



Figur 3.2: Relativt avvik grunna endring i steglengda ved integrasjonen. Relativt til total forflytting; $|\vec{x}_i - \vec{x}_{0i}|$

Farten og symjereininga vert sett saman til eit “hastighetsfelt” for kvar fisk, likning (3.8).

$$\vec{v}_i = \vec{e}_{v,i}(\vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_n, t) \cdot |\vec{v}_i|(stim_1, stim_2, \dots, stim_k, \dots) \quad (3.8)$$

der $stim_k$ er nivået på stimuli k .

3.3.1 Symjefart, $|\vec{v}_i|$

Figur 2.13 viser samanhengen mellom LN og $|\vec{v}_i|$ slik det er modellert i seismikkmodellen [Hol93], denne samanhengen er ikkje dokumentert i seismikkmodellen. Eit tilsvarande, men noko forenkla (lineært) fartsfelt vert likevel nytta, jf. figur 3.3. Dette kan justerast når ein får betre data frå forsøk, jf. kap 4.

Det kan tenkast at fisken reagerer på ulike stimuli. Det vert modellert ein fartsfunksjon, $v_{i,k}$, for kvart stimuli k . Oppbyggnaden på dei ulike fartsfunksjonane er identiske, jf. figur 3.3. Til slutt vert fartsfunksjonane for dei ulike stimulia vekta og lagt saman.

Symjefarten, $v_{i,k}$ er ein funksjon av det utløysande stimuliet, $stim_k$, og avhengig av parametrane $RT_{k,i}$ (ResponsTerskelen), $FRT_{k,i}$ (FluktResponsTerskelen), $v_{0,i}$, $v_{mp,i}$ og $v_{mb,i}$. Parametrane $RT_{k,i}$ og $FRT_{k,i}$ er knytt til stimuli k . Forma på kurva “låser” reaksjonsmønsteret til fisken, men $RT_{k,i}$ og $FRT_{k,i}$ kan justerast for å tilpassa modellen til forsøksdata. Fartsparametrane, $v_{0,i}$, $v_{mp,i}$ og $v_{mb,i}$, er like for alle stimulia, og dei er avhengige av lengda på fisken og temperaturen i sjøen.

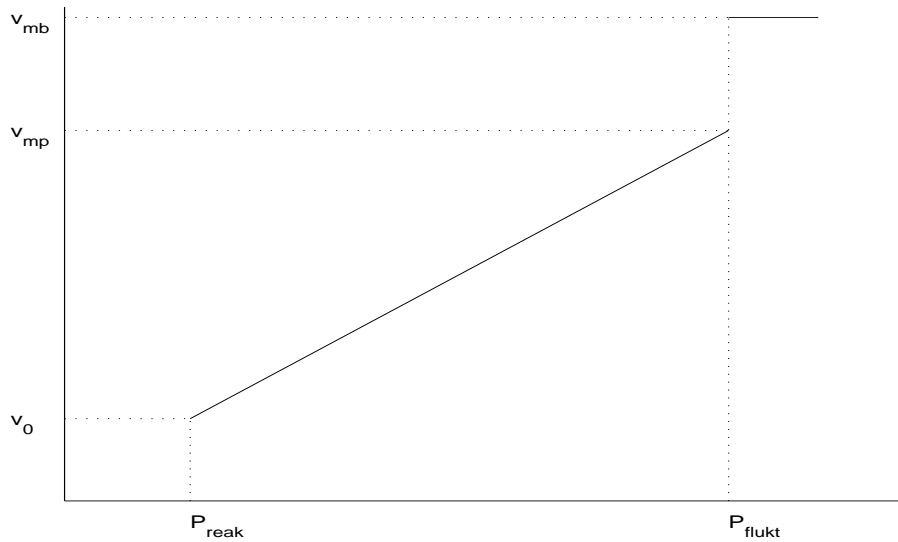
Dersom energitilstanden, e_i , til fisk i er låg, vil dette få innverknad på symjehastigheita. I modellen vert symjehastigheita sett lik null dersom $e < 0.01$.

Når stimuliet er lågare enn RT , vil den modellerte symjefarten vera null. Normalt vil ikkje fisk liggja i ro, men ha ei åtferd upåverka av fartøyet. Dersom denne åtferda ikkje fører til store symjehastigheiter, eller at fisken i gjennomsnitt ikkje forflyttar seg i dette tidsrommet, kan ein utan å innføra store feil seia at fisken ligg i ro når stimuliet er mindre enn RT . Ei anna grunngeving kan vera at fisken ligg stille med auka vigilans rett før reaksjon, jf. kapittel 2.7. Slik det er modellert, er responsen ein direkte funksjon av stimuliet. Det kan tenkast at stimuliet utløyser ein reaksjon som varer lenger enn stimuliet. Det tek ikkje denne metoden høgd for, og det vil vera ei naturleg utviding dersom ein skal byggja ut modellen.

Den resulterande symjefarten er ei vekting av farten, $v_{i,k}$, gitt ved kvart stimuli k . Vektinga er gitt i likning (3.9).

$$|\vec{v}_i| = \sum_{k=1}^n v_{i,k} q_k \quad (3.9)$$

der $|\vec{v}_i|$ er symjefarten til fisk i , n er talet på uavhengige stimuli, q_k er vekta til stimuli k og $v_{i,k}$ er farten som stimuli k utløyser. Vektene q_k har den eigenskapen at summen av



Figur 3.3: Symjefart som funksjon av stimuli

vektene er lik 1, jf. likning (3.10).

$$\sum_{k=1}^n q_k = 1 \quad (3.10)$$

I modellen er dei utløysande stimula LN og dLN/dt . Dersom ein kombinerer desse ved hjelp av likning (3.9), får ein likning (3.11).

$$v_i = k_i v_{i,1} + (1 - k_i) v_{i,2} \quad (3.11)$$

der $v_{i,1}$ er fartsfunksjonen med LN som utløysande stimuli, og $v_{i,2}$ er fartsfunksjonen med dLN/dt som utløysande stimuli, $q_1 = k_i$ er vekta for LN som utløysande stimuli og $q_2 = (1 - k_i)$ vekta for dLN/dt . Vektene oppfyller likning (3.10).

3.3.2 Symjeretning, $\vec{e}_{v,i}$

I kapittel 2.7.2 er det føreslege ein del strategiar som fisken kan tenkast å nytta ved fartøyunnviking. Kanskje nyttar fisken kombinasjonar mellom desse, og den resulterande symjeretninga vert ei vekting mellom symjeretningane til desse strategiane. Dei ulike retningsvektorane som representerer symjeretninga for dei ulike strategiane vert vekta på same måte som symjefarten. Merk at q_i er ein generell vektfaktor, og er ikkje knytt til symjefarten. Symjeretninga er generelt gitt ved likning (3.12). Likninga som er nytta i modellen er gitt ved likning (3.19).

$$\vec{e}_{v,i} = \sum q_k \vec{e}_{k,i} \quad (3.12)$$

Minimering av stimuli

I denne oppgåva er det utløysande stimuli lydtrykk, LN , eller endring i lydtrykk, dLN/dt .

Dersom fisken vil minimera LN som stimuli, kan han symja i motsett retning av gradienten til LN . Retninga til gradienten til stimuli, er den retninga i rommet der stimuli aukar mest. Gradienten til lydtrykk som stimuli, likning (3.13), får ein ved å ta gradienten til likning (2.23).

$$\nabla LN = -\frac{20}{\ln 10 |\vec{r}|^2} \cdot \vec{r} \Rightarrow \nabla LN \parallel -\vec{r} \quad (3.13)$$

For å minimera LN lyt fisken symja langs \vec{r} -vektor.

Eit uttrykk for endring i lydnivået har ein frå likning (2.24). Dersom ein set inn $\frac{\partial LN}{\partial t}$ frå likning (2.26) og ∇LN frå likning (3.13), får ein likning (3.14).

$$\frac{dLN(\vec{x}, t)}{dt} = \frac{20}{\ln(10)} \frac{1}{|\vec{r}|^2} (r_1 \vec{r} \cdot \vec{v}_{fartøy} - \vec{r} \cdot \vec{v}_{fisk}) \quad (3.14)$$

der r_1 er komponenten til \vec{r} langs \vec{e}_x . Ved å minimera uttrykket gitt i likning (3.14) får ein ei symjehastighet gitt ved likning (3.15).

$$\vec{v}_{fisk} \parallel \vec{r} \quad (3.15)$$

Fisken får ikkje informasjon om gradienten til lydfeltet utan å flytta på seg, og fisken veit ikkje utan vidare at retninga han vel vil minimera stimuli. Fisken veit truleg frå erfaring at dersom han flyttar seg bort frå lyd kjelda så minkar stimuli. Fisken er i stand til å retningsbestemma lyden, og dersom fisken vel å flytta seg i ei rett line bort frå fartøyet, vil han minimera stimuli, jf. likning (3.13) og likning (3.15).

Likning (3.16) viser symjeretning for minimering av stimuli som predatorunnvikingsstrategi.

$$\vec{e}_{m,i} = \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} \quad (3.16)$$

“Vertikal flukt”

“Vertikal flukt” vil seia at fisken migrerer vertikalt for å minka sjansane for å verta oppdaga frå undersida, jf. kap 2.7.2. Symjeretninga for denne strategien vert rett nedover, gitt ved likning (3.17). Det er lite truleg at fisken sym vertikalt. Det er berre fornuftig å nytta denne retningskomponenten i tillegg til retningsvektorane frå dei andre predatorunnvikingsstrategiane.

$$\vec{e}_{t,i} = -\vec{e}_z \quad (3.17)$$

I køyringane av modellen vert ikkje denne strategien nytta. Ein får tildels kraftig vertikalvandring ved å nytta minimering av stimuli som strategi, og for å gjera modellen litt mindre kompleks, vert denne komponenten sett bort frå.

Stimåtferd

Ein kan tenka seg at fisken vil symja mot område der fisketettleiken er større dersom han opplever fare, jf. kap. 2.7.2. Fisken vil då, ut frå den informasjonen han har, symja i den retninga der det er flest individ. Synslengda avgrensar i dette tilfelle informasjonstilgangen. Denne lengda er definert som “stimradiusen”, $|\vec{r}_{max}|$. Den modellerte symjeretninga for “stim-åtferd” er gitt ved likning (3.18).

$$\vec{e}_{s,i} = \frac{1}{n'} \sum_{k=1}^n \frac{\vec{r}_{k,i}}{|\vec{r}_{k,i}|}, \text{ for } i \neq k \text{ og } |\vec{r}_{k,i}| > |\vec{r}_{max}| \quad (3.18)$$

der $\vec{r}_{k,i}$ er avstanden mellom fisk i og k , n' er talet på fisk innanfor stimradiusen og $|\vec{r}_{max}|$ er stimradiusen.

Vertikal “herding” er ein anna effekt. Dersom fisk i øvre vasslag får ein flukt respons, vil denne responsen vera eit utløyssande stimuli for andre fisk lenger nede i vassøyla. Denne forma for “stimåtferd” er ikkje teke med i modellen, og det er ein veikskap med modellen fordi vertikal “herding” truleg er ein viktig faktor. Effektiviteten til trålen er vist å vera avhengig fisketettleiken [AHO94], og dette kan vera ein indikasjon på at individa reagerer på einannan. Å prøva å modellera desse effektane vil vera ei naturleg utviding av modellen.

Symjeretning nytta i modellen

Evna fisken har til å retningsbestemma lyden, jf. kap 2.3.4 er ikkje eksakt. Det burde difor vore lagt inn ei sannsynlegheitsfordeling på symjeretninga for a gjera modellen meir realistisk. Det vil vera ei naturleg utviding av modellen. Det kan samanliknast med eit diffusjonsledd som ein kjenner frå fysiske modellar.

Dersom ein ser bort frå “vertikal flukt”, og set vektfaktorane frå likning (3.12) lik $q_1 = \gamma_i$ og $q_2 = (1 - \gamma_i)$, får ein den resulterande symjeretninga gitt ved likning (3.19).

$$\vec{e}_{v,i} = \gamma_i \cdot \vec{e}_{m,i} + (1 - \gamma_i) \cdot \vec{e}_{s,i} \quad (3.19)$$

γ_i vert kalla sjølvstendefaktoren.

Fisken kan ha posistiv oppdrift. Dette kan setja avgrensingar på vertikalkomponenten til symjeretninga. Det kunne vore ei naturleg utviding av modellen, men symjefart er ein lite sensitiv parameter i modellen, og det er difor ikkje modellert.

Det kan tenkast at faktorar som lys, temperatur osv. verkar inn på korleis fisken reagerer. Dersom det er lyst vil fisken kunna stola meir på synet enn om det er mørkt. Det vil

truleg verka inn på motivasjonen til vertikal flukt. Desse faktorane er ikkje tekne med i modellen fordi det vil gjera modellen, i fyrste omgang, for kompleks, og fordi arbeidet med å etterprøva dette er tidkrevjande.

3.3.3 Uthald

I tillegg til posisjon, er uthald modellert som ein variabel knytt til individet. I kapittel 2.5.2 vart uthald, E_p og E_b , definert som den tida fisken greier å halda ei viss hastigheit. Dersom ein innfører energitilstanden, e , som ein variabel med verdimengd mellom 0 og 1, der 1 er fullt energilager, kan ein setje opp ein modell slik likning (3.20) viser. Modellen er tilsvarande den som seismikkmodellen [Hol93] nytta. E_p og E_b er henta frå likning (2.36) og likning (2.40).

$$de/dt = \begin{cases} 0 & , \text{når } v < v_{ms} \\ -\frac{1}{E_p(l,v)} & , \text{når } v_{ms} < v \leq v_{mp} \\ -\frac{1}{E_b(v)} & , \text{når } v_{mp} < v \leq v_{mb} \end{cases} \quad (3.20)$$

3.4 Parameterverdier

Ein del parameterverdier er henta frå litteraturen. Dei finn ein i teorikapittelet, kap 2. Eit oversyn over verdiane som er nytta i modelleringa er gitt i vedlegg A.3.

3.4.1 Vekter i hastighetsfeltet

Parameteren γ_i styrer kva stimuli fisken skal reagere på, og k_i styrer kva predatorunnvinkingsstrategi fisken skal nytta. Det er ikkje klart kva for stimuli fisken reagerer på. Sidan fisken reagerer sterkt ved propellplassering, må LN som stimuli vera representert, men kor raskt stimuliet aukar spelar truleg og inn. Kva som er viktigast er ikkje dokumentert, og γ_i vert difor sett til 0.5.

Torsk er ingen stimfisk, og hovudstrategien slik den er modellert, vert minimering av stimuli. Det er difor nytta høge verdier for k_i . Ein rimeleg verdi før ein byrjar tilpassinga av modellen til data vil vera omlag 0.8. Under sensitivitetsstudiane er $k_i = 1$ fordi stimingstrategien er avhengig av mange individ. Under resultatdelen er ulike køyringar tekne med, med ulik verdi for k_i .

γ_i	0.5
k_i	0.8

Tabell 3.1: Vekter i hastighetsfeltet

3.4.2 Stimingsradius

Stimingsradiusen, $|\vec{r}|$, er den avstanden fisken kan detektera andre fisk. Denne vil vera avgjerande for fisken når han skal avgjera kor han skal symja. Synet til fisken vil avgjera kor godt han er i stand til å oppfatta annan fisk. Synslengda er avhengig av lysmengda, kor sensitive augene er og kor god sikt det er (algebløming, absorpsjon osv.). Fisken kan og føla annan fisk ved hjelp av sidelinjeorganet. Sidelinjeorganet kan registrera hydrodynamisk rørsele, men dette er avgrensa til ein sirkel med lengda av fisken som radius.

$$|\vec{r}| = f(\text{lys}, \text{syn}, \text{algeinnhald})$$

Når $k_i = 0.8$ er ikkje stimingsradiusen ein sensitiv parameter i modellen, og stimingsradiusen vert sett til 15m. For fisk som er meir avhengig av stiming, lyt denne parameteren utgreiast betre.

$$|\vec{r}| = 15m$$

3.4.3 Responstersklar

I defineringa av fartsfeltet er $RT_{k,i}$ og $FRT_{k,i}$ parametrar som avgjer ved kva nivå stimuli- et fører til reaksjon. Desse tersklane karakteriserer reaksjonsmønsteret til fisken. Verdien på tersklane er avhengig av mange faktorar.

Sidan det ikkje er noko godt dokumentert arbeid på reaksjonstersklane, vert intervalla utleidd frå forventta reaksjonsavstand. Det er dokumentert reaksjon for torsk når ein går med trål på omlag 200m [Ona88a]. Ein får ein tilsvarande men mindre reaksjon dersom ein går utan trål. Det kan difor vera rimeleg å tru at fisken reagerer mellom 150m og 70m før propellplassering. Dersom ein går ut frå fluktrespons mellom 30m og 60m kan ein på same måte finna skrankar for fluktresponserskelen.

I kapittel 4 vert ulike metodar vurdert for å justera verdiane for responstersklane. Sidan datagrunnlaget ikkje er stort nok, og sidan oppgåva berre tek for seg metodane for justering av verdiane, vert gjennomsnittverdiane i intervalla nytta som standardverdier. Middelveidiane i intervallet i dB er ikkje det same som middelveidien i intensitet i intervallet (logaritmisk skala). Middelveidien i dB vert nytta fordi lydauken i dB truleg vert oppfatta som lineær, jf. kap 2.1.

Responstersklar for LN

Kjeldenivået til F/F Johan Hjort vert nytta, kapittel 2.2.3. Reaksjonsintervalla er vist i tabell 3.2. Gjennomsnittverdier for responstersklane er gitt i tabell 3.3.

	\bar{r}	LN
LN_{reak}	[70m 150m]	[125,3dB 132dB]
LN_{burst}	[30m 60m]	[133dB 139dB]

Tabell 3.2: Forventa intervall for responstersklar [$dB//1\mu Pa$] og reaksjonsavstandar [m].

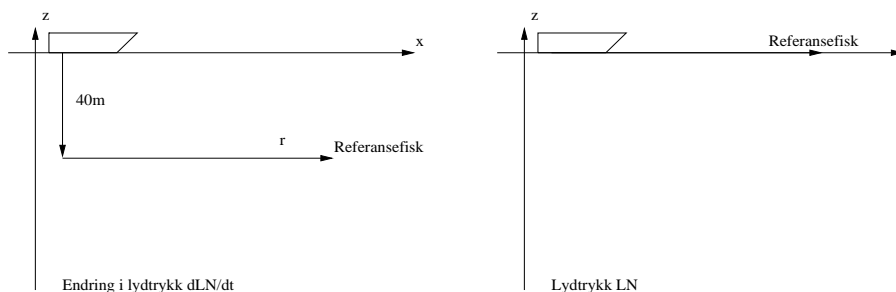
LN_{reak}	128,7// $1\mu Pa$
LN_{burst}	136dB// $1\mu Pa$

Tabell 3.3: Reaksjonstersklar

Responstersklar for dLN/dt

Endring i lydtrykk er avhengig av djupn og posisjon tverrskips i tillegg til avstand. Di djupare og lenger ut på sida fisken er, di mindre vert $\partial LN/\partial t$ i høve til LN . Hastigheita til båten spelar og inn. Responstersklane vert utleide på same måte som for LN . Ein reknar med reaksjon mellom 150m og 70m før propellplassering. Sidan djupna og horisontal posisjon har meir å seia for dLN/dt enn LN , vert reaksjonstersklane utleide for ein fisk på 40m djupn, og ikkje rett framom fartøyet, slik det vart gjort for LN , jf. fig 3.4. Dersom ein ikkje gjer det slik, kan ein risikera at fluktresponsnivået for $\partial LN/\partial t$ vert lågare enn reaksjonsnivået for $\partial LN/\partial t$. Det er slik fordi $\partial LN/\partial t$ er avhengig av vinkelen mellom horisontalplanet og fartøyet. Dersom fisken t.d. ligg rett under fartøyet vil $\partial LN/\partial t$ vera lik null, medan LN vil vera høg. Reaksjonsavstanden vert litt ulik ved LN som stimuli eller $\partial LN/\partial t$ som stimuli, men sidan stimulia verkar ulikt på ulike djupner, jf. kap 5, er dette ei grei tilnærming.

På same måte som for lydtrykk som reaksjonsstimuli, vert middelvarden i reaksjonsintervallet nytta som responsterksel i modellen, jf. tabell 3.5. Reaksjonsterskelen er utleidd med ein fartøyfart på 11knop.



Figur 3.4: Omrekning frå reaksjonstersklar i LN til reaksjonstersklar i $\partial LN/\partial t$. r er reaksjonsavstand.

	$ \vec{r} $	$\partial LN/\partial t$
$\partial LN_{reak}/\partial t$	[70m 150m]	[0.529dB/s 0, 306dB/s]
$\partial LN_{burst}/\partial t$	[30m 60m]	[0.590dB/s 0, 567dB/s]

Tabell 3.4: Forventa intervall for responstersklar [$dB//1\mu Pa/s$] og reaksjonsavstandar [m].

$\partial LN_{reak}/\partial t$	$0, 376dB//1\mu Pa/s$
$\partial LN_{burst}/\partial t$	$0, 599dB//1\mu Pa/s$

Tabell 3.5: Reaksjonstersklar

Motivasjon for reaksjon

Metoden for å setja responstersklane er ikkje god nok. Det er mange faktorar som er med på å avgjera responstersklane. M.a. bør responstersklane vera avhengige av kor stor fisken er. Ulik storleik fører truleg til ulik motivasjon. Det er og andre faktorar som spelar inn på motivasjonen, jf. kap 2.7. Responstersklane er svært sensitive i modellen, jf. kap 3.5.1. Å finna eit betre estimat for responstersklane for ulike storleiksgrupper er viktig dersom ein skal arbeida vidare med slike modellar.

3.5 Sensitivitet

3.5.1 Mål på sensitivitet

I modellen er det knytt tildels stor uvisse opp mot parametrane. I ein deterministisk modell nyttar ein punkttestimat for parameterverdiane. Det fører til at ein mister informasjon om kor mykje uvisse i parametrane innverkar på resultatet. For å finna kva konsekvensar eit avvik i parametrane har, kan ein nytta ein sensitivitetsanalyse på dei ulike parametrane.

Det kan vera freistande å nytta resultatata i sensitivitetsstudiane til å forklara kva som er sensitivt for fisk i verkelegheita. Det er viktig å vera klar over at det er sensitiviteten til modellen som vert studert, og ikkje kva som er sensitivt for fisken, men ideelt sett er det ein samanheng.

Ein sensitivitetsanalyse kan gjerast både analytisk og empirisk. Analytisk vert den partiell deriverte av resultatet med omsyn på dei ulike parametrane eit mål på sensitiviteten [Tom63]. Sensitiviteten er definert som endring i slutttilstand som funksjon av endring i parametrane kvar for seg. Analytiske sensitivitetstudiar er godt utvikla for enkle modellar. For meir komplekse modellar vert empiriske metodar nytta. I denne modellen vert kun empiriske metodar nytta.

Sensitivitetsindeksen S_p

Forholdet mellom relativ endring i resultat, $\Delta X/X$ og den relative endringa i parameteren, $\Delta p/p$, er eit vanleg mål for sensitiviteten [Jør86]. To ulike sensitivitetsindeksar kan definerast avhengig av kva type respons endringa av parameteren gjev. Dersom endringa i resultatet er lineært, kan ein nytta likning (3.21) som eit mål på sensitiviteten. I dette tilfellet treng ein kun to perturbasjonar av parameteren.

$$S_p^1 = \frac{\Delta X/X}{\Delta p/p} = \frac{(X_{max} - X_{min})/X_{basic}}{(p_{max} - p_{min})/p_{basic}} \quad (3.21)$$

p_{basic} og X_{basic} er den ikkje perturberte parameterverdien og resultatet ein får ved å nytta dei ikkje perturberte parameterverdiane. X_{max} og X_{min} er den største og minste verdi for X når ein nyttar det største og minste avvika i p , p_{max} og p_{min} .

I tilfelle der perturbasjon av parameteren fører til ein ikkje lineær respons, vil ikkje likning (3.21) vera eit godt nok mål for sensitiviteten. Sensitivitetsindeksen lyt då finnast for kvar nivåendring n i parameter p . Likning (3.22) gjev sensitivitetsindeksen $S_{p_n}^2$ for parameter p og nivåendring n . Nivåendringa n er avviket i p i prosent. Modellen inneheld diskontinuerlege funksjonar. Dette fører truleg til ikkje lineæritetar i resultatata. I den vidare analysen vert difor $S_{p_n}^2$ nytta som eit mål for sensitiviteten.

$$S_{p_n}^2 = \frac{\Delta X_{p_n}/X}{\Delta p/p} = \frac{X - X'_{p_n}/X}{(p_n - p_{basic})/p_{basic}} \quad (3.22)$$

der X er resultatet ved parameterverdiar før perturbasjon, og X' er resultatet etter å ha perturbert parameterverdiane.

Relative mål

X i metoden som er skissert er ein skalar storleik. Avviket i resultatet i modellen er ein vektorstorleik (posisjon). For å sjekka sensitiviteten i modellen treng ein eit skalart mål på avviket i posisjonen til kvar fisk. Posisjonen til fisk i er gitt ved \vec{x}_i , og posisjonen til fisk i i det perturberte systemet er gitt ved \vec{x}'_i . Eit skalart mål på avviket er gitt ved likning (3.23).

$$\Delta X_i = |\vec{x}_i - \vec{x}'_i| \quad (3.23)$$

I likning (3.22) treng ein eit relativt mål på avviket i X . Ein måte å måla det relative avviket er å måla mot total forflytting, likning (3.24). Ein annan måte er å måla mot tilbaketilt symjedisjans. Det vert meir presist dersom nokre individ sym rett fram og nokon sym i krumme banar, jf. likning (3.25).

$$\frac{\Delta X_{p_n,i}}{X_i^1} = \frac{|\vec{x}_i - \vec{x}'_{p_n,i}|}{|\vec{x}_i - \vec{x}_{i0}|} \quad (3.24)$$

$$\frac{\Delta X_{p_n,i}}{X_i^2} = \frac{|\vec{x}_i - \vec{x}'_{p_n,i}|}{\int_{S_i} dS_i} \quad (3.25)$$

der S_i er banen fisk i sym, og \vec{x}_{i0} er startposisjonen til fisk i .

Fleire individ

Avviket i posisjon for fisk i , ΔX_i , er avhengig av startposisjonen. For å få eit mål på sensitiviteten, som er uavhengig av startposisjonen, vert avviket sjekka for fleire fisk med ulik startposisjon. Startposisjonane under sensitivitetsstudiane er fordelte mellom $-50m$ og $50m$ i x - og y -retning, og mellom djupnene -20 og -60 i z -retning. 5 individ i x - og y -retning, og 3 individ i z -retning; tilsaman 75 individ. Analysen vert utført for alle parametrane p ved alle parameterendringsnivåa n for fisk i . Det gjennomsnittlege avviket til alle individa gjev eit mål på middelavviket, likning (3.26).

$$\frac{\Delta X_{p_n}}{X} = \frac{1}{75} \sum_{i=1}^{75} \frac{\Delta X_{p_n,i}}{X_i^{1,2}} \quad (3.26)$$

Resultata frå likning (3.24) og likning (3.25) kan visast grafisk som eit sjølvstendig mål på sensitiviteten.

Sensitivitetsindeksen, S_{p_n}

Eit mål på sensitiviteten S_{p_n} , likning (3.27), får ein frå likning (3.22), likning (3.26) og likning (3.24) eller likning (3.25). Di større S er, di større påverking har parameteren p på det endelege resultatet.

$$S_{p_n}^2 = \frac{p}{\Delta p} \frac{1}{75} \sum_{i=1}^{75} \frac{|\vec{x}_i - \vec{x}'_{p_n,i}|}{|\vec{x}_i - \vec{x}_{i0}|} \quad (3.27)$$

3.5.2 Relative avvik

Relativt avvik over fleire individ gitt ved likning 3.26, er eit sjølvstendig mål på sensitiviteten. Parametrane i modellen er klassifisert etter type, jf. vedlegg A.3. Generelle parametrar er knytte til miljøet og fartøyet, medan biologiske parametrar er knytt til fisken. Dei kan delast inn i åtferdsparametrar og fysiologiske parametrar. Ei tredje gruppe er integrasjonsparametrane. Dei styrer steglengd, stopptider osb. under integrasjonen. Dei er ikkje tekne med her, jf. kap 3.2.

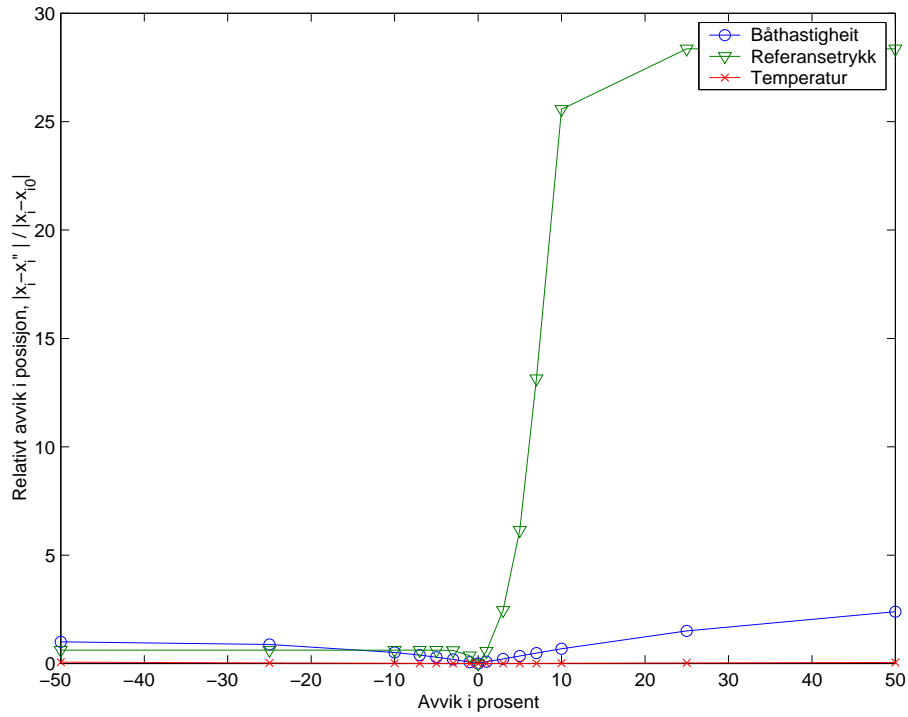
Kurvane for relativt avvik har ofte ei karakteristisk V-form. Dette skuldast at det er absoluttverdien til avviket som vert vist. Di nærare V-form kurvane har, di nærare ein lineær respons har parameteren på resultatet.

Under sensitivitetsstudiet er $k_i = 1$ fordi stimingsdelen er avhengig orienteringa til dei andre individa. Sjå kap 5 for ei kvalitativ vurdering av stimfunksjonen.

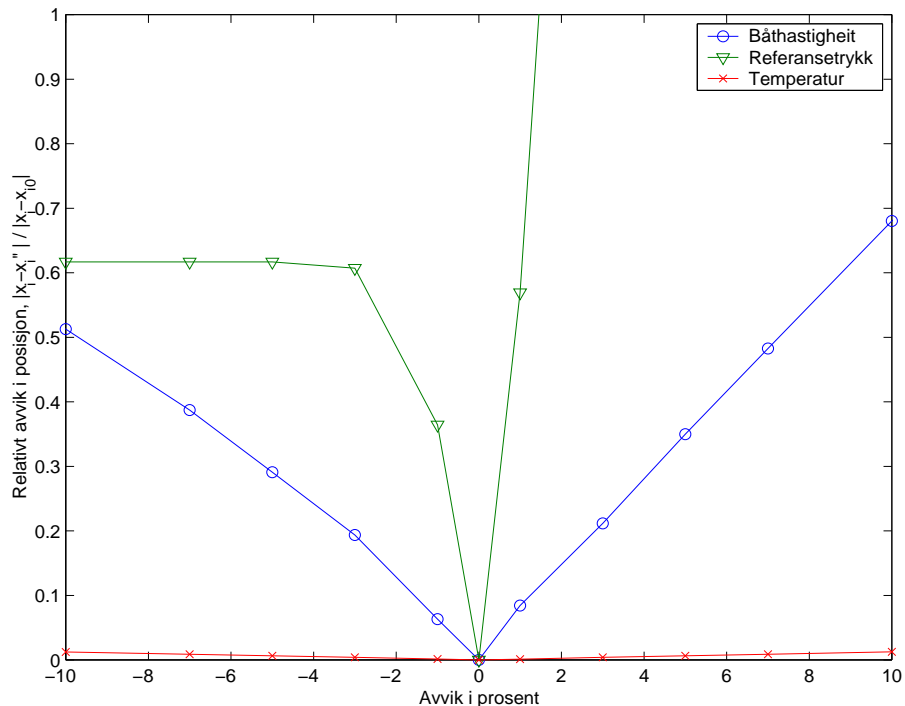
Generelle parameter

Generelle parameter som er studert er fartøyfart, sjøtemperatur og kjeldenivået til fartøyet. Kjeldenivået, KN , til fartøyet er eit mål på kor støyande fartøyet er. Modellen er svært sensitiv til kjeldenivået, jf. figur 3.5 og figur 3.6. Dette viser at støynivået til fartøyet er ein kritisk faktor i modellen. Kurva for sensitiviteten til KN er usymmetrisk. Dersom kjeldenivået vert lågare, flatar kurva ut, figur 3.6. Dette skuldast at støynivået vert så lågt at fisken ikkje reagerer. Ved høgare kjeldenivå aukar avviket dramatisk. Dette viser at modellen er svært sensitiv til auke i fartøystøyen. Kurva flatar ut ved svært stor auke i kjeldenivået. Dette skuldast truleg at uthaldet til fisken set avgrensingar på kor stort avviket kan verta.

Dersom fisken reagerer på endring i lydnivå, vil ikkje fartøystøyen vera kritisk, jf. likning (2.26). Resultatet er difor avhengig av γ_i . Sensitiviteten til båthastigheita er og avhengig av γ_i . Dersom fisken reagerer på endring i lydnivå, vil båthastigheiten verta ein meir sensitiv parameter. Temperaturen verkar inn på uthald og symjehastigheiter. I samanlikning med dei andre miljøparametrane er ikkje sjøtemperaturen ein like kritisk i modellen.



Figur 3.5: Relativt avvik grunna endring i generelle parametrar. Relativt til total forflytting; $|\vec{x}_i - \vec{x}_{0i}|$



Figur 3.6: Relativt avvik grunna endring i generelle parametrar. Relativt til total forflytting; $|\vec{x}_i - \vec{x}_{0i}|$

Biologiske parameter

Parametrane som er kalla “biologiske”, er parametrar som er knytte til eigenskapane til fisken. Desse kan igjen delast opp i parametrar som har med fysiologi eller med åtferd å gjera, jf. vedlegg A.3. Generelt kan ein seia at parametrar som har med åtferd å gjera er vanskelegare å setja ein verdi på, i tillegg til at modellen er meir sensitiv til desse parametrane.

Figur 3.7 til figur 3.9 viser kor sensitiv modellen er til dei ulike reaksjonstersklane. Figur 3.9 er teken med for å visa at ein får eit konsistent resultat sjølv om ein måler det relative avviket mot total symjelengd, likning (3.24), i staden for resulterande forflytting, likning (3.25). Frå figur 3.7 ser ein at dei ikkje perturberte parameterverdiane ligg i det mest sensitive området. Modellen er svært sensitiv til $LN_{reaction}$. Berre små endingar i denne parameteren fører til store utslag i resultatet. Kurvene flatar ut når ein auker reaksjonstersklane. Grunnen til det er at fisken sluttar å reagere dersom desse tersklane er sett høge nok. For låge verdiar for LN_{burst} reagerer fisken tidleg med panikk, og rømer til han er tom for energi (oksygen). Dersom ein senker terskelen endå meir, får det ingen innverknad fordi fisken reagerer med fluktespons uansett.

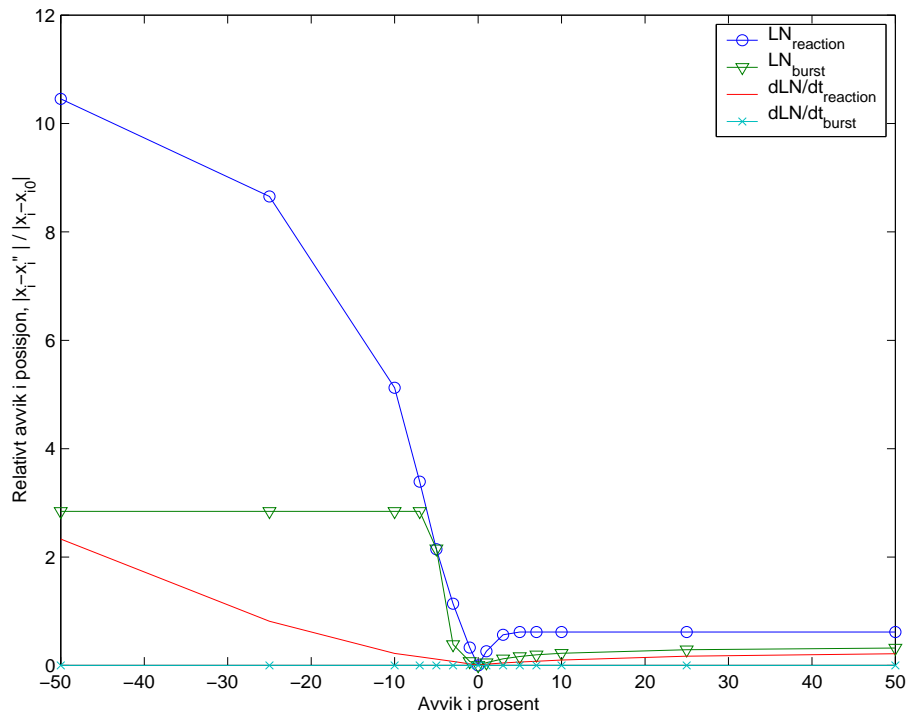
Figur 3.10 viser sensitiviteten til dei ulike fartsparametranne. I høve til reaksjonstersklane

er sensitiviteten liten. Modellen er mest sensitiv til parameteren $v_{maxprolonged}$. Samanlikna med reaksjonstersklane har dei liten innverknad. Figur 3.11 viser uthaldsparametrane. Dei har ingen innverknad på resultatet. Slik modellen er bygd, og med dei verdiane som er sett på parametrane, tømmer ikkje fisken energilageret (oksygen), og parameteren får ingenting å seia på resultatet.

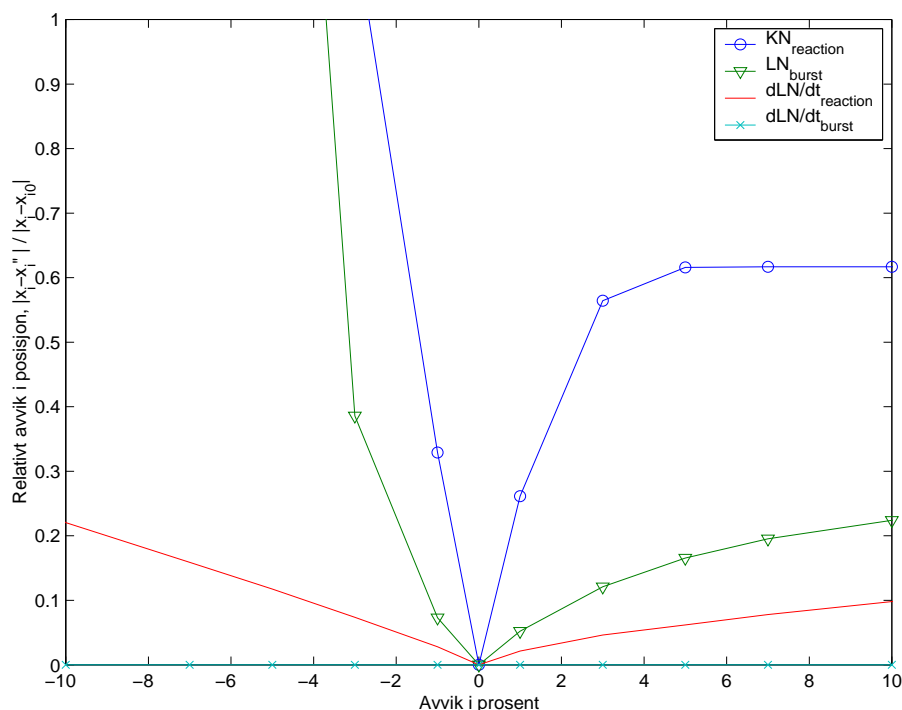
75 individ er alt for få til å studera sensitiviteten til stimingsparametrane. Resultatet kan difor ikkje nyttast til å fastsetja sensitiviteten, men figur 3.13 viser at stimingsradiusen påverkar sensitiviteten til parameteren k_i .

Figur 3.15 viser kor sensitiv modellen er til ulik storleik på fisken. 35cm fisk er sett som standard. Modelleringa viser at storleiken på fisken ikkje er like viktig som t.d. reaksjonstersklane, men truleg er reaksjonstersklane avhengig av storleiken til fisken. Motivasjonen for reaksjon er ulik for ulik alder, jf. kap 2.7. Sjølv om sensitiviteten til denne parameteren er liten i modellen, vil truleg storleiken ha meir å seia i røynda.

Figur 3.14 viser kor sensitiv modellen er til γ_i . Endringar i γ_i fører til ein mest lineær respons. Dette er rimeleg fordi vektinga mellom LN og dLN/dt som stimuli er lineær.



Figur 3.7: Relativt avvik grunna endring i biologiske parameter. Relativt til total forflytting; $|\vec{x}_i - \vec{x}_{0i}|$



Figur 3.8: Relativt avvik grunna endring i biologiske parameter. Relativt til total forflytting; $|\vec{x}_i - \vec{x}_{i0}|$

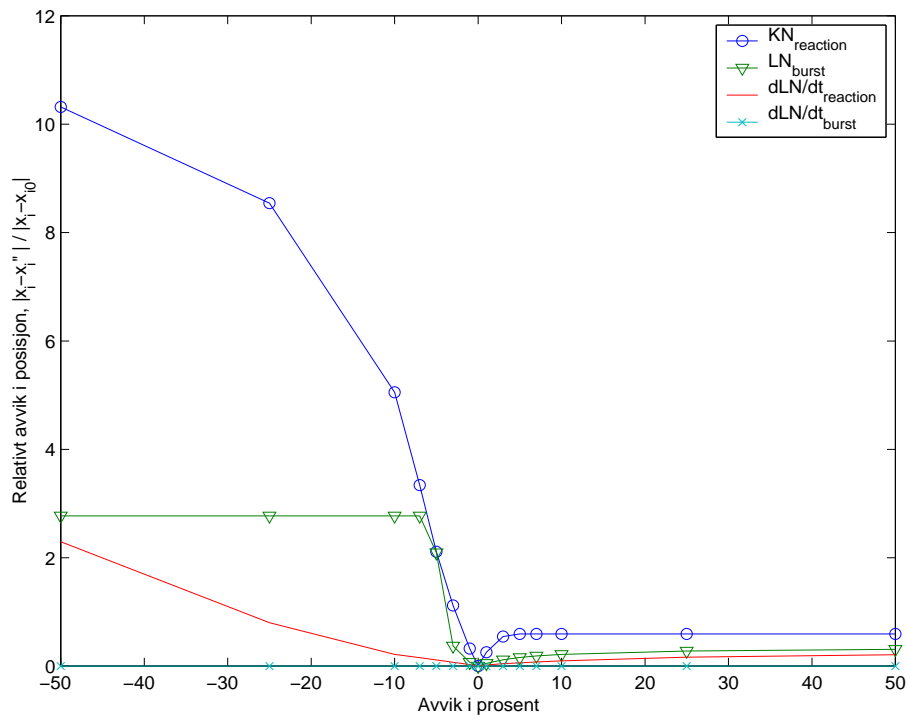
3.5.3 Sensitivitetsindeksar

S_p , likning 3.28, er gjennomsnittleg sensitivitetsindeks for parameterendingsnivåa frå -10% til 10% . Resultatet er vist i figur 3.16. Samanlikninga viser kor mykje dei ulike parametrane har å seia kvar i høve til einannan.

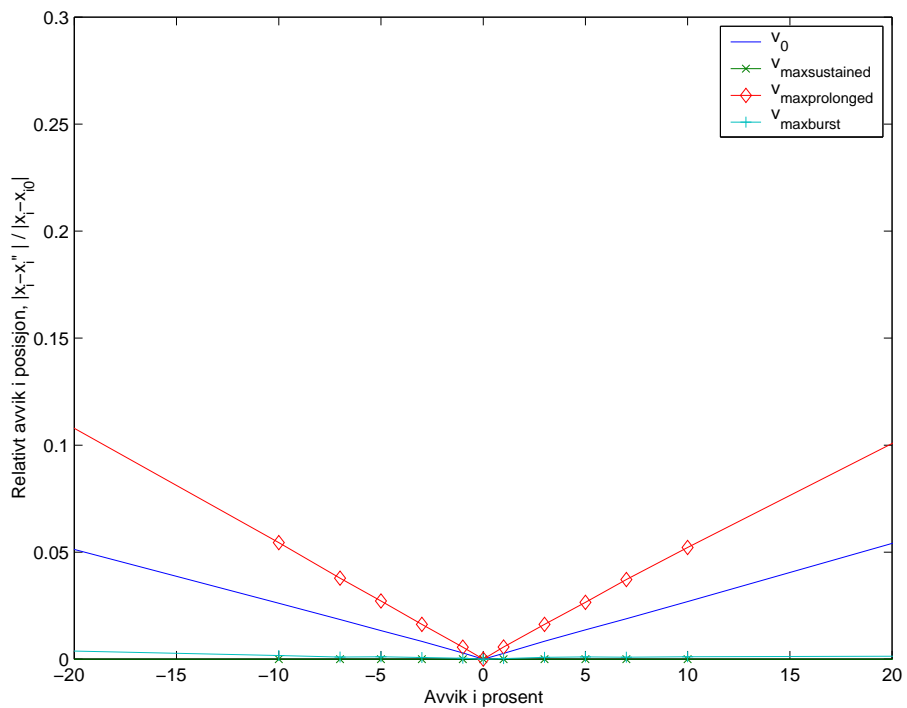
$$S_p = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m S_{p_n} \quad (3.28)$$

Fartøystøyen er den mest sensitive parameteren i modellen, men sensitiviteten til KN er sterkt avhengig av γ_i . Dersom fisken reagerer på endring i fartøystøy, vil ikkje denne parameteren vera like sensitiv. Grunnen til den låge sensitiviteten til l_i er at lengda til fisken kun verkar inn på uthald og symjefart. Både uthald og symjefart er parametrar med låg sensitivitet i modellen. Truleg verkar l_i inn på motivasjonen til reaksjon. Sensitiviteten til responstersklane er avhengig γ_i . γ_i er sett til 0.5. Det er ikkje sikkert dette er rett, og ein kan difor ikkje seia at endring i lydnivå er mindre viktig enn lydnivået.

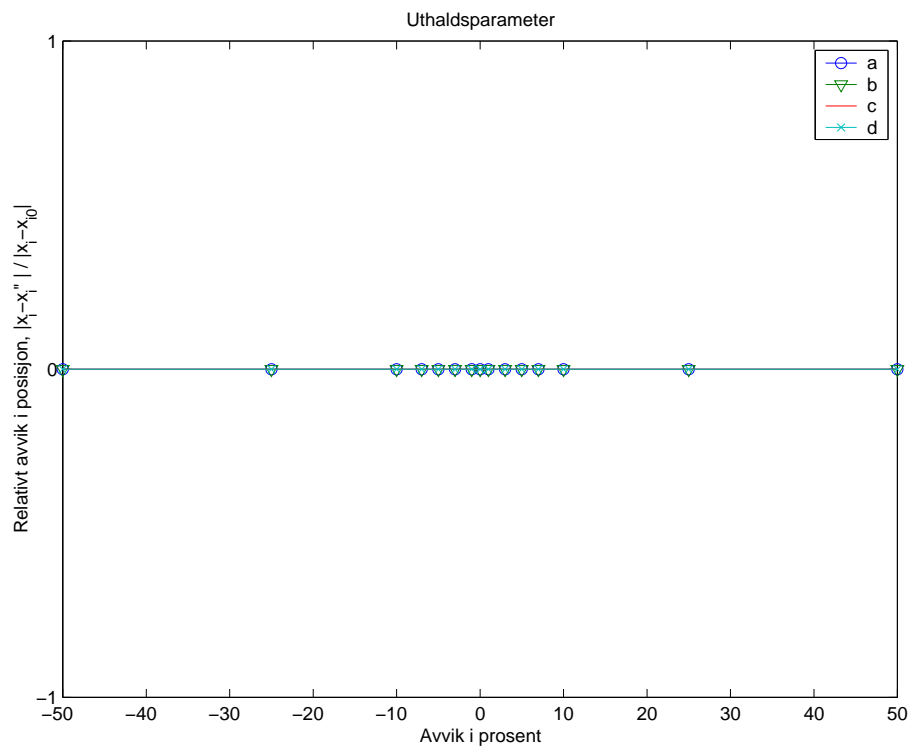
Eit viktig resultat er at parameterar som har med åtferd å gjera er meir sensitive enn parametrar som styrer symjefart og symjekapasitet, jf. inndelinga av parametrane, vedlegg A.3.



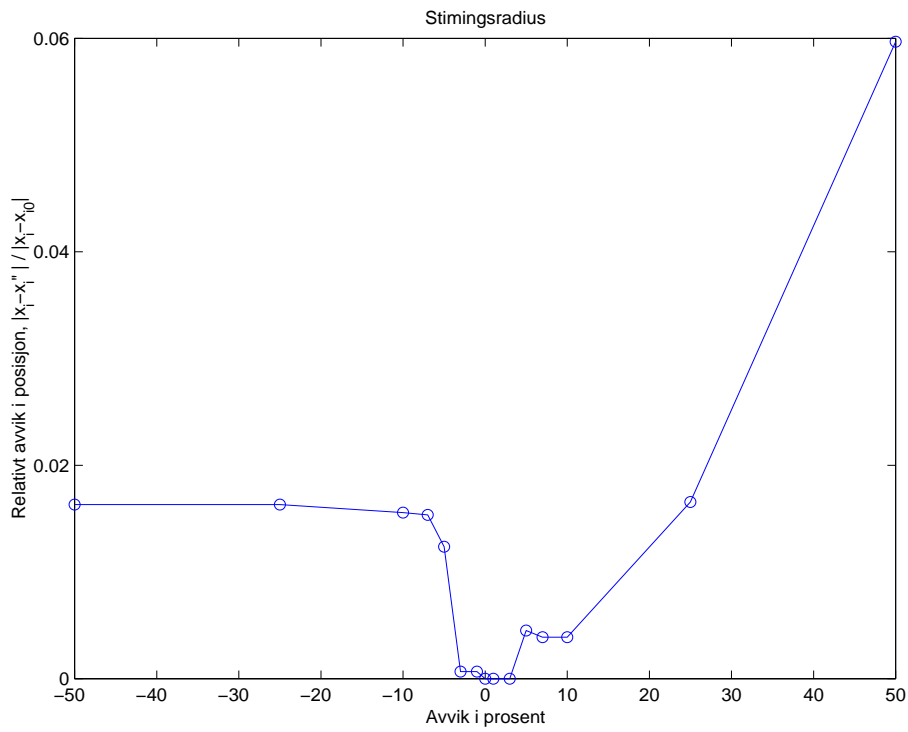
Figur 3.9: Relativt avvik grunna endring i biologiske parameter. Relativt til symjelengd, $\int_S dS$



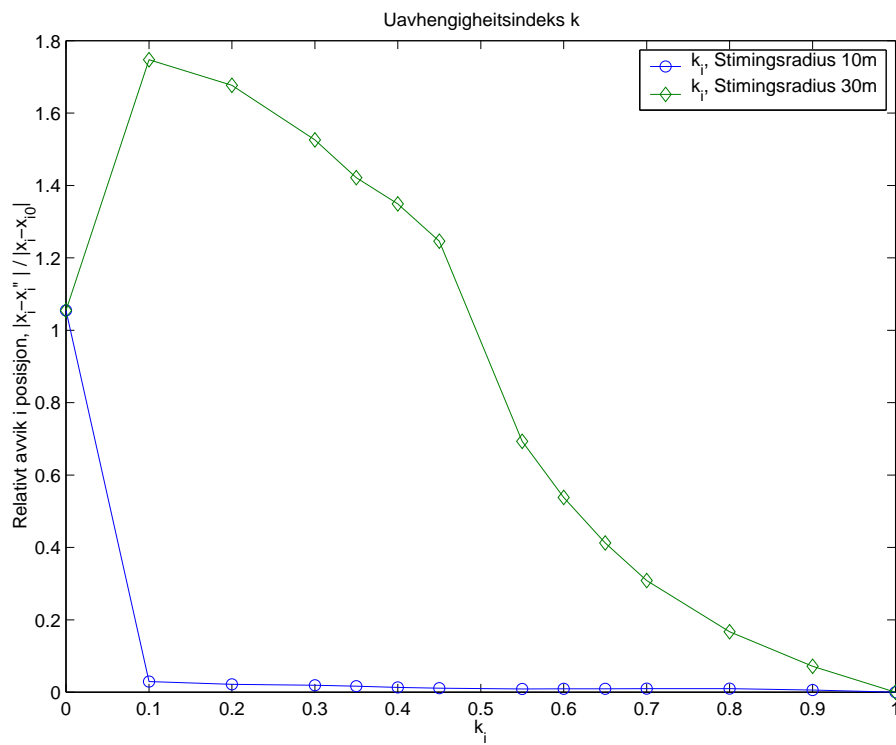
Figur 3.10: Relativt avvik grunna endring i biologiske parameter. Relativt til total forflytting; $|\vec{x}_i - \vec{x}_{0i}|$



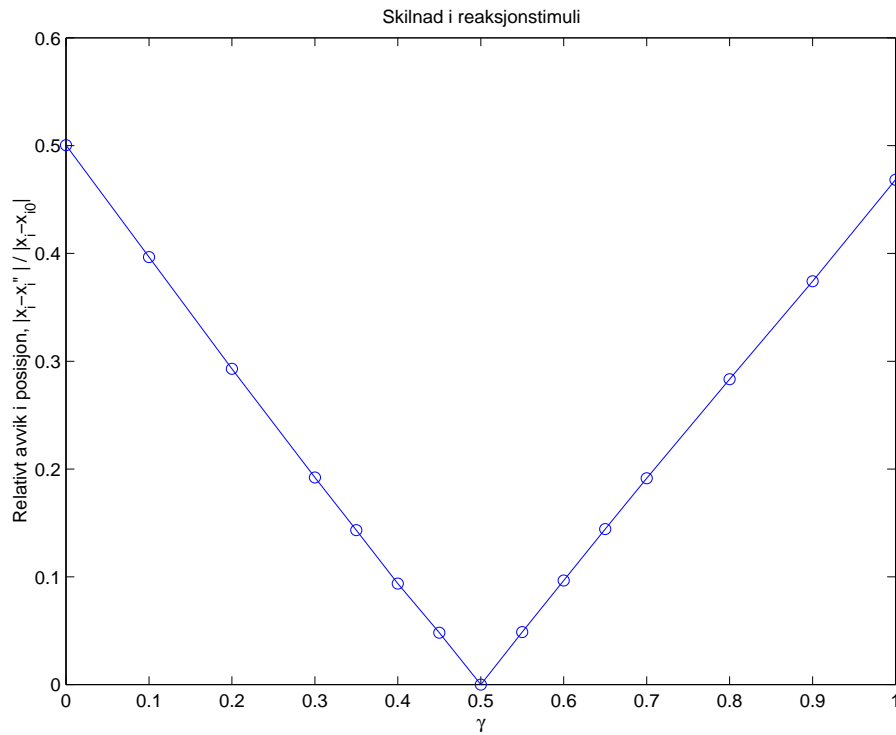
Figur 3.11: Relativt avvik grunna endring i biologiske parameter. Relativt til total forflytting; $|\vec{x}_i - \vec{x}_{0i}|$



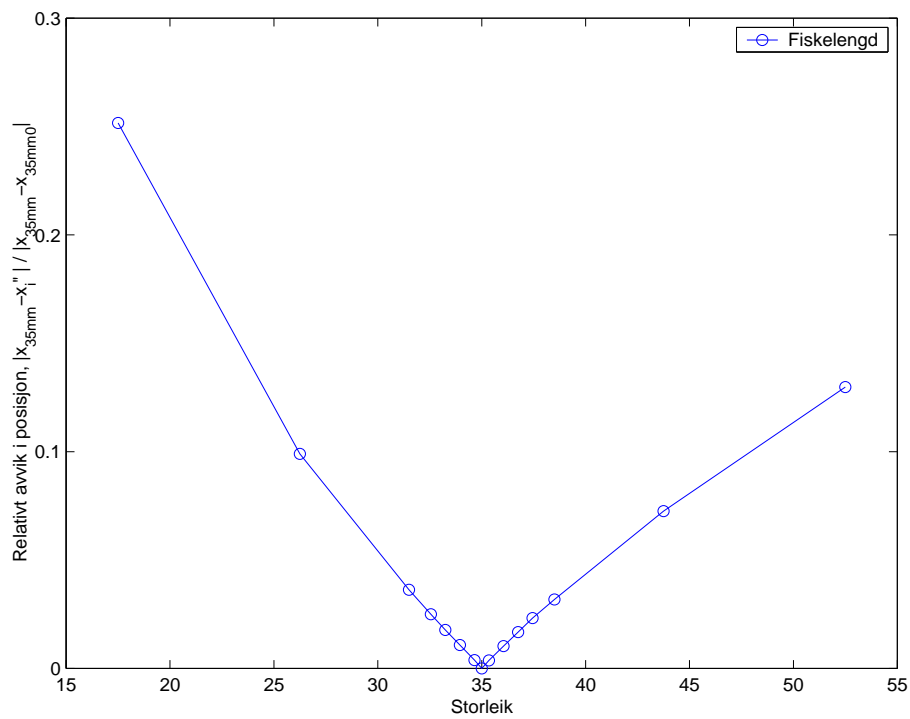
Figur 3.12: Relativt avvik grunna endring i biologiske parameter. Relativt til total forflytting; $|\vec{x}_i - \vec{x}_{0i}|$



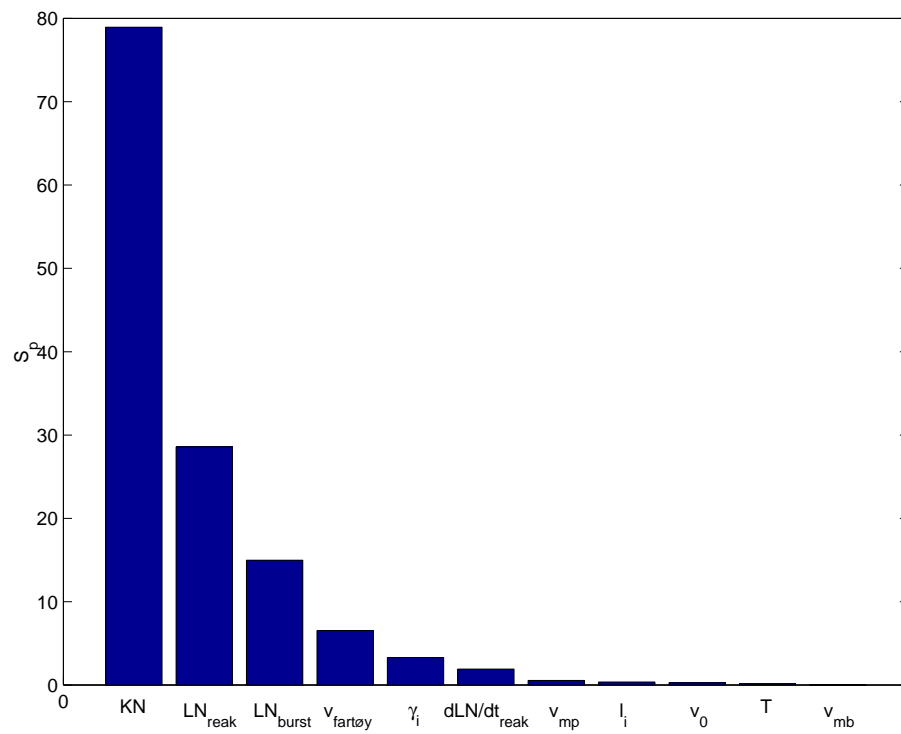
Figur 3.13: Relativt avvik grunna endring i biologiske parameter. Relativt til total forflytting; $|\vec{x}_i - \vec{x}_{0i}|$



Figur 3.14: Relativt avvik grunna endring i biologiske parameter. Relativt til total forflytting; $|\vec{x}_i - \vec{x}_{0i}|$



Figur 3.15: Relativt avvik grunna endring i biologiske parameter. Relativt til total forflytting; $|\vec{x}_i - \vec{x}_{0i}|$



Figur 3.16: Sensitivitets indeks S_p sortert etter storleik. Parametrar der $S_{p_n} = 0$ er ikkje tekne med.

Kapittel 4

Data frå forsøk

Data frå forsøk kan nyttast til å verifisera modellen og/eller justera parametrane i modellen. To ulike framgangsmåtar er vurderte. Den eine nyttar individdeteksjon frå ekkoloddata, og testar hastigheitsfeltet til fisk i . Den andre metoden samanliknar køyringane frå modellen med forsøksdata, og ser på skilnaden i gjennomsnittsdjupn.

4.1 Hastigheitsfeltet

4.1.1 Metode

Ved hjelp av spordata¹ frå ekkolodd kan symjehastigheita til einskildfisk studerast og samanliknast med den forventa symjehastigheita frå modellen. Datainnsamlingsmetoden og programvare som er nytta, er gitt vedlegg D.1.1. Generelt vert indeks i nytta for spor i i datasettet, og indeks j for tidsteg j i spor i .

Posisjon

For å modellera støynivå og endring i støynivå ved kvart spor, treng ein posisjonen til sporet (fisken) i høve til fartøyet. Den gjennomsnittlege posisjonen i sporet vert nytta til å modellera støynivået. Dette er ei forenkling fordi fisken flyttar på seg under sporinga. Gjennomsnittleg posisjon i høve til propellen vert funnen av likning (4.1). Tidspunktet vert funne av likning (4.2). Likningar for omrekning frå posisjon relativt til bøye til posisjon relativt til fartøy er gitt i vedlegg D.1.1.

$$\bar{\vec{x}}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \vec{x}_{i,j} \quad (4.1)$$

¹“trackingdata” er definert som spordata [Egi92]. Eit “trace” er definert som eit spor.

der $\vec{x}_{i,j}$ er posisjonen til spor i i tidsteg j , og k er talet på tidsteg i spor i .

$$\bar{t}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k t_{i,j} \quad (4.2)$$

der $t_{i,j}$ er tidspunktet til tidsteg j til spor i .

Ved å setja $|\vec{x}_i|$ lik $|\vec{r}|$ finn ein lydfeltet fisken er utsett for frå likning (2.19). Dersom ein skal finna endringa i lydnivået som fartøyet set opp, lyt ein finna hastigheita til fartøyet. Farten er gjeven, og retninga vert funnen ved hjelp av GPS-data. Endringa i lydnivået då gitt ved likning (2.26).

Symjefart

Det er definert to ulike mål for symjefart. Resultantfarten, V_{res} , er den resulterande symjefarten i sporet der berre endring i posisjon frå fyrste til siste tidsteg er nytta, jf. likning(4.3). Reell symjefart, V_{snitt} er den gjennomsnittlege symjefarten i sporet. Den gjennomsnittlege symjefarten er funnen ved skilnaden i tid og posisjon i kvart tidssteg, jf. likning (4.4).

$$V_{res,i} = \frac{|\vec{x}_{i,k} - \vec{x}_{i,1}|}{t_k - t_1} \quad (4.3)$$

$$V_{snitt,i} = \frac{1}{t_k - t_1} \sum_{j=1}^{k-1} |\vec{x}_{i,j} - \vec{x}_{i,j+1}| \quad (4.4)$$

Der t_j og $\vec{x}_{i,j}$ er tid og posisjon i rommet for kvart tidsteg i spor i . k er talet på tidsteg i sporet.

Retningsfaktor

Ein 'retningsfaktor' er definert for å avgjera om fisken har ein retningsbestemt respons eller ikkje. Forholdet mellom reell forflytting og resultant forflytting vert nytta. Dersom denne er 1, har fisken ein klar retningsbestemt respons.

$$q_i = \frac{|\vec{x}_{i,k} - \vec{x}_{i,1}|}{\sum_{j=1}^{k-1} |\vec{x}_{i,j} - \vec{x}_{i,j+1}|} \quad (4.5)$$

Symjeretning

Sporet inneheld informasjon om symjeretninga. Fyrste og siste registrering i sporet vert nytta til å finna den resulterande symjeretninga. Dersom q er låg, vil ikkje dette vera eit

godt mål på symjeretninga. Når q er låg, vil fisken skifta retning fleire gonger i sporet. Det hadde kanskje vore betre å nytta fleire datapunkt for å avgjera symjeretninga fordi enkelte av registreringane kan vera feil. Ein minste kvadraters tilpassing mot datapunkta kunne vore ein annan framgongsmåte.

$$\vec{e}_{d,i} = \frac{\vec{x}_{i,k} - \vec{x}_{i,1}}{|\vec{x}_{i,k} - \vec{x}_{i,1}|} \quad (4.6)$$

$\vec{e}_{d,i}$ er symjeretninga til spor i , $x_{i,j}$ er posisjonen til spor i , der $j = 1$ er den fyrste registrerte posisjonen i sporet, og $j = k$ er den siste.

Dersom ein ser bort frå stimåtferd, vert den forventa symjeretninga frå modellen lik $\vec{e}_{m,i}$. Avvik i forventa symjeretning er gitt ved likning (4.7).

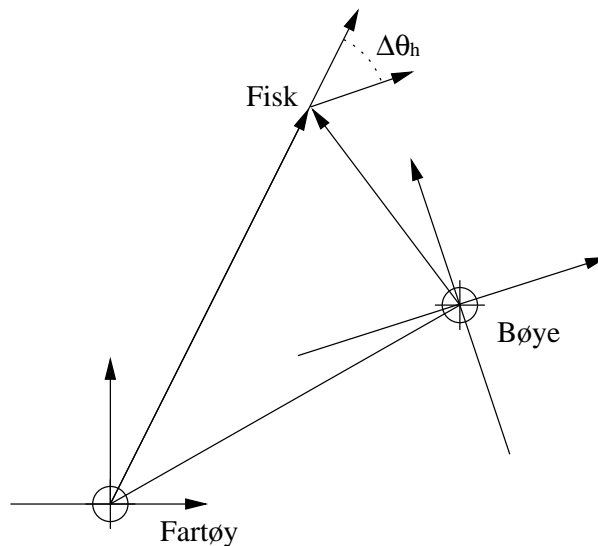
$$\Delta\theta = \text{acos}(\vec{e}_{m,i} \cdot \vec{e}_{d,i}) \quad (4.7)$$

Det er interessant å sjå om det avvik i den horisontale eller den vertikale symjeretninga. Horisontal symjeretning er gitt ved likning (4.8).

$$\vec{e}_{dh,i} = (\vec{e}_{d,i} \cdot \vec{e}_x)\vec{e}_x + (\vec{e}_{d,i} \cdot \vec{e}_y)\vec{e}_y, \quad \vec{e}_{mh,i} = (\vec{e}_{m,i} \cdot \vec{e}_x)\vec{e}_x + (\vec{e}_{m,i} \cdot \vec{e}_y)\vec{e}_y \quad (4.8)$$

der \vec{e}_x og \vec{e}_y er einingsvektorar i basis B , $\vec{e}_{dh,i}$ og $\vec{e}_{mh,i}$ er den horisontale projeksjonen av $\vec{e}_{d,i}$ og $\vec{e}_{m,i}$.

$$\Delta\theta_h = \text{acos}(\vec{e}_{dh,i} \cdot \vec{e}_{mh,i}) \quad (4.9)$$



Figur 4.1: Forskjell i horisontalvandringvinkel, $\Delta\theta_h$

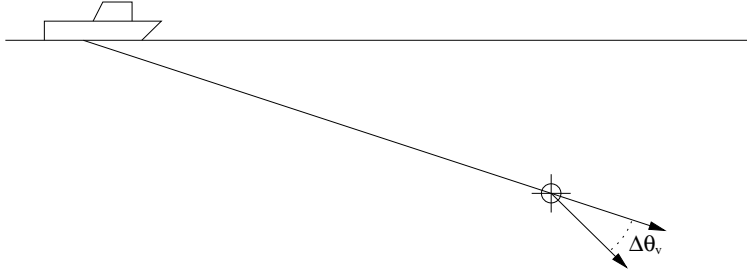
Skilnaden mellom forventa og reell horisontalvinkel er gitt ved likning (4.9). Vertikalvandringvinkelen, likning (4.10), er gitt ved vinkelen mellom $\vec{e}_{d,i}$ og projeksjonen til $\vec{e}_{d,i}$ i horisontalplanet, $\vec{e}_{dh,i}$.

$$\theta_{vd} = \text{acos}(\vec{e}_{d,i} \cdot \vec{e}_{dh,i}) \quad (4.10)$$

Tilsvarande vert det for den modellerte vertikalvandringsvinkelen.

$$\theta_{vm} = \text{acos}(\vec{e}_{m,i} \cdot \vec{e}_{mh,i}) \quad (4.11)$$

$$\Delta\theta_{vm} = \theta_{vd} - \theta_{ve} \quad (4.12)$$



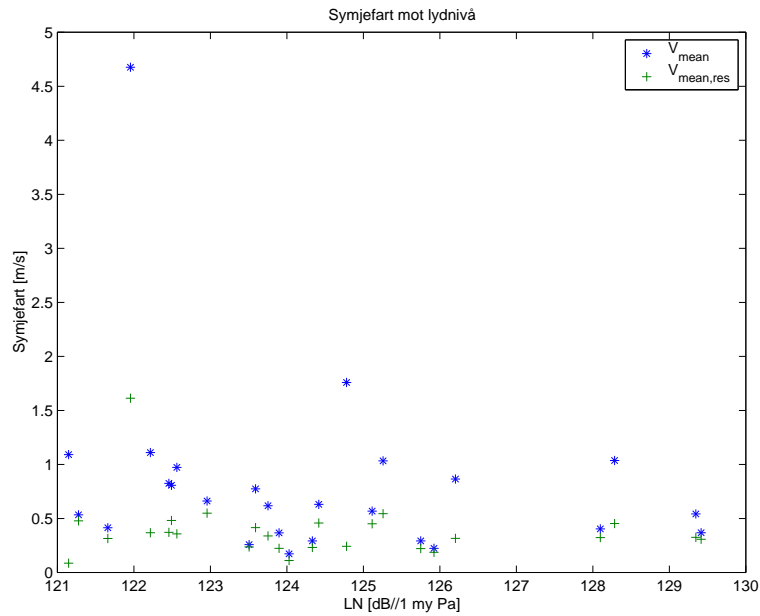
Figur 4.2: Skilnaden mellom reell og forventta vertikalvandring, $\Delta\theta_v$.

4.1.2 Resultat

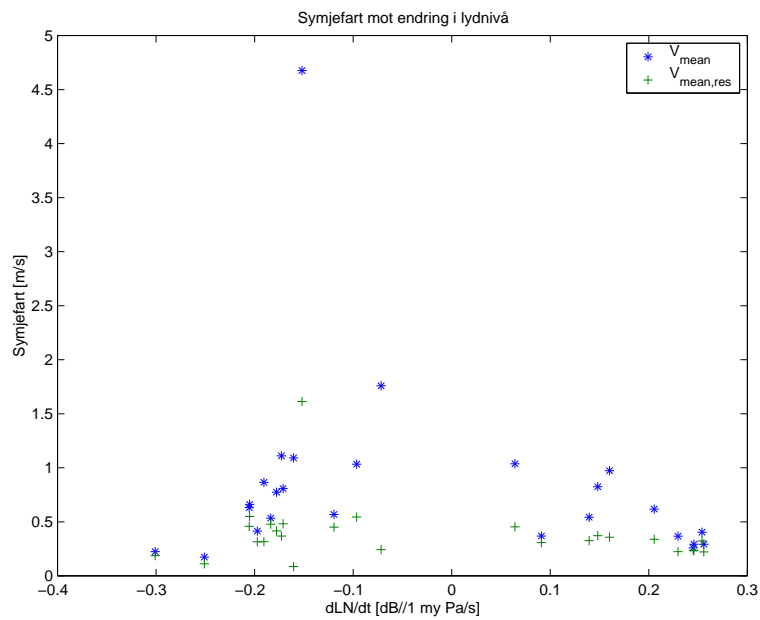
Det finst svært få datasett med fullstendige “spordata” der ein har kontroll med alle parametrar naudsynt for ei slik analyse. Det er er teke med nokre passeringar for å illustrera metoden, og datagrunnlaget er for lite til at det kan trekkjast slutningar frå resultatata. Figur 4.3 til 4.6 viser resultat frå passering 1. Figur 4.7 viser reslutat frå passering 2. Detaljert informasjon om passeringane som er nytta er gitt i vedlegg F.

Figur 4.3 viser V_{snitt} og V_{res} som funksjon av LN . Det er store variasjonar, men dei fleste ligg under $1,5m/s$. Ekstreme symjefartar som $4,5m/s$ kan vera feilregistreringar frå EK500 og sporingsprogrammet (trackingprogrammet).

Figur 4.3 og figur 4.4 viser V_{mean} og V_{res} mot LN og dLN/dt frå forsøk E7, passering 3. Ein skulle forventta høgare symjefart med høgare lydtrykk, men dei fleste registreringane er utsett for lydtrykk lågare enn responstersklane.

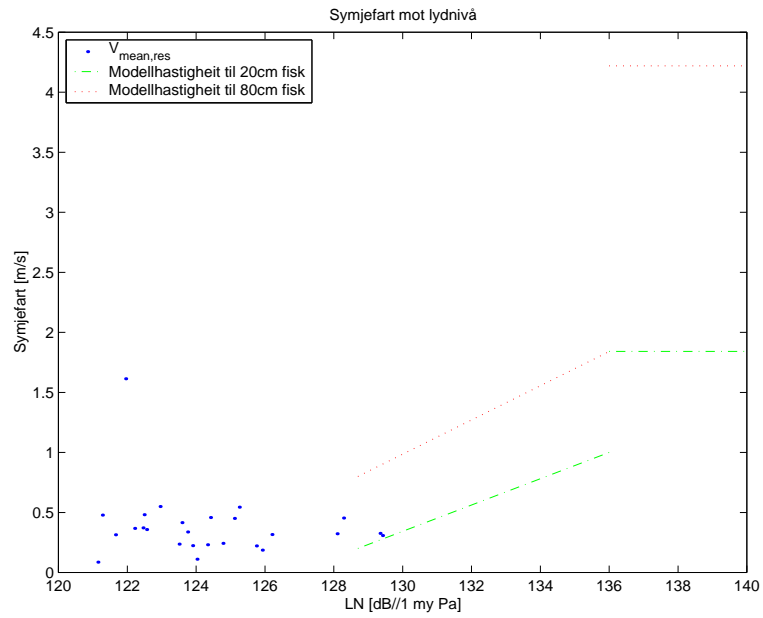


Figur 4.3: Forsøk E7, passering 3

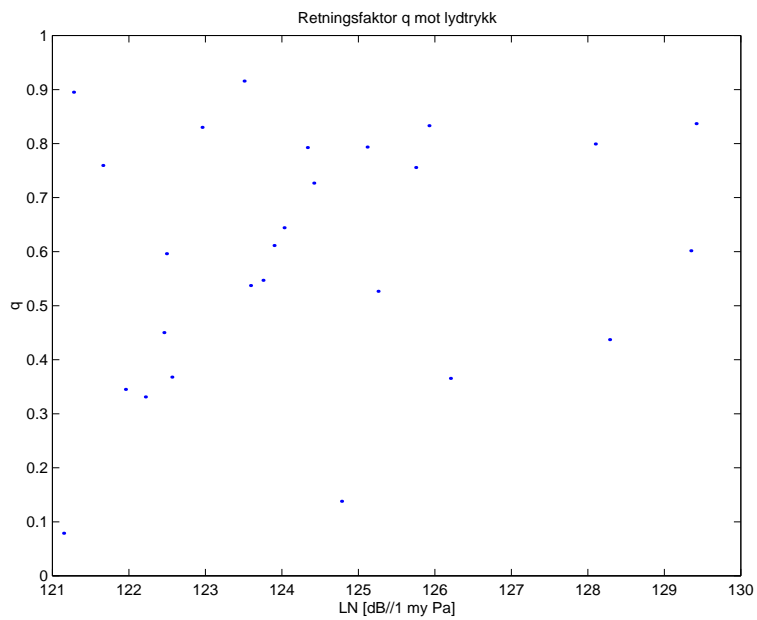


Figur 4.4: Forsøk E7, passering 3

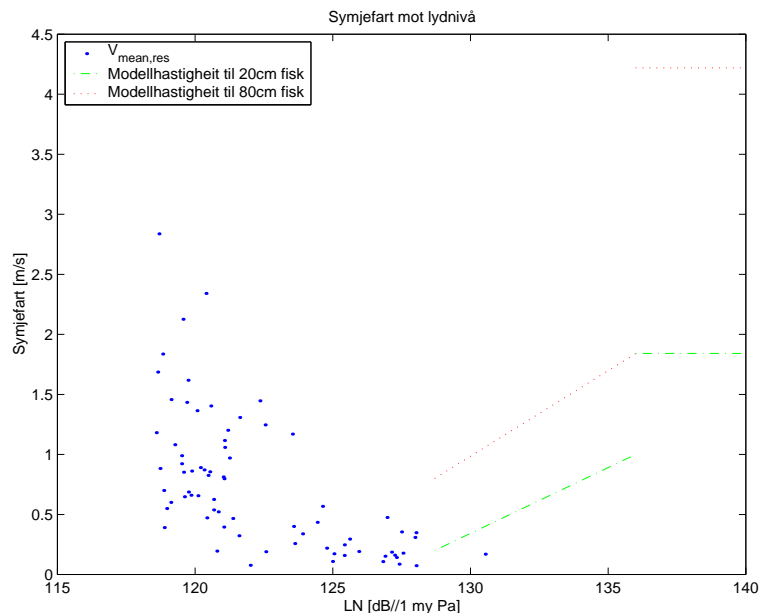
Figur 4.5 viser V_{res} saman med det modellerte fartsfeltet. Tilsvarande resultat får ein frå forsøk E3, passering 2, jf. figur 4.7.



Figur 4.5: Forsøk E7, passering 3



Figur 4.6: Forsøk E7, passering 3



Figur 4.7: Forsøk E3, passering 2

4.1.3 Diskusjon

- Svingar høgare i vassøyla

Fisken er ikkje nær nok fartøyet til å kunna verifisera hastigheitsfeltet i modellen. Svingaren ligg på omlag 50m djupn i begge forsøka. Ekkonstrålen er smal på toppen, og sidan det krevst fleire registreringar for å få eit godkjent spor der strålen er smal, vert det registrert for få spor nær svingaren. Det er berre tre spor som ligg over den modellerte responsterskelen. Det er ingen spor som vert utsette for eit modellert lydtrykk over fluktrspnsterskelen. Det kan difor ikkje visast nokon samanheng med det modellerte hastigheitsfeltet, jf. figur 4.5).

Det hadde difor vore ein fordel om svingaren stod høgare i vassøyla. Ikkje nødvendigvis for å registrera fisk høgare i vassøyla, men i hovudsak for å få ein breiare stråle ved 50m. Dette er sjølvstgt ei avveging mot andre faktorar, t.d. bølgepåverking osv. Dersom svingaren ligg for høgt i vassøyla, vil svingaren kunna byrja å pendla. Då lyt ein ha data for å kompensera for denne pendlinga. Det gjer arbeidet meir komplisert.

- Oppbygging av modell

I staden for å byggja ein modell ut frå korleis ein trur åtferda er, bør ein heller nytta spordata (trackingdata) for å sjå om ein kan finna reaksjonsmønster, og i staden for å modellera stimuliet, kan ein, som eit fyrste steg, nytta avstand til kjelda som eit mål på stimuliet. Lydnivået er ein ein-eintydig funksjon av avstanden, og for å sjekka korrelasjonar kan ein testa reaksjon mot avstand til propell, skrog, og dersom ein går med trål, trålwarp og tråldører.

- Lydfeltet kring båten
Gjennomsnittleg posisjon er nytta for å finna lydfeltet spor i er utsett for. Modellen for lydfeltet er ei forenkling, og lydfeltet endrar seg fordi fisken flyttar på seg i sporet. Dette kan og vera ei feilkjelde ved denne metoden.
- Endring av lydnivå som stimuli
Ved endring av lydnivå som stimuli er $\partial LN/\partial t$ nytta i staden for dLN/dt . Dette vert nytta når ein skal modellera stimuliet som sporet vert utsett for. Dersom ein får gode data kan ein studera om reaksjonen er korrelert betre mot dLN/dt enn $\partial LN/\partial t$.

Modellen er i hovudsak bygd for torsk, men kan tilpassast andre artar ved å endra på parametrane. For å nytta denne metoden på eit datasett, lyt det vera ein type fisk i registreringane. Det er sjeldan ein har datasett der berre ein art er representert. Ein kan og tenka seg at fisken oppfører seg annleis dersom det er ein anna art tilstades (ulik vurdering av beite kan føra til ulik reaksjon, jf. kap 2.7).

Stor og liten fisk reagerer truleg annleis. Eit problem med denne metoden er at han ikkje skil mellom ulike storleikar. Dersom ein kan finna storleiken som funksjon av tiltvinkel og TS , kan ein kanskje plassera spora i ulike storleiksgrupper. Tiltvinkelen kan ein få frå spordata.

Dette er berre eit forslag til metode, og når ein får fleire datasett, ser ein kanskje kva som kan nyttast, og kva som lyt endrast på av desse metodane.

4.2 Inversmodellering

Inversmodellering er ein metode som kan nyttast til å estimera parametrar i modeller. For å kunna nytta inversmodellering i denne modellen, lyt ein initialisera modellen frå ekkoloddata, definera eit samanlikningsmål og setja opp ein minimeringsfunksjon. Samanlikningsmålet er eit sjølvstendig mål på kor god modellen er. Dersom ein skal nytta samanlikningsmålet for å sjekka kor god modellen er, kan ein ikkje nytta det same datasettet til å justera parametrane i modellen på førehand. Eit alternativ er å nytta datasettet til å verifisera modellen før ein nyttar det same datasettet til å justera parametrane i modellen.

4.2.1 Initialisering av modellen frå innsamla data

For å testa modellen mot innsamla data, lyt ein ha ein metode for å initialisera modellen. Initialiseringa må baserast på fiskefordelinga ei viss tid før fartøyet passerer bøyen. Både storleikssamansetnad og djupnefordeling vert funne frå ekkoloddata. Data frå 1 til 3 min før passering vert nytta i initialiseringa. Frå bøyen får ein data for målstyrke, TS_i , og djupn, d_i , til alle individregistreringane. Målstyrken er eit mål på kor stor fisken er.

Samanhengen mellom målstyrke og lengd er gitt ved likning (4.13). Fordi målstyrken er avhengig av fleire faktorar, som t.d. tiltvinkelen til fisken, gjev likning (4.13) berre ein middelvei for l_i . Dersom fisken sym nedover, vil ikkje likning (4.13) gje eit godt mål på storleiken til fisken. Under modelleringa går ein ut frå at den naturlege migrasjonen i gjennomsnitt er null. Dersom det er tilfelle vil likning (4.13) i gjennomsnitt gje eit rimeleg svar.

$$TS_i = 20 \log(l_i) - 68 \quad (4.13)$$

der TS_i er målstyrken og l_i er lengda på fisken. Signal som inneheld fisk over 70cm eller under 20 cm vert fjerna frå datamengda. Modellen har ikkje parameterdata for fisk utanfor dette intervallet, og ekstremt store verdiar kan koma av uvissa i likning (4.13). Datamengda vert samla i matrise (4.14).

$$echodata = \begin{bmatrix} d_i & flength \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

echodata vert diskretisert i djupn og storleik. Vassøyla vert delt inn i 30 intervall fordelt mellom 0 og -300m, jf. vektor (4.15), og lengda på fisken vert delt inn i intervall mellom 20 cm og 70 cm, jf. vektor (4.16). Talet på fisk vert telt opp i kvar kategori og plassert i matrise (4.17).

$$sizeclass = [20 : 10 : 70]; \quad (4.15)$$

$$depthclass = [-300 : 10 : 0]; \quad (4.16)$$

$$dist = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,5} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,5} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{29,1} & a_{29,2} & \dots & a_{29,5} \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

der $a_{k,j}$ er talet på fisk i djupn k og storleiksklasse j . For å kompensera på forma til ekkostrålen under initialiseringa, lyt ein vekta kvart signal ulikt på ulike djupn. Tettleiksfordelinga, uavhengig av strålebreidde, er gitt i likning (4.18).

$$\rho_{k,j} = \frac{dist_{k,j}}{V_k} = \frac{dist}{\pi R^2 \Delta d} \quad (4.18)$$

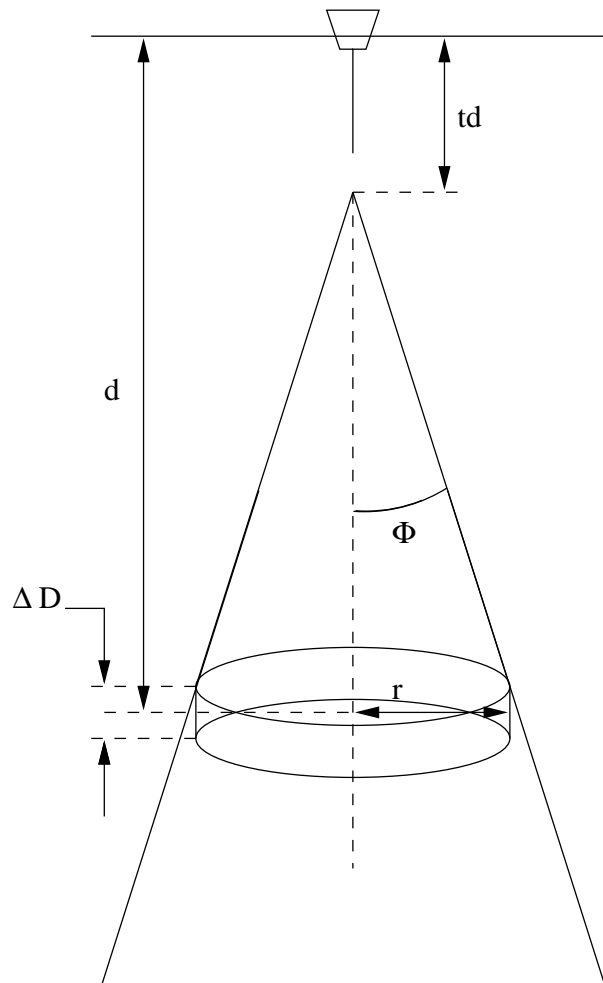
der R er radius i ekkostrålen, Δd er høgda i kvart intervall i z-retninga (djupna), og V_k er volumet til ekkostrålen i djupneintervall k (*depthclass* k).

$$\frac{R}{d - td} = \tan(\Phi) \quad (4.19)$$

der d er djupna og td er djupna til svingaren, jf. figur 4.8 Likning (4.18) og likning (4.19) gjev likning (4.20).

$$\rho_{k,j} = \frac{dist_{k,j}}{(d - td)^2 \tan^2(\Phi) \pi \Delta D} = \frac{dist_{k,j}}{(d - td)^2} \cdot C = dist_{i,j} \cdot w(d) \cdot C \quad (4.20)$$

der C er ein konstant, og $w(d) = \frac{1}{(d - td)^2}$.



Figur 4.8: Ekko

Sidan det ikkje eksisterer informasjon om fordelinga i horisontalplanet, vert modellen initialisert som om fordelinga, gitt ved $\rho_{k,j}$, er representativ for heile horisontalplanet. Fisken vert fordelt uniformt frå $x = -60$ til $x = 20$ og frå $y = -40$ til $y = 40$. Talet på initialiseringspunkt i horisontalplanet, x_n og y_n , vert sett til 10.

Modellen er ein individmodell, og tettleiksfordelinga $\rho_{i,k}$ lyt difor diskretiserast. Dersom ein multipliserer $\rho_{k,j}$ med ein konstant K , vert ikkje fordelinga skipla. $\rho_{k,j} \cdot K$ kan rundast

av til næraste heiltal, og då har ein eit mål på kor mange individ som skal initialiserast i kvart punkt i horisontalplanet ved den aktuelle djupna og storleiksklassen. Sidan talet på individ ikkje påverkar inversmålet, kan K veljast fritt. Dersom K vert valt for låg, vil mykje informasjon gå vekk i avrundinga, og dersom K vert valt for stor, vil modellen verta tung å køyra. K vert sett slik at det vert initialisert omlag 5000 fisk i modellen. K vert funnen frå likning (4.21).

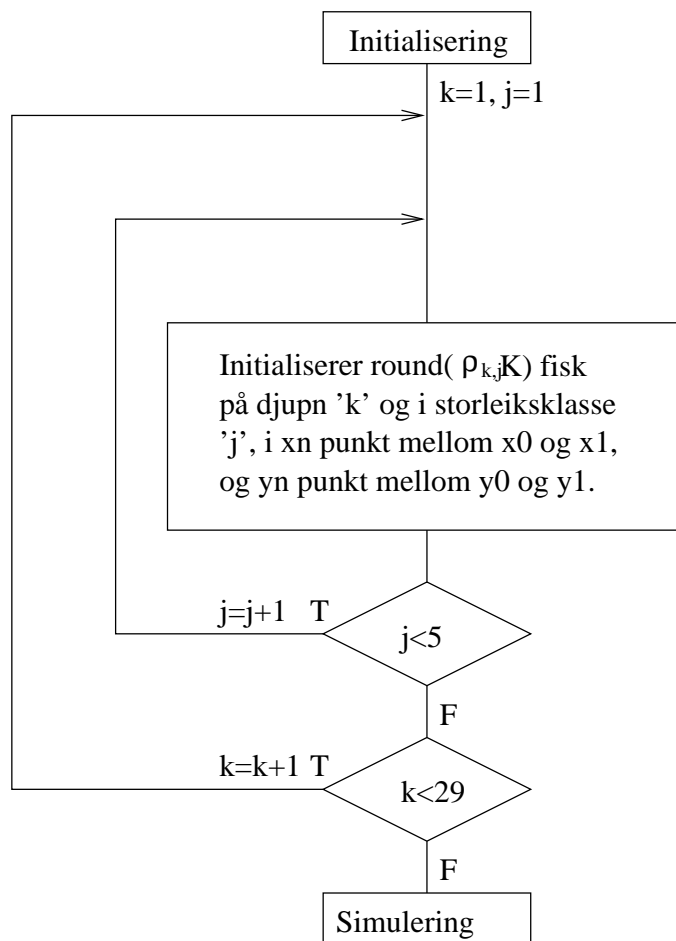
$$\sum_{k=1}^5 \sum_{j=1}^{29} \rho_{k,j} K \cdot xn \cdot yn = 5000 \quad (4.21)$$

der xn og yn er talet på fisk i x-retning og y-retning.

$\rho_{k,j} K$ vert runda av til næraste heiltal, og $round(\rho_{k,j} K)$ vert initialisert i kvart initialiseringspunkt i horisontalplanet. På denne måten tek ein vare på djupne- og storleiksfordelinga i $\rho_{k,j}$.

Talet på fisk i modelleringa, no_of_fishes , får ein frå likning (4.22), og initialiseringsprosedyren er vist figur i 4.9.

$$\sum_{j=k}^5 \sum_{k=1}^{29} round(\rho_{k,j} K) \cdot xn \cdot yn = no_of_fishes \approx 5000 \quad (4.22)$$



Figur 4.9: Initialiseringsprosedyre

4.2.2 Samanlikningsmål

Etter at ein har initialisert og køyrt modellen, treng ein eit mål for å samanlikna resultatet frå modellen med data frå forsøket. Samanlikningsmåla lyt vera på ei slik form at dei kan finnast frå den tilgjengelege datamengda. Endring i total biomasse under bøye, og endring i gjennomsnittleg djupn vil vera to slike mål. Endring i total biomasse vil kunna gje ein peikepinn på horisontalflukt, medan endring i gjennomsnittsdjupn vil seia noko om vertikalflukt.

Total biomasse

Dersom ein skal nytta total biomasse som mål for inversmodelleringa, må ein ha ein samanheng mellom storleiken, l_i , og målstyrken, TS , til fisken. Denne er gitt ved likning (4.13). Likning (4.13) gjev eit gjennomsnittsmål på l_i , og dersom fisken sym nedover

under ein eventuell avviksreaksjon, vil fisken endra vinkel i høve til ekkoloddet. Dette vil påverka målstyrken, og likning (4.13) vil ikkje lenger vera representativ. Sidan ein ikkje har informasjon om storleiken til fisken til ei kvar tid, kan ein ikkje nytta total biomasse som inversmål. Dersom ein finn lengda på fisken som ein funksjon av migrasjonsvinkel og målstyrke, kan ein kanskje nytta total biomasse som eit inversmål. Ein metode som likevel kan nyttast er endring av total ekkostyrke før og rett etter unnvikning. Dersom ein måler ekkostyrken rett etter at fisken har falle til ro og samanliknar med total ekkostyrke før reaksjon, vil ein få eit bilete av kor stor del av fisken som har migrert ut av ekkostrålen [Vab99]. Endringa i total ekkostyrke kan og skuldast at fisken er komen inn i blindsona til ekkostrålen. Grunna desse vanskaner, vert ikkje endring i total biomasse nytta som inversmål i modellen i denne omgang.

Gjennomsittsdjupn

Endringa i gjennomsnittsdjupn til alle individa under ekkostrålen kan vera eit mål på vertikal forflytting. Dette målet er uavhengig av total biomasse, og ser på gjennomsnittet av alle signala ved gitte tidspunkt. Eit mål på gjennomsnittsdjupn frå bøyedata er gitt i likning (4.23).

$$\bar{d}_{bouy}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n d_i(t) \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (4.23)$$

der w_i er ein vektfunksjon avhengig av djupn, d_i , og n er talet på mottekne signal frå ekkopinget.

Eit alternativt mål er å vekta storleiken til individa i tillegg til djupna, jf. likning (4.24). Då vil stor fisk ha meir å seia for gjennomsnittsdjupna enn liten fisk. I denne samanhengen er ein like interessert i stor som liten fisk. Gjennomsnittsdjupn frå likning (4.23) vert difor nytta.

$$\bar{d}_{bouy}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n d_i(t) \cdot m_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i} \quad (4.24)$$

der m_i er massen til fisk i .

Vektfunksjonen w_i må nyttast for å kompensera for ulik breidd på ekkostrålen. Ekkostrålen har ei konisk form. På ei kvar djupn detekterer ekkoloddet eit areal lik ein sirkel. Det som er interessant er talet på fisk pr. areal på den aktuelle djupna. Arealet er gitt ved likning (4.25).

$$A = \pi r^2 = \pi \tan^2(\Phi)(d - td)^2 \propto (d - td)^2 \quad (4.25)$$

d er djupna, Φ er vinkelen på ekkostrålen og td er djupna til svingaren. For å kompensera for ulik strålebreidd, vert vektfunksjonen frå likning (4.26) nytta. Likning (4.27) gjev den gjennomsnittlege djupna til ei kvar tid.

$$w_i = \frac{1}{(d_i - td)^2} \quad (4.26)$$

$$\bar{d}_{bouy} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{(d_i - td)^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i - td)^2}} \quad (4.27)$$

Likning (4.27) vert nytta på kvart tidssteg frå datamegda frå ekkoloddet. Det er tildels store variasjonar mellom kvart tidssteg. Dette kan skuldast stor vertikalvandring, men mest truleg er det at 'ny' fisk sym inn i ekkostrålen. For å kunna nytta \bar{d}_{bouy} , lyt ein 'glatta' verdiane over ei viss tid, jf. likning (4.28).

$$\bar{d}_{bouy,glatt}(t_j) = \frac{1}{2a + 1} \sum_{m=j-a}^{j+a} \bar{d}_{bouy}(t_m) \quad (4.28)$$

t_j er tidspunktet, og t_{j-a} til t_{j+a} er intervallet ein "glattar" over. I køyringane er dette intervallet sett til 10s.

Gjennomsnittdjupn frå modellen, $\bar{d}_{fartøy}$, vert rekna ut kring posisjonen der bøyen er, frå ein sylinder med radius lik 5m. $\bar{d}_{fartøy}$ finn ein ved å nytta likning (4.23) og ved å setja $w_i = 1$.

Det er definert to samanlikningsmål, Λ_1 og Λ_2 . Λ_1 samanliknar bøyedata og modelldata i eit punkt, medan Λ_2 summerer opp skilnaden over tid. Begge samanlikningsmåla gjev eit mål på kor god modellen er.

$$\Lambda_1(t) = |\bar{d}_{model}(t) - \bar{d}_{bouy,glatt}(t)| \quad (4.29)$$

$$\Lambda_2(t) = \int_{t_0}^t |\bar{d}_{model}(\tau) - \bar{d}_{bouy,glatt}(\tau)| d\tau \quad (4.30)$$

4.2.3 Invers modellering

Inversmodellering vert nytta til å estimera parametrar i modellar. Metoden går ut på å minimera uttrykka (4.29) og (4.30) ved å endra på parametrane. Ved å 'ukritisk' minimera desse uttrykka, kan ein få parameterverdier som skil seg svært mykje frå dei teoretiske verdiane. Då vil ein sjå bort frå kunnskapen som ligg til grunn for den 'teoretiske' verdien. For å retta på dette, vert det innført straffefunksjonar. Straffefunksjonar hindrar den estimerte parameterverdien å skilja seg mykje frå den teoretiske parameterverdien.

Straffefunksjonar

$$\Gamma = \Lambda_{1,2}(t_{passering}) + C_2 \sum_{i=1}^n f_i(par_{p,teoretisk} - par_p) \quad (4.31)$$

der C_1 og C_2 er konstanter, n er talet på parametrar, par_p er verdien til parameter p , og f_p er straffefunksjonen for parameter p . Straffefunksjonen er avhengig av kunnskapen vi har om parameteren. C_1 og C_2 avgjer i kor stor grad ein vil leggja vekt på inversmålet eller den teoretiske parameterverdien. For avgjera dette, vil kvaliteten til datamengda vera viktig.

Parametrane kan delast opp i to kategoriar, avhengig av kva kunnskapar vi har om verdien på dei.

- Sikre parametrar

Sikre parametrar er parametrar der ein har eit punkttestimat. Her kan ein laga ein lineær straffefunksjon som vist i figur 4.10. Stigningstalet til straffefunksjonen er avhengig av kor sikkert estimatet er. Dette lyt avgjerast for kvar enkelt parameter. Typiske 'sikre' parametrar er:

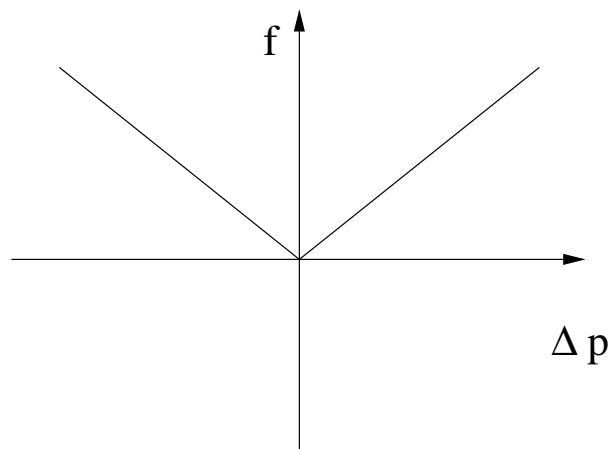
- Symjefartar: $v_{mb,i}$, $v_{mp,i}$, $v_{ms,i}$ og $v_{0,i}$
- Uthaldsparameter: a_i , b_i , c_i og d_i

- Usikre parametrar

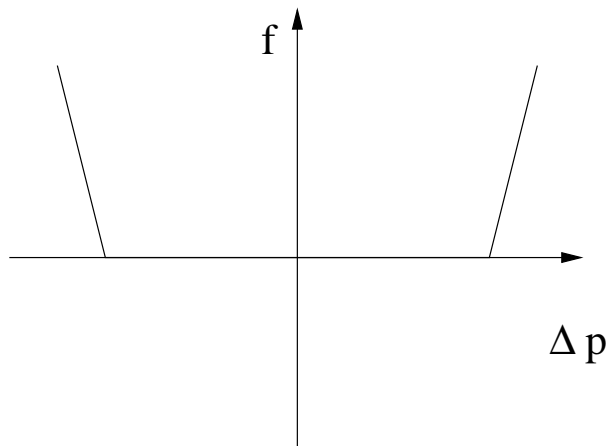
Usikre parametrar er parametrar som ein ikkje har eit punkttestimat for. Ein har likevel kunnskapar om verdimengda til parameteren. Dette er typisk for parametrane som har med åtferd å gjera. For desse parametrane hadde det kanskje vore greiare å definera ei verdimengd, men det gjer inversmodelleringa vanskelegare. Resultatet vert det same med ein straffefunksjon som vist i figur 4.11.

Typiske 'usikre' parametrar er:

- Reaksjonstrykk: $P_{burst,i}$, $P_{reak,i}$, $P_{retn,i}$, $dP_{reak,i}$ og $dP_{burst,i}$
- Andre: γ_i , $|\vec{r}_{max}|_i$ og k_i



Figur 4.10: Straffefunksjon for "sikre" parameter



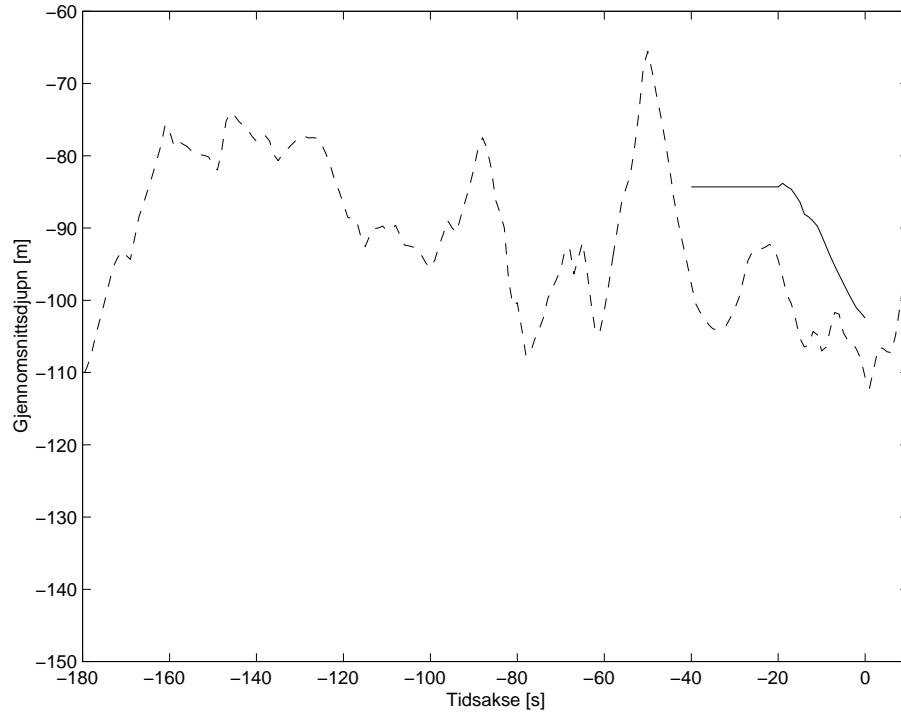
Figur 4.11: Straffefunksjon for “usikre” parameter

Dette er ei kort utgreiing om korleis ein kan definera straffefunksjonar i inversmodelleringa. Dersom ein skal utføra inversmodelleringa, lyt ein finna eit estimat over uvissa i parametrane, eller finna verdimengda til parametrane. Ein lyt og finna eit estimat for C_1 og C_2 .

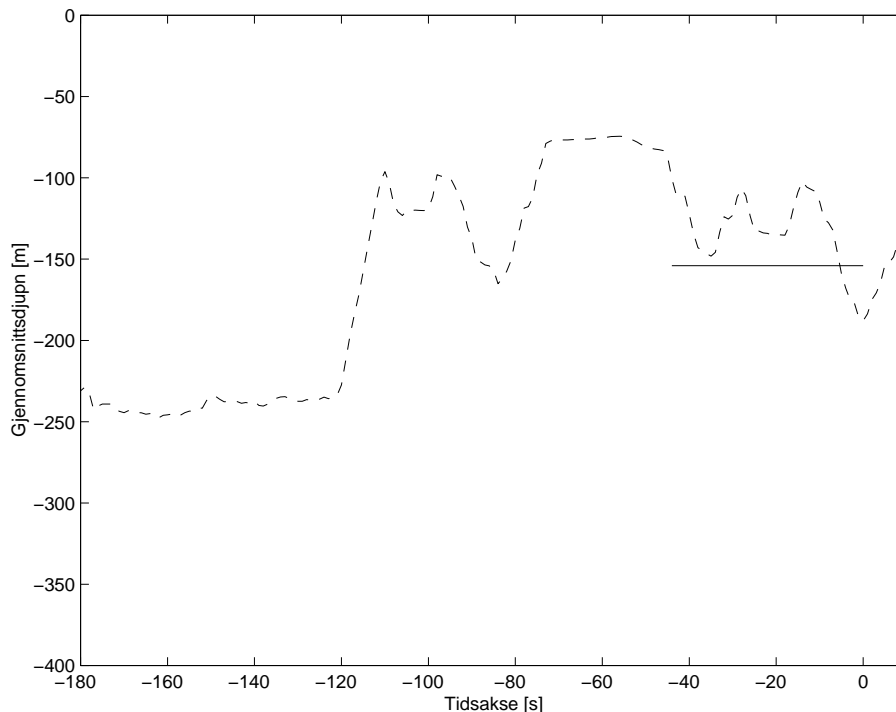
4.2.4 Resultat frå inversmodelleringa

Det er ikkje samla nok data til å gjera ein grundig statistisk analyse. Det er teke med nokre passeringar for å illustrera metoden, for frå eit så lite datagrunnlag er det vanskeleg å trekkja slutningar. Frå analysen av fartsfeltet frå dei same forsøka fann ein ingen samanheng mellom det som var modellert og datamengda. Det er difor lite truleg at ein skal finna samanhengar i samanlikningsmåla, Λ_1 og Λ_2 .

Figur 4.12 og figur 4.13 viser resultatet frå forsøk E7, passering 3 og frå forsøk E3 passering 2. Figurane syner initialiseringsperioden og modelleringsperioden.



Figur 4.12: Middeldjupn frå bøye og modell. Passering skjer ved $x = 0$. Stipla linje er middeldjupn frå bøyedata glatta over 10s. Heiltrekt linje er er middeldjupn frå modelleringa.



Figur 4.13: Middeldjupn frå bøye og modell. Passering skjer ved $x = 0$. Stipla linje er middeldjupn frå bøyedata glatta over 10s. Heiltrekt linje er er middeldjupn frå modelleringa.

Figur 4.12 viser avviksreaksjonen frå modellen og bøyen. Figuren viser tendensar til ei vertikal unnviking, men sjølv om data frå bøyen er glatta over 10s, er det likevel store variasjonar i $\bar{d}_{bøy,glatt}$. Det kan difor vera tilfeldig at figuren stemmer. I modellen er reaksjonen på større djup liten, jf. figur 4.13. Dersom ein får reaksjon på desse djupa, kan det ha samband med at fisk høgare i vassøyla initierer reaksjonen. Dette er ein effekt som ikkje er teken med i modellen, jf. kap 3.2.

4.2.5 Diskusjon

Initialiseringa

Initialiseringa av modellen fører til ein del feil.

- Naturleg migrasjon
Dersom det er mykje naturleg vertikal migrasjon, vil initialiseringa vera avhengig av tidsintervallet ein initialiserer modellen i. Dette tidsintervallet er sett til $2min$.

Dersom det er mykje naturleg² vertikalvandring på ein tidsskala kring $2min$, vil initialiseringa verta feil.

- Ikkje uniform horisontal fordeling
Dersom den horisontale fordelinga ikkje er uniform, vil fisk på eit anna djup som sym inn i strålen, skaper tidsvariasjonane uvisse i $\rho_{i,j}$. Dette gjer det vanskeleg å initialisera modellen. Kanskje burde ein studert tidsvariasjonane i datamengda som avgjer $\rho_{i,j}$.
- Diskretisering i ρ
 ρ inneheld informasjon om fisketettleiken i vassøyla. Dersom tettleiken er konsentrert på ei djupn medan det er små konsentrasjonar andre stader i vassøyla, vil informasjonen om dei små konsentrasjonane gå tapt. Ved å justera K slik at det vert initialisert 5000 fisk kvar gong, vert denne feilen gjort så liten som mogeleg.
- Målstyrke og l_i
Samanhengen mellom TS_i og l_i er berre ein gjennomsnittsverdi, men sidan storleiken til fisken ikkje er ein sensitiv parameter i modellen, får det ikkje så store konsekvensar for modelleringa.

Inversmålet

- Data “forsvinn”
Ved kraftig vertikal migrasjon kan signalet forsvinna heilt. Fisken kan ha flytta seg horisontalt ut av ekkostrålen, men dersom fisken sym mest vertikalt, og målstyrken vert svekka så mykje at sporet ikkje lenger vert registrert, vert den utrekna mideldjupna feil. I tilfelle der fisken sym raskt nedover har ein, ved å endra ‘gain’ på ekkoloddet, sett at fisken framleis er i strålen. Dette kan føra til feil i inversmålet.
- Svingingar i inversmålet
Ein har store svingingar i inversmålet. Truleg er ikkje uniform horisontalfordeling årsaka til den store variasjonen, men svingingane kan og koma av ei variabel “naturleg åtferd”. Dette vert forsøkt retta på ved å nytta ‘glatting’ av data, men det gjer det vanskeleg å laga ein generell metode for å studera data av denne typen. Truleg lyt ein studera kvart datasett for seg, og prøva å skilja ut den naturlege åtferda for kvart datasett.
- Representative data
I datasetta som er nytta i oppgåva er det vanskeleg å sjå nokon markert reaksjon mot fartøyet. Nokre gonger kan ein få ein kraftig reaksjon, medan andre gonger får ein ingen reaksjon. Dersom desse forsøka er representative for åtferda, vil ikkje metoden vera særleg god. Det er likevel von om at metoden vil vera betre der ein har ei meir markert vertikalvandring. Det eksisterer data der ein har kraftig vertikal unnarøemming ved passering [Ona88a]. Dessverre har ein ikkje spordata frå desse forsøka.

²Naturleg åtferd er i dette tilfelle åtferd som ikkje direkte har med fartøyet å gjera.

- Art
På same måte som for testinga av hastigheitsfletet, skil ikkje denne metoden mellom ulike artar. Dersom ein kan finna ut kva art sporet representerer, kan ein initialisera modellen med ulike artar. Dette krev at ein finn parametrar for dei ulike artane.

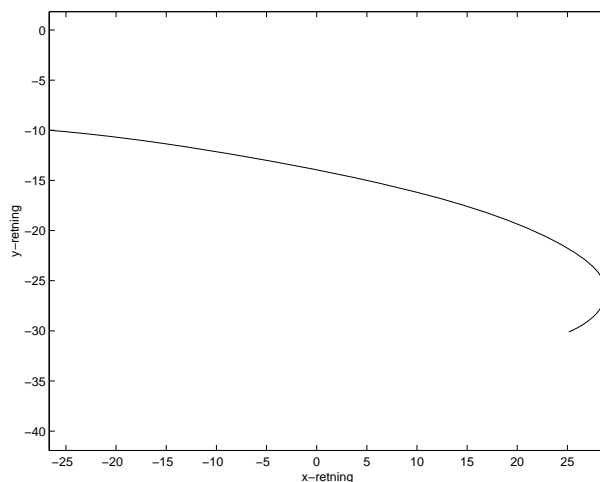
Kapittel 5

Resultat

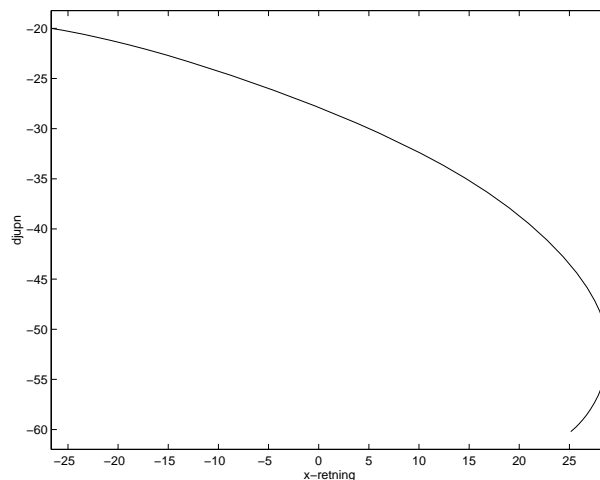
I dette kapitlet vert resultat frå ulike køyringar presentert. Det er gjort for å få eit kvalitativt bilete på korleis fisken reagerer i modellen, og korleis dei ulike parametrane verkar inn. Eit kvantitativt mål på kor mykje dei ulike parametrane verkar inn, har ein frå sensitivitetsanalysen, jf. kapittel 3.5.1.

Døme på symjebane

Figur 5.1 og figur 5.2 syner trajektorien til eit tilfeldig utplukka individ frå modelleringa. Fisken sym i byrjinga bort frå fartøyet tilnærma horisontalt. Når fartøyet er nær nok, vil vertikalkomponenten verta større. Dette er i samsvar med resultat frå verkelegheita som viser kraftig vertikalvandring ved propellpassering [Ona88a]. Fisken vil og vika i horisontalplanet, og dette vil gje typiske krumma trajektoriar.



Figur 5.1: Typisk trajektorie i x-y-planet



Figur 5.2: Typisk trajektorie i x-z-planet

Startverdier

Før ein simulerer, lyt ein initialisera modellen. Til køyringane er det nytta to startoppsett. Startoppsett I er for å simulera fisk på grunt vatn, medan startoppsett II er for å simulera fisk på djupare vatn. Grunnoppsetta nyttar uniformt fordelt fisk i alle plan, og fordelinga er gitt ved tabell 5.1. Dersom ikkje anna er sagt, er standard parameterverdier frå vedlegg A.3 nytta.

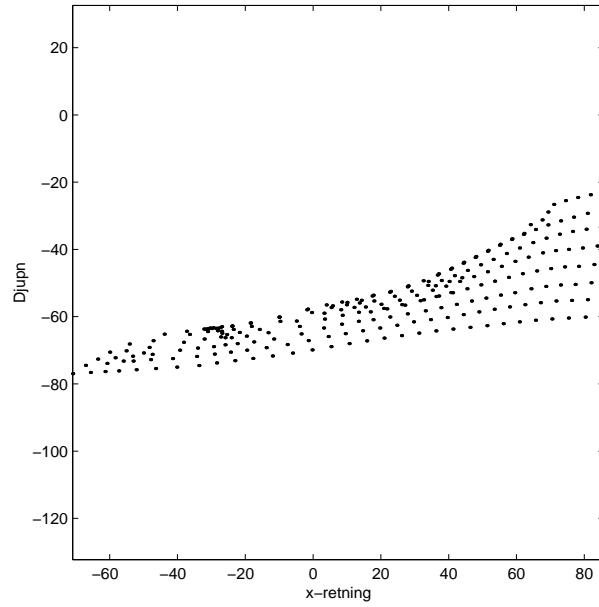
Oppsett	I	II
x	30 fisk for $x \in [-80 \ 80]$	30 fisk for $x \in [-80 \ 80]$
y	20 fisk for $y \in [-60 \ 60]$	20 fisk for $y \in [-60 \ 60]$
z	8 fisk for $z \in [-50 \ -90]$	8 fisk for $z \in [-20 \ -60]$

Tabell 5.1: Grunnoppsett I og II

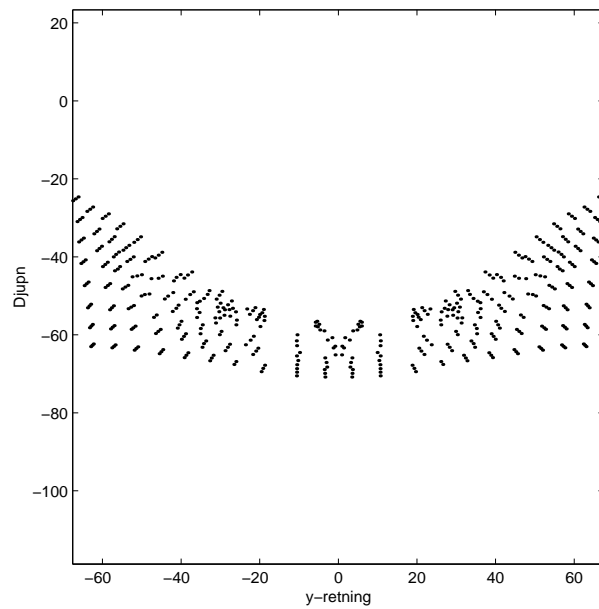
Figur 5.3 til figur 5.12 syner enkeltfisk i snitt i x-z-planet for $y=0$, eller i y-z-planet for $x=0$. Snittet i begge plana er 16 m tjukt.

Resultat frå køyring med std. parameterverdier

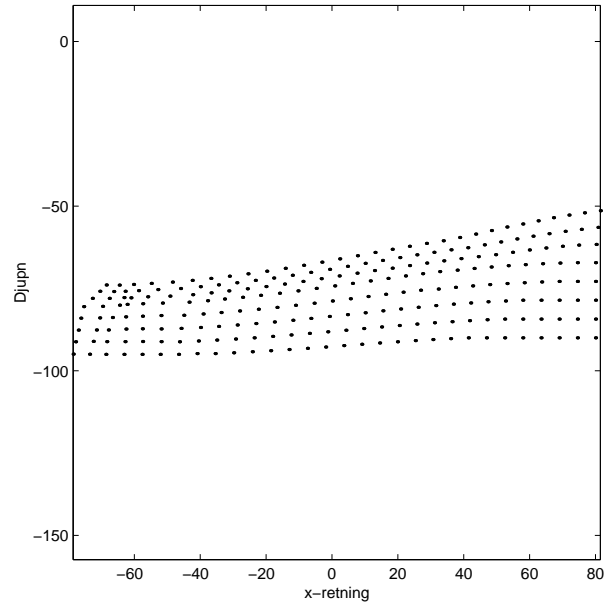
Figur 5.3 viser fordelinga i x-z-planet, for $y=0$, med standard parameterverdier og startoppsett I, og figur 5.4 syner tilsvarende fordelinga i y-z-planet for $x=0$. Frå figur 5.3 ser ein at ein del fisk vert “jaga” framom fartøyet. Ved propellpassering ser ein at fisken har vandra vertikalt. Frå figur 5.4 ser ein ein typisk tunnel der fartøyet har passert. Dette er i samsvar med resultat ein har fått ved forsøk på 0-gruppe torsk [Ona88b]. Med grunnoppsett II får ein ein tilsvarende, men svakare reaksjon, jf. figur 5.5 og figur 5.6.



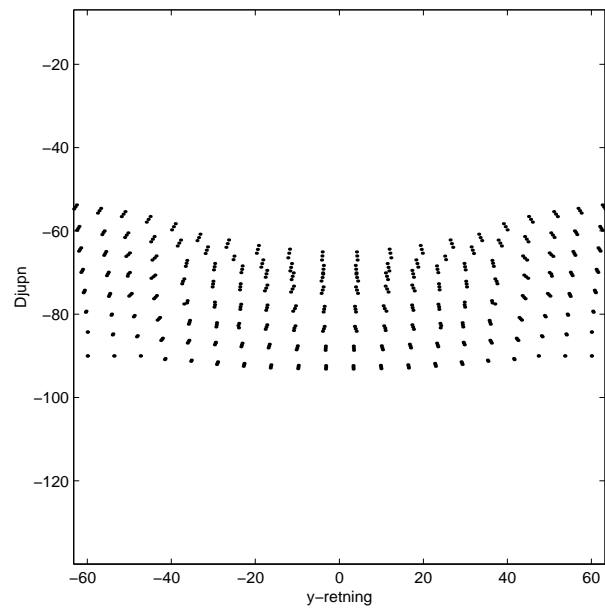
Figur 5.3: Snitt i x-z retning ved $y=0$, fartøy ved $x=0\text{m}$, initialposisjon I, standard parameterverdier.



Figur 5.4: Snitt i y-z retning ved $x=0$, ved fartøypassering, initialposisjon I, standard parameterverdier.



Figur 5.5: Snitt i x-z retning ved $y=0$, fartøy ved $x=0\text{m}$, initialposisjon II, standard parameterverdier.



Figur 5.6: Snitt i y-z retning ved $x=0$, ved fartøypassering, initialposisjon II, standard parameterverdier.

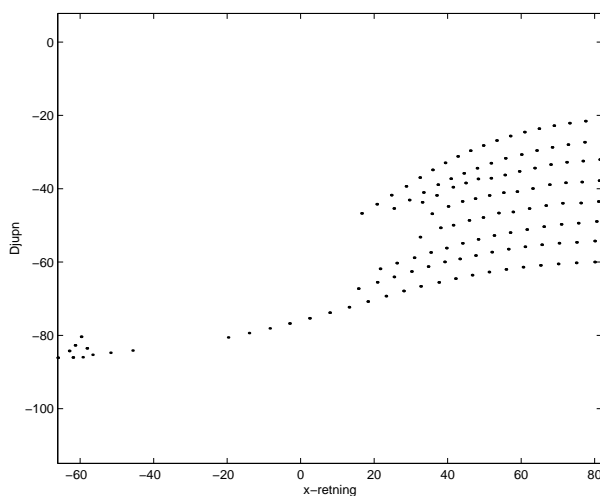
5.0.6 Ulike stimuli

Fisken får ei anna fordeling i rommet alt etter kva stimuli han reagerer på (LN eller dLN/dt). Sjølv om sensitiviteten til γ er relativt liten, ser ein at det er ein kvalitativ skilnad på responsen. Figur 5.7 og figur 5.8 syner fordelinga med $\gamma = 1$. Reaksjonen er relativt liten framom fartøyet, men ved passering får fisken ei kraftig vertikalflukt.

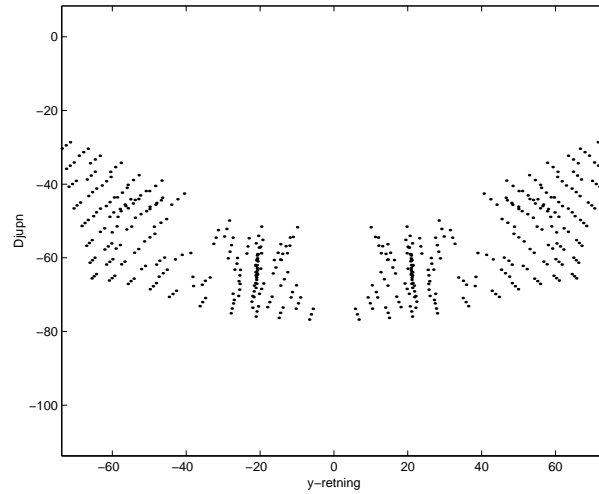
Figur 5.9 og figur 5.10 syner fordelinga ved endring i lydnivå som stimuli ($\gamma = 0$). Spesielt figur 5.9 syner skilnaden på dei ulike stimulia. I dette tilfelle vert reaksjonen sterkare framom fartøyet og høgare i vassøyla. Fisken vert skremt framom fartøyet. Ein får ikkje kraftig vertikalvandring ved propellpassering, og ut frå dette er det rimeleg å tru at fisken reagerer både på lydnivået og på endringa i lydnivået. Dersom eit fartøy går med trål, vil endringa i støyen frå trålwarpa vera kraftig ved propellpassering. Dersom ein meiner endring i lydnivå er det viktigaste stimuliet, kan den kraftige vertikalvandringa ved propellpassering forklarast ved trålwarpa. Det forklarar likevel ikkje kraftig vertikalvandring dersom ein går utan trål.

Tettleiken er mindre i figur 5.10 enn i figur 5.8. Dette indikerer ei større horisontalvandring ved dLN/dt som stimuli.

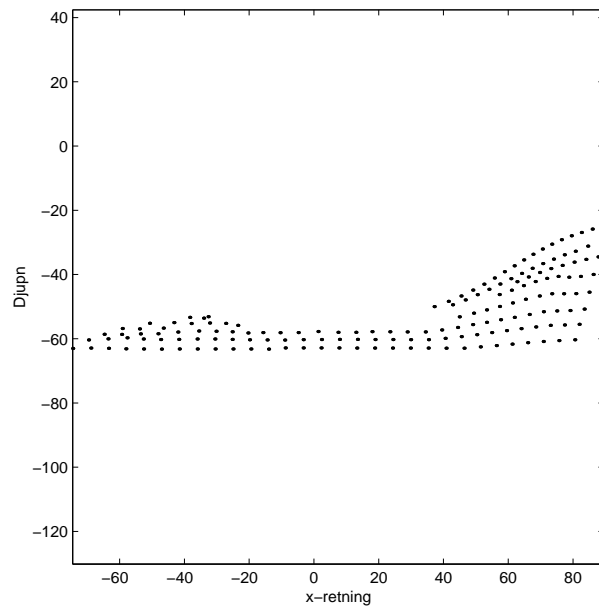
Stimåtfersdskomponenten fører til at fisk klumpar seg saman, og i dette tilfelle klumpar dei seg saman utanfor snitta. Dette er grunnen til “tomromma” i figurane.



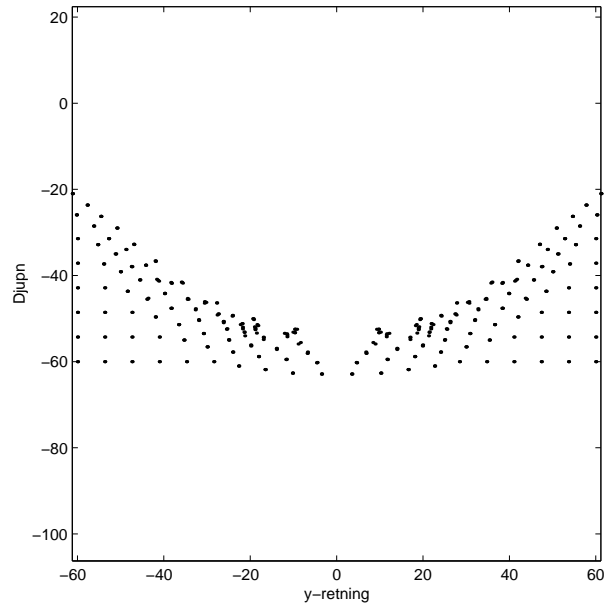
Figur 5.7: Snitt i x-z retning ved $y=0$, fartøy ved $x=0\text{m}$, initialposisjon I, $\gamma = 1$ (lydtrykk som stimuli)



Figur 5.8: Snitt i y-z retning ved $x=0$, ved fartøypassering, initialposisjon I, $\gamma = 1$ (lydtrykk som stimuli)



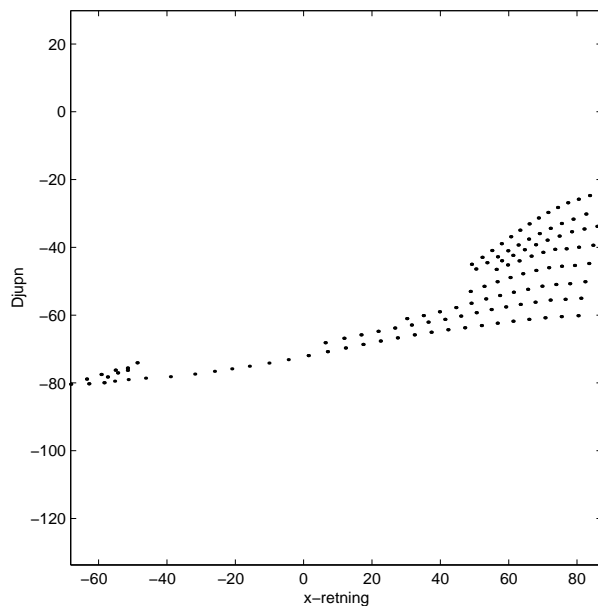
Figur 5.9: Snitt i x-z retning ved $y=0$, fartøy ved $x=0m$, initialposisjon I, $\gamma = 0$ (endring i lydtrykk som stimuli)



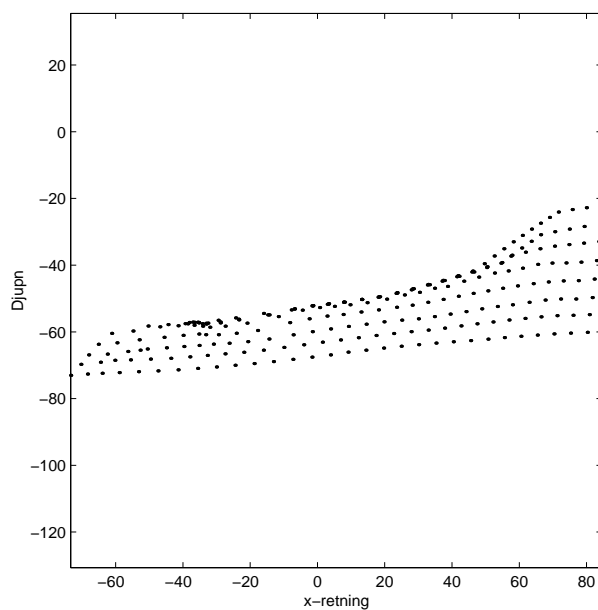
Figur 5.10: Snitt i y-z retning ved $x=0$, ved fartøypassering, initialposisjon I, $\gamma = 0$ (endring i lydtrykk som stimuli)

5.0.7 Ulik storleik på fisken

Størrelsen til fisken har innverknad på symjefarten og symjekapasiteten. Figur 5.11 syner resultat med fiskelengd $0.2m$, medan figur 5.12 syner resultatet med fiskelengd $0.7m$.



Figur 5.11: Snitt i x-z retning ved $y=0$, fartøy ved $x=0\text{m}$, initialposisjon I, flength=0,7m



Figur 5.12: Snitt i x-z retning ved $y=0$, fartøy ved $x=0\text{m}$, initialposisjon I, flength=0,2m

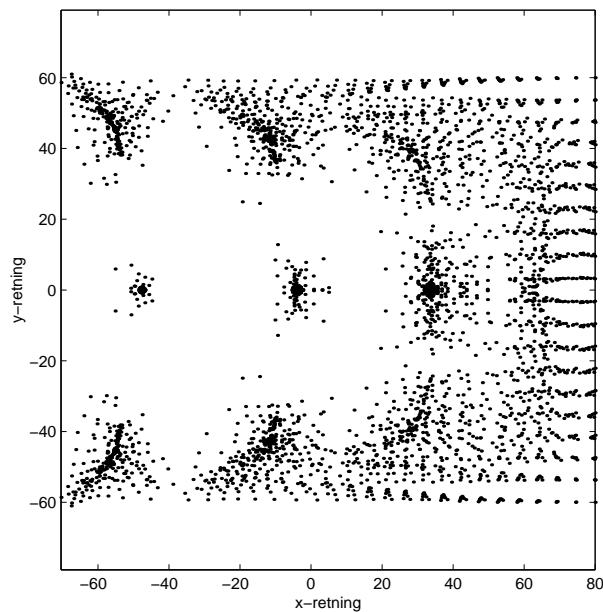
Frå figurane ser ein at stor fisk sym lenger enn liten fisk. Dette er ikkje overaskande. Dette resultatet syner storleiksvariasjonen skulda ulikt uthald og ulik symjefart. Storleiken

spelar truleg ei viktig rolle når det gjeld motivasjonen til reaksjon, jf. kapittel 2.7.

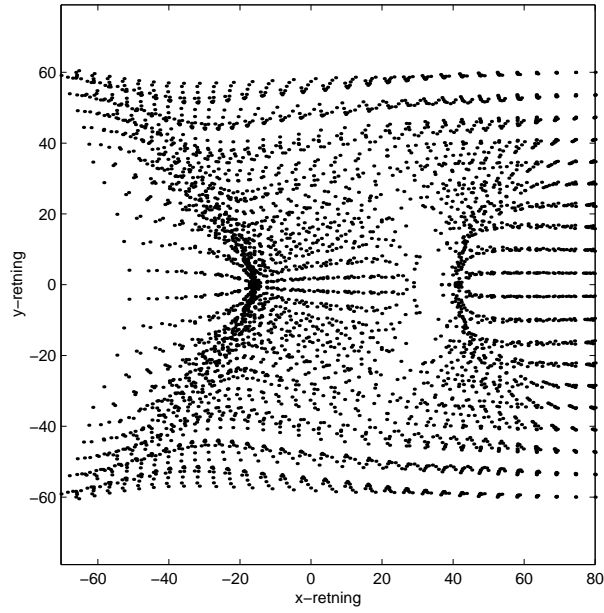
5.0.8 Stiming

Modellen inneheld ein stimåtferdsdel. Parameteren k_i avgjer kor avhengig fisken er av andre fisk, medan $|\vec{r}|$ avgjer i kva område fisken vert påverka av naboindivid. Figur 5.13 til figur 5.15 viser alle individa projisert ned (opp) i x-y-planet.

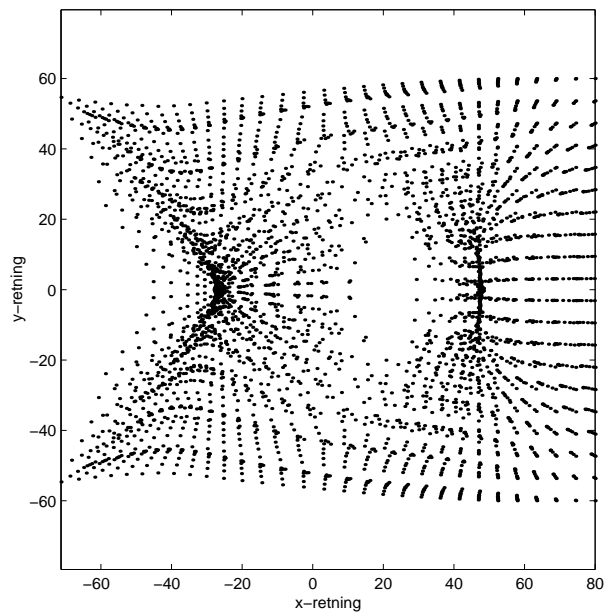
Det som er typisk er at di lågare ein set stimingsradiusen, $|\vec{r}|$, di fleire opphopingspunkt får ein, jf. figur 5.13 og figur 5.14. Eit opphopingspunkt er ei samling individ i rommet. Verdiane på $|\vec{r}|$ i desse døma er sett urealistisk høge, medan verdiane på k_i er urealistisk låge, i alle høve for torsk. Dette er gjort for å illustrera korleis stimfunksjonen fungerer. I sensitivitetstudiane er det nytta meir realistiske verdier, og studiet syner at stimingsdelen er relativt lite viktig for resultatet for høge verdier av k_i . Dette er rimeleg for torsk.



Figur 5.13: All fisk sett i x-y-planet, fartøy ved $x=0m$, initialposisjon I, $|\vec{r}_{max}| = 20m$ og $k_i = 0.4$



Figur 5.14: All fisk sett i x-y-planet, fartøy ved $x=0m$, initialposisjon I, $|\vec{r}_{max}| = 50m$ og $k_i = 0.4$



Figur 5.15: All fisk sett i x-y-planet, fartøy ved $x=0m$, initialposisjon I, $|\vec{r}_{max}| = 50m$ og $k_i = 0.1$

Kapittel 6

Konklusjon

Ved oppbygginga av modellen stod valet mellom ein tettleiksbasert modell og ein individbasert modell. Den individbaserte modellen er valt fordi fisk oppfører seg som individ. Modellen er meir fleksibel, og ein kan i ettertid byggja ut modellen med fleire eigenskaper på individnivå. Ein annan fordel ved å nytta ein individbasert modell er at den høver godt saman med individdata frå ekkolodd.

Uthald til kvar enkeltfisk er modellert. Uthaldsfunksjonane er tekne frå seismikkmodellen [Hol93] og tilpassa større fisk. Modellen nyttar tilnærma same form på fartsfunksjonen¹ som seismikkmodellen, og nyttar på same måte lydtrykk som utløysande stimuli. I tillegg tek modellen med funksjonar for stimåtferd, og endring i lydnivå som utløysande stimuli. Modelleringa av symjeretninga er basert på ulike former for antipredatoråtferd [Pit93]. Modellen tek i hovudsak føre seg torsk, men modellen er generell og kan nyttast på andre artar ved å endra parameterverdiane.

Kvar einskild fisk sin posisjon i tid er gitt ved hjelp av ei differensiallikning. Startposisjonen er gitt, og symjehastigheita til kvar einskild fisk er sett saman av den modellerte symjefarten og den modellerte symjeretninga. Sidan kvar fisk er avhengig av kor dei andre fiskane er, og kva dei gjer, vert det eit system av kopla differensiallikningar. Likningssystemet vert løyst ved å nytta Euler framover [Atk88].

Sensitivitetsstudiet viser at modellen er for ustabil til å estimera avviket i fisketettleiken under fartøyet. Små endringar i parameteren for fartøystøy og i parametrane for responstersklane fører til store utslag i modellen. Fartøystøy er ein svært sensitiv parameter i modellen, og ved å redusera støynivået får ein ein markert lågare avviksreaksjon. Dersom modellen er representativ for verkelegheita, indikerer dette at fartøystøy er ein svært viktig faktor ved fisk sin reaksjon på fartøy, og at berre små endringar i støynivået får store utslag på reaksjonen. Parametrar som styrer reaksjonen, og motivasjonen til reaksjon, er meir sensitive enn parametrar som styrer dei fysiologiske avgrensingane til fisken. I tillegg er verdiane på desse parametrane meir usikre enn verdiane på dei fysiologiske parametrane. Det er difor vanskeleg å modellera fisken sin reaksjon på fartøy utan

¹Fart er absoluttverdien til hastighet, $|\vec{v}|$.

å kjenna meir til motivasjonen fisken har for å reagera. Små endringar i motivasjonen for reaksjon fører til små endringar i parametrane, og små endringar i parametrane får store konsekvensar for resultatet. Det kan vera ei forklaring på at fisk i einskilde høve reagerer kraftig på fartøyet, medan ein andre gonger ikkje får reaksjon. *dB*-skalaen er grunnen til den høge sensitiviteten i modellen. Det er viktig å finna ut om det er rimeleg å nytta denne forma for representasjon av intensitet. Det vil vera avhengig av korleis fisken oppfattar intensitetsskalaen.

Det er utvikla to måtar å nytta ekkoloddata til å verifisera modellen. Den eine nyttar individdata frå ekkoloddet, og samanliknar den modellerte symjehastigheita med den reelle symjehastigheita frå forsøket. I den andre metoden vert modellen initialisert ved hjelp av ekkoloddata, og så vert resultatet samanlikna med data frå forsøket. Det er og føreslege ein metode for parameterestimering ved hjelp av inversmodellering. Eit problem med metoden er at den krev ei nokolunde uniform horisontalfordeling i forsøksområdet. Dette er ikkje alltid tilfelle, og det fører til store svingingar i samanlikningsmålet. Det er og mangel på nye ekkoloddata med individdeteksjon der ein har ein markert reaksjon på fartøy. Modellen er laga for torsk, men i datamengda frå ekkoloddet er det fleire artar. Dersom metoden skal nyttast på datasetta, lyt ein utvikla ein metode for å detektera kva art dei ulike ekkospora representerer. Metoden er likevel ei god byrjing, og ein treng meir data for å kunna utvikla metoden vidare.

Dersom ein byggjer modellar ut frå data og erfaring, får ein ofte modellar med mange usikre parametrar. Dette gjev modellen mange fridomsgrader som gjer at ein kan tilpassa modellen til forsøksdata, og tru at modellen gjev eit eit godt bilete av verkelegheita. Det treng ikkje vera tilfelle. Modellen byggjer likevel på kjent kunnskap, og modellen fungerer som eit rammeverk for dei alt for spredte observasjonane. Modellen kan nyttast som eit grunnlag når ein skal studera nye data, og etter kvart byggjast ut etter som ein får betre data.

For å finna feilen fisken sin reaksjon på fartøy fører til i bestandsestimata, lyt ein ha svært gode mål på reaksjonstersklane. For å få eit betre mål på responstersklane, kan ein modellera kva som er den optimale reaksjonsterskelen. Å utvikla ein slik metode er ikkje enkelt, og ein kan risikera at ein fjerner seg frå den opprinnelege problemstillinga. Dersom ein greier å modellera motivasjonen, kan ein kanskje finna tidsrom i døgeret, eller i året, der fisk er lite motivert for reaksjon. Då er motivasjonen for reaksjon avhengig av tida. Dersom ein kunne utføra mengdemålingstokta i desse tidsromma, saman med eit meir stillegåande fartøy, vil ein truleg kunna redusera, og kanskje eliminera, feilen.

Ein annan og meir tradisjonell framgongsmåte er å studera forsøksdata, og sjå om ein kan finna korrelasjonar mellom ulike aldersgrupper og reaksjonen. Gjennomsnittsverdiar på vertikal og horisontal unnvikning for ulike aldersgrupper kan finnast, og dei kan inngå som ein korreksjonsfaktor i mengdemålet. Problemet med gjennomsnittsverdiar er at reaksjonen truleg er avhengig av fleire faktorar enn fartøyet. Korreksjonsfaktorane vil truleg vera avhengig av tid på døgeret, tid på året, tilstanden til fisken osv.

Det er framleis eit stykke fram til at modellen kan gje svar på korleis fisk reagerer på fartøystøy, men modellen fungerer godt for å avgjera kva faktorar som er viktige ved

fartøyunnvikning, og dersom ein utvidar modellen, vil ein vera i stand til å vurdere kor mykje dei nye faktorane spelar inn i høve til dei opprinnelege. Modellen byggjer og ei ramme kring spredte observasjonar og fungerer som eit bindeledd mellom teori og observasjon.

Tillegg A

Nomenklatur

A.1 Nomenklatur

Generelle storleikar

ω	s^{-1}	Frekvens
$\Delta\omega$	s^{-1}	Frekvensbreidd
B	$kgm^{-1}s^{-2}$	Bulkmodulusen for vatn
Ψ	m	Partikkelforflyting i lydbølgjer
I	w/m^2	Intensitet i lydbølgjer
P	Pa	Trykk
ρ	kg/m_3	Tettleik
c	m/s	Lydfarten i vatn
A	m	Amplituden til lydbølgjer
k	m^{-1}	Bølgjetal
δ	m^{-1}	Faseskilnad i lydbølgjer
λ	m	Bølgjelengd
LN	$dB//1\mu Pa$	Lydintensitet
KN	$dB//1\mu Pa$	Kjeldennivået til ei lydkjelde (fartøyet)
I_r	$1pW/m_2$	Referanseintensitet for dB -skala
P_r	$1\mu Pa$	Referansetrykk for dB -skala
s	$W/m^2 Hz$	Intensitetsfordeling
SPN	$dB//1\mu Pa/\sqrt{Hz}$	Spektralnivået (Intensitetsfordelinga i dB)

Koordinatsystem

A	Koordinatbasis i høve til fartøyhastigheit
B	Koordinatbasis i høve til himmelretning
B'	Koordinatbasis i høve til bøyeretning
$\vec{e}_x^{A,B,B'}$ $\vec{e}_y^{A,B,B'}$ $\vec{e}_z^{A,B,B'}$	Basisvektorar

Variablar

\vec{X}_i	Tilstandsvariable til fisk i
\vec{x}_i	Posisjon til fisk i
e_i	Energimengd til fisk i
\vec{v}_i	Symjehastighet til fisk i
$ \vec{v}_i $	Symjefart til fisk i
$\vec{e}_{v,i}$	Symjeretning til fisk i
$\vec{e}_{m,i}$	Symjeretning for minimering av stimuli
$\vec{e}_{t,i}$	Symjeretning for vertikal flukt
$\vec{e}_{s,i}$	Symjeretning for stimddanning
\vec{s}	Posisjon til fartøyet
\vec{s}_0	Startposisjon til fartøyet
\vec{r}_i	Avstand mellom fartøy og fisk

Parametrar

$stim_k$	Reaksjonsstimuli k
$\vec{v}_{i,k}$	Symjefart utløyst av stimuli k
$RT_{k,i}$	Responsterskelen til stimuli k
$FRT_{k,i}$	Fluktresponsterskelen til stimuli k
q_k	Vektfaktor for stimuli k (Vert nytta for symjefart og symjeretning)
l_i	Lengda til fisk i
k_i	Sjølvstendefaktoren for fisk i
γ_i	Vektfaktor for utløysande stimuli for fisk i
$LN_{reaction,i}$	Responsterskel til LN
$LN_{burst,i}$	Fluktresponsterskel til LN
$dLN/dt_{reaction,i}$	Responsterskel til dLN/dt
$dLN/dt_{burst,i}$	Fluktresponsterskel til dLN/dt
$v_{0,i}$	Hastighet ved RT for fisk i
$v_{ms,i}$	Maksimal vedvarande (sustained) hastighet for fisk i
$v_{mp,i}$	Maksimal prolongert hastighet for fisk i
$v_{mb,i}$	Maksimal flukthastighet (burst) for fisk i
a_i, b_i, c_i, d_i	Uthaldsparameter for fisk i
$E_{p,i}$	Uthald ved prolongert symjefart for fisk i
$E_{b,i}$	Uthald ved sprintsymjing for fisk i

Sensitivitetsstudiet

S_p^1	Sensitivitetsindeks for lineær respons på parameter p
$S_{p_n}^2$	Sensitivitetsindeks for parameterendringsnivå n for parameter p
$\Delta X_{p_n}/X^{1,2}$	Avvik i modellresultat relativ til symjelengd eller total forflytting
S_p	Gjennomsnittleg sensitivitetindeks.

Inversmodellering

$\vec{x}_{i,j}$	Posisjon til ping j i spor i
\vec{x}'_i	Gjennomsnittleg posisjon til spor (fisk)
td	Svingardjupn
par_p	Parameter p
C	Konstant
K	
d	Djupn
Φ	Ekkonstrålebreidd
Δd	Høgde i djupneinndeling
V_k	Volum av ekkonstråle ved djupn k
R_k	Radius i ekkonstrålen ved djup k
α	Vinkel tverrskip for innkomande ekkosignal
β	Vinkel langskep for innkomande ekkosignal
L	Lengdegrad
BR	Breiddegrad
$\Delta L_{[^\circ],[m]}$	Endring i lengdegrad/posisjon
$\Delta BR_{[^\circ],[m]}$	Endring i breiddegrad/posisjon
h	Kompasskurs i bøye
i i høve til bøye (basis B')	
V_{res}	Resultierende symjefart i spor i
V_{snitt}	Gjennomsnittleg symjefart i spor i
q_i	Retningsfaktor
\bar{t}_i	Gjennomsnittleg tid for spor i
$\vec{e}_{d,i}$	Resultierende symjeretning for spor i
$\Delta\Theta_h$	Skilnad mellom $\vec{e}_{d,i}$ og $\vec{e}_{m,i}$ i horisontalplanet
$\Delta\Theta_v$	Skilnad mellom $\vec{e}_{d,i}$ og $\vec{e}_{m,i}$ i vertikalplanet
d_i	Djupn for spor i
r_i	Range for spor i
TS	Målstyrke (target strength)
$dist_{i,j}$	Fiskefordeling i ekkonstrålen, delt inn i storleik og djupn
$\rho_{i,j}$	Fisketettleik delt inn i storleik og djupn
w_i	Vektfaktor
no_of_fishes	Talet på individ i modelleringa
\bar{d}_{bouy}	Middeldjupn frå bøyedata
$\bar{d}_{bouy,glatt}$	Middeldjupn frå bøyedata, glatta
\bar{d}_{modell}	Middeldjupn frå modell
Λ	Minimeringsfunksjon under inversmodeleringa

A.2 Variabelnamn i Matlab- og Fortran-modell

Variabel	Fortran	Matlab
\vec{x}_i	x0(i,1)	fish(i).position(1,1)
	x0(i,2)	fish(i).position(1,2)
	x0(i,3)	fish(i).position(1,3)
e	x0(i,4)	fish(i).energy(1)
$LN_{burst,i}$	x0(i,5)	fish(i).P_burst
$LN_{reak,i}$	x0(i,6)	fish(i).P_reaction
$LN_{retn,i}$	x0(i,7)	fish(i).P_direction
$v_{mb,i}$	x0(i,8)	fish(i).v_maxburst
$v_{mp,i}$	x0(i,9)	fish(i).v_maxprolonged
$v_{ms,i}$	x0(i,10)	fish(i).v_maxsustained
$ \vec{r}_{max} _i$	x0(i,11)	fish(i).schooling_radius
k_i	x0(i,12)	fish(i).independence
a_i	x0(i,13)	fish(i).endurance(1)
b_i	x0(i,14)	fish(i).endurance(2)
c_i	x0(i,15)	fish(i).endurance(3)
d_i	x0(i,16)	fish(i).endurance(4)
l_i	x0(i,17)	fish(i).flength
$v_{0,i}$	x0(i,18)	fish(i).v0
$dLN/dt_{reak,i}$	x0(i,19)	fish(i).dp_reaction
$dLN/dt_{burst,i}$	x0(i,20)	fish(i).dp_burst
γ_i	x0(i,21)	fish(i).reakmonster
	p(1)	integration.tfinal
	p(2)	integration.tinc
	p(3)	integration.step
	p(4)	ship.inship
	p(5)	ship.endship
$v_{fartøy}$	p(6)	ship.velocity
KN	p(7)	ship.refpressure
	p(8)	ocean.depth

A.3 Parameterverdier

Generelle parametrar

$v_{fartøy}$	11knop
ship.inship	-300m
ship.endship	200m
KN	168, 8dB//1 μ Pa
integration.tinc	1s
ocean.depth	-150m
ocean.temp	6

Biologiske parametrar, fysiologiske

$e(t_0)$ (Initiell energi)	1
v_0	0,5
$v_{mb,i}$	Funksjon av lengda, $f(l_i)$, jf. kap 2.5
$v_{mp,i}$	Funksjon av lengda, $f(l_i)$, jf. kap 2.5
$v_{ms,i}$	Funksjon av lengda, $f(l_i)$, jf. kap 2.5
a_i	Funksjon av lengda, $f(l_i)$, jf. kap 2.5
b_i	Funksjon av lengda, $f(l_i)$, jf. kap 2.5
c_i	Funksjon av lengda, $f(l_i)$, jf. kap 2.5
d_i	Funksjon av lengda, $f(l_i)$, jf. kap 2.5

Biologiske parametrar, åtferd

LN_{burst}	136 dB
$LN_{reaction}$	128,7 dB
$dLN/dt_{reaction}$	0.376 dB/s
dLN/dt_{burst}	0.599 dB/s
γ	0.5
$ \vec{r}_{max} $	15m
k_i	0.8

Tillegg B

Likningsoversikt

Decibelskalaen, likning (2.5)

$$LN = 10 \log_{10} \frac{I}{I_r} = 20 \log_{10} \frac{\bar{p}}{p_r}, \text{ der } p_r = 1 \mu Pa$$

Sonarlikninga, likning (2.19)

$$LN = KN - 20 \log_{10} r - \alpha r + 10 \log_{10}[b(\theta)]$$

Lydnivået kring fartøyet, likning (2.23)

$$LN(\vec{x}, t) = KN - 20 \log |\vec{r}(\vec{x}, t)| = KN - 10 \log |\vec{r}(\vec{x}, t)|^2$$

Endring i lydnivået, likning (2.26)

$$\frac{\partial LN}{\partial t} = \frac{-20}{\ln 10} \frac{1}{|\vec{r}|^2} \vec{r} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial t} = \frac{20}{\ln 10} \frac{r_1(t)}{|\vec{r}|^2} \vec{r} \cdot \vec{v}_{fartøy}$$

Differensiallikningssystemet, likning (3.6)

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \vec{X}_1 \\ \vec{X}_2 \\ \vdots \\ \vec{X}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{v}_1(t, \vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_{i-1}, \vec{X}_i, \vec{x}_{i+1}, \dots, \vec{x}_n) \\ \frac{de_2}{dt}(|\vec{v}_i|) \\ \vec{v}_2(t, \vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_{i-1}, \vec{X}_i, \vec{x}_{i+1}, \dots, \vec{x}_n) \\ \frac{de_2}{dt}(|\vec{v}_i|) \\ \vdots \\ \vec{v}_n(t, \vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_{i-1}, \vec{X}_i, \vec{x}_{i+1}, \dots, \vec{x}_n) \\ \frac{de_n}{dt}(|\vec{v}_i|) \end{bmatrix}$$

Hastighetsfeltet, likning (3.8)

$$\vec{v}_i = \vec{e}_{v,i}(\vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_n, t) \cdot |\vec{v}_i| \left(\sum stim_k \right)$$

Symjefarten, likning (3.12)

$$\vec{e}_{v,i} = \sum q_k \vec{e}_{k,i}$$

Uthaldsmodell, likning (3.20)

$$de/dt = \begin{cases} 0 & , \text{når } v < v_{ms} \\ -\frac{1}{E_p(l,v)} & , \text{når } v_{ms} < v \leq v_{mp} \\ -\frac{1}{E_b(v)} & , \text{når } v_{mp} < v \leq v_{mb} \end{cases}$$

Tillegg C

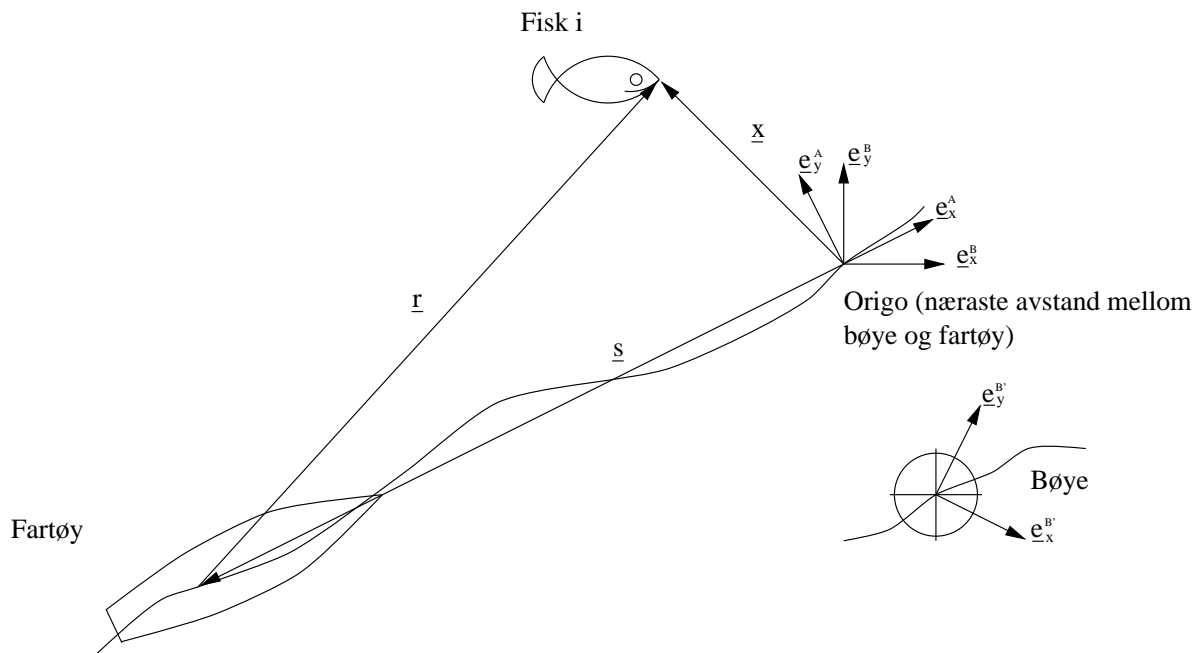
koordinatsystem

Det er nytta tre ulike koordinatsystem i modellen. Koordinatsystemet nytta i modelleringa, basis A , og to koordinatsystem nytta i handsaminga av forsøksdata, jf. vedlegg D. Eit som ser på sporet (fisken) frå havoverflata, basis B , og eit som ser på sporet (fisken) frå bøyen, basis B' .

$$A = \{ \vec{e}_x^A, \vec{e}_y^A, \vec{e}_z \} \quad (\text{C.1})$$

$$B = \{ \vec{e}_x^B, \vec{e}_y^B, \vec{e}_z \} \quad (\text{C.2})$$

$$B' = \{ \vec{e}_x^{B'}, \vec{e}_y^{B'}, \vec{e}_z \} \quad (\text{C.3})$$



Figur C.1: Koordinatsystema nytta i modellen. \vec{e}_z er felles i alle koordinatsystema. $z = 0$ er ved overflata, og positiv retning er oppover. Merk at \vec{x} og \vec{x}' og har ein \vec{e}_z -komponent. Basis A er nytta i modellen, medan basis B og B' er nytta i handsaminga av forsøksdata. $\vec{e}_{x,y}^{A,B,B'}$ er einingsvektorane i dei ulike koordinatsystema.

Tillegg D

Forsøksdata

Ei bøye som inneheld GPS, ekkolodd og kompass vert sett ut på forsøksfeltet. Bøyen registrerer og lagrar data frå ekkoloddet, kompasset og GPS'en. Fartøyet utfører ulike passeringar, med og utan trål, og reaksjonen vert detektert av ekkoloddet i bøyen.

D.1 Ekkoloddata

Data frå ekkoloddet, eit Simrad EK500, vert nytta både til initialisering og verifisering av modellen. Båten passerer med ekkoloddet avslått, eller måler på ein annan frekvens, for å hindra at det interferer med ekkoloddet i bøyen.

D.1.1 Simrad EK500

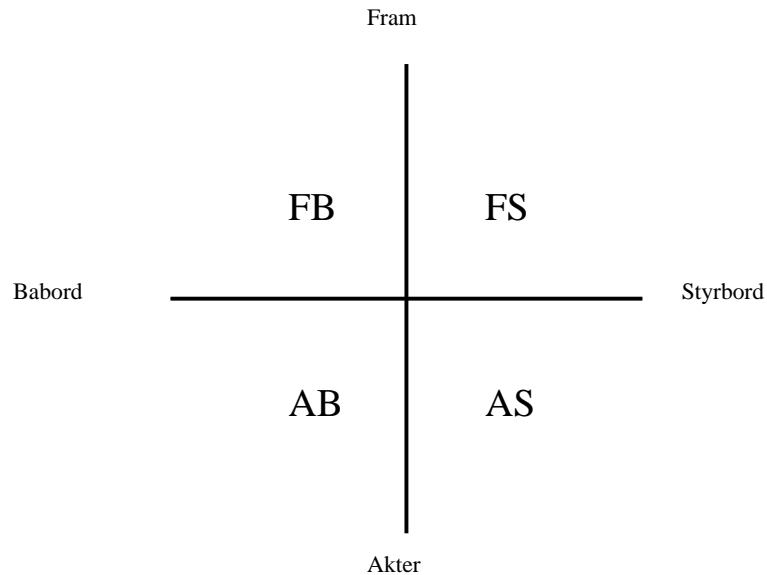
Simrad EK500 er eit splitstråleekkolodd. Det gjer oss i stand til å detektera og posisjonera ekkoet frå enkeltfisk. Formatet på datafilene frå ekkoloddet er gitt i vedlegg E.2.1.

Eit splitstråleekkolodd fungerer ved at ein deler opp svingaren i fire kvadrat slik figur D.1 viser. Ved sending vert signalet sendt ut frå alle kvadrantane samstundes. Ved mottaking mottek kvar kvadrant "sitt eige" signal. Summen av signala i dei fire kvadrantane vert nytta til å finna effekten i det mottekne signalet, og tidsforseinkinga mellom dei ulike delsignala avgjer retninga til målet.

Fordi avstanden til målet er stor, kan ein sjå på det returnerte signalet som ei plan bølge. Dersom ein vil finna vinkelen langskips, måler ein tidsskilnaden, Δt , mellom signalet frå $(AB + AS)$ og $(FB + FS)$. Vinkelen langskips er gitt i likning (D.1).

$$\sin\alpha = c\Delta t/d \tag{D.1}$$

der c er lydfarten og d er den effektive separasjonsavstanden mellom kvadratane, jf. fig D.2. Sidan α er liten lyt ein finna $c\Delta t$ nøyaktig. I Simrad EK500 vert denne skilnaden



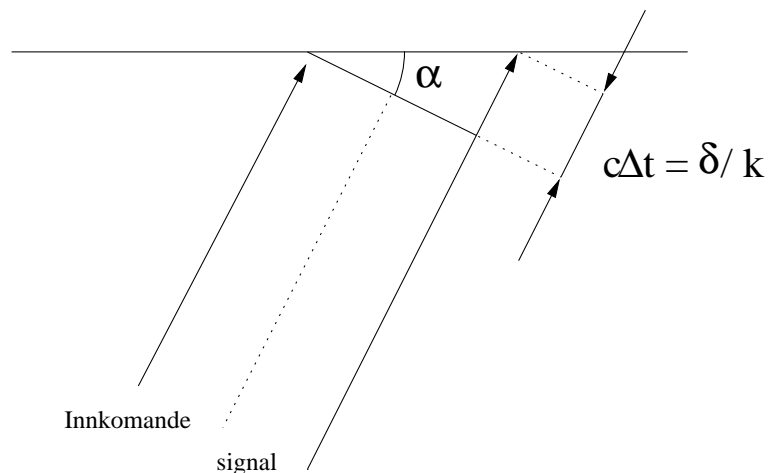
Figur D.1: Prinsippskisse av svingaren i eit splitstråleekkolodd.

målt i faseskilnaden δ mellom $(AB + AS)$ og $(FB + FS)$, og funnen ved likning (D.2).

$$c\Delta t = \frac{\lambda\delta}{2\pi} \quad (\text{D.2})$$

$$\sin\alpha = \delta/k = \frac{\delta}{k} \quad (\text{D.3})$$

der k er bølgetalet. Vinkelen tverrskips vert funnen på tilsvarande måte, men ved å nytta $(FB + AB)$ og $(FS + AS)$ i staden.



Figur D.2: Prinsippskisse for splitstrålemetoden. Sidan avstanden mellom svingaren og målet (fisken) er stor vil ein kunne sjå på den innkomande bølga som ei plan bølge.

Når Simrad EK500 er stilt inn til å detektera enkeltfisk, vert signal som ikkje kjem frå enkeltindivid fjerna frå datamengda. For å skilja ut signala vert det sett ein del krav til kva som skal godkjennast som enkeltfisk og ikkje.

- Ekkostyrke
Ei minstegrense er sett for målstyrken for å fjerna støy og svake signal.
- Ekkovarigheit
Ei minstegrense er sett på lengda av signalet i tid.
- Strålemønster
For å hindra signal med låg signal/støy faktor, kan ein setja ei maksimumsgrense for korreksjon av målstyrken, i dB , relativt til den akustiske aksan.
- Fasestabilitet
Splitstråleprinsippet fungerer kun med signal frå punktmål. Dersom ein mottek signal frå fleire individ med ulik horisontalposisjon samstundes (same “range”) vil fasevinkelen δ verta tilfeldig. For å hindra at slike signal vert registrert, vert standardavviket til fasevinkelen registrert. Dersom dette er for stort, vert signalet forkasta.

Alle desse krava kan ein til ei viss grad setja sjølv. I tillegg vert det definert to krav til:

- Ekkoklaring
For å unngå mogeleg interferens mellom to signal som ligg nær einannan i tid, krev ein at klaringa lyt vera minst $40cm$ (målt ved $-6dB$).
- Fleire maksimalpunkt
Dersom det er registrert meir enn eit toppunkt i ein ekkopuls krev ein at skilnaden mellom det lokale toppunktet og det lokale botnpunktet er mindre enn $0,5dB$. Dette hindrar ekkosignal med fleire mål (fisk).

For informasjon om splitstråleekkolodd og bruken av EK500 sjå [Ona99] og [Zha96].

Ekkoloddet gjev informasjon om “range”. Samanhengen mellom “range” og djupn er gitt i likning (D.4).

$$d_i = r_i \cos(\alpha) \cos(\beta) \tag{D.4}$$

der r_i er “range”, α er vinkel tverrskip, β er vinkel langskips.

D.1.2 Target tracking

EK500 kan detektera og isolera ekkoet frå enkle mål. Data frå EK-500 vert vidareprosessert ved hjelp av “target tracking” programvare [Egi92] [RBO90]. Etter kvart tidssteg vert det sjekka om det er eit nytt signal innafor ein viss avstand frå forrige signal. Dersom det er tilfelle, vert dette sett på som ekko frå same individ. På denne måten er det

mogeleg å følgja eit individ over fleire tidsteg (ping) og samstundes finna symjeretning og symjefart. Kvart samanhengande ekkomål som vert følgd, vert kalla eit “track”, etter dette kalla “spor”. Formatet på datafilene er gitt i vedlegg E.2.2. Filene inneheld informasjon om posisjon, tidspunkt og ekkostyrke for alle tidstega i kvart spor.

Sporingsalgoritmen nyttar tre parametrar til å avgjera om signala frå ekkoloddet tilhøyrrer same mål eller ikkje. Parameterverdiane som er nytta under datahandsaminga er gitt i tabell (D.1.2).

- Number of peaks to track a fish
Parameteren definerer kor mange signal som krevst for å definera eit spor. Strålebreidda, pingfrekvensen og symjehastigheita er faktorar som spelar inn ved valet av parameteren.
- Difference in [cm] between two peaks to detect a fish.
Parameteren definerer høgste lovlege vertikalvandring mellom to registreringar i sporet. Parameteren avgjer og området programmet skal leita etter nye registreringar.
- Number of pings missing in one track
Parameteren definerer kor mange registreringar som kan mangla i eit spor. Manglande registreringar kan skuldast at ekkosignalet ikkje passerer filtreringa for enkeltfisk i ekkoloddet, eller at fisken sym ut av ekkostrålen. Parameteren er nyttig ved låge fisketettleikar for å oppnå fleire deteksjonar.

Tabell D.1: Instillingar nytta under datahandsaminga

no of peak to track fish	5
Difference in cm between to detect a fish	40
ping missing in one track	2

D.2 Kompassdata

Kompasset i bøyen vert avlest og lagra til fil. Datafla inneheld tidspunkt og retning til ei kvar tid. Kompassdata vert nytta til å orientera bøyedata i høve til båtposisjon. Saman med GPS-data vert det mogeleg å finna fisken sin posisjon og symjeretning i høve til fartøyet. Dataformatet frå kompasset er gitt i vedlegg E.2.4.

D.3 GPS-data

Satelittnavigator vert nytta til å registrera posisjonen til fartøyet og bøyen til ei kvar tid. Satelittnavigatoren kan og nyttast til å finna hastigheit til bøye og fartøy. Dataformatet

på loggfilene er gitt i vedlegg E.2.3. Posisjonen som vert registrert er gitt i lengdegrader og breiddegrader. For å kunna nytta denne informasjonen saman med modellen, må ein rekna om frå lengdegrader og breiddegrader til eit koordinatsystem som er likt det som vert nytta i modellen.

D.3.1 Lengdegrader og breiddegrader

Lengdegrader vert målt i austleg eller vestleg retning frå nullmeridianen (Greenwich). Breiddegrader vert målt i grader frå ekvator. Breidda til polane er 90° . Både lengd og breidd er delt opp i grader ($^\circ$), minutt ($'$) og sekund ($''$). Det er vanleg å sløyfa sekunda, og i staden nytta tidels minutt. Modellen nyttar $[m]$ som eining i posisjonen. Ei endring i breidd på eit minutt svarer til ei nautisk mil. Ei nautisk mil er $1852m$. Ei endring i breidd på ei grad vert lik $1852 * 60m$. Endring i lengd $\Delta L_{[^\circ]}$, i grader lyt korrigerast for breiddegrad, BR , og er gitt ved likning (D.5), frå Ditlefsen [Dit90].

$$\Delta L_{[m]} = \Delta L_{[^\circ]} \cos(BR) \cdot 1852 \cdot 60[m] \quad (D.5)$$

Dersom endringa i posisjon er liten, kan ein sjå på $\cos(BR)$ som ein konstant. Ved å nytta likning (D.5) vert posisjonane, gitt i lengdegrader og breiddegrader, rekna om til meter med origo der båten passerer bøyen.

D.3.2 Avstand bøye/fartøy/spor

Avstanden mellom bøyen og fartøyet er gitt ved likning (D.6).

$$\vec{s} = \begin{bmatrix} 1852 \cdot 60 \cdot \cos(BR_{fartøy}(t))(L_{bøye}(t) - L_{fartøy}(t)) \\ 1852 \cdot 60 \cdot (BR_{bøye}(t) - BR_{fartøy}(t)) \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} gpspos \cdot \sin(h_{fartøy}) \\ gpspos \cdot \cos(h_{fartøy}) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (D.6)$$

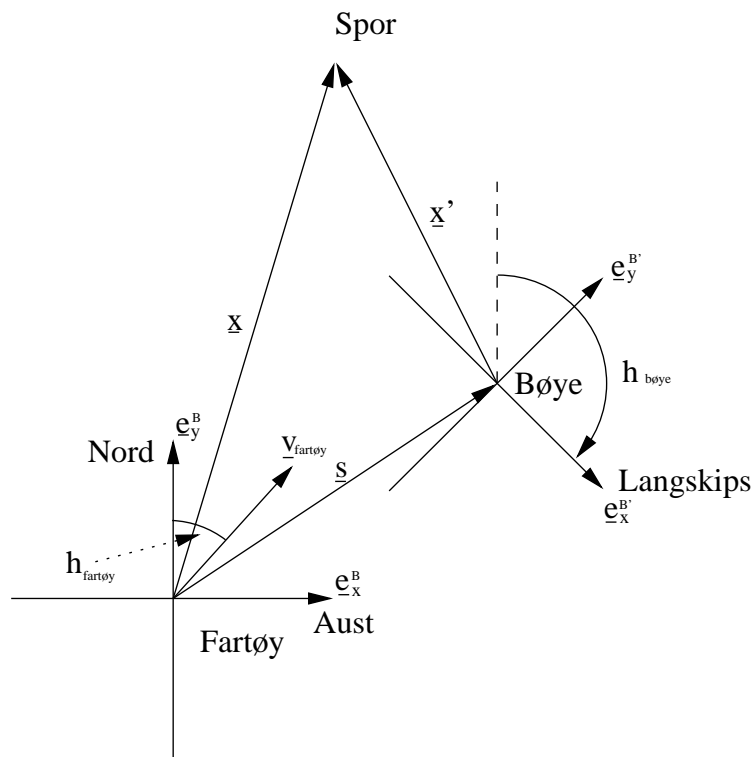
der \vec{s} er avstanden mellom bøyen og propellposisjonen til fartøyet, BR og L er breiddegradar og lengdegradar til fartøy og bøye, $h_{fartøy}$ er kompasskursen til fartøyet, $h_{bøye}$ er kompasskursen til bøyen og $gpspos$ er avstanden mellom propell og GPS. Det andre leddet er for å kompensera for avstand mellom GPS-antenne og propell.

Samanhengen mellom koordinatsystema B og B' er gitt ved likning (D.7).

$$\vec{x} = C \cdot \vec{x}' + \vec{s}(t) \quad (D.7)$$

\vec{x} og \vec{x}' er posisjonsvektorar med basis i B og B' , jf. figur D.3, og C er gitt i likning (D.8).

$$C = \begin{bmatrix} \sin(h) & -\cos(h) & 0 \\ \cos(h) & \sin(h) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (D.8)$$



Figur D.3: \vec{x} er posisjon i koordinatsystema der fartøyet er i origo (B), og \vec{x}' er posisjon i koordinatsystemet der bøyen er i origo (B'), og fartøy og h er kompassavlesing frå bøyen.

Tillegg E

Datafiler

Dette er ei oversikt over dei ulike datafilene og dataformata nytta i modellen. Teksten er på engelsk.

E.1 Model

Files used by Matlab & Fortran programs.

E.1.1 outputx

Results from model. The file contain information about position, \vec{x} , and energylevel, e , for all fishes every timestep. The next timestep is after 'no_of_fishes' in column. The timestep is given in the 'parameters'-file.

Format:

x-coordinat	y-coordinate	z-coordinate	Energylevel
-70.0	-62.631579	-10.0	1.0
-70.0	-62.631579	-22.5	1.0
-70.0	-62.631579	-35.0	1.0
-70.0	-62.631579	-47.5	1.0
-70.0	-62.631579	-60.0	1.0
-70.0	-55.263158	-10.0	1.0
-70.0	-55.263158	-22.5	1.0

E.1.2 parameters

'parameters' contains general parameters.

parameters = [*integration.tfinal* *integration.tinc* *integration.step*

ship.inship *ship.endship* *ship.velocity* *ship.refpressure* *ocean.depth*] (E.1)

E.1.3 initialvalues

'initialvalues' contains initialposition, energylevel and biological parameters representing each fish. Row i represents fish i .

$$\begin{aligned}
 \text{initialvalues} = & \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vec{x}_{x,i} & \vec{x}_{y,i} & \vec{x}_{z,i} & e_i & P_{burst,i} & P_{reak,i} & P_{retn,i} & v_{mb,i} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \\
 & \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ v_{mp,i} & v_{ms,i} & |\vec{r}_{max}|_i & k_i & a_i & b_i & c_i & d_i & l_i & v_{0,i} & dP_{reak,i} & dP_{burst,i} & \gamma_i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (\text{E.2})
 \end{aligned}$$

E.1.4 pos

'Pos' gives the x -, and y -coordinates to the ship and bouy. The coordinates are found by using 'init_data.m' on GPS-data. Every row is at the time given by 'time'. 'time' is seconds after midnight.

$$\text{pos} = \begin{bmatrix} \text{time} & x_{ship} & y_{ship} & x_{bouy} & y_{bouy} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (\text{E.3})$$

E.1.5 middepth_model

Mean depth, \bar{d}_{modell} , calculated from modelresults.

$$\text{middepth_model} = \begin{bmatrix} \text{time} & \bar{d}_{model} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (\text{E.4})$$

E.1.6 middepth_bouy

Mean depth calculated from echodata.

$$middepth_bouy = \begin{bmatrix} time & \bar{d}_{bouy} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (\text{E.5})$$

E.2 Data frå forsøk

The section 'formatted data' show the format of the data used by the dataimport functions.

E.2.1 Ekkoloddata

Data from EK500 echosounder.

```
E1,12171050, 7,
26.83,-32.0,-36.7,-3.9,-3.9,
40.60,-47.4,-56.5, 5.3,-6.0,
43.15,-34.6,-36.9,-1.4, 3.7,
47.53,-38.5,-48.1,-0.3, 7.9,
97.51,-24.6,-34.4,-5.4, 6.3,
22.64,-31.4,-31.9,-0.6,-1.7,
101.90,-28.5,-34.7,-6.2,-1.4,
E1,12171150, 8,
22.64,-31.0,-31.9,-0.7,-2.3,
26.93,-32.0,-37.1,-4.3,-4.1,
40.49,-48.4,-58.8, 5.4,-6.6,
43.15,-28.5,-30.9,-1.8, 3.5,
44.98,-27.7,-36.0, 6.8, 3.3,
47.43,-39.0,-46.0,-0.3, 6.8,
97.61,-24.2,-33.8,-5.7, 5.9,
101.90,-29.9,-37.4,-7.0, 0.6,
```

The second term in the header is the time when the ping was received, 12171050 means 12 : 17 : 10,5. The third header term is no. of peaks in this ping, i.e 7 peaks. The peakinformation is: range[m], TS, Corr. strength, long ship angle and athwart ship angle.

Formatted data

Filename: 'echodata.formatted'

Example:

```

0 0 0 12171050 7
26.83 -32.0 -36.7 -3.9 -3.9
40.60 -47.4 -56.5 5.3 -6.0
43.15 -34.6 -36.9 -1.4 3.7
47.53 -38.5 -48.1 -0.3 7.9
97.51 -24.6 -34.4 -5.4 6.3
22.64 -31.4 -31.9 -0.6 -1.7
101.90 -28.5 -34.7 -6.2 -1.4
0 0 0 12171150 8
22.64 -31.0 -31.9 -0.7 -2.3
26.93 -32.0 -37.1 -4.3 -4.1
40.49 -48.4 -58.8 5.4 -6.6
43.15 -28.5 -30.9 -1.8 3.5
44.98 -27.7 -36.0 6.8 3.3
47.43 -39.0 -46.0 -0.3 6.8
97.61 -24.2 -33.8 -5.7 5.9
101.90 -29.9 -37.4 -7.0 0.6

```

E.2.2 track.xxx

Data from 'Target tracking'. Each section contains information of one track. One line is the information after one ping.

```

Track & Peak 1 6
1 26.83 -32.00 -3.90 -3.90 44230.50
2 26.93 -32.00 -4.30 -4.10 44231.50
3 26.93 -35.70 -4.50 -4.10 44232.50
4 26.93 -35.50 -4.40 -4.20 44233.50
5 26.93 -34.70 -4.30 -4.40 44234.50
6 26.93 -35.10 -3.90 -4.30 44235.50
7 27.03 -37.80 -3.80 -4.40 44236.50
8 27.03 -36.00 -3.50 -4.70 44237.50
9 27.03 -35.70 -3.50 -4.80 44238.51
10 27.03 -34.50 -3.30 -4.80 44239.51
Track & Peak 2 5
1 47.53 -38.50 -0.30 7.90 44230.50
2 47.43 -39.00 -0.30 6.80 44231.50
3 47.33 -39.30 0.50 6.50 44232.50
4 47.23 -37.50 -0.20 6.00 44233.50
5 47.23 -38.00 0.60 5.30 44234.50
Pingnr Range Strength Longship Athwartship Time

```

Formatted data

Filename: track.formatted

Example:

```
0 0 0 0 1 6
1 26.83 -32.00 -3.90 -3.90 44230.50
2 26.93 -32.00 -4.30 -4.10 44231.50
3 26.93 -35.70 -4.50 -4.10 44232.50
4 26.93 -35.50 -4.40 -4.20 44233.50
5 26.93 -34.70 -4.30 -4.40 44234.50
6 26.93 -35.10 -3.90 -4.30 44235.50
7 27.03 -37.80 -3.80 -4.40 44236.50
8 27.03 -36.00 -3.50 -4.70 44237.50
9 27.03 -35.70 -3.50 -4.80 44238.51
10 27.03 -34.50 -3.30 -4.80 44239.51
0 0 0 0 2 5
1 47.53 -38.50 -0.30 7.90 44230.50
2 47.43 -39.00 -0.30 6.80 44231.50
3 47.33 -39.30 0.50 6.50 44232.50
4 47.23 -37.50 -0.20 6.00 44233.50
5 47.23 -38.00 0.60 5.30 44234.50
```

E.2.3 GPS-data

GPS-data from Johan Hjort

```
$GPGGA,074441,7042.740,N,03039.112,E,2,6,001.46,00030,M,00000,M,04,0830
$GPGLL,7042.74,N,03039.11,E,074441,A
$GPVTG,306,T,295,M,07.5,N,13.9,K
$GPZDA,074442,09,08,1999,-001,-0060
$GPZTA,074442,,001
$GPZTG,074442,,001
$GPGGA,074447,7042.748,N,03039.082,E,2,6,001.46,00029,M,00000,M,03,0830
$GPGLL,7042.75,N,03039.08,E,074447,A
$GPVTG,307,T,297,M,07.6,N,14.1,K
$GPZDA,074447,09,08,1999,-001,-0060
$GPZTA,074447,,001
$GPZTG,074447,,001
```

Position information is in line \$GPGGA. GP is short for Global Positioning. GGA is 'global positioning system fix data'.

GGA - Global Positioning System Fix Data

```
GGA,074441,7042.740,N,03039.112,E,2,6,001.46,00030,M,00000,M,04,0830
```

```
074441      Fix taken at 07:44:41 UTC
7042.740,N  Latitude 48 deg 07.038' N
03039.112,E Longitude 30 deg 39.112' E
2          Fix quality: 0 = invalid, 1 = GPS fix,
```

GPS-data from Bouy

The first part is equal to \$GPGGA.

```
$GPRMC,074244,A,7042.6041,N,03039.4286,E,000.0,057.7,090899,011.8,E*78
$GPRMC,074250,A,7042.6037,N,03039.4285,E,000.0,057.7,090899,011.8,E*7F
$GPRMC,074256,A,7042.6038,N,03039.4294,E,000.0,057.7,090899,011.8,E*76
$GPRMC,074302,A,7042.6040,N,03039.4305,E,000.0,057.7,090899,011.8,E*70
```

Formatted data

Filename: 'shipgps.gps'

Filename: 'bouygps.gps'

Example:

```
091403 7042.707 03040.399
091406 7042.697 03040.405
091413 7042.681 03040.412
091418 7042.668 03040.418
091422 7042.655 03040.423
091428 7042.642 03040.429
```

E.2.4 Kompassdata

x, bearing, date, time, x

```
$IIHDM,233.1,8/10/99,09:36:35,M*21
$IIHDM,232.7,8/10/99,09:36:36,M*26
$IIHDM,231.8,8/10/99,09:36:37,M*2A
$IIHDM,231.8,8/10/99,09:36:38,M*2A
$IIHDM,232.4,8/10/99,09:36:39,M*25
$IIHDM,232.2,8/10/99,09:36:40,M*23
$IIHDM,231.1,8/10/99,09:36:41,M*23
$IIHDM,231.0,8/10/99,09:36:42,M*22
$IIHDM,232.2,8/10/99,09:36:43,M*23
$IIHDM,232.7,8/10/99,09:36:44,M*26
```

Formatted data

Filename: 'comp.formatted'

093635 233.1
093636 232.7
093637 231.8
093638 231.8
093639 232.4
093640 232.2
093641 231.1

Tillegg F

Forsøk

F.0.5 Passering 1

Bøye forsøk frå F/F "Johan Hjort" 28/7 - 19/8 1999

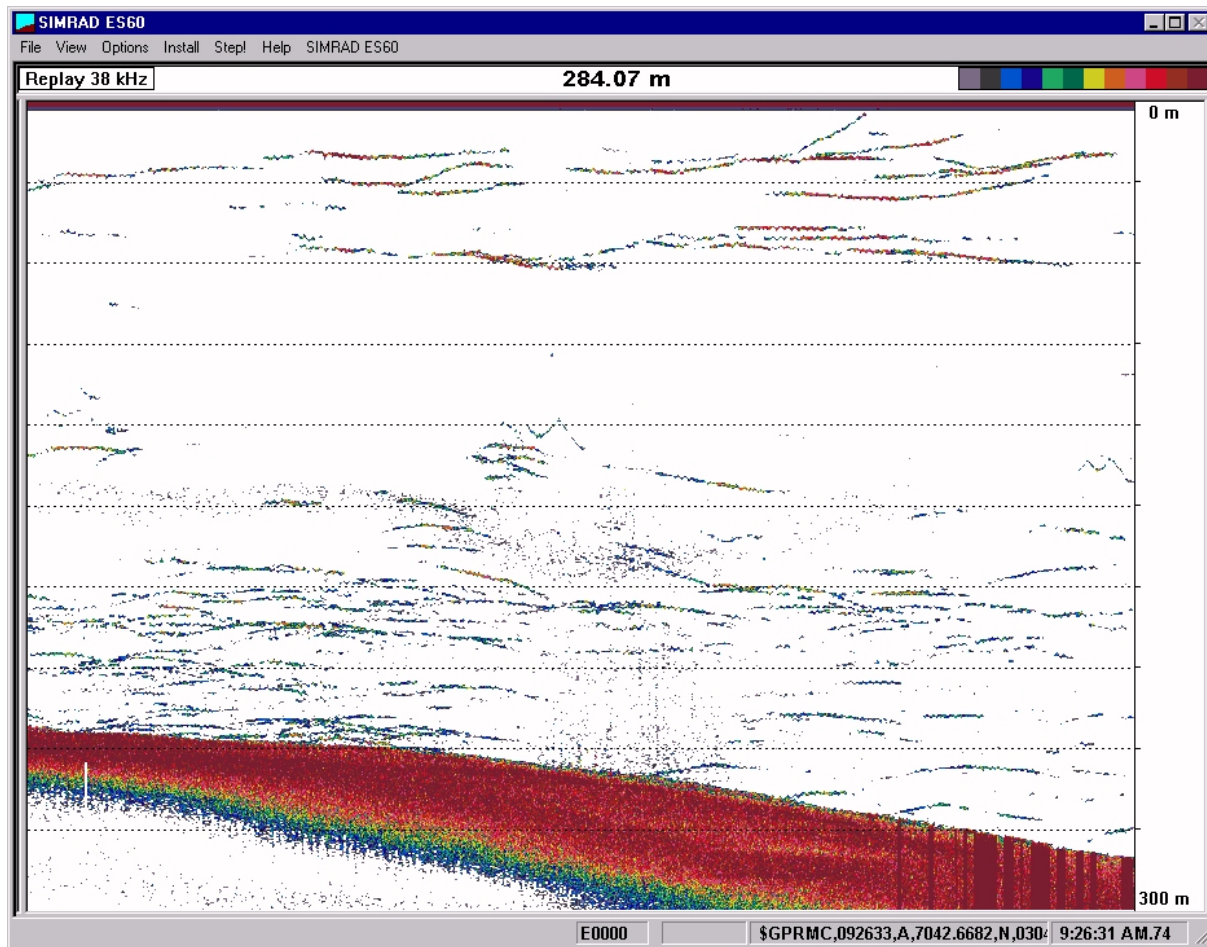
Data frå forsøk E7 er gitt i tabell F.1. Berre passering nr. 3 er nytta. Informasjon om passering 3 er gitt i tabell F.3.

F.0.6 Passering 2

Bøye forsøk frå F/F "Johan Hjort" 28/7 - 19/8 1999

Data frå forsøk E3 er gitt i tabell F.2. Berre passering nr. 2 er nytta. Informasjon om passering 3 er gitt i tabell F.4.

Figur F.1 viser skjermdump frå ekkoloddet, for passering 2, forsøk E3.



Figur F.1: Skjermdump frå ekkoloddet. Passering 2, forsøk E3.

Tabell F.1: Forsøk E7

Date	100899
Start time buoy	09:30
Stop time buoy	17:01
Forsøk number (E #)	E7
Bottom depth in experiment area	120-140
Ship - buoy time synchronized ? (Y, N,offset =)	y
SHIP	
Ship heading logged to the following file/s	JH-e7a.gps, JH-e7b.gps
SHIP ECHO SOUNDER :	
38 kHz sounder in passive ? (Y/N)	y
BEI data logged for frequencies (none,18kHz,120kHz)	18
SPECIES COMPOSITION	
General description of species comp.	Torsk,hyse,sei BT, Hyse noe småtorsk PT.
Information source on species comp. (BT#, PT#, A = assumption)	BT433, PT434,BT435, PT436,PT437
PHYSICAL PARAMETERS	
Wave height	1
Wind force	Liten bris
Description of sea current	0.7 økende mot 1.3
Light conditions	Lettskyet / sol
ES60 BUOY	
Temporary file name ("Sequence##")	Sequence00, 01, 02
Permanent file name (/223E#a.raw/224= experiment# and a,b,c...)	E7a.raw, E7b.raw, E7c.raw
Transmitter Power (500W,1000W)	500
Date for last calibration	27/9-99
Software version	1.1.0.32
COMPASS BUOY	
File name ("E#a.comp", E#b.comp etc)	E7a.comp
GPS BUOY	
File name ("E#a.gps", E#b.gps etc.	E7a.gps
PC system time synchronized to GPS ?	y
BUOY CONFIGURATION	
Battery container used (84Ah, 168AH)	168
Batteries fully charged before experiment ?	y
Battery system voltage at start of experiment	12.16
Battery system voltage at end of experiment	11.74
Transducer cable length (20 meters , 65 meters)	65
Transducer depth	47 meter (diff JH-BAB)

Tabell F.2: Forsøk E3

GENERAL INFO	
Date	090899
Start time buoy	07:30
Stop time buoy	10:50
Experiment number (E #)	E3
Bottom depth in experiment area	290
Ship - buoy time synchronized ? (Y, N,offset =)	y
SHIP	
Ship heading logged to the following file/s	Jh-E3a.gps
SHIP ECHO SOUNDER :	
38 kHz sounder in passive ? (Y/N)	y
BEI data logged for frequencies (none,18kHz,120kHz)	18
SPECIES COMPOSITION	
General description of species comp.	Torsk, hyse, sei. Mest torsk
Information source on species comp. (BT#, PT#, A = assumption)	PT427
PHYSICAL PARAMETERS	
Wave height	0.5-1
Wind force	0 økte gradvistil lett bris
Description of sea current	0.6 - 0.8 I begynnelsen. Økte mot 1.1 ved pass3.
Light conditions	Sol
ES60 BUOY	
Temporary file name ("Sequence##")	Sequence00 , 01
Permanent file name (E#a.raw= experiment# and a,b,c...)	E3a.raw, E3b.raw
Transmitter Power (500W,1000W)	500
Date for last calibration	29/7-99
Software version	1.1.0.32
COMPASS BUOY	
File name ("E#a.comp", E#b.comp etc)	E3a.comp
GPS BUOY	
File name ("E#a.gps", E#b.gps etc.	E3a.gps
PC system time synchronized to GPS ?	y
BUOY CONFIGURATION	
Battery container used (84Ah, 168AH)	84
Batteries fully charged before experiment ?	y
Battery system voltage at start of experiment	12.04
Battery system voltage at end of experiment	11.56
Transducer cable length (20 meters , 65 meters)	65m
Transducer depth	50 meter (målt)

Tabell F.3: Forsøk E7, Passering nr. 3

Type of experiment (P = passing, BT#, PT#,NB = natural-behaviour)	P
SHIP	
Time of ship passing	12:36:24
Distance ship - buoy	15m fra kjøl
Passing side (SB=starbord , P=port side)	SB
Ship logg at passing time	8556.290
Ship speed	11
Ship heading (if not logged to file)	Se gps-fil JH

Tabell F.4: Forsøk E3, Passering nr. 2

Type of experiment (P = passing, BT#, PT#,NB = natural-behaviour)	P
SHIP	
Time of ship passing	09:19:41
Distance ship - buoy	14 meter fra kjøl
Passing side (SB=starbord , P=port side)	SB
Ship logg at passing time	8456.405
Ship speed	10.5
Ship heading (if not logged to file)	Se fil

Litteratur

- [AHO94] O. Nakken A. Høyen, K. Korsbrekke and E. Ona. Comparison of the capture efficiency of 0-group fish in pelagic trawls. In *Precision and relevance of pre-recruit studies for fishery management related to fish stocks in the Barents sea and adjacent waters*, pages 145–156, Bergen, 14 - 17 June 1994. Institute of Marine Research (IMR), Bergen, Norway and Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO), Murmansk, Russia. Proceedings of the sixth IMR-PINRO Symposium.
- [AM93] J. Astrup and B. Møhl. Detection of intense ultrasound by the cod *Gadus morhua*. *J. exp. Biol.*, 182:71–80, 1993.
- [Ano66] Anon. *Alle Barns Eventyr*. Sandviks Bokforlag A.S., 1966. ISBN 82-7106-217-4.
- [Ano90] Anon. Rapport fra dynamisk måling av f/f johan hjort. Technical report, Royal Norwegian Navy Material Command, Support and maintenance department, weapon control systems division, sonar section, November 1990.
- [ano92] anon, editor. *Aschehoug og Gyldendahl, Store norske leksikon*. Kunnskapsforlaget, 1992.
- [Atk88] Kendall E. Atkinson. *An introduction to numerical analysis*. John Wiley & Sons, 2 edition, 1988.
- [Bai60] R. Bainbridge. Speed and stamina in three fish. *J.exp.Biol.*, 37:129–53, 1960.
- [BD59] J.H.S Blaxter and W. Dickson. Observations of the swimming speeds of fish. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, 24:472–479, 1959.
- [Bea66] F.W.H. Beamish. Swimming endurance of some northwest atlantic fishes. *J. Fish. Res. Board. Can.*, 23:341–347, 1966.
- [Ber78] B.C.R. Bertram. Living in groups: predator and prey. *Behavioural Ecology*, pages 64–96, 1978.
- [BGD81] J.H.S. Blaxter, J.A.B. Gray, and E.J. Denton. Sound and startle responses in herring shoals. *J. Mar. Biol. Assn.(UK)*, 1981.
- [Bla69] J.H.S. Blaxter. Swimming speed of fish. *FAO Fish. Rep.*, 62:69–100, 1969.

- [Bre64] J.H.R. Brett. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 64:1182–1226, 1964.
- [Bre67] J.R. Brett. The swimming speed of adult pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) at 20 degree c and a comparison with sockeye salmon. *O. nerka. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 1143, 1967. (40 pp.).
- [BSH83] R.J.A Buwalda, A. Schuijf, and A.D. Hawkins. Discrimination by the cod of sounds from opposing directions. *J. Comp. Physiol.*, 150, 1983.
- [CJ74] C.J. Chapman and A.D. Johnstone. Some auditory discrimination experiments on marine fish. *J. Exp. Biol.*, 61:521–528, 1974.
- [CL88] Clark and Levy. Diel vertical migration by juvenile sockeye salmon and the antipredator window. *America naturalist*, 131:271–290, 1988.
- [CPP86] C.I. Malme, P.W. Smith, and P.R. Miles. Characterization of geophysical acoustic survey sounds. Technical report, BBN Laboratories Inc., Cambridge, Massachusetts, 1986. Prepared for Batelle Memorial Institute under Contract No.14-12-001-30273 to the Department of interior, Mineral Management Service, Pacific Outer Continental Shelf Region, Los Angeles, California, 88pp.
- [Dar59] C Darwin. *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. J. Murray, 1859.
- [Dit90] Reidar Ditlefsen. *Navigasjon*. Aschehoug, 14 edition, 1990.
- [DR92] Kjell Døving and Eigil Reimers, editors. *Fiskens fysiologi*. John Grieg Forlag, 1992.
- [Egi92] Egil Ona and Dag Hansen. *Target tracking of single fish using a split beam echosounder*. Institute of Marine Research, P.O.Box 1870, 5024, Bergen ,Norway, Januar 1992.
- [ELOS93] Arill Engås, Svein Løkkeberg, Egil Ona, and Aud Vold Soldal. Effects of seismic shooting on catch and catch availability of cod and haddock. *Fisken og havet*, 9, aug 1993.
- [ELOS96] Arill Engås, Svein Løkkeberg, Egil Ona, and Aud Vold Soldal. Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 53(10):2238–2249, 1996.
- [Eng80] L.E. Engevik. *Forelesninger i kontinuumsmekanikk*. Matematisk Institutt, Universitetet i Bergen, 1980.
- [Fer] Anders Fernö. Pers. komm.
- [FGT96] Paul M. Fishbane, Stephen Gasiorowicz, and Stephen T. Thornton. *Physics for scientists and engineers*. Prentice Hall, 2 edition, 1996. ISBN 0-13-231176-3.

- [Har97] Harald Kryvi og Geir Totland. *Fiskeanatomi*. Høyskoleforlaget, 1997.
- [Hol93] Sture Holmstrøm. Effekter av luftkanonseismikk på larver og yngel til havs - modellering og simulering. Technical Report STF48 A93007, SINTEF Reguleringssteknikk, April 1993.
- [HR9] W.S. Hoar and D.J. Randall, editors. *Fish Physiology*, pages xii–xiv. New York : Academic Press, 1969-. ISBN 0-12-350407-4.
- [HS77] A.D. Hawkins and O. Sand. Directional hearing in the median vertical plane by the cod. *J. Comp. Physiol.*, 122:1–8, 1977.
- [HW88] P. He and C.S. Wardle. Endurance at intermediate swimming speeds of atlantic mackerel, scomber scombrus l., herring, clupea harengus l., and saithe, pollachius virens l. *J. Fish Biol.*, 33:266–266, 1988.
- [Jør86] S.E. Jørgensen. *Fundamentals of ecological modelling*. Elsevier, Amsterdam, 1986. 389 pp.
- [LT86] L Landeau and J. Terborgh. Oddity and the 'confusion effect' in predation. *Anim. Behav.*, 34:1372–1380, 1986.
- [Løv99] Per Olav Løvbakk, editor. *Statistisk årbok 1999*. Statistisk sentralbyrå, 1999.
- [Meh89] Sigbjørn Mehl. The northeast arctic cod stock's consumption of commercially exploited prey species in 1984-1986. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. Explor. Mer*, 188:185–205, 1989.
- [Mic99] Kathrine Michalsen. *Distribution of gadoids in the Barents sea : Impact and survey results*. PhD thesis, Department of Fisheries and Marine Biology, University of Bergen, 1999.
- [Mil85] M. Milinski. Risk of predation of parasitized sticklebacks (gasterosteus aculeatus l.) under competition for food. *Behaviour*, 93:203–216, 1985.
- [Mit95] R.B. Mitson, editor. *Underwater noise of research vessels, review and Recommendations*, ICES Cooperative research report No.209, 1995.
- [NAB⁺96] Leif Nøttestad, Magnar Askland, Arvid Beltestad, Anders Fernö, Arne Johannesen, and Ole Arvid Misund. Schooling dynamics of norwegian spring spawning herring (clupea harengus l.) in a coastal spawning area. *Sarsia*, 80:277–284, 1996. ISSN 0036-4827.
- [OG90] Egil Ona and Olav Rune Godø. Fish reaction to trawling noise: the significance for trawl sampling. *P. -v. Reun. Const. int. Explor. Mer*, pages 159–166, 1990.
- [Ole96] Ole Arve Misund, Jan Tore Øvredal and Magnus Thor Hafsteinsson. Reactions of herring schools to the sound field of a survey vessel. *Aquat. Living resour.*, 9:5–11, 1996.

- [Ols69] K. Olsen. Directional responses in herring to sound and noise stimuli. *ICES CM 1969*, B:20, 1–5 1969.
- [Ols76] K. Olsen. Evidence for localisation of sound by fish in schools. In *Sound in fish. Proceedings of a symposium held in honour of Professor Dr. Sven Dijkgraf*, pages 257–270, Elsevier, Amsterdam, 1976.
- [Ols82a] Olsen K., Angell J. and Løvik A. Quantitative estimations of the influence of fish behaviour on acoustically determined fish abundance. In *Symposium in fisheries acoustic, Bergen Norway*, volume 300, pages 139–149. Food and agriculture organization of the united nations, June 1982. FAO Fisheries Report No.300 FIRM/R300.
- [Ols82b] Olsen K., Angell J., Pettersen F. and Løvik A. Observed fish reactions to a surveying vessel with special reference to herring, cod, capelin and polar fish. In *Symposium in fisheries acoustic, Bergen Norway*, volume 300, pages 131–138. Food and agriculture organization of the united nations, June 1982. FAO Fisheries Report No.300 FIRM/R300.
- [Ona88a] Egil Ona. Observations of cod reaction to trawling noise. In *Fisheries Acoustic, science and technology working group*, Ostend, 20-22 April 1988. Institute of Marine Research.
- [Ona88b] Egil Ona. Trawling noise and fish avoidance, related to near-surface trawl sampling. In Svein Sundby, editor, *Year class variations as determined from pre-recruit investigations*, pages 169–175. Institute of marine research, Bergen, September 1988.
- [Ona99] Egil Ona, editor. *Methodology for Target Strength Measurements*, ICES Cooperative research report No. 235, 1999.
- [Pav41] I.P Pavlov. *Conditioned reflexes & psychiatry*. International publishers, New York, 1941.
- [Pet89] P. Pethon. *Aschehougs store Fiskebok*. H. Aschehougs & Co., Oslo, 2 edition, 1989.
- [Pit86] Pitcher, T.J., Green, D. and Magurran, A.E. Dicing with death: predator inspection behaviour in minnow shoals. *J. Fish. Biol.*, 28:439–448, 1986.
- [Pit93] Tony J. Pitcher, editor. *Behaviour of Teleost Fishes*, volume 7 of *Chapman and Hall fisheries series*. Chapman and Hall, 2 edition, 1993.
- [RBO90] Haakon Solli Raymond Brede, Finn Hogne Kristensen and Egil Ona. Target tracking with a split-beam echo sounder. *Rapp. P. -v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.*, 189:254–263, 1990.
- [Ros76] D Ross. *Mechanics of Underwater Noise*. Pergamon Press, New York, 1976. 375 pp.

- [SA83] A. Schuijf and Hawkins A.D. Acoustic distance discrimination by the cod. *Nature*, 1983.
- [SB75] A. Schuijf and R.J.A. Buwalda. On the mechanics of directional hearing in cod (gadus morhua l.). *J. Comp. Physiol.*, 98:333–343, 1975.
- [Sch74a] A. Schuijf. *Field studies of directional hearing in marine teleosts*. PhD thesis, Univ. of Utrecht, 1974.
- [Sch74b] A. Schuijf. *Field studies of directional hearing in marine teleosts*. Drukkerij elinwijk bv - Utrecht, 1974.
- [Sch75] A. Schuijf. Directional hearing of cod (gadus morhua) under approximate free field conditions. *J. Comp. Physiol.*, 98:307–332, 1975.
- [Sch76] A. Schuijf. *Sound reception in fish*, chapter The phase model of directional hearing in fish. Elsevier, Amsterdam, 1976.
- [SdMJ87] N.A.M. Schellart and de Munch J.C. A model for the directional hearing in swimbladder-bearing fish based on the displacement orbits of the hair cells. *J. Acoust. Soc. Am.*, 82(3):822–829, 1987.
- [SK86] O. Sand and H.E. Karlsen. Detection of infrasound by the atlantic cod. *J.exp.biol*, 125:197–204, 186.
- [Sor89] M.A. Sorokin. Directional hearing in clupeiidae. *Soviet. Mar. Biol.*, 14:329–335, 1989.
- [SS74] A Schuijf and M.E. Siemelink. The ability of cod (gadus morhua) to orient towards a sound source. *Experimenta*, 1974.
- [Tom63] R. Tomovic. *Sensitivity analysis of dynamic systems*. McGraw-Hill, 1963.
- [Uri75] J. Robert Urick. *Principles of underwater sound*. Mc Graw-Hill, 2 edition, 1975.
- [Vab99] Rune Vabø. *Measurements and corrections models of behaviourally induced biases in acoustic estimates of wintering herring (Clupea harengus L.)*. PhD thesis, University of Bergen, 1999.
- [Vid81] J.J. Videler. Swimming movements, body structure and propulsion in cod (gadus morhua). In *M.H. ed. Vertebrate Locomotion (Symp. Zool. Soc. Lond.) London*, pages 1–27. Academic Press, 1981.
- [Vid93] John J. Videler. *Fish Swimming*. Chapman and Hall fish and fisheries series. Chapman and Hall, 1 edition, 1993. ISBN 0 412 40860 0.
- [VN97] Rune Vabø and Leif Nøttestad. An individual based model of fish school reactions: predicting antipredator behaviour as observed in nature. *Fish. Oceanogr.*, 6(3):155–171, 1997.

-
- [W.J95] W. John Richardson, Charles R. Greene Jr., Charles I. Malme, Denis H. Thomson. *Marine Mammals and Noise*. Academic Press, 1995.
- [Zha96] Xianyong Zhao. Target strength of herring (*clupea harengus* l.) measured by the splitbeam tracking method. Master's thesis, Department of Fisheries and Marine Biology, University of Bergen, 1996.