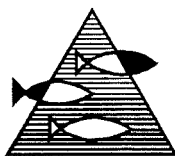


# PROSJEKTRAPPORT



ISSN 0071-5638

## HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

MILJØ - RESSURS - HAVBRUK

Nordnesgt. 50 Postboks 1870 5024 Bergen

Tlf.: 55 23 85 00 Faks: 55 23 85 31

Forskningsstasjonen

Flødevigen

4817 His

Tlf.: 37 05 90 00

Faks: 37 05 90 01

Austevoll

Havbruksstasjon

5392 Storebø

Tlf.: 56 18 03 42

Faks: 56 18 03 98

Matre

Havbruksstasjon

5198 Matredal

Tlf.: 56 36 60 40

Faks: 56 36 61 43

Distribusjon:

ÅPEN

HI-prosjektnr.:

Oppdragsgiver(e):

HI

Oppdragsgivers referanse:

Rapport:

FISKEN OG HAVET

NR. 22 - 1996

Tittel:

SAMMENHENG MELLOM GEOMETRISKE DIMENSJONER  
OG BIOMASSE HOS SILDESTIMER UNDER  
INNVANDRING TIL OVERVINTRINGSOMRÅDENE

Senter:

Ressurs

Seksjon:

Fangst

Forfatter(e):

Leif Nøttestad

Antall sider, vedlegg inkl.:

21

Dato:

23.10. 1996

Sammendrag:


Gjentatte akustiske målinger av sildestimers størrelse, tetthet og biomasse ble utført med sonar og ekkolodd tilknyttet ekkointegrator (Simrad EY-500) i Vestfjorden, Ofotfjorden og Tysfjord med F/F "Fjordfangst" i perioden 23. september til 4. oktober 1995. Resultater er gjengitt for observerte variasjoner i stimstørrelse, tetthet og biomasse på enkeltstimer som ble registrert gjentatte ganger. Sammenhenger mellom geometriske dimensjoner og biomasse blir også behandlet og diskutert i rapporten.

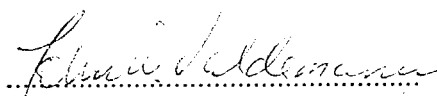
Emneord - norsk:

1. Sildestimer
2. Geometriske dimensjoner
3. Biomasse

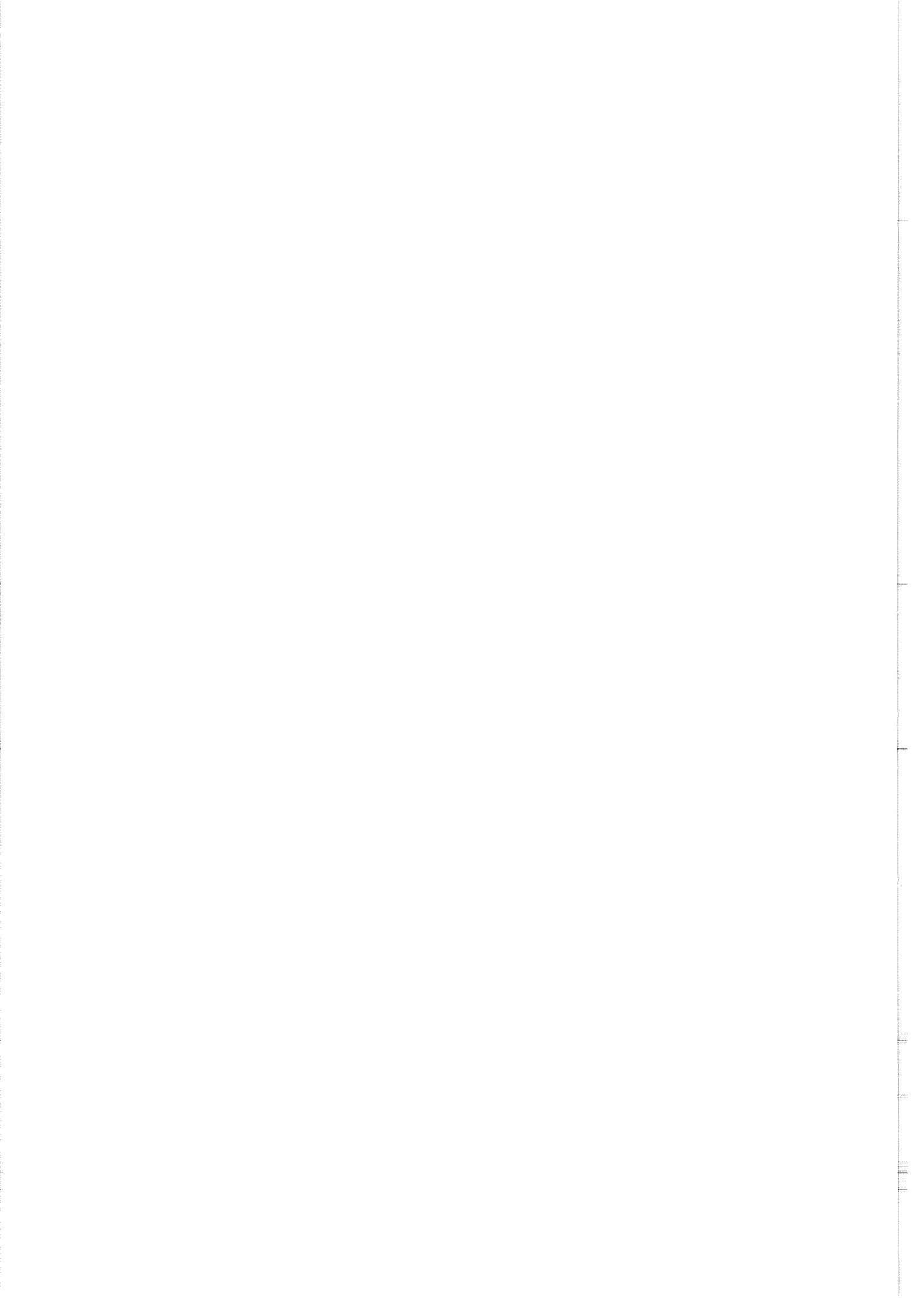
Emneord - engelsk:

1. Herring schools
2. Geometric dimensions
3. Biomass

  
.....  
Prosjektleder

  
.....  
Senterleder

R 4969



**SAMMENHENG MELLOM GEOMETRISKE  
DIMENSJONER OG BIOMASSE HOS  
SILDESTIMER UNDER INNVANDRING TIL  
OVERVINTRINGSOMRÅDENE**

Av

Leif Nøttestad



## **SAMMENDRAG**

Gjentatte akustiske målinger av sildestimers størrelse, tetthet og biomasse ble utført med sonar og ekkolodd tilknyttet ekkointegrator (Simrad EY-500) i Vestfjorden, Ofotfjorden og Tysfjord med F/F "Fjordfangst" i perioden 23. september til 4. oktober 1995. Resultater er gjengitt for observerte variasjoner i stimstørrelse, tetthet og biomasse på enkeltstimer som ble registrert gjentatte ganger. Sammenhenger mellom geometriske dimensjoner og biomasse blir også behandlet og diskutert i rapporten.

## **SUMMARY**

Repeated acoustic measurements of size, density and biomass of herring schools were conducted using sonar and echosounder connected to echointegrator system (Simrad EY-500) in Vestfjorden, Ofotfjorden and Tysfjord in the period from 23 September to 4 October 1995. The results are given for observed variation in size, density and biomass of individual herring schools that were repeatedly recorded. Relations between geometrical dimensions and biomass are also given and discussed in the report.

## BAKGRUNN

Siden 1987 har gytebestanden av norsk vårgytende sild i overvintringsfasen vært konsentrert i to sidearmer til Vestfjorden, nemlig Ofotfjorden og Tysfjord (Røttingen 1992, Foote & Røttingen 1995). Innvandringen til overvintringsområdene starter vanligvis i september med et betydelig innsig av sild innover Vestfjordbassenget (Røttingen 1992). Sildestimene samler seg i tette konsentrasjoner i denne perioden etter beitesesongen i Norskehavet (Dommasnes m.fl. 1994). Under vandring og rask svømming pakker individene seg vanligvis tettere sammen (Pitcher & Partridge 1979, Partridge 1981).

Absolutt biomasseestimering basert på målinger av tilbakespredningsekkoenergien fra en stim målt med sonar er komplisert, på grunn av retningen av tilbakespredningsmønsteret hos fisk og betydelig gjenklangstøy hos horisontalt rettede sonarer (Mitson 1983). I tillegg kan absorpsjon av utsendt og tilbakespredt ekkoenergi under høye fisketettheter medføre underestimering av stimstørrelse (Røttingen 1976, Foote 1978).

Konvertering av stimareal til biomasse målt med sonar er etablert for sild (*Clupea harengus* L.), ved å korrolere areal og biomasse av stimer som er fanget med ringnot (Misund 1990). Nødvendigheten av en slik korrelasjon vil være stor i tilfeller hvor stimene unnviker fartøyet, og signifikant underestimering av mengde fisk kan inntreffe ved bruk av ekkolodd (Olsen 1990). Likeledes vil fisk som stimer tett mot overflaten i den øvre dødsone ikke bli registrert med konvensjonell ekkointegrering (Aglen 1989). Disse forhold øker nødvendigheten av et uavhengig mål for stimregistrering og mengdemåling. Flerstrålesonarer kan redusere slike bias og øke presisjonen under estimering av mengdemålingene, på grunn av sonarens større dekningsvolum (Ehrenberg 1980).

Detaljert kvantifisering av den tredimensjonale posisjoneringen av enkeltindivider i stimer viser en dynamisk struktur (Partridge m.fl. 1990), og detaljert ekkointegrering har likeledes avdekket betydelig variasjon i intern struktur hos frittsvømmende stimer (Gerlotto & Freon 1988, Misund & Floen 1993). Forskjeller i atferd blant individer skaper også betydelig dynamikk innad i stimene, i tillegg til dannelse av undergrupper (Shaw 1978). Tilstede-

værelsen av predatorer kan ha effekt på stimstrukturen, og stimer splitter seg vanligvis opp i løsere aggregeringer i løpet av natten når lysintensiteten svekkes (Pitcher 1986).

Hovedformålet med toktet var å studere variasjoner i geometriske dimensjoner og biomasse hos sildestimer. Stimene ble undersøkt under sildas innvandring til overvintringsområdene. Gjentatte registreringer av enkeltstimer ble utført for å kvantifisere variasjon i areal, volum, tetthet og biomasse. Det ble lagt stor vekt på å få så mange målinger av hver stim som mulig.

## **MATERIALE OG METODER**

Sildestimene ble målt med F/F "Fjordfangst" (20 BRT) fra 23. september til 4. oktober i Vestfjorden og ytre del av Tysfjord under sildas innvandring til overvintringsområdene. Fartøyet var utstyrt med en FURUNO CH-12 flerstrålesonar (150 kHz) og et PC-basert SIMRAD EY-500 ekkolodd (38 kHz) med ekkointegrering. Ekkointegreringsenheten ble kalibrert under optimale forhold i Stefjorden etter standard prosedyre (Foote m.fl. 1987). Strømmålinger ble utført med to GYTRE-målere i det mest sentrale området for stimobservasjoner på 50 m og 160 m dyp. Lysmåling ble innhentet hvert 15. minutt gjennom døgnet og hvert 5. minutt i skumringsperioden ved hjelp av en LI-1000 (LI-COR) datalogger. Lyssensoren ble plassert omlag en meter over styrehuset. Temperatur og saltholdighet ble målt i hele vannsøylen fra overflaten og ned til maksimalt 300 m dyp med en standard STD-måler på fem ulike lokaliteter i nærheten av stimregistreringene gjennom toktperioden.

Sildestimene ble først lokalisert med sonaren, hvor strålen ble rettet framover i en 120 graders vifte med 200-400 m rekkevidde og 10-20 grader tilt avhengig av bunndyp og stimenes plassering i vannmassene. Stimene ble systematisk kjørt over med omlag 3 knops fart, etter at de var lokalisert på sonaren, slik at ekkoloddet kunne måle svømmedyp og vertikalutstrekning på stimene. Denne prosedyren ble gjentatt flere ganger for å se på variasjon av geometriske dimensjoner og biomasse for hver stim. Etter å ha kjørt over stimen en gang fortsatte fartøyet omlag 0.1 nm forbi stimen før fartøyet snudde og manøvrerte over samme stimen fra en ny vinkel. Fartøyet vekslet hele tiden å nærme seg stimen fra henholdsvis



styrbord og babord side, foran eller aktenfor stimen. Det ble lagt vekt på å følge stimens bevegelser med sonaren etter at den var registrert på ekkoloddet, for å forsikre seg om at det var samme stim som ble målt neste gang. Midtpunktet på stimene ble hovedsakelig observert mellom 20 m og 60 m dyp. Ekkointegreringen ble utført for hver 0.1 nautisk mil, og integreringen ble utført separat i 6 ulike pelagiske kanaler for å skille ut stimene fra uønskete ekko i vannsøylen.

Sonarregistreringene ble tatt opp på video, og analysert i programmet IMAGE PRO PLUS. Stimarealet ble målt direkte og korrigert for tiltvinkelen. Stimenes vertikalutstrekning, dybde og ekkointegratorverdier ble utregnet fra ekkogrammene.

Tilsammen 4 stimer ble tatt med snurrevad og ringnot like i nærheten av, og i samme tidsrom som de registrerte stimene. Et tilfeldig utvalg av om lag 100 sild fra hver fangst ble målt, med lengde til nærmeste 0.5 cm og vekt til nærmeste gram. Målstyrken til silda (33.24 cm i gjennomsnitt) ble utregnet ved hjelp av  $TS_{clupeoid} = 20 \log L - 71.9$  (Foote 1987), og fisketettheten fra ekkointegratorverdiene ble utregnet som beskrevet i Misund (1990 og 1993).

## RESULTATER

Tilsammen 344 sild ble analysert fra snurrevad- og ringnotfangstene. Gjennomsnittslengden var på 33.24 cm og gjennomsnittsvekten var på 295.4 gram. Stikkprøver viste at noen individer hadde krill i magen, mens mesteparten hadde tomme mager.

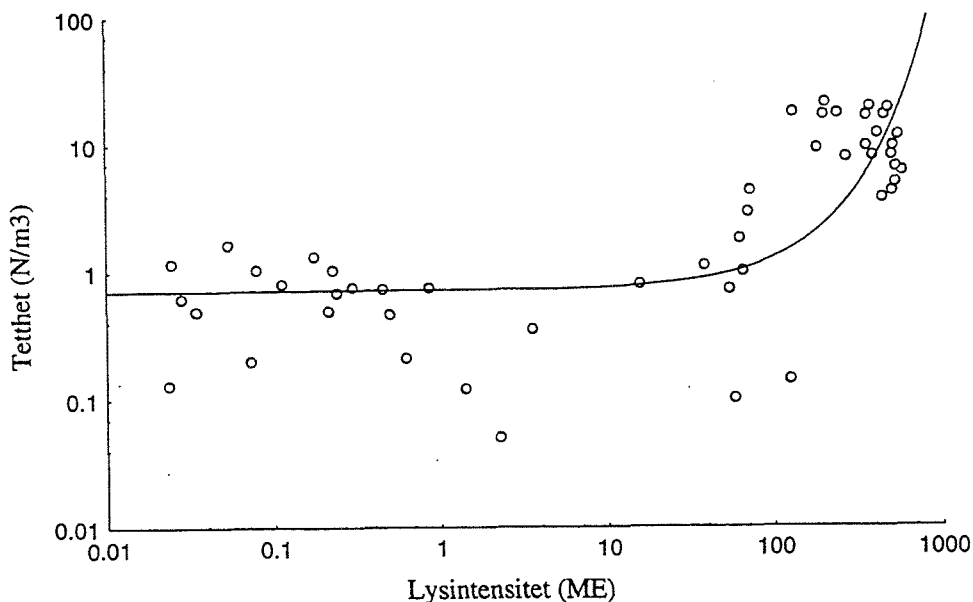
Under første del av toktet viste det seg svært vanskelig å finne sildestimer tilgjengelig for akseptable målinger med sonaren. Stimene sto veldig tett mot bunnen og det var liten dynamikk i stimene. I perioden fra 24. september til 1. oktober var silda i liten bevegelse innover Vestfjorden. Fronten av sild ble lokalisert i snittet fra Engeløy til Skrova i dyp på 160 til 230 m dyp, hvor temperatur og saltholdighet var henholdsvis 6.3°C og 34.5‰. Ved kryssing av Vestfjorden oppholdt silda seg i betydelige flak med utstrekning på opptil 3 nm. Etter 1. oktober utøvde silda større dynamikk og vandringen var massiv inn mot Tysfjord.

Akustiske survey i ytre del av Ofotfjorden i samme periode viste at innvandringen ikke hadde startet her. Hovedutfordringen i siste del av toktet var å skille enkeltstimer fra hverandre. På grunn av svært liten avstand mellom stimene ( $< 0.1$  nm), ble det vanskelig å ekkointegrere enkeltstimer uten å inkludere uønskede stimer. Majoriteten av silda oppholdt seg i tillegg dypt i vannmassene (160-230 m), og var dermed lite tilgjengelig for sonarregistreringer.

Temperatur og saltholdighet ble valgt ut fra de delene av vannsøylen (0 m, 50 m og 200 m) hvor silda oppholdt seg mest gjennom undersøkelsesperioden. Basert på fem ulike målinger varierte temperatur og saltholdighet på følgende måte:

Temperatur	0 m =	08.43 - 10.01°C	Saltholdighet	0 m =	30.63 - 31.90‰
	50 m =	07.59 - 09.63°C		50 m =	32.94 - 33.58‰
	200 m =	05.99 - 06.64°C		200 m =	34.24 - 34.82‰

Strømmålingene viste gjennomgående lave strømhastigheter ( $< 5$  cm/s), både på 50 og 160 m dyp, med noe høyere strømhastigheter på 50 m dyp. Strømretningen var dominert av sørvestlig og nordøstlig retning med skifte i retning etter tidevannets bevegelser.



Figur 1. Lysintensitet ( $\mu\text{E}$ ) relatert til fisketetthet ( $\text{N}/\text{m}^3$ ). Både x- og y-aksen er logtransformert [Light intensity ( $\mu\text{E}$ ) related to school density ( $\text{N}/\text{m}^3$ ). Both x- and y-axis are log transformed].

De døgnlige lysregistreringene ble sammenlignet med observert stimdyp og fisketetthet for hver av de registrerte stimene (Figur 1). Lysintensiteten var positivt korrolert til fisketetthet ( $p < 0.05$ ,  $N = 58$ ). Stimdyp viste ingen signifikant korrelasjon med lys for de observerte stimene, men stimdyp var signifikant korrolert med lys ( $p < 0.05$ ,  $N = 10$ ) for flak av sild som ble kontinuerlig registrert med ekkoloddet. Vertikalutstrekningen av flakene lå mellom 30 og 60 meter, og silda oppholdt seg stabilt på mellom 160 og 230 m dyp på dagtid, eller trykket mot bunn der bunndypet var mindre enn 170 m. Silda steg opp til de øverste 0-50 metrene i løpet av skumringsperioden.

Oversikt over stimregistreringene med utregnede geometriske dimensjoner og biomasse-målinger angitt med variasjonskoeffisient er vist i Tabell 1. Observerte variasjoner innenfor gjentatte registreringer av enkeltstimer er gjengitt i Tabell 2, mens gjennomsnittsverdier for alle registrerte stimene finnes i Tabell 3. Lysintensitet relatert til stimdyp og fisketetthet er vist i Tabell 4.

*Tabell 1.* Gjennomsnittsverdier med variasjonskoeffisient for areal, volum, tetthet og biomasse hos stimer med gjentatte målinger. No. - stimnummer, n - antall gjentatte målinger for hver stim [Mean values including coefficient of variation of school area, volume, density and biomass in schools with repeated measurements. No. - school number, n - number of repeated school measurements].

No.	N	Areal (m <sup>2</sup> )		Volum (m <sup>3</sup> )		Tetthet (N/m <sup>3</sup> )		Biomasse (tonn)	
		gj.snitt	c.v	gj.snitt	c.v	gj.snitt	c.v	gj.snitt	c.v
1	12	4563	0.33	115203	0.34	11.2	0.47	362.9	0.46
2	7	7323	0.15	169646	0.22	14	0.39	663.7	0.3
3	5	5869	0.11	157243	0.22	9.5	0.61	396.9	0.35
4	5	6953	0.17	146676	0.24	2.6	0.5	118.2	0.54
5	2	1871	0.59	34131	0.67	0.9	0.33	8.3	0.41
6	2	2656	0.06	143783	0.4	0.12	0.83	5.4	0.59
7	3	11945	0.34	265769	0.36	1.15	0.38	82.3	0.09
8	8	7512	0.32	412092	0.63	0.72	1.31	75.2	0.65
9	2	1384	1.03	19005	1.15	0.09	1.11	0.3	1
10	6	1854	0.36	22998	0.29	0.68	0.29	5.8	0.45
11	2	2272	0.15	21089	0.45	0.17	0.59	1	0.3

Tabell 2. Geometriske dimensjoner og biomassemålinger for enkeltregistreringer av stimene. Kun stimer målt minimum to ganger er inkludert i tabellen [Geometric dimensions and measurements of biomass of individual school registrations. Only schools measured minimum twice are included in the table].

Stim nr.	Areal (m <sup>2</sup> )	Volum (m <sup>3</sup> )	Tetthet (N/m <sup>3</sup> )	Biomasse (tonn)
1A	5238	120823	16.6	592.5
1B	3311	90059	17.9	474.8
1C	6995	161351	8	380.1
1D	2332	53791	16.4	259.8
1E	5222	97825	19.4	558.9
1F	5772	138913	11.9	488.3
1G	6311	182178	8.1	435.9
1H	5316	139988	11.5	475.6
1I	4298	90258	6	160
1J	4586	152255	4.9	220.4
1K	2503	74423	9.5	208.9
1L	2871	80579	4.2	100
2A	8629	161075	20.9	994.4
2B	7113	144631	17.6	751.9
2C	8930	220869	9.2	600.3
2D	5420	112374	16.8	557.7
2E	7828	162301	17.2	824.6
2F	7067	210125	7.8	484.2
2G	6276	176146	8.3	432.9
3A	5974	147757	9.5	416.4
3B	6554	194872	3.7	213
3C	5464	180676	6.5	348
3D	6308	156018	8.8	406
3E	4995	106893	19	601
4A	9021	200266	2.9	173.9
4B	5966	140798	3.1	128.9
4C	6950	144097	4.3	180.9
4D	6107	102598	1	30
4E	6721	145622	1.8	77.4
5A	2651	50369	0.72	10.7
5B	1091	17892	1.11	5.87
6A	2550	184450	0.14	7.63
6B	2762	103115	0.1	3.05
7A	13369	340464	0.79	79.5
7B	15191	298756	1.03	90.9
7C	7274	158088	1.64	76.6
7D	4660	303521	0.35	31.4
7E	11066	808556	0.74	176.7
7F	10642	769062	0.21	47.7
7G	7921	508000	0.73	109.5
7H	7652	349951	0.75	77.5
7I	5034	212099	0.49	30.7
7J	7250	198650	1.32	77.5
7K	5876	146900	1.17	50.8
8A	2390	34416	0.05	0.51
8B	377	3594	0.12	0.13
9A	1421	20841	0.46	2.83
9B	3150	27510	0.68	5.53
9C	1958	32894	0.8	7.77
9D	1637	24009	1.04	7.38
9E	1605	17762	0.62	3.25
9F	1353	14973	0.49	2.17
10A	2515	27833	0.13	1.07
10B	2030	14345	0.2	0.85

Tabell 3. Gjennomsnittsverdier for stimenes areal, volum, tetthet og biomasse. No. - stimnummer, n - antall gjentatte målinger for hver stim [Mean values of school area, volume, density, and biomass. No. - school number, n - number of repeated school measurements].

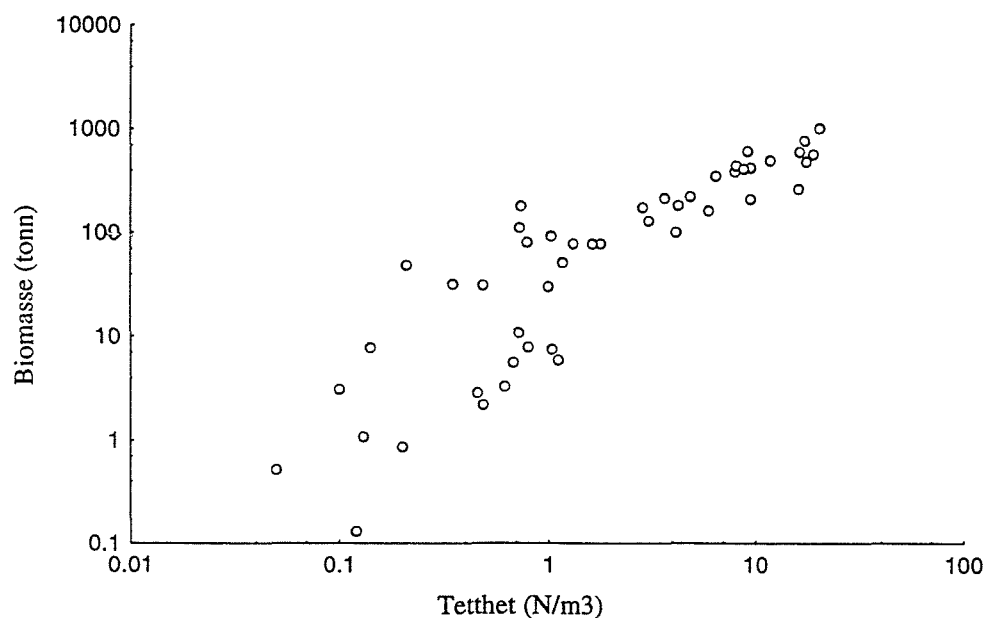
No.	n	Areal (m <sup>2</sup> )	Volum (m <sup>3</sup> )	Tetthet (N/m <sup>3</sup> )	Biomasse (tonn)
1	12	4563	115203	11.2	362.9
2	1	31265	842899	5.4	1344.6
3	7	7323	169646	14	663.7
4	5	5869	157243	9.5	396.9
5	5	6953	146676	2.6	118.2
6	1	1301	57244	5	84.2
7	2	1871	34131	0.9	8.3
8	2	2656	143783	0.12	5.4
9	1	3244	243300	0.71	51
10	1	4107	149495	0.09	4
11	1	4185	79515	5.79	136
12	1	6208	456081	0.09	12.1
13	3	11945	265769	1.15	82.3
14	8	7512	412092	0.72	75.2
15	1	8726	184991	1.18	64.5
16	1	4018	64556	0.22	4.2
17	2	1384	19005	0.09	0.3
18	6	1854	22998	0.68	5.8
19	2	2272	21089	0.17	1
20	1	350	3733	0.06	0.1

Tabell 4. Lysintensitet relatert til stimenes dybde og fisketetthet [Light intensity related to school depth and density].

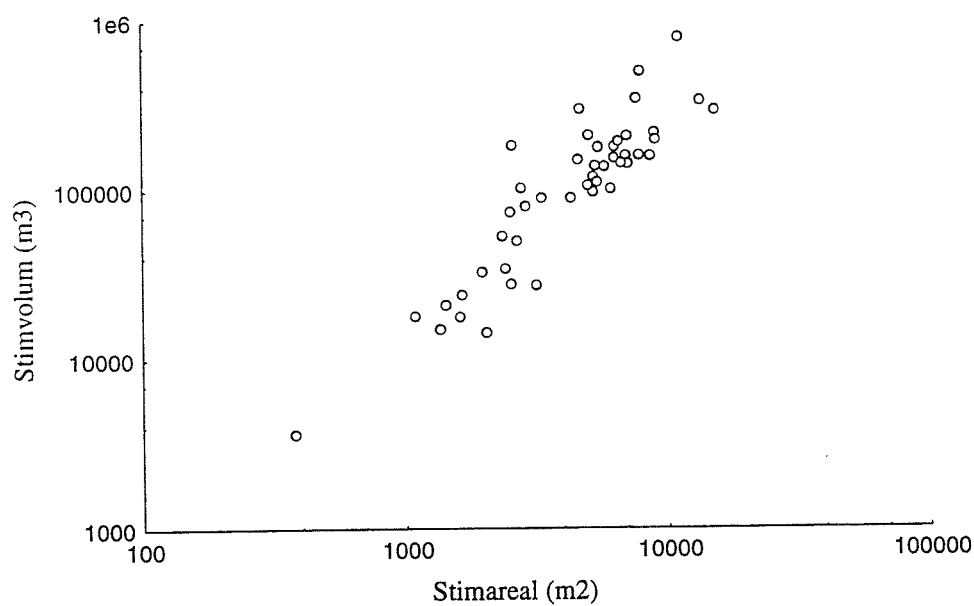
Stim nr.	Dato	Tid	Lys ( $\mu\text{E}$ )	Dybde (m)	Tetthet ( $\text{N}/\text{m}^3$ )
1A	30.sep.95	10:18:50	462.8	45	16.6
1B	30.sep.95	10:24:32	433.4	37	17.9
1C	30.sep.95	10:27:18	396.2	41	8
1D	30.sep.95	10:30:59	363.1	43	16.4
1E	30.sep.95	10:34:24	380	42	19.4
1F	30.sep.95	10:38:39	421.9	46	11.9
1G	30.sep.95	10:42:32	510.6	47	8.1
1H	30.sep.95	10:46:04	559.1	45	11.5
1I	30.sep.95	10:48:37	587.4	43	6
1J	30.sep.95	10:52:10	532.1	52	4.9
1K	30.sep.95	10:57:21	520	47	9.5
1L	30.sep.95	11:00:49	509.8	48	4.2
2A	30.sep.95	11:57:04	207.7	43	20.9
2B	30.sep.95	12:00:37	132.8	50	17.6
2C	30.sep.95	12:03:16	185.3	52	9.2
2D	30.sep.95	12:07:34	201.8	52	16.8
2E	30.sep.95	12:11:19	244.6	56	17.2
2F	30.sep.95	12:14:08	274.4	56	7.8
2G	30.sep.95	12:18:32	281.6	60	8.3
3A	30.sep.95	12:21:09	362.6	55	9.5
3B	30.sep.95	12:25:31	445.9	54	3.7
3C	30.sep.95	12:30:07	539.5	48	6.5
3D	30.sep.95	12:34:24	499.8	50	8.8
3E	30.sep.95	12:46:49	487.4	54	19
4A	30.sep.95	15:06:06	70.21	28	2.9
4B	30.sep.95	15:12:40	70.8	40	3.1
4C	30.sep.95	15:15:48	72.66	38	4.3
4D	30.sep.95	15:19:09	65.6	35	1
4E	30.sep.95	15:22:55	62.67	36	1.8
5A	30.sep.95	16:03:12	54.39	54	0.72
5B	30.sep.95	16:06:54	38.93	30	1.11
6A	01.okt.95	15:39:12	125.4	96	0.14
6B	01.okt.95	15:43:43	58.07	60	0.1
7A	01.okt.95	17:23:42	15.89	36	0.79
7B	01.okt.95	17:27:06	0.226	29	1.03
7C	01.okt.95	17:31:22	0.05348	34	1.64
8A	02.okt.95	16:56:41	3.527	48	0.35
8B	02.okt.95	17:00:04	0.8653	52	0.74
8C	02.okt.95	17:03:07	0.6214	56	0.21
8D	02.okt.95	17:05:43	0.4538	60	0.73
8E	02.okt.95	17:08:31	0.2965	44	0.75
8F	02.okt.95	17:12:34	0.2133	47	0.49
8G	02.okt.95	17:15:42	0.1752	49	1.32
8H	02.okt.95	17:21:01	0.02482	58	1.17
9A	03.okt.95	16:37:58	2.274	42	0.05
9B	03.okt.95	16:40:40	1.414	41	0.12
10A	03.okt.95	16:54:34	0.4978	93	0.46
10B	03.okt.95	16:58:05	0.2388	84	0.68
10C	03.okt.95	17:05:04	0.1123	66	0.8
10D	03.okt.95	17:10:31	0.07877	75	1.04
10E	03.okt.95	17:13:37	0.02835	67	0.62
10F	03.okt.95	17:19:54	0.03444	67	0.49
11A	03.okt.95	17:38:12	0.02367	40	0.13
11B	03.okt.95	17:48:50	0.07251	43	0.2

Det var betydelig variasjon i tilbakespredningsekkenergien fra stimer av omtrent samme størrelse. Gjennomsnittlig biomasse pr. enhet areal og volum varierte fra 0.4 kg/m<sup>2</sup> til 90.6 kg/m<sup>2</sup>, og fra 0.04 kg/m<sup>3</sup> til 3.9 kg/m<sup>3</sup>. Stimareal, volum, tetthet og biomasse varierte i gjennomsnitt med en faktor på henholdsvis 1.90, 2.49, 3.11 og 3.46.

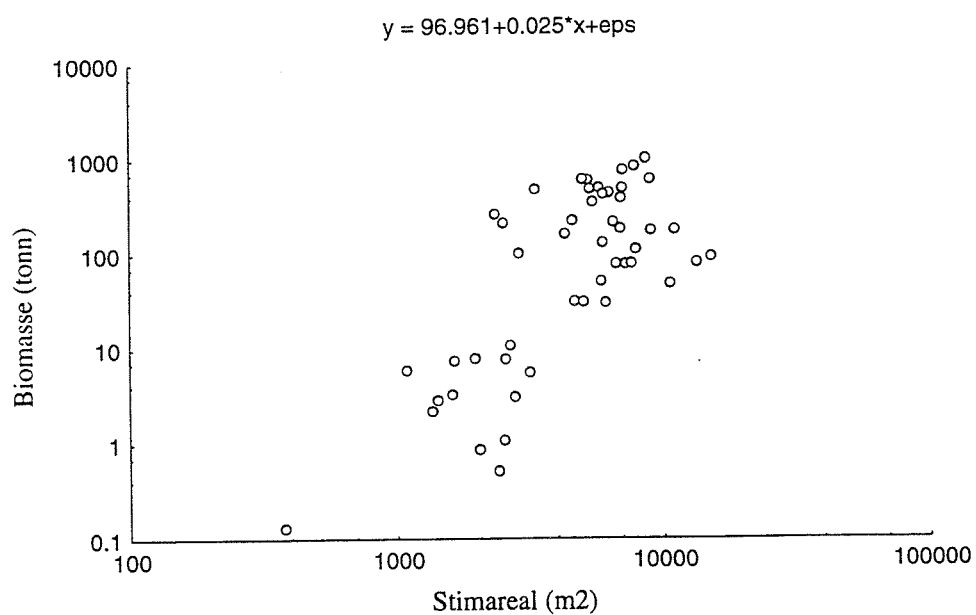
Tetthet var signifikant korrelert ( $p < 0.001$ ,  $N = 58$ ) med biomasse i stimene (Figur 2). Tilsvarende var stimareal positivt korrelert både med stimvolum ( $p < 0.001$ ,  $N = 58$ ) og biomasse ( $p < 0.05$ ,  $N = 58$ ) (Figur 3 og 4). Stimtetthet viste derimot ingen signifikant korrelasjon verken med stimareal eller volum.



Figur 2. Relasjon mellom sildas biomasse (tonn) og fisketetthet (N/m<sup>3</sup>). Både x- og y-aksen er logtransformert [Relation between biomass (metric tons) of herring and school density (N/m<sup>3</sup>). Both x- and y-axis are log transformed].



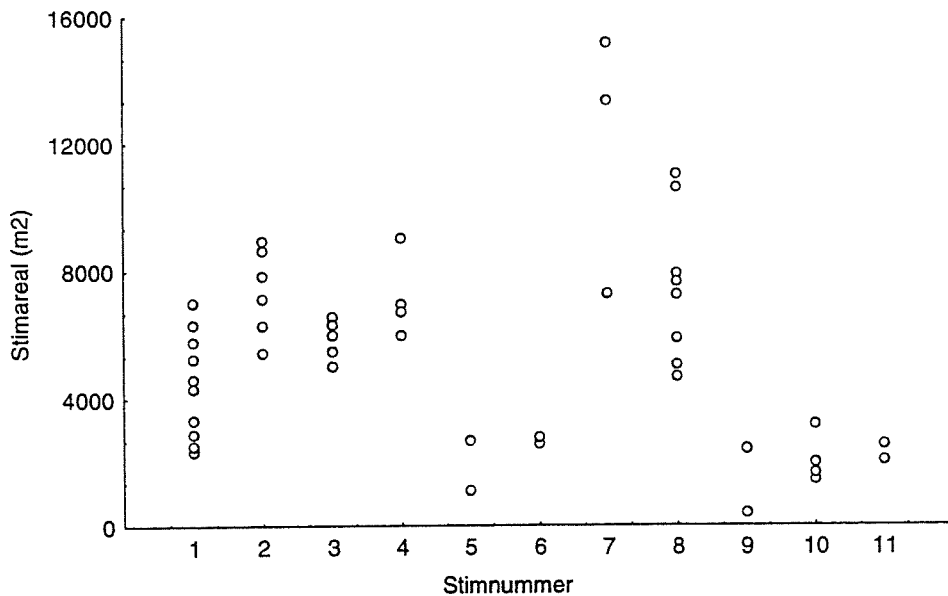
Figur 3. Relasjon mellom stimareal (m<sup>2</sup>) og stimvolum (m<sup>3</sup>). Både x- og y-aksen er logtransformert [Relation between school area (m<sup>2</sup>) and school volume (m<sup>3</sup>). Both x- and y-axis are log transformed].



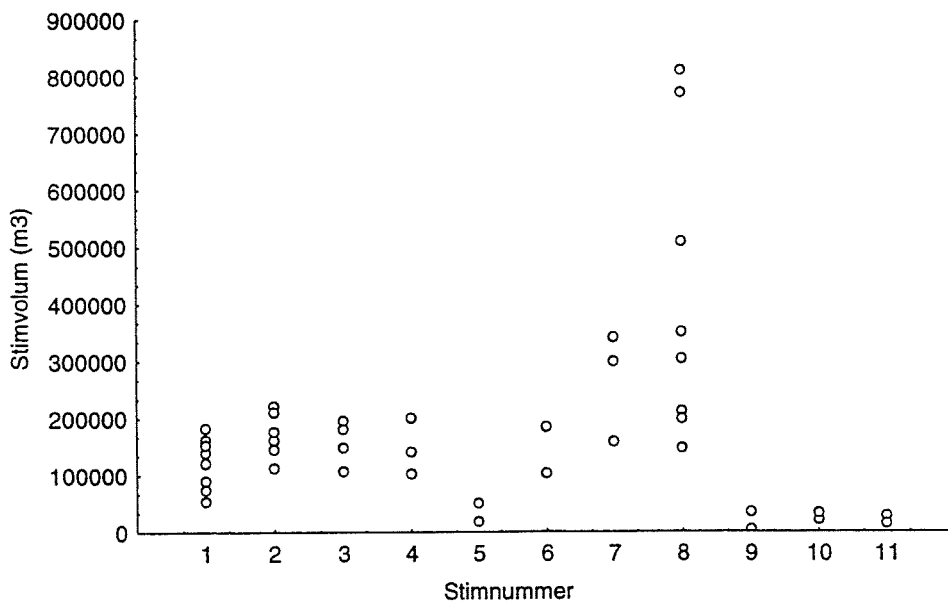
Figur 4. Relasjon mellom stimareal (m<sup>2</sup>) og biomasse (tonn). Både x- og y-aksen er logtransformert [Relation between school area (m<sup>2</sup>) and biomass (metric tons)].



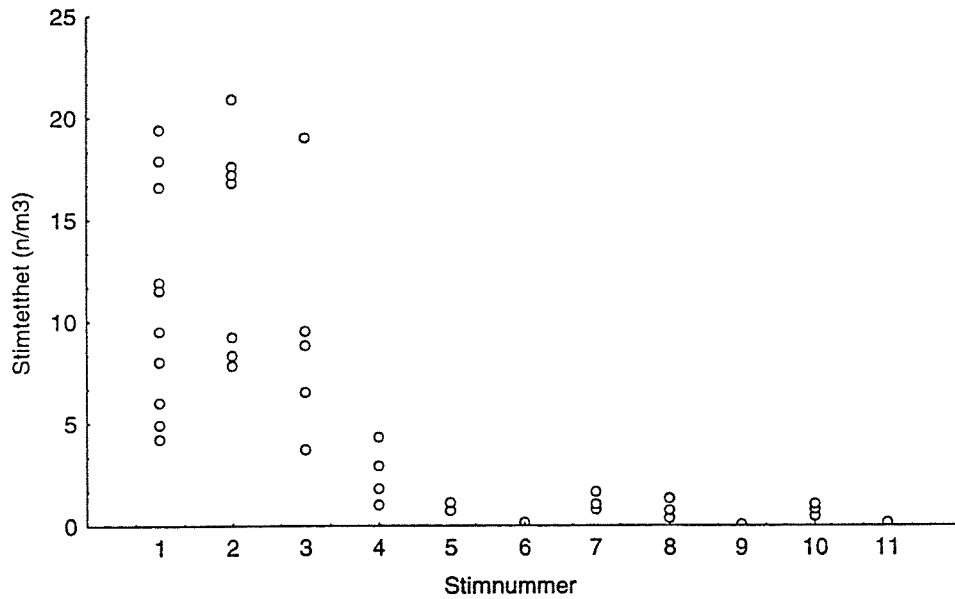
Resultatene fra gjentatte målinger av samme stim er illustrert i Figurene 5-8 og viser variasjonsbredden for henholdsvis areal, volum, tetthet og biomasse. Variasjonskoeffisienten angitt som standardavvik dividert på gjennomsnittet er vist i Tabell 1. Stimtettheten varierte i gjennomsnitt mest ved gjentatte målinger av samme stim, mens stimarealet var mest konstant når flere målinger ble utført på samme stimen.



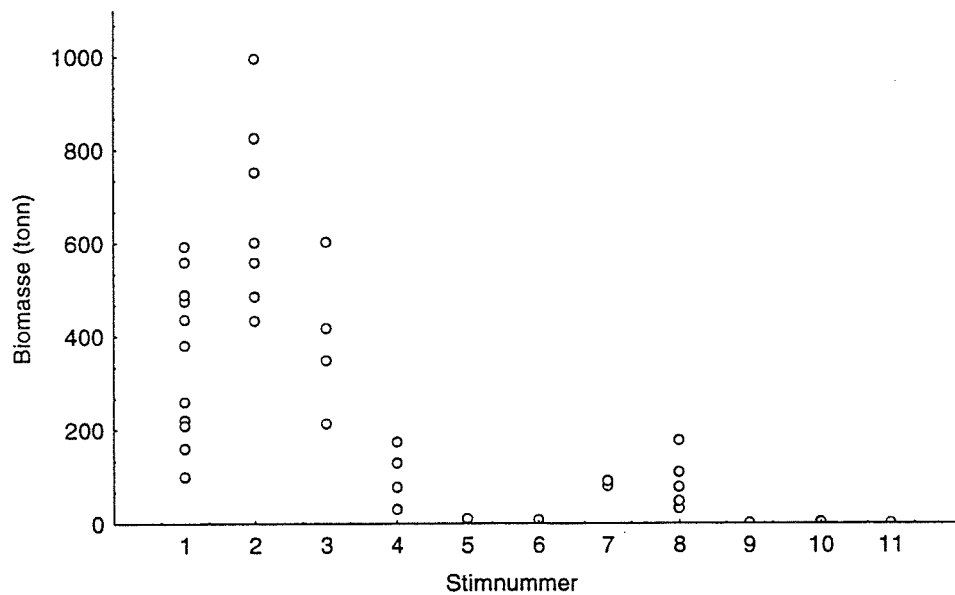
Figur 5. Variasjon i areal ( $m^2$ ) for sildestimer med gjentatte målinger [Variation in school area ( $m^2$ ) of herring schools with repeated measurements].



Figur 6. Variasjon i volum ( $m^3$ ) for sildestimer med gjentatte målinger [Variation in volume ( $m^3$ ) of herring schools with repeated measurements].



Figur 7. Variasjon i tetthet ( $N/m^3$ ) for sildestimer med gjentatte målinger [Variation in density ( $N/m^3$ ) of herring schools with repeated measurements].



Figur 8. Variasjon i biomasse (tonn) for sildestimer med gjentatte målinger [Variation in biomass (metric tons) of herring schools with repeated measurements].

## DISKUSJON

Våre sammenligninger av dimensjoner og biomasse av stimer er basert på sonarmålinger hvor avstanden mellom fartøy og stim er kun mellom 100 og 300 m, og kortere rekkevidde fører til økt nøyaktighet i målinger med sonar (Misund 1990). Rolige vindforhold under de akustiske registreringene ga i tillegg gode stimdata.

Forholdet mellom dimensjon og biomasse hos de registrerte stimene var ikke i samsvar med Pitcher og Partridge (1979), som konkluderte med at tettheten av fisk i en stim er omtrent lik en fisk dividert på kroppslengden opphøyd i tredje. For sild på 33.24 cm tilsvarer dette 27.2 sild/m<sup>3</sup>. Dette representerer en høyere tetthet enn selv de tetteste vandrende stimene i vår feltundersøkelse (14 sild/m<sup>3</sup>). De registrerte stimene hadde mellom 2 og 100 ganger lavere tetthet enn målinger utført i laboratoriet, sannsynligvis på grunn av sildas begrensede romlige bevegelsesfrihet, med høyere pakkingstetthet som resultat. Misund (1993) fant at den gjennomsnittlige pakkingstettheten var omlag 10 ganger lavere enn lengdetetthetsforholdet foreslått av Pitcher & Partridge (1979), og dette stemmer godt overens med våre målinger. Det er verd å legge merke til at tetthetsmålingene i vår undersøkelse er basert på gjennomsnittsverdier for hele stimen. Variabel tetthet innad i en stim er vanlig (Misund 1993, Misund & Floen 1993). Tettheten i deler av en stim kan dermed være like høy som tettheten i en stim målt i et laboratorie. Individuer i en sildestim opprettholder vanligvis en minste avstand til nærmeste nabofisk, og foretrekker en viss avstand og retning til naboene (Partridge m.fl. 1980). Sesongmessige endringer i stimatferden kan opptre (Koltes 1984), og vandrende sildestimer fulgt i lengre perioder (0.5-1 time) ved et gyteområde, hadde høyere tetthet enn beitende og mer saktsevømmende stimer (Nøttestad m.fl. 1996). Forholdet mellom dimensjon og biomasse i en stim vil således være av dynamisk karakter. Utvidet kunnskap om sildas atferd under ulike forhold vil bidra til å øke presisjonen i målingene.

Det gjennomsnittlige stimareal for de ulike stimene viste høy korrelasjon til både volum og biomasse. Resultatene antyder at det fins klare sammenhenger mellom stimareal målt med sonar og stimenes biomasse. Dette forsterker tidligere antakelser (Misund m.fl. 1992), om at sonarmålinger av geometriske dimensjoner kan brukes til å estimere mengde av stimfisk. Sonar

kan på bakgrunn av disse undersøkelsene anvendes som et uavhengig mål til mengdeestimering i tilfeller hvor ekkolodd ikke er anvendbart, og som et nyttig supplement under vanlige ekkosurvey.

Variasjonene mellom gjentatte målinger av enkeltstimer viste at stimarealet varierte minst sammenlignet med stimvolum og tetthet. Gjentatte sonarregistreringer av stimarealet viste at når en stim ble målt fra forskjellige vinkler og retninger, varierte arealet i gjennomsnitt med en faktor på 1.9. Resultatet viser at det er såpass stor variasjon mellom målingene at det ideelt sett bør utføres minimum to uavhengige sonarregistreringer av hver stim, for å redusere usikkerheten i målingene. Stimvolumet varierte med en faktor på 2.43. Stimens vertikale utstrekning vil kunne variere kraftig mellom hver måling avhengig av sildas atferd overfor fartøyet, stimens plassering i vannsøylen, og hvor nøyaktig fartøyet treffer stimens midtpunkt. Følgelig vil gjentatte målinger med ekkolodd kunne øke presisjonen ved utregning av stimvolum. Videre indikerte de gjennomsnittlige variasjonene i tetthet at det foreligger betydelige tetthetsforskjeller (faktor=3.11) mellom gjentatte målinger av enkeltstimer. Integratorverdiene som danner grunnlaget for tetthetsmålingene vil være følsomme for i hvilken del av stimen strålen treffer, på grunn av at det vanligvis vil være store tetthetsforskjeller mellom ulike områder i en stim (Misund 1993, Misund & Floen 1993).

Sildas preferanse til de dypere deler av vannmassene i innvandringsfasen til overvintringsområdene, tyder på at silda foretrakk atlanterhavsvann, med lave temperaturer og høy salt- holdighet. Denne perioden kan bli sett på som en trening i predatorunnvikelse og energikonservering, da silda opphører å ta til seg føde (Huse m.fl. 1994). Strømmålingene viste gjennomgående lave verdier, og kan indikere at silda i innvandringsfasen til overvintringsområdene velger områder med lave strømhastigheter. Dette vil også kunne redusere sildas energiforbruk gjennom redusert svømmeaktivitet.

Store flak av sild ble fulgt kontinuerlig i skumringsperioden for å studere vertikalvandring relatert til lys. Lysintensiteten var her signifikant korrolert med stimdypet. Silda svømte i ett tilfelle fra 150 m til 30 m dyp i løpet av 10 minutter, hvor lysintensiteten ble redusert fra 15.89 til 0.05  $\mu\text{E}$ . Denne utstrakte vertikalvandringen mot overflaten var mest sannsynlig

indusert av lyset, siden silda ikke lenger er i en aktiv beitefase i den øvre pelagialen. Den kompakte stimstrukturen forandret seg samtidig til løsere og mer utstrakt slør, hvor tettheten ble kraftig redusert. Stimregistreringene ble utført under svært forskjellige lysforhold, og dette resulterte i store forskjeller i stimenes tetthet og biomasse. Konvertering av areal og volum til biomasse vil sannsynligvis være sterkt avhengig av lysforholdene som indirekte vil påvirke stimenes tetthet under innvandringsfasen til overvintringsområdene. Lysmålinger knyttet til sonarregistreringer kan sannsynligvis bidra til øke presisjonen ved konvertering av geometriske dimensjoner til biomasse.

## TAKK

En stor takk til Bjørn Totland for verdifull teknisk assistanse og Jon Gerhard Aasen for glimrende manøvrering og godt samarbeid ombord på F/F "Fjordfangst". Takk til prosjektleder Ole Arve Misund for nyttige innspill under skriveperioden, og Reidun Sørensen og Elen Hals for bearbeiding av rapporten.

## REFERANSER

Aglen, A. 1989. Reliability of acoustic fish abundance estimates. Ph.D. thesis. University of Bergen, Norway. 105 pp.

Dommasnes, A., Rey, F., and Røttingen, I. 1994. Reduced oxygen concentrations in herring wintering areas. *ICES J. mar. Sci.*, 51: 63-69.

Ehrenberg, J.E. 1980. Echo counting and echointegration with a sector scanning sonar. *Journal of Sound and Vibration*, 73: 321-332.

Foote, K.G. 1978. Analysis of empirical observations on the scattering of sound by encaged aggregations of fish. *Fiskeridirektoratets Skrifter Serie Havundersøkelser*, 16: 423-456.

Foote, K.G. 1987. Fish target strengths for use in echo integrator surveys. *Journal of the Acoustical Society of America*, 73: 1932-1940.

Foote, K.G., and Røttingen, I. 1995. Acoustic assessment of Norwegian spring spawning herring in the wintering area, December 1994 and January 1995. ICES C.M. 1995/H:9. Pelagic Fish Committee.

Gerlotto, F., and Freon, P. 1988. Influence of the structure and behaviour of fish schools on acoustic assessment. ICES CM 1988/B:40.

Huse, I., Foote, K., Ona, E., and Røttingen, I. 1994. Angular distribution of overwintering Norwegian spring spawning herring. ICES CM 1994/B:19. Fish Capture Committee.

Koltes, K.H. 1984. Temporal patterns in three-dimensional structure and activity of the Atlantic silverside *Menidia menidia*. *Marine Biology*, 78: 113-122.

Misund, O.A. 1990. Dynamics of moving masses. Variability in packing density and shape among pelagic fish schools. ICES CM 1990/B:40.

Misund, O.A. 1993. Dynamics of moving masses: variability in packing density, shape and size among herring, sprat and saithe schools. *ICES J. mar. Sci.*, 50: 145-160.

Misund, O.A., Aglen, A., Beltestad, A.K., and Dalen, J. 1991. Relationships between the geometric dimensions and biomass of schools. *ICES J. mar. Sci.*, 49: 305-315.

Misund, O.A., and Floen, S. 1993. Packing density structure of herring schools. *ICES mar. Sci. Symp.*, 196: 26-29.

Mitson, R.B. 1983. Fisheries sonar (incorporating underwater observations using sonar by D. G. Tucker). Fishing News Books, Farmham, Surrey.

Nøttestad, L., Aksland, M., Beltestad, A.K., Fernø, A., Johannessen, A., and Misund, O.A. 1996. Schooling dynamics of Norwegian spring spawning herring (*Clupea harengus* L.) in a coastal spawning area. *Sarsia*, 80(4): 243-327.

Olsen, K. 1990. Fish behaviour and acoustic sampling. *Rapports et Proc'es-Verbaux des Reunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 189: 147-158.

Partridge, B.L. 1981. Internal dynamics and interrelations of fish in schools. *Journal of Comparative Physiology*, 135: 315-325.

Partridge, B.L., Pitcher, T.J., Cullen, J.M., and Wilson, I. 1980. The three-dimensional structure of fish schools. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 6(4): 277-288.

Pitcher, T.J. 1986. Functions of shoaling behaviour in teleosts. *In* The behaviour of teleost fishes, pp. 294-337. Ed by. T.J. Pitcher. Croom Helm, London and Sydney.

Pitcher, T.J., and Partridge, B.L. 1979 Fish school density and volume. *Marine Biology*, 54: 383-394.

Røttingen, I. 1976. On the relation between echo intensity and fish density. *Fiskeridirektoratets Skrifter Serie Havundersøkelser*, 16: 301-314.

Røttingen, I. 1992. Recent migration routes of Norwegian spring spawning herring. ICES CM 1992/H:18, Pelagic Fish Committee.

Shaw, E. 1978. Schooling fishes. *American Science*, 66: 166-175.