Z E S Z Y T Y N A U K O W E
W Y Ż S Z E J S Z K O Ł Y M O R S K I E J
W S Z C Z E C I N I E

Nr 35 1989

Andrzej Markiewicz

POMIAR PRĘDKOŚCI PŁYWANIA RYB ZA POMOCĄ ECHOSONDY

A MEASUREMENT OF FISH SWIMMING SPEED BY MEANS OF AN ECHO SOUNDER

Wstęp

Informacje o prędkościach poruszania się ryb interesują nie tylko badaczy, lecz także załogi statków rybackich. Znajomość prędkości obiektu połowu ma zasadniczy wpływ na organizację procesu połowowego statku rybackiego,a przede wszystkim na konstrukcję i łowność narzędzia połowu.Prędkość trałowania musi być odpowiednio dostosowana do prędkości poławianych ryb. Obecnie tylko niektóre statki przemysłowe mają możliwość pomiaru prędkości poruszania się ryb za pomocą specjalnych sonarów, wykorzystujących efekt Dopplera. Prawie wszystkie statki rybackie /ponad 95 % w polskiej flocie/ są pozbawione tej możliwości.W większości przypadków informacje te są uzyskiwane z różnych publikacji naukowych, których autorzy dokonywali pomiarów prędkości pływania ryb specjalnymi metodami, niedostępnymi na statku rybackim lub korzystali z danych innych badaczy /Litwinowicz, Opuszyński, Świniarski i in./.

Dotychczasowe wyniki badań pozwoliły wyróżnić dwa zasadnicze rodzaje prędkości pływania ryb: u ż y t e c z n ą i m a k s y m a l n ą. Opuszyński /1983/ podaje, że: "...prędkość użyteczną ryby rozwijają - zależnie od wytrzymałości gatunkowej - przez różny, ale zawsze ograniczony okres, po czym następuje zmęczenie, które zmusza je do odpoczynku. Prędkość maksymalna, określana również mianem zrywu, jest wynikiem jednorazowego wysiłku, wywołanego przestrachem, skokiem za zdobyczą lub próbą pokonania przeszkody" [x]. Dokonując analizy wyników badań różnych autorów okazało się, że podawane prędkości poruszania się ryb nie są jednakowe nawet w obrębie jednego gatunku. Niektórzy badacze podają tabele lub wzory obliczeniowe dla prędkości użytecznych, inni tylko prędkości maksymalne. Rozbieżności poszczególnych wyników wynoszą od kilku do 100 procent, co jest głównie powodowane zróżnicowaniem metod pomiarowych, przyjęciem różnej długości ryb /danego gatunku/ itp. Z analizy współcześnie dostępnych publikacji wynika, że obecnie nie są stosowane /ani opracowane/ metody, umożliwiające pomiar prędkości poruszania się ryb w czasie prowadzenia połowów /z wyjątkiem wspomnianych wyżej, nielicznych sonarów doplerowskich/.

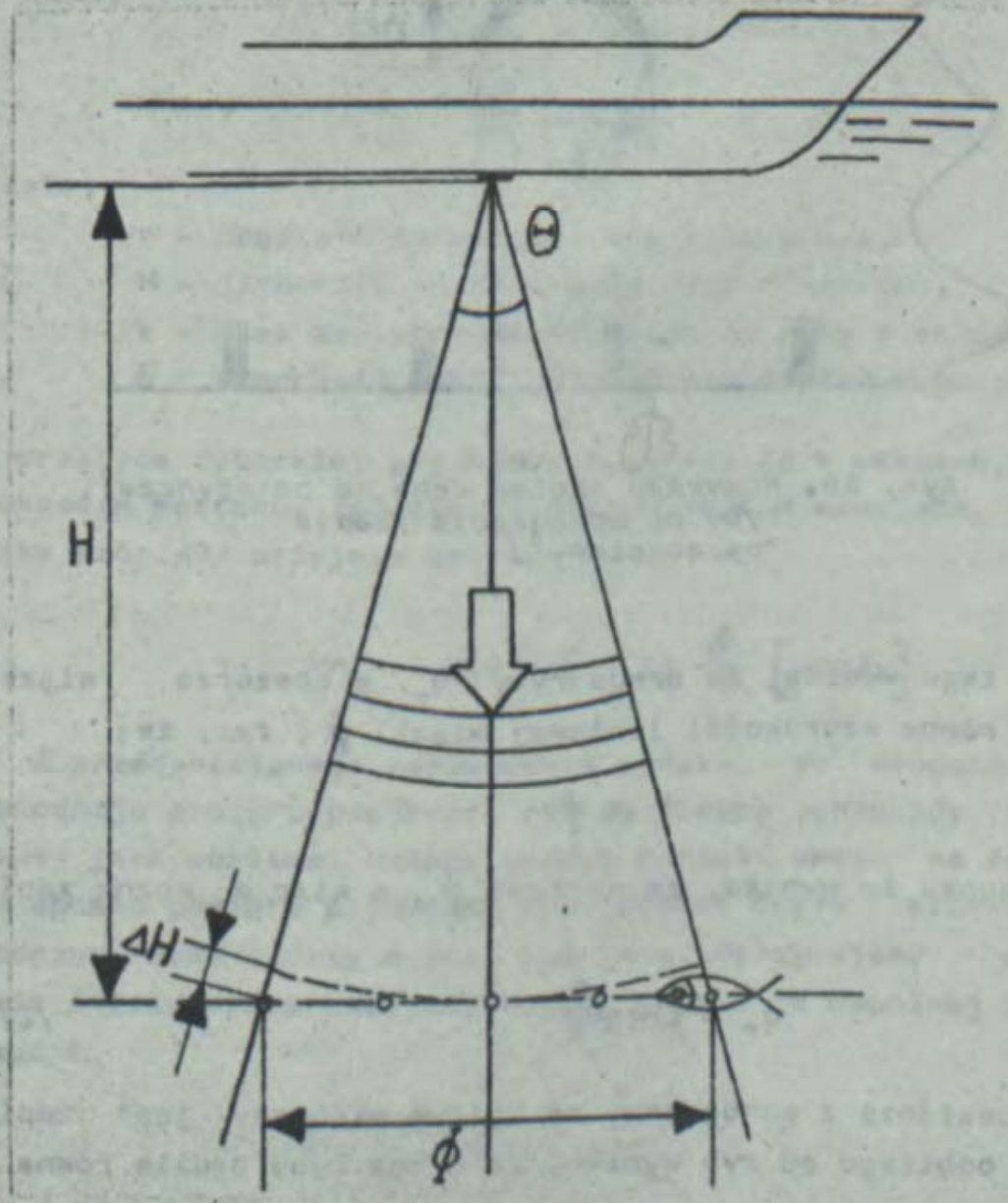
Celem tej pracy jest przedstawienie nowej metody pomiaru prędkości pływania pojedynczych ryb za pomocą echosondy pionowej, który może być dokonany na łowisku, na przeciętnie wyposażonym statku rybackim.

1. Metoda

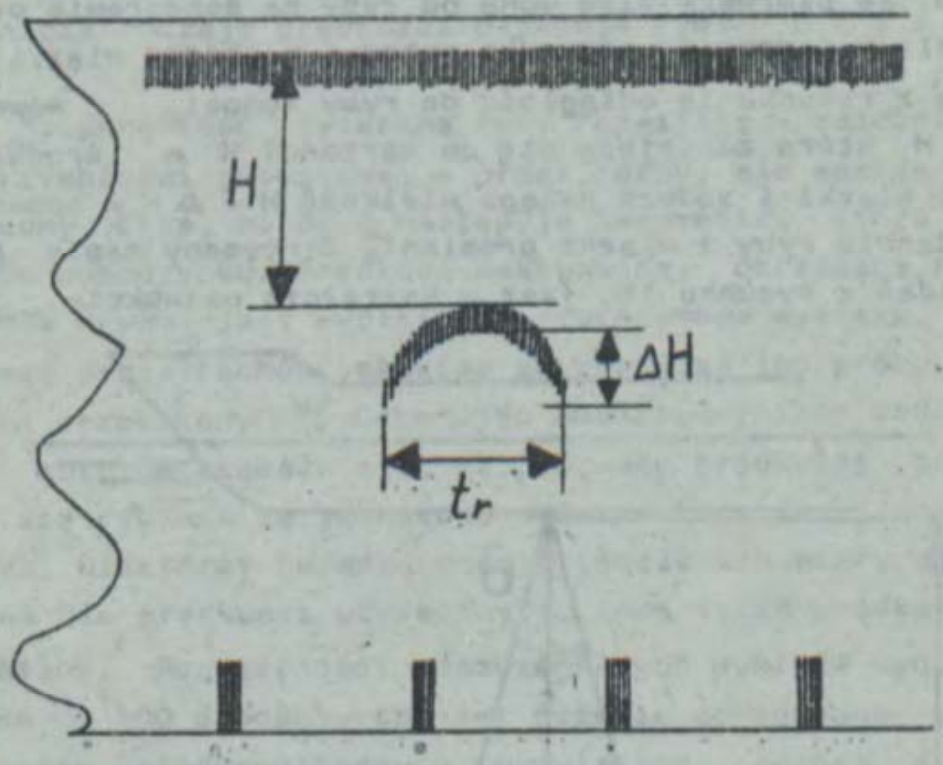
Pomiaru prędkości poruszania się ryb można dokonać za pomocą echosondy pionowej w czasie postoju statku w dryfie lub w czasie ruchu statku z określoną i możliwie dokładnie znaną prędkością. W obu przypadkach wykorzystuje

[x] K. Opuszyński. Podstawy biologii ryb. Warszawa 1983.

się zapisy ech pojedynczych ryb /tzw. paznokciowe/ na echogramach. Zapis tego typu powstaje jak wiadomo w ten sposób, że pierwszy ślad echa od ryby na echogramie otrzymuje się w momencie, gdy ryba wchodzi w obszar wiązki. Jak wynika z rysunku 1a odległość do ryby wynosi wówczas H + Δ H, która zmniejsza się do wartości H w środkowej części wiązki i zawsze osiąga wielkość H + Δ H w momencie wychodzenia ryby z wiązki promieni. Otrzymany zapis ech, jak widać z rysunku 1b, jest w kształcie paznokcia.



Rys. 1a. Schemat powstawania zapisu echa pojedynczej ryby



Rys. 1b. Przykład zapisu echa od pojedynczej ryby na echogramie /zapis "paznokciowy"/

Z tego wynika, że droga ryby /d_r/ w obszarze wiązki jest równa szerokości liniowej wiązki Φ, tzn. że:

$$d_r = \Phi$$

Z rysunku 1a wynika, że wartość Φ, a więc d_r można zapisać

$$d_r = 2H\mathrm{tg}\frac{\theta}{2} \qquad /1/$$

Równocześnie z echogramu, na którym widoczny jest zapis echa odbitego od ryb wynika, że droga ryby będzie równa

$$d_r = V_r \cdot t \qquad /2/$$

gdzie:

Vr - prędkość poruszania się ryby,

t - czas przebywania ryby w obszarze wiązki.

Przyrównując zatem prawe strony równania /1/ i /2/ otrzymamy

$$Vr \cdot t = 2H \cdot tg \frac{\theta}{2}$$

a więc:

$$Vr = \frac{2H}{t} \cdot tg \frac{\theta}{2} \qquad /3/$$

gdzie:

Vr - prędkość poruszania się ryby w m/s,

H - głębokość występowania ryby w metrach,

t - czas zapisu echa odbitego od ryby w sekundach,

θ - szerokość wiązki wzdłuż osi statku w stopniach.

W praktyce rybackiej prędkości wyrażane są w węzłach, głębokość w metrach, zaś czas mierzony jest w minutach. Wówczas wzór /3/ przyjmie postać

$$Vr = 0{,}065 \cdot \frac{H}{t} \cdot tg \frac{\theta}{2} \left[\text{węzły}\right] \qquad /4/$$

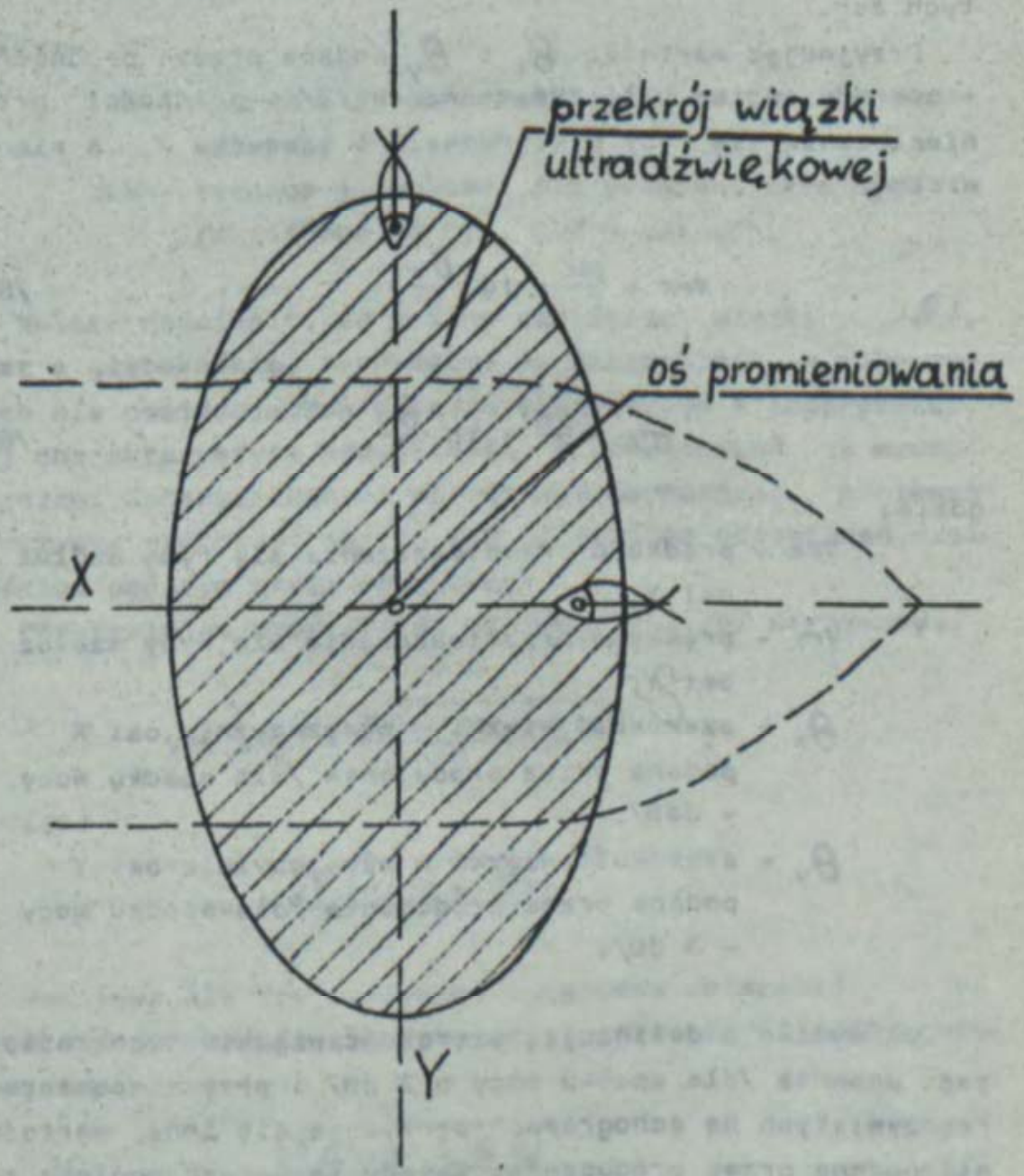
Z przedstawionego rozumowania wynika, że proponowana koncepcja pomiaru prędkości ryb za pomocą echosondy pionowej jest możliwa. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że sposób pomiaru prędkości ryb podczas dryfu statku i podczas ruchu będzie musiał być inny. Otrzymujemy więc dwie metody pomiarowe, wynikające jednak ze wspólnej koncepcji.

1.1. Metoda 1 - pomiar prędkości poruszania się ryb podczas postoju statku /w dryfie/

Podstawowym założeniem jest to, że statek w dryfie nie porusza się po wodzie, czyli $V_s = 0$. Założenie to powoduje, że nie we wszystkich warunkach meteorologicznych jest możliwe dokonanie pomiarów prędkości poruszania się ryb. Proponowana metoda będzie więc możliwa do zastosowania jedynie przy bezwietrznej pogodzie. Należy również pamiętać, aby w czasie zapisu echa na echografie, nie zmieniać poziomu wzmocnienia układu odbiorczego, ani mocy nadajnika, czy czasu trwania impulsu sondującego.

Większość echosond rybackich pracuje z przetwornikami, posiadającymi powierzchnię promieniowania prostokątną, wobec tego przekrój poprzeczny wiązki ultradźwiękowej będzie eliptyczny. Wiadomo poza tym, że przetworniki echosond są montowane w dnie kadłuba statku dłuższym bokiem, równolegle do osi symetrii statku. Wobec tego dłuższa oś elipsy /przekroju poprzecznego wiązki/ będzie skierowana prostopadle do symetralnej statku /rys. 2/. W przypadku, gdy echosondą ma przetwornik o powierzchni promieniującej w kształcie kwadratu lub koła, to oczywiście przekrój poprzeczny wiązki będzie kołowy.

Ryby przepływające pod statkiem mogą poruszać się w różnych kierunkach w stosunku do wiązki. Z rysunku 2 wynika, że droga ryby wzdłuż osi X jest krótsza /w obszarze wiązki/ niż ryby wzdłuż osi Y. Ryby poruszające się skośnie do osi X i Y można wyeliminować, ponieważ uzyskany zapis ech będzie niesymetryczny. Wynika stąd, że w celu dokonania pomiarów uwzględniamy jedynie echa symetryczne, /jak na rys. 1b/ pochodzące od ryb przemieszczających się wzdłuż osi X lub Y. Należy jednak zwrócić uwagę, że również otrzymamy echa symetryczne od ryb przemieszczających się równolegle do symetralnej statku, a nie przechodzących przez oś promieniowania.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny przez wiązkę ultradźwiękową

Znane są jednak metody umożliwiające eliminację również tych ech.

Przyjmując wartości θ_x i θ_y podane przez producenta echosondy, można obliczyć ze wzoru /3/ prędkości przemieszczania się ryby w kierunku X i kierunku Y, a mianowicie:

$$V_{rx} = \frac{2H}{t} \cdot tg \frac{\theta_x}{2} \qquad /5/$$

$$V_{ry} = \frac{2H}{t} \cdot tg \frac{\theta_y}{2} \qquad /6/$$

gdzie:

V_{rx} - prędkość przemieszczania się ryby wzdłuż osi X,

V_{ry} - prędkość przemieszczania się ryby wzdłuż osi Y,

θ_x - szerokość wiązki w płaszczyźnie osi X podana przez producenta /dla spadku mocy - 3dB/,

θ_y - szerokość wiązki w płaszczyźnie osi Y podana przez producenta /dla spadku mocy - 3 dB/.

Jak wynika z definicji, szerokość wiązki określana jest umownie /dla spadku mocy o 3 dB/ i przy pomiarach rzeczywistych na echogramach otrzymuje się inne wartości niż podane przez producenta. Zmiany te są szczególnie zauważalne przy wzroście głębokości występowania ryb, których prędkość przemieszczania się jest mierzona. Dokonując na echogramie pomiarów H i ΔH /dla danego zapisu "paznokciowego" ryby/ można łatwo obliczyć e f e k t y w n ą s z e r o k o ś ć w i ą z k i θ_{ef} na podstawie zależności:

$$tg\,\frac{\theta_{ef}}{2} = \frac{\Phi_{ef}/2}{H} = \frac{\sqrt{\Delta H/2H + \Delta H/}}{H} \qquad /7/$$

gdzie:

H - mierzona na echogramie głębokość występowania ryby w metrach,

ΔH - różnica głębokości dla promieni skrajnych /określona wg rys. 1b/ w metrach.

Należy nadmienić, że zmiany szerokości wiązki $/\theta/$, wraz z głębokością, zauważalne są szczególnie w echosondach nie posiadających układów odbiorczych o logarytmicznej charakterystyce wzmocnienia. W echosondach ze wzmacniaczami logarytmicznymi sprawa się upraszcza, ponieważ efektywna szerokość wiązki $/\theta_{ef}/$ powinna odpowiadać wielkościom podanym przez producenta.

Podstawiając wzór /7/ do wzorów /5/ i /6/ otrzymamy:

$$Vrx = \frac{2H}{t} \cdot \frac{\sqrt{\Delta H/2H + \Delta H/}}{H}$$

a więc:

$$Vrx = \frac{2\sqrt{\Delta H/2H + \Delta H/}}{t}$$

Ponieważ dla Vry otrzymamy taką samą zależność, to prędkość poruszania się ryby można przedstawić jednym wzorem, a mianowicie:

$$Vr = \frac{2\sqrt{\Delta H/2H + \Delta H/}}{t} \qquad /8/$$

Dokonując pomiarów zapisów "paznokciowych" /wg wzoru 8/ dla jednakowej głębokości, możemy otrzymać różne wyniki prędkości Vr. Biorąc pod uwagę wartości ekstremalne, czyli największe i najmniejsze /Vr/ można przyjąć, że będą

one odpowiadały prędkościom pływania ryb wzdłuż osi X /Vr_{min}/ oraz wzdłuż osi Y /Vr_{max}/. Uśredniając te wartości można otrzymać prędkość przemieszczania się ryby zbliżoną do rzeczywistej.

Porównując wyniki pomiarów prędkości ruchu ryb tą metodą z wynikami uzyskanymi przez innych badaczy /Čestnoj, Andrejev, Blaxter/ można zauważyć, że są one podobne, a niejednokrotnie identyczne. Na przykład dla błękitka o długości 30 cm wg Andrejeva prędkość ta będzie wynosiła 1,55 m/s, natomiast pomiary dokonane powyższą metodą pozwoliły obliczyć prędkości poruszania się błękitków /różnych długości/ w granicach 1,35 - 2,58 m/s.

1.2. Metoda 2 - pomiar prędkości poruszania się ryb podczas ruchu statku

Podobnie jak w metodzie poprzedniej, konieczne jest ustalanie warunków pomiaru. Przede wszystkim należy założyć, że prędkość statku względem wody jest zgodna ze wskazaniami logu, a więc jest znana. Zakładamy również, że do pomiarów wykorzystujemy jedynie echa symetryczne, tzn. że "rogi" zapisu paznokciowego są jednakowej długości. W koncepcji tej metody wykorzystano przejście ryby przez wiązkę promieniowaną przez przetwornik echosondy, a równolegle do kierunku ruchu statku. Wpływ kierunku przemieszczania się ryby na pomiar jej prędkości wymaga oddzielnej analizy, którą przedstawiono w dalszej części.

Z pomiarów ech pojedynczych ryb wynika, że długość echa od ryby /d_e/ jest mniejsza od efektywnej szerokości liniowej wiązki Φ_{ef}, w wyniku czego obliczona długość ryby byłaby ujemna. Efekt ten występuje u różnych autorów zajmujących się pomiarami małych skupisk ryb. Ponieważ droga ryby w obrębie wiązki m u s i być równa Φ_{ef}, nieza-

leżnie od tego czy ryba porusza się czy nie, a długość echa ryby d_e jest mniejsza od Φ_{ef}, wobec tego oznacza to, że przebyła ona drogę Φ_{ef} w krótszym czasie, czyli musi poruszać się z jakąś prędkością w kierunku przeciwnym lub zbliżonym do przeciwnego do ruchu statku. Z tego wynika również, że długość echa na echogramie /d_e/ od pojedynczej ryby jest równa drodze przebytej /d_r/ przez tę rybę w obszarze wiązki.

Można więc napisać, że:

$$d_r = \Phi_{ef} \qquad /9/$$

Z rysunku 1a wynika, że:

$$\left(\frac{\Phi_{ef}}{2}\right)^2 + H^2 = /H + \Delta H/^2,$$

a więc efektywna szerokość liniowa wiązki na głębokości H wynosi

$$\Phi_{ef} = 2\sqrt{\Delta H/2H + \Delta H/} \qquad /10/$$

Prędkość przemieszczania się ryby w obszarze działania wiązki możemy więc określić następująco

$$Vr_w = \frac{d_r}{t} \qquad /11/$$

Korzystając z zależności $d_r = \Phi_{ef}$ oraz ze wzoru /10/ można napisać, że:

$$Vr_w = \frac{\Phi_{ef}}{t}$$

czyli:

$$Vr_w \left[m/s\right] = \frac{2\sqrt{\Delta H/2H + \Delta H/}}{t} \qquad /12/$$

gdzie:

H - głębokość występowania ryby w metrach,

Δ H - różnica głębokości między osią promieniowania a promieniem skrajnym w metrach,

t - czas przejścia ryby przez wiązkę w sekundach.

W przypadku liczenia prędkości przemieszczania się ryby w węzłach, wzór /12/ przybierze postać:

$$Vr_w = \frac{2\sqrt{\Delta H/2H + \Delta H/}}{30,87 \cdot t} \qquad /13/$$

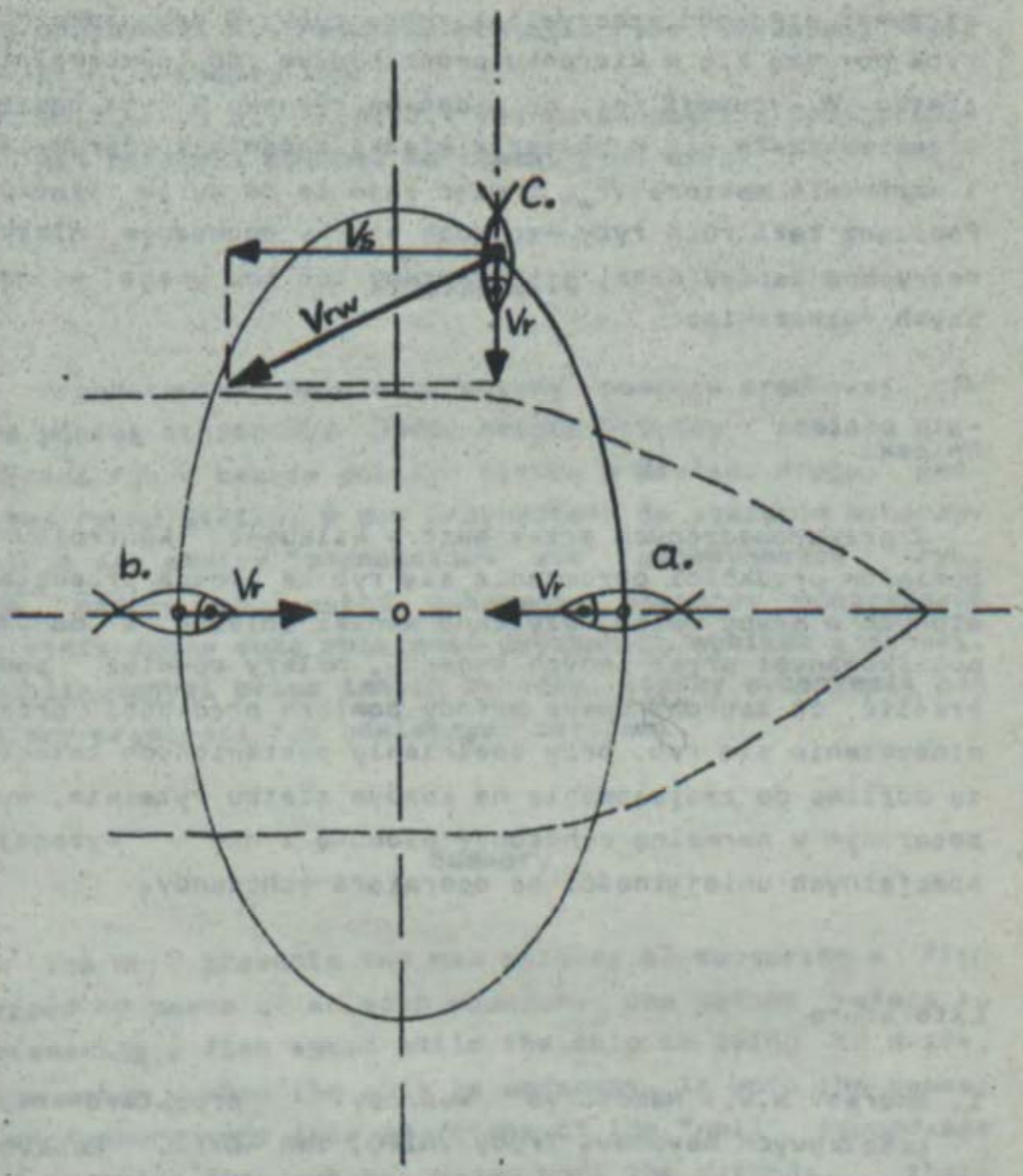
gdzie:

H i Δ H - w metrach,

t - w minutach.

Z przeprowadzonego rozumowania wynika, że prędkość ryby obliczona wg wzoru /12/ lub /13/ jest prędkością względem statku, a więc prędkością wypadkową /Vr_w/. W celu obliczenia rzeczywistej prędkości ruchu ryby /względem wody/ należy uwzględnić oba ruchy: statku i ryby. Na rysunku 3 mamy przedstawione różne /skrajne/ przypadki przemieszczania się ryby.

W przypadku ryby "a", przechodzącej przez wiązkę wzdłuż symetralnej statku, a w kierunku przeciwnym do jego ruchu, obliczona z echogramu prędkość wypadkowa przepływu ryby powstała w wyniku dodania się prędkości przemieszczania się ryby z prędkością ruchu statku. Wystarczy wobec tego, od obliczonej prędkości poruszania się ryby, odjąć /znaną/ prędkość ruchu statku /w czasie pomiaru/, aby otrzymać prędkość rzeczywistą przemieszczania się ryby Vr. W przypadku "b" ryba porusza się w kierunku zgodnym z kierunkiem ruchu statku, a więc od prędkości ruchu statku nale-



Rys. 3. Przejście ryby przez wiązkę w czasie ruchu statku

ży odjąć obliczoną prędkość poruszania się ryby Vr_w, aby otrzymać prędkość rzeczywistą ruchu ryby. W przypadku "c" ryba porusza się w kierunku prostopadłym do symetralnej statku. W sytuacji tej, co widać na rysunku 3, ryba będzie przemieszczała się w obszarze wiązki zgodnie z kierunkiem i wartością wektora Vr_w, a więc skośnie do kursu statku. Ponieważ taki ruch ryby względem statku spowoduje niesymetryczne zapisy echa, nie bierzemy ich pod uwagę w naszych rozważaniach.

Wnioski

Z przeprowadzonych przez autora kilkuset kontrolnych pomiarów prędkości poruszania się ryb za pomocą przedstawionych w pracy metod, uzyskano wyniki zbieżne z danymi publikowanymi przez innych badaczy. Należy również podkreślić, że zaproponowane metody pomiaru prędkości przemieszczania się ryb, przy spełnieniu postawionych założeń, są możliwe do zastosowania na każdym statku rybackim, wyposażonym w normalną echosondę pionową i nie wymagają specjalnych umiejętności od operatora echosondy.

Literatura

1. Andreev N.V.: Nekotorye voprosy proektirovanija koseĭkovych nevodov. Trudy VNIPO, tom XLVII, Moskva, 1962.
2. Blaxter J.H.S.: Swimming speeds of fish. FAO Conf.Fish Behaviour. Do. R-3, Bergen, 1967.
3. Čestnoj V.N.: Maksimaĭnye skorosti dviženija ryb. Ryb. Choz., 1961, nr 9.
4. Litwinowicz H.: Reakcja ryb na narzędzia włokowe. Szczecin, WSM, 1983.

5. Opuszyński K.: Podstawy biologii ryb. Warszawa, Wyd. Roln. i Leśne, 1983.
6. Świniarski J., Krępa J.: Teoria łowności i projektowanie narzędzi połowu. Warszawa, PWN, 1975.

Streszczenie

Przedstawiono dwie nowe metody pomiaru prędkości ryb za pomocą echosondy. Jedna metoda dotyczy pomiaru prędkości ryb w czasie postoju statku w dryfie, druga, podczas ruchu statku. W obu przypadkach do pomiarów wykorzystuje się zapisy "paznokciowe" ech pojedynczych ryb. Za pomocą obu metod dokonano pomiarów kontrolnych i stwierdzono dużą zbieżność uzyskanych wyników z danymi, publikowanymi przez innych badaczy, którzy wykonywali pomiary prędkości ryb odmiennymi metodami.

Summary

The work presents two new methods of measuring a fish speed by means of an echo sounder. One method refers to measuring a fish speed while the ship is lying in drift, the other - when the ship is underway. In both the cases, the measurements take advantage of the "nail" recordings of singular fish echoes. Using both the methods, there have been taken control measurements and there has been found out a high correlation between the results obtained and the data published by other researchers who measured a fish speed using different methods.

Recenzent
prof.dr hab. Józef Świniarski

Otrzymano
01.07.1987 r.