

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta**

Podvodní akustika a echolot Simrad EK80

Diplomová práce

Michaela Loudová

Školitel: Ing. Ladislav Ptáček, Ph.D.

České Budějovice 2025

Loudová, M., 2025: Podvodní akustika a echolot Simrad EK80 [Underwater acoustics and echo sounder Simrad EK80. Mgr. Thesis, in Czech.] – 81 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech republic.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá podvodní akustikou, sonary a echolotem Simrad EK80. První část práce popisuje fyzikální vlastnosti zvuku a principy šíření zvuku ve vodě. Druhá část se zabývá sonary a echoloty, popisem funkce těchto přístrojů a možnostmi jejich využití. Tato část také obsahuje podkapitulu zabývající se podrobně echolotem Simrad EK80. Následuje rešerše a porovnání komerčně dostupných sonarů a echolotů. V poslední kapitole jsou navrženy možnosti zařazení tématu podvodní akustiky a sonarů do výuky na středních školách.

Annotation

This thesis deals with underwater acoustics, sonars and the Simrad EK80 echo sounder. The first part of the thesis describes the physical properties of sound and the principles of sound propagation in water. The second part deals with sonars and echo sounders, describing the function of these instruments and their possible applications. This part also contains a subsection dealing in detail with the Simrad EK80 echo sounder. This is followed by research and comparison of commercially available sonars and echo sounders. In the last chapter, the possibilities of including the topic of underwater acoustics and sonars in the teaching of high schools are suggested.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracovala pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích, dne 12. dubna 2025

.....

Michaela Loudová

Poděkování

Děkuji svému školiteli Ing. Ladislavu Ptáčkovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce, za cenné rady a čas poskytnutý při konzultacích. Dále děkuji panu RNDr. Michalu Tušerovi, Ph.D. za konzultaci a poskytnutí materiálů pro zpracování kapitoli o Sonaru EK80 v praxi.

Obsah

Úvod.....	1
1. Fyzikální vlastnosti zvuku	2
2. Akustická impedance	7
3. Princip šíření zvukových vln v kapalinách.....	8
3.1 Matematický popis.....	8
4. Specifika šíření zvuku v závislosti na vlastnostech prostředí.....	14
4.1 Závislost rychlosti šíření zvuku na hloubce, salinitě a teplotě	14
4.2 Závislost rychlosti šíření zvuku na teplotě, salinitě a tlaku	15
5. Sonary a echoloty.....	19
5.1 Historie	19
5.2 Rozdíly mezi sonarem a echolotem	23
5.2.1 Sonary	23
5.2.2 Princip funkce sonaru	23
5.2.3 Echoloty	24
5.2.4 Princip funkce echolotu	24
5.3 Typy sonarů a echolotů	26
5.3.1 Aktivní a pasivní systémy	26
5.3.2 Typy aktivních sonarů.....	26
5.3.2.2 Scanning sonar	27
5.3.3 Druhy paprsků	28
5.3.3.3 Tri beam.....	30
5.3.3.5 Side-Scan	32
5.4 Používané frekvence	33
5.5 Beamforming, akustická lokace zdroje.....	35
5.6 Odlišnosti a specifika dle prostředí.....	38
5.7 Echolot EK80	39
5.7.1 Systémový diagram.....	40
5.7.2 Funkce systému ADCP	40
5.7.3 Hlavní jednotky systému.....	41
5.7.4 Další volitelné položky	50
5.7.5 Obecná bezpečnostní pravidla.....	52
5.7.6 Požadavky pro instalaci	53
5.7.7 Zabezpečení sítě	54

5.7.8	Instalace systému EK80	55
5.7.9	Nářadí, vybavení a spotřební materiál potřebný pro instalaci.....	56
5.7.10	Požadavky na sonarovou místnost.....	56
5.8	Sonar EK80 v praxi.....	59
5.9	Komerčně dostupné přístroje echolot	66
6	Podvodní akustika a sonary ve výuce na SŠ.....	73
6.7	Možnosti zařazení tématu do výuky na SŠ	73
6.8	Návrh zadání SOČ	74
	Závěr	75
	Zdroje	79

Úvod

Podvodní akustika je důležitou oblastí vědeckého výzkumu. Má široké uplatnění v průmyslu a ve vojenství. Motivací pro mojí práci byla obecně malá dostupnost česky psané literatury, která by se věnovala podvodní akustice. Jako studentku aprobace matematika fyzika mne zajímala fyzikální podstata šíření zvuku ve vodě včetně jejího matematického popisu.

První část práce se věnuje popisu šíření zvuku pod vodou. Jsou zde popsány fyzikální vlastnosti zvuku a specifika jeho šíření v závislosti na vlastnostech prostředí, jako jsou teplota, tlak a salinita vody.

Druhá část práce se zabývá sonary a echoloty. Tato zařízení, využívající ultrazvukové vlny pro detekci objektů pod vodou a mapování podvodního prostředí, hrají důležitou roli v navigaci, geofyzikálním průzkumu, rybolovu, oceánografii, ochraně životního prostředí či obranných aplikacích. V této části práce je také podrobně popsán echolot EK80.

Protože jsem studentkou učitelství, práce se dále zabývá možnostmi začlenění tématu do výuky na středních školách z hlediska obsahového i metodického. Je zde navrženo několik výukových aktivit a také zadání pro Středoškolskou odbornou činnost (SOČ).

1. Fyzikální vlastnosti zvuku

Zvukové vlny jsou mechanické podélné vlny šířící se pružným látkovým prostředím [42]. Částice kmitají kolem svých rovnovážných poloh ve směru šíření vlny. Přitom vznikají v prostředí místa s naředěním, resp. nahloučením částic.

Látkové prostředí si lze zjednodušeně představit jako řetězec závaží spojených pružinami [16]. Závaží představují molekuly a pružiny představují síly, kterými na sebe tyto molekuly navzájem působí. Molekuly mají tendenci držet pohromadě, ale odděleně od sebe. Pokusíme-li se je odtrhnout, vznikne tím odpor, stejně jako pokud je budeme tlačit k sobě.

V našem řetězci závaží se může šířit rušivý signál dvěma způsoby – příčně a podélně. Příčná vlna by vznikla, pokud bychom některé závaží vychýlili ve směru kolmém k řetězci. Jakmile posuneme závaží mimo osu, pružiny ze sousedních závaží na něj budou působit silou, která ho přitáhne zpátky. Podélná vlna vznikne tak, že závaží vychýlíme ve směru osy řetězce. Pružiny budou opět působit silou, která se snaží vrátit závaží do původní pozice. Jsou-li tedy molekuly látkového prostředí tlačeny k sobě nebo taženy od sebe, vždy na ně působí síla, která klade tomuto pohybu odpor. Tato síla se projeví jako tlak, což je jeden ze základních parametrů akustické vlny.

Frekvence

Frekvence je fyzikální veličina udávající počet kmitů za jednu sekundu (případně jinou časovou jednotku) [43]. Značíme ji f , její jednotkou je Hertz (značíme Hz). Kmitne-li zvuková vlna například 10x za sekundu, má zvuk frekvenci 10 Hz. Frekvence není pouze akustická veličina, lze ji použít pro jakýkoliv periodicky se opakující jev.

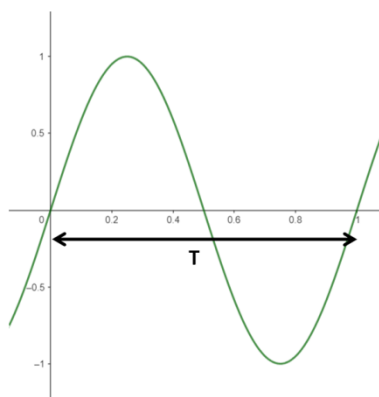
Perioda

Perioda je veličina udávající dobu trvání celého jednoho kmitu [43]. Značíme ji T , její základní jednotkou je sekunda (značíme s). Lze ji vypočítat jako převrácenou hodnotu frekvence, platí tedy následující vztah:

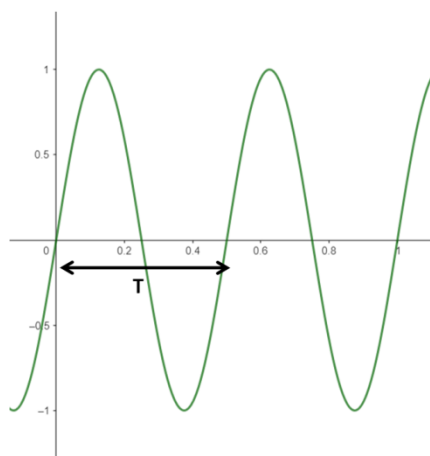
$$T = \frac{1}{f}$$

Čím větší je frekvence zvuku, tím kratší je jeho perioda.

Na obrázcích níže vidíme dva příklady zvukových vln. Obě tyto vlny mají stejnou amplitudu a šíří se stejnou rychlostí. Vidíme, že první vlna má dvakrát větší vlnovou délku – má tedy dvakrát menší frekvenci, a naopak dvakrát delší periodu.



obr. 1: zvuková vlna s vlnovou délkou λ .



obr. 2: zvuková vlna s vlnovou délkou $\lambda/2$.

Úhlová frekvence

Úhlová frekvence je skalární fyzikální veličina, pomocí které popisujeme periodické děje [40]. Značíme ji obvykle ω . Úhlovou frekvenci definujeme vztahem:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Jednotkou úhlové frekvence je s^{-1} . Vykoná-li kmitající objekt 1 kmit za 1 sekundu, je jeho úhlová frekvence $\omega = 1 \text{ s}^{-1}$.

Rychlost šíření

Jakou rychlostí se zvuková vlna šíří záleží na druhu látkového prostředí a na okamžitých podmínkách, tedy například na teplotě a tlaku [2]. Rychlost šíření zvuku značíme c , její základní jednotkou je m/s.

Akustická rychlost

Akustická rychlost je rychlostí kmitání částic kolem jejich rovnovážných poloh [2]. Značíme ji písmenem v , základní jednotkou je m/s. Pro její okamžitou hodnotu platí vztah:

$$v(t) = v_{max} \cdot \cos(2\pi ft)$$

v_{max} ... maximální hodnota okamžité rychlosti.

Kmitající bod má maximální rychlost při průchodu svou rovnovážnou polohou, při maximální výchylce má naopak rychlost nulovou.

Efektivní akustická rychlost

Pro některé výpočty není potřeba znát okamžité hodnoty akustické rychlosti [2]. Má-li zvuková vlna harmonický průběh, můžeme tyto hodnoty nahradit efektivní hodnotou. Efektivní akustickou rychlost značíme v_{ef} a platí pro ni vztah:

$$v_{ef} = \frac{v_{max}}{\sqrt{2}}$$

Vlnová délka

Vlnová délka je fyzikální veličina vyjadřující vzdálenost nejbližších dvou bodů vlny, které jsou ve stejné fázi [43]. Značíme ji λ , její základní jednotkou je metr [40]. Vlnovou délku lze vypočítat podle vztahu:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Akustická výchylka

Akustická výchylka znamená vychýlení objemového elementu prostředí z rovnovážné polohy při vlnění [2]. Značíme ji písmenem a . Konají-li částice prostředí harmonický kmitavý pohyb, platí pro akustickou výchylku následující vztah:

$$a(t) = a_{max} \cdot \sin(2\pi ft)$$

a_{max} ... maximální hodnota akustické výchylky (amplituda)

Akustický tlak

Když částice v důsledku šíření zvukové vlny kmitají, vyvolávají v místě své polohy malé tlakové změny, které nazýváme akustickým tlakem [2]. Akustický tlak značíme p , jeho jednotkou je Pascal (Pa). Celkový tlak v daném místě je dán součtem tlaku klidového a tlaku akustického. Akustický tlak a akustická rychlost jsou ve fázi. Pro maximální hodnotu akustického tlaku platí vztah:

$$p_{max} = \rho \cdot c \cdot v_{max}$$

ρ ... hustota prostředí

Efektivní akustický tlak

Má-li zvuková vlna harmonický průběh, můžeme okamžité hodnoty akustického tlaku nahradit efektivní hodnotou podobně, jako je tomu v případě akustické rychlosti [2]. Efektivní akustický tlak značíme p_{ef} a platí pro něj vztah:

$$p_{ef} = \frac{p_{max}}{\sqrt{2}}$$

Akustický výkon

Předpokládejme, že rovinná zvuková vlna dopadá na plochu S [3]. Směr šíření zvuku svírá s touto plochou úhel α . Akustický výkon je určen množstvím akustické energie za jednotku času a je definován vztahem:

$$P = \frac{dE}{dt}$$

Jednotkou akustického výkonu je Watt (W).

Vztahujeme-li akustický výkon na jednotku plochy, jedná se o tzv. měrný akustický výkon. Ten značíme N . Pro měrný akustický výkon platí vztah:

$$N = \frac{P}{S \cdot \cos \alpha}$$

Jednotkou měrného akustického výkonu je Watt na metr čtvereční (W/m^2).

Intenzita

Ze zdroje zvuku o daném akustickém výkonu P se prostředím do okolí šíří zvuková energie [2]. Intenzita zvuku je veličina udávající, jaká energie zvukového vlnění projde za dobu 1 s plochou 1 m^2 orientovanou kolmo na směr šíření zvukové vlny. Pro intenzitu zvuku platí vztah:

$$I = \frac{P}{S}$$

Jednotkou intenzity zvuku je Watt na metr čtvereční (W/m^2). Lidské ucho dokáže registrovat zvuky o intenzitě v rozmezí od 10^{-12} W/m^2 do 10 W/m^2 .

Hladina intenzity

Hladina intenzity zvuku (L) je fyzikální veličina určená dekadickým logaritmem poměru intenzity zvuku I k určité intenzitě I_0 [2]. Platí tedy vztah:

$$L = \log \frac{I}{I_0}$$

Jednotkou hladiny intenzity zvuku je Bell (B). Lidské ucho dokáže registrovat zvuky o hladině intenzity v rozmezí od 0 B do 130 dB.

2. Akustická impedance

Akustická impedance, nebo také akustický odpor, je fyzikální veličina popisující akustické vlastnosti daného prostředí [1]. Značíme ji písmenem Z . Lze ji vypočítat jako poměr efektivní hodnoty akustického tlaku p_{ef} a efektivní hodnoty akustické rychlosti v_{ef} . Platí tedy následující vztah:

$$Z = \frac{p_{ef}}{v_{ef}}$$

Jednotkou akustické impedance je $\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$.

Narazí-li zvuková vlna na rozhraní dvou prostředí o různých akustických impedancích, může dojít buď k jejímu lomu, nebo k odrazu. Tyto jevy budou podrobněji popsány v kapitole 3.

3. Princip šíření zvukových vln v kapalinách

3.1 Matematický popis

Šíření zvuku v kapalinách

Rychlost, jakou se šíří zvuk v čistých kapalinách, je závislá na hustotě a tlaku prostředí [41]. Platí pro ni následující vztah:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

K ...adiabatický modul objemové pružnosti $[K] = \text{Pa}$

ρ ...hustota kapaliny $[\rho] = \text{kg/m}^3$

Pro adiabatický modul objemové pružnosti dále platí:

$$K = \frac{1}{\beta_{ad}} = \frac{\kappa}{\beta_{iz}}$$

β_{ad} ... adiabatická stlačitelnost $[\beta_{ad}] = \text{Pa}^{-1}$

β_{iz} ...izotermická stlačitelnost $[\beta_{iz}] = \text{Pa}^{-1}$

κ ... Poissonova konstanta

Rychlost šíření zvuku v kapalinách se mění také v závislosti na teplotě. Pro změnu rychlosti šíření při změně teploty platí vztah:

$$c = c_0 + b(t - t_0)$$

c_0 ... rychlost šíření zvuku při počáteční teplotě $[c_0] = \text{m/s}$

b ... teplotní součinitel $[b] = \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Šíření zvuku ve vodě

Rychlost šíření zvukových vln ve vodě závisí na vlnové délce a frekvenci vlnění podobně, jako je tomu u vln elektromagnetických [16]. Není konstantní, mění se v závislosti na teplotě, tlaku a slanosti vody. Platí tedy následující vztah:

$$f\lambda = c(T, p, S)$$

T ... teplota $[T] = ^\circ\text{C}$

p ... tlak $[p] = \text{Pa}$

S ... salinita $[S] = \%$

Rychlost šíření je poměrně složitou funkcí. Vliv teploty, tlaku a salinity popisují následující pravidla:

- 1) Zvýšení teploty o 1°C znamená zvýšení rychlosti šíření o 3 m/s .
- 2) Tlak závisí na hloubce pod hladinou vody, přičemž nárůst hloubky o 100 m znamená zvýšení rychlosti o $1,7\text{ m/s}$.
- 3) Zvýšení salinity o $0,1\%$ znamená zvýšení rychlosti o $1,3\text{ m/s}$.

Odlišnosti od šíření zvuku v plynech

Rychlost šíření zvuku v plynech udává Laplaceův vzorec [24]:

$$c = \sqrt{\kappa \frac{p}{\rho}}$$

κ ... Poissonova konstanta

p ... tlak plynu $[p] = \text{Pa}$

ρ ... hustota plynu $[\rho] = \text{kg/m}^3$

Při nízkém tlaku plynu dále platí vztah:

$$c = c_0 \left(1 + \frac{1}{2} \gamma t \right)$$

c_0 ... rychlost šíření zvuku v plynu za normálních podmínek (tj. $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$,

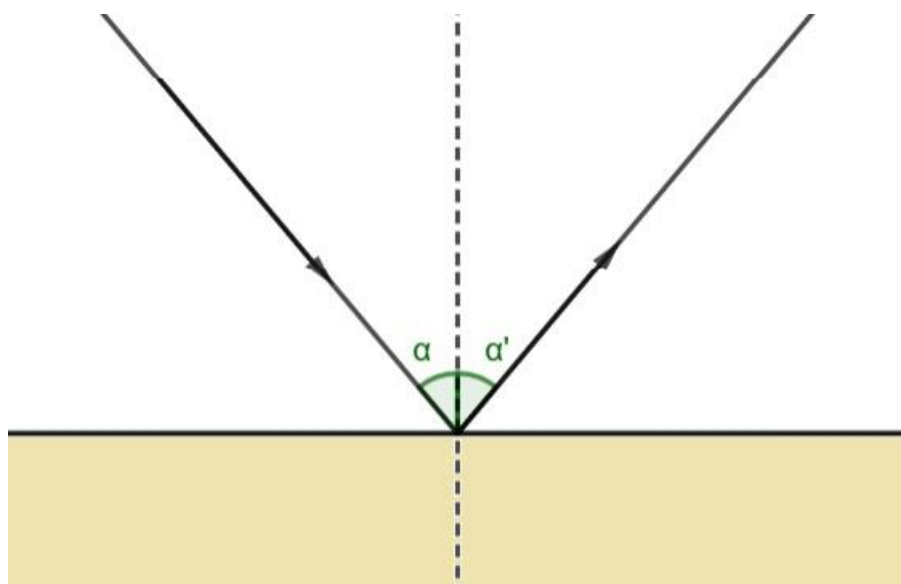
$t_0 = 0^\circ\text{C}$)

γ ... teplotní koeficient objemové roztažnosti plynu

t ... teplota plynu $[t] = ^\circ\text{C}$

Odraz ultrazvukového vlnění

Ultrazvukové vlnění se odráží na odrazových plochách, které jsou větší než je vlnová délka vlnění [13]. Odražnou plochou nazýváme rozhraní materiálů o různých akustických impedancích. Úhel odrazu α' vlnění je stejný jako úhel dopadu α .



Obr. 3: Odraz ultrazvukové vlny (obrázek vlastní)

Dopadne-li ultrazvuková vlna na rozhraní dvou prostředí s různou akustickou impedancí, částečně se odrazí a částečně je absorbována druhým prostředím, přičemž dopadající a odražená vlna se liší hodnotou akustického tlaku. Pro odraz akustického vlnění platí následující vztah:

$$\frac{p_d}{p_o} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

p_d ... akustický tlak dopadající vlny

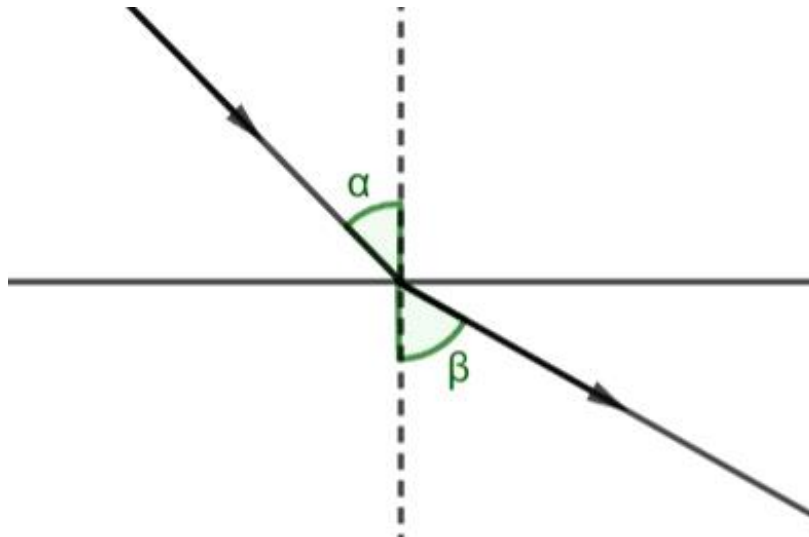
p_o ... akustický tlak odražené vlny

Z_1 ... akustická impedance prvního prostředí

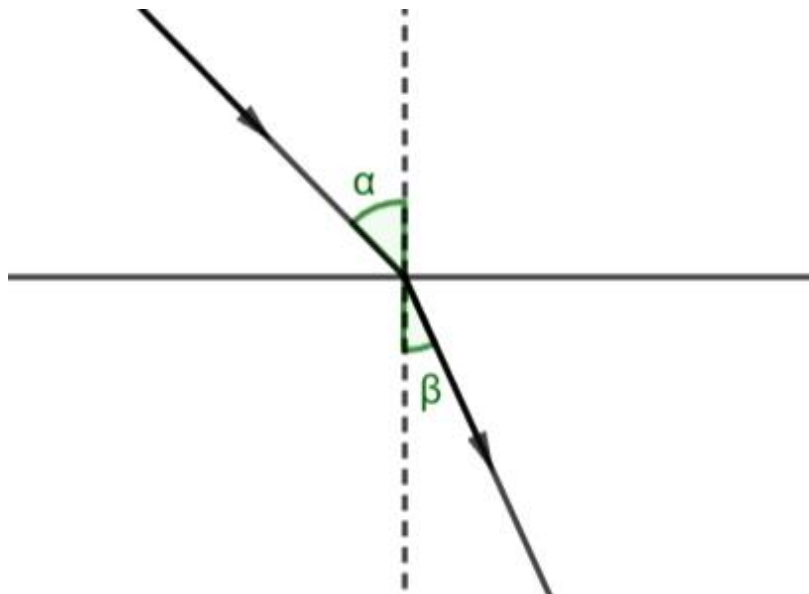
Z_2 ... akustická impedance druhého prostředí

Lom ultrazvukového vlnění

Prochází-li akustická vlna rozhraním dvou prostředí s různou rychlostí vedení ultrazvuku, dochází k jejímu lomu [13]. Prochází-li vlna z prostředí akusticky hustšího (tzn. s větší akustickou impedancí) do akusticky řidšího, láme se od kolmice. V opačném případě se láme ke kolmici.



Obr. 4: Lom od kolmice (obrázek vlastní)



Obr. 5: Lom ke kolmici (obrázek vlastní)

Pro lom ultrazvukové vlny platí Snellův zákon:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

α ... úhel dopadu

β ... úhel lomu

v_1 ... rychlost šíření ultrazvuku v prvním prostředí

v_2 ... rychlost šíření ultrazvuku ve druhém prostředí

Dopadá-li ultrazvuková vlna z akusticky řidšího prostředí na rozhraní s akusticky hustším prostředím, může dojít k jejímu úplnému odrazu. Aby se tak stalo, musí úhel dopadu být větší, než mezní úhel α_m , při kterém se vlna láme pod úhlem 90° . Pro mezní úhel platí vztah:

$$\sin \alpha_m = \frac{v_1}{v_2}$$

Absorpce ultrazvukové vlny

Prochází-li ultrazvuková vlna ztrátovým prostředím, část její energie se přeměňuje na teplo [13]. To nazýváme absorpcí. Absorpce vlnění se zvyšuje s rostoucí frekvencí, tedy opačně, než je tomu u vlnění elektromagnetického. Absorpcí akustické vlny popisuje vztah:

$$p(x) = p_0 \cdot e^{-afx}$$

$p(x)$... akustický tlak ve vzdálenosti x

p_0 ... akustický tlak u zdroje vlnění

a ... absorpční konstanta

f ... frekvence vlnění

Útlum ultrazvukového vlnění

Když ultrazvuková vlna prochází prostředím, dochází k útlumu její intenzity absorpcí a rozptylem [13]. Klesá amplituda vlny podél její dráhy. Změnu intenzity vlnění popisuje následující rovnice:

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-2\alpha x}$$

$I(x)$... intenzita vlnění ve vzdálenosti x

I_0 ... počáteční intenzita vlnění

$2x$... tloušťka vrstvy prostředí (od zdroje k rozhraní prostředí a zpět)

α ... lineární koeficient útlumu

Dopplerův jev

Pohybuje-li se zdroj nebo přijímač ultrazvukových vln, případně oba současně, pozorujeme změnu přijímané frekvence vzhledem ke konstantní frekvenci vysílače [41].

Pokud se přijímač pohybuje směrem ke zdroji vlnění, který je v klidu, dopadne do přijímače za časovou jednotku více kmitů než v klidu. Přijímaná frekvence je vyšší než

frekvence vysílaná. Pokud se zdroj od přijímače vzdaluje, je naopak přijímaná frekvence nižší.

Působí-li všechny rychlosti, tedy rychlost šíření zvuku c , rychlost pohybu zdroje u a rychlost pohybu přijímače v , je přijímaná frekvence dána následujícím vztahem:

$$f_p = \frac{c - v}{c - u} f$$

4. Specifika šíření zvuku v závislosti na vlastnostech prostředí

4.1 Závislost rychlosti šíření zvuku na hloubce, salinitě a teplotě

Rychlost šíření zvuku ve vodě závisí na třech hlavních faktorech – hloubce (resp. hydrostatickém tlaku), salinitě a teplotě [38]. Pro určení rychlosti zvuku ve vodě existuje několik rovnic. Některé často používané rovnice jsou popsány níže.

Mackenzieho rovnice [38]

$$\begin{aligned}c(D, S, T) = & 1448,96 + 4,591 \cdot T - 5,304 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 + 2,374 \cdot 10^{-4} \cdot T^3 \\ & + 1,340 \cdot (S - 35) + 1,63 \cdot 10^{-2} \cdot D + 1,675 \cdot 10^{-7} \cdot D^2 \\ & - 1,025 \cdot 10^{-2} \cdot T \cdot (S - 35) - 7,139 \cdot 10^{-13} \cdot T \cdot D^3\end{aligned}$$

T ... teplota $[T] = ^\circ\text{C}$

S ... salinita $[S] = \text{‰}$

D ... hloubka $[D] = \text{m}$

Mackenzieho rovnice je platná pro teploty v rozmezí od 2 do 30 °C, salinitu v rozmezí 25 až 40 ‰ a hloubku v rozmezí 0 až 8000 m.

Coppensova rovnice [38]

$$\begin{aligned}c(D, S, t) = & c(0, S, t) + (16,23 + 0,253 \cdot t) \cdot D + (0,213 - 0,1 \cdot t) \cdot D^2 \\ & + [0,016 + 0,0002 \cdot (S - 35)] \cdot (S - 35) \cdot t \cdot D\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c(0, S, t) = & 1449,05 + 45,7 \cdot t - 5,21 \cdot t^2 + 0,23 \cdot t^3 \\ & + (1,333 - 0,126 \cdot t + 0,009 \cdot t^2) \cdot (S - 35)\end{aligned}$$

$$t = T/10$$

T ... teplota $[T] = ^\circ\text{C}$

S ... salinita $[S] = \text{‰}$

D ... hloubka $[D] = \text{km}$

Coppensova rovnice je platná pro teploty v rozmezí od 0 do 35 °C, salinitu v rozmezí od 0 do 45 ‰ a hloubku v rozmezí 0 až 4 km.

4.2 Závislost rychlosti šíření zvuku na teplotě, salinitě a tlaku

Rovnice UNESCO: Chen a Millero [38]

$$c(S, T, P) = C_w(T, P) + A(T, P)S + B(T, P)S^{3/2} + D(T, P)S^2$$

$$\begin{aligned} C_w(T, P) = & (C_{00} + C_{01} \cdot T + C_{02} \cdot T^2 + C_{03} \cdot T^3 + C_{04} \cdot T^4 + C_{05} \cdot T^5) \\ & + (C_{10} + C_{11} \cdot T + C_{12} \cdot T^2 + C_{13} \cdot T^3 + C_{14} \cdot T^4) \cdot P \\ & + (C_{20} + C_{21} \cdot T + C_{22} \cdot T^2 + C_{23} \cdot T^3) \cdot P^2 + (C_{30} + C_{31} \cdot T + C_{32} \cdot T^2) \cdot P^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A(T, P) = & (A_{00} + A_{01} \cdot T + A_{02} \cdot T^2 + A_{03} \cdot T^3 + A_{04} \cdot T^4) \\ & + (A_{10} + A_{11} \cdot T + A_{12} \cdot T^2 + A_{13} \cdot T^3 + A_{14} \cdot T^4) \cdot P \\ & + (A_{20} + A_{21} \cdot T + A_{22} \cdot T^2 + A_{23} \cdot T^3) \cdot P^2 + (A_{30} + A_{31} \cdot T + A_{32} \cdot T^2) \cdot P^3 \end{aligned}$$

$$B(T, P) = B_{00} + B_{01} \cdot T + (B_{10} + B_{11} \cdot T) \cdot P$$

$$D(T, P) = D_{00} + D_{10} \cdot P$$

$$T \text{ ... teplota} \quad [T] = ^\circ\text{C}$$

$$S \text{ ... salinita} \quad [S] = \text{‰}$$

$$P \text{ ... tlak} \quad [P] = \text{bar}$$

Rovnice je platná pro teploty v rozmezí od 0 do 40 °C, salinitu v rozmezí 0 až 40 ‰ a tlak v rozmezí 0 až 1000 bar.

Tabulka koeficientů

C_{00}	1402,388	A_{02}	$7,166 \cdot 10^{-5}$
C_{01}	5,03830	A_{03}	$2,008 \cdot 10^{-6}$
C_{02}	$-5,8109 \cdot 10^{-2}$	A_{04}	$-3,21 \cdot 10^{-8}$
C_{03}	$3,3432 \cdot 10^{-4}$	A_{10}	$9,4742 \cdot 10^{-5}$
C_{04}	$-1,47797 \cdot 10^{-6}$	A_{11}	$-1,2583 \cdot 10^{-5}$
C_{05}	$3,1419 \cdot 10^{-9}$	A_{12}	$-6,4928 \cdot 10^{-8}$
C_{10}	0,153563	A_{13}	$1,0515 \cdot 10^{-8}$
C_{11}	$6,8999 \cdot 10^{-4}$	A_{14}	$-2,0142 \cdot 10^{-10}$
C_{12}	$-8,1829 \cdot 10^{-6}$	A_{20}	$-3,9064 \cdot 10^{-7}$
C_{13}	$1,3632 \cdot 10^{-7}$	A_{21}	$9,1061 \cdot 10^{-9}$
C_{14}	$-6,126 \cdot 10^{-10}$	A_{22}	$-1,6009 \cdot 10^{-10}$
C_{20}	$3,126 \cdot 10^{-5}$	A_{23}	$7,994 \cdot 10^{-2}$
C_{21}	$-1,7111 \cdot 10^{-6}$	A_{30}	$1,1 \cdot 10^{-10}$
C_{22}	$2,5986 \cdot 10^{-8}$	A_{31}	$6,651 \cdot 10^{-12}$
C_{23}	$-2,5353 \cdot 10^{-10}$	A_{32}	$-3,391 \cdot 10^{-13}$
C_{24}	$1,0415 \cdot 10^{-12}$	B_{00}	$-1,922 \cdot 10^{-2}$
C_{30}	$-9,7729 \cdot 10^{-9}$	B_{01}	$-4,42 \cdot 10^{-5}$
C_{31}	$3,8513 \cdot 10^{-10}$	B_{10}	$7,3637 \cdot 10^{-5}$
C_{32}	$-2,3654 \cdot 10^{-12}$	B_{11}	$1,795 \cdot 10^{-7}$
A_{00}	1,389	D_{00}	$1,727 \cdot 10^{-3}$
A_{01}	$-1,262 \cdot 10^{-2}$	D_{10}	$-7,9836 \cdot 10^{-6}$

Tab. 1: Koeficienty A, B, C, D pro výpočet rychlosti zvuku ve vodě

Del Grossova rovnice [38]

$$c(S, T, P) = C_{000} + \Delta C_T + \Delta C_S + \Delta C_P + \Delta C_{STP}$$

$$\Delta C_T(T) = C_{T1} \cdot T + C_{T2} \cdot T^2 + C_{T3} \cdot T^3$$

$$\Delta C_S(S) = C_{S1} \cdot S + C_{S2} \cdot S^2$$

$$\Delta C_P(P) = C_{P1} \cdot P + C_{P2} \cdot P^2 + C_{P3} \cdot P^3$$

$$\begin{aligned} \Delta C_{STP}(S, T, P) = & C_{TP} \cdot T \cdot P + C_{T3P} \cdot T^3 \cdot P + C_{TP2} \cdot T \cdot P^2 + C_{T2P2} \cdot T^2 \cdot P^2 + C_{TP3} \cdot T \cdot P^3 \\ & + C_{ST} \cdot S \cdot T + C_{ST2} \cdot S \cdot T^2 + C_{STP} \cdot S \cdot T \cdot P + C_{S2TP} \cdot S^2 \cdot T \cdot P \\ & + C_{S2P2} \cdot S^2 \cdot P^2 \end{aligned}$$

T ... teplota $[T] = ^\circ\text{C}$

S ... salinita $[S] = \text{‰}$

P ... tlak $[P] = \text{kg/cm}^2$

Del Grossova rovnice je platná pro teploty v rozmezí od 0 do 30 $^\circ\text{C}$, salinitu v rozmezí od 30 do 40 ‰ a tlak v rozmezí 0 až 1000 kg/cm^2 , kdy 100 kPa = 1,019716 kg/cm^2 .

Tabulka koeficientů

C_{000}	1402,392	C_{TP}	$0,6353509 \cdot 10^{-2}$
C_{T1}	5,012285	C_{T2P2}	$0,2656174 \cdot 10^{-7}$
C_{T2}	-0,0551184	C_{TP2}	$-0,1593895 \cdot 10^{-5}$
C_{T3}	$0,221649 \cdot 10^{-3}$	C_{TP3}	$0,5222483 \cdot 10^{-9}$
C_{S1}	1,32953	C_{T3P}	$-0,4383615 \cdot 10^{-6}$
C_{S2}	$0,1288598 \cdot 10^{-3}$	C_{S2P2}	$-0,1616745 \cdot 10^{-8}$
C_{P1}	0,1560592	C_{ST2}	$0,9688441 \cdot 10^{-4}$
C_{P2}	$0,2449993 \cdot 10^{-4}$	C_{S2TP}	$0,4857614 \cdot 10^{-5}$
C_{P3}	$-0,8833959 \cdot 10^{-8}$	C_{STP}	$-0,3406824 \cdot 10^{-3}$
C_{ST}	-0,01275936		

Tab. 2: Koeficienty c_T c_P pro výpočet rychlosti zvuku ve vodě

Shrnutí

V následující tabulce je zaznamenáno, pro jaké rozmezí kterých veličin lze použít rovnice popsané v této kapitole.

	teplota	salinita	tlak	hloubka
<i>Mackenzieho rovnice</i>	2 až 30 °C	25 až 40 ‰		0 až 8000 m
<i>Coppensova rovnice</i>	0 až 35 °C	0 až 45 ‰		0 až 4000 m
<i>Rovnice UNESCO</i>	0 až 40 °C	0 až 40 ‰	0 až 1000 bar	
<i>Del Grossova rovnice</i>	0 až 30 °C	30 až 40 ‰	0 až 1000 kg/cm ²	

Tab. 3: Rozmezí veličin využití rovnic pro výpočet rychlosti zvuku ve vodě

5. Sonary a echoloty

5.1 Historie

Už Leonardo da Vinci se zabýval zvukem a jeho šířením v různých materiálech [8]. Je mu často připisován objev, že zvuk se šíří ve vlnách. Zajímal se také o podvodní akustiku. V roce 1490 za pomoci trubice vložené do vody dokázal sluchem detekovat vzdálená plavidla.

V roce 1687 Isaac Newton publikoval první matematickou teorii šíření zvuku ve spisu *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* [7], [26]. O měření rychlosti zvuku ve vzduchu se vědci pokoušeli od poloviny 17. Století. Jeho rychlost ve vodě změřili až v roce 1826 švýcarský fyzik Daniel Colladon a francouzský matematik Charles Sturm. Na Ženevském jezeře postavili dvě loďky ve vzdálenosti 13 487 m od sebe. Jeden z nich pomocí speciálního zařízení odpálil nálož střelného prachu v blízkosti zvonu ponořeného do vody. Druhý, podobně jako Leonardo da Vinci, ponořil do vody trubici a zaznamenával, jak rychle se zvuk šíří přes jezero. Naměřený rozdíl mezi optickým a akustickým signálem byl 9,4 s. Výsledkem měření bylo, že zvuk se ve vodě při teplotě 1,8 °C šíří rychlostí 1435 m/s, tedy asi pětikrát rychleji než ve vzduchu. Dnes se v tabulkách udává rychlost zvuku ve vodě okolo 1500 m/s.

V letech 1877 a 1878 britský vědec John William Strutt publikoval dílo *The Theory of Sound*. V oblasti optiky a akustiky učinil objevy, které byly zásadní pro teorii šíření vlnění v kapalinách. Byl prvním, kdo popsal zvukovou vlnu pomocí matematické rovnice.

Do roku 1902 se využívalo podvodních zvonů poblíž pobřeží k varování lodí před mělčinami [14]. Roku 1906 Lewis Nixon vynalezl první sonarové vysílací zařízení sloužící k detekci ledovců.

V roce 1912 došlo k potopení Titanicu, což motivovalo *Submarine Signal Company of Boston* a další společnosti k rozvoji aktivnějších zařízení, která by varovala lodě před ledovci a jinými překážkami [7], [26]. Roku 1914 byl v USA Reginaldem A. Fessendenem patentován první funkční echo ranger (podvodní sledovač). Jednalo se o elektrický oscilátor vydávající nízkofrekvenční šum. Zařízení bylo opatřeno přijímačem zaznamenávajícím ozvěny. Bylo jím možné detekovat ledovec pod vodou ve vzdálenosti dvou mil. Nebylo ovšem možné přesně určit, odkud ozvěna přichází.

Během první světové války byly vyvinuty sofistikovanější echoloty. Stále ovšem neuměly lokalizovat a sledovat pohybující se předměty. Krátce po válce přišel německý fyzik Hugo Lichte s teorií o lomu zvukových vln v mořské vodě. Zvuk se podle Lichteho měl ve vodě lámat při mírných změnách teploty a slanosti podobně, jako se láme světlo na rozhraní dvou optických prostředí. Dále tvrdil, že šíření zvuku je ovlivněno oceánskými proudy a změnami ročních období. Jeho poznatky však nenašly v praxi uplatnění ještě dalších šedesát let. Mezitím v Americe pokračoval vývoj zvukově-navigačních zařízení. Krátce před vypuknutím druhé světové války byly americké lodě vybaveny sonary, které dokázaly detekovat ponorku ve vzdálenosti několika tisíc yardů. Zařízení byla ovšem stále značně nespolehlivá.

V roce 1937 si námořníci na palubě U.S.S. Semmes všimli, že výkon sonaru se v odpoledních hodinách výrazně zhoršuje. Kapitán lodi požádal o pomoc oceánografický institut Woods Hole v Massachusetts. Vědci z institutu využili nového zařízení zvaného batytermograf, obsahujícího senzory pro detekci změn tlaku a teploty. Zjistilo se, že brzy po poledni Slunce zahřívá povrchovou vrstvu vody do hloubky 5 až 9 metrů o 1 až 2 stupně Celsia. Pod touto vrstvou je voda výrazně chladnější. Rychlost zvuku ve vodě se s teplotou zvyšuje. Signály z lodního sonaru se tak rychle šířily povrchovou vrstvou, po nárazu na spodní chladnější vrstvu výrazně zpomalovaly a současně měnily směr šíření. Toto ohýbání zvuku vytvářelo tzv. akustický stín, díky kterému se předměty umístěné těsně pod ním stávaly pro sonar neviditelnými.

Batytermograf se tak během druhé světové války začal využívat k určení stínové zóny, čehož bylo možné využít pro nastavení směru sonaru s ohledem na očekávanou refrakci zvukové vlny. Námořní důstojníci se do Woods Hole chodili učit s batytermografem pracovat a zaměstnanci institutu navštěvovali námořní základny po celé zemi, aby učili námořníky. Ponorky odesílali záznamy z batytermografů do Woods Hole, kde vědci s jejich pomocí prováděli další výzkum.

Po konci druhé světové války se pokračovalo ve vyšetřování podmínek ovlivňujících šíření zvukových signálů pod vodou. Bylo zjištěno několik faktorů ovlivňujících, do jaké vzdálenosti se šíří zvuk v oceánu a jak dlouho vydrží. Jedním z těchto faktorů je, že částice mořské vody mohou odrážet, rozptylovat, nebo absorbovat zvukové vlny o určitých frekvencích. Mořská voda absorbuje až třicetkrát více zvuku než voda destilovaná. Dále bylo zjištěno, že zvuky o nižších frekvencích mají tendenci se ve vodě šířit do větších vzdáleností, jsou méně ovlivněny rozptylem a také je částice mořské vody méně absorbují.

Další výzkum ukázal, že oceán se dělí na horizontální vrstvy. V horních vrstvách je rychlost šíření zvuku výrazně ovlivněna teplotou vody. Teplota a tloušťka této vrstvy se mění v závislosti na denní době a ročním období. Nižší vrstvy bývají více méně izotermické, protože se zde voda promíchává působením konvektivních proudů. Zvukové signály se touto vrstvou směrem dolů šíří téměř konstantní rychlostí. Další vrstvou je takzvaná termoklina. Teplota této vrstvy klesá plynule s hloubkou, přičemž s klesající teplotou klesá i rychlost zvukových signálů. V hloubce asi od 600 až 1000 metrů níže jsou už změny teploty nepatrné a rychlost zvuku je více ovlivněna zvyšujícím se tlakem. Platí, že čím vyšší je tlak, tím rychleji se zvuk šíří.

Ještě před druhou světovou válkou vznikla teorie, že zvuky o nízkých frekvencích, které jsou méně ovlivněny rozptylem a absorpcí, by se měly ve vodě šířit do větších vzdáleností [7], [37]. S touto teorií přišel Maurice Erwing, který ji v roce 1943, společně s J. L. Worzelem, experimentálně ověřil. Pod vodou poblíž ostrovního státu Bahamy odpálili 450 g TNT. Zvuk byl snadno detekovatelný přijímači ve vzdálenosti 3200 km u pobřeží západní Afriky. Při analýze výsledků experimentu objevili jakési zvukové potrubí, které nazvali „sound fixing and ranging channel“, zkráceně SOFAR. Nezávisle na nich přišel se stejným objevem ruský vědec Leonid Brekhovskikh z fyzikálního ústavu Lebedev.

Zjistilo se, že díky zákonu lomu je možné zvukové vlny zachytit v jakémisi úzkém kanálu nacházejícím se v oblasti minimální rychlosti zvuku. Zvuk může tímto kanálem urazit tisíce mil horizontálně s minimální ztrátou signálu. Hloubka umístění tohoto kanálu se v oceánu s teplotou mění. V polárních oblastech se nachází blíže k hladině.

V padesátých letech zahájilo americké námořnictvo projekt s krycím názvem Jezebel, později známý jako Sound Surveillance System (SOSUS). Na dně oceánu, v různých hloubkách, byl rozmístěn systém podvodních mikrofونů, propojených kabely s výzkumnými středisky na západním pobřeží Atlantského oceánu mezi Novým Skotskem a Barbadosem. Díky tomuto systému dokázalo námořnictvo odhalit ponorky na většině severní polokoule. Systém dokázal dokonce rozlišit, kolik vrtulí daná ponorka má a o jaký typ ponorky se jedná.

V devadesátých letech, po konci studené války, povolilo námořnictvo vědcům využívat SOSUS pro nevojenské účely [7]. Vědci tak začali s pomocí systému zkoumat biologii a geologii oceánů. Systém se používal například k určení polohy podmořských sopek. Při poslechu nahrávek erupcí vědci zaznamenali i jiné zvuky, včetně hlasových projevů velryb. Pomocí přijímače v západní Indii dokázal systém detekovat velrybu ve

vzdálenosti až 1770 km. Udává se, že hlasitost zvuku velryby je asi 160 dB, což z ní činí nejhlasilnějšího tvora na Zemi.

System SOSUS dále umožnil měření teploty oceánů v globálním měřítku. Tato měření jsou zásadní pro objasnění fungování přenosu tepla mezi oceánem a atmosférou.

5.2 Rozdíly mezi sonarem a echolotem

Sonary a echoloty jsou zařízení využívající ultrazvukové signály pro detekci předmětů pod vodou [19]. Rozdíl mezi nimi je především ve způsobu zpracování těchto signálů.

Obě zařízení fungují na podobném principu, jako radar [30]. Ten ale k určování vzdálenosti používá vlny rádiové, které mají výrazně větší dosah ve vzduchu, než pod vodou. V případě vln ultrazvukových je tomu naopak.

5.2.1 Sonary

Sonary jsou přístroje používané k měření hloubky, detekci překážek a lokalizaci ryb [19].

Využívají široký rozsah frekvencí ultrazvukových signálů. Často se používají při podmořských výzkumech nebo ve vojenství pro detekci potencionálních hrozeb. Poskytují obecné informace o okolním prostředí, často ne s příliš velkou přesností.

Často je součástí sonaru tzv. fishfinder. Jedná se o funkcionalitu umožňující zobrazit v reálném čase, kde se nacházejí ryby a jak jsou velké.

Sonary jsou vhodné pro práci na větších vodních plochách, jako jsou jezera, moře a oceány.

5.2.2 Princip funkce sonaru

Sonary vysílají pulzy ultrazvukových vln, které procházejí vodou směrem dolů [18]. Při nárazu na objekt (např. ryby, rostliny, dno) se vlna odrazí a vrátí zpět k sonaru. Sonar změří dobu, za kterou vlna došla dolů a zpátky. Z uvedeného času a známé rychlosti šíření určí hloubku, ve které se nacházela překážka, od které se vlna odrazila. Měří se i síla zpětného pulzu. Čím silnější je zpětný pulz, tím tvrdší byl objekt, od kterého se vlna odrazila.

Po přijetí zpětného pulzu sonar vyšle další pulz. Jelikož se zvuk ve vodě šíří rychlostí asi 1500 m/s, může sonar vyslat několik pulzů každou sekundu, aniž by se navzájem maskovaly.

Ultrazvuková vlna se při průchodu vodou postupně rozšiřuje. Vzniká tak kuželovitý tvar. Překážky zaznamenané sonarem se tedy nemusejí nacházet přesně pod ním. Informace zobrazené sonarem přicházejí z širší oblasti. Čím hlouběji skenujeme, tím širší oblasti sonar snímá.

Většina sonarů dokáže řídit rozsah kuželu ultrazvukové vlny tím, že změni frekvenci skenovacího paprsku. Skenování širokým paprskem (obvykle v úhlu 40° až 60°) je vhodné, chceme-li rychle skenovat velkou oblast a získat úhrnné informace o hloubce a struktuře dna. Přesnost bude v tomto případě nižší a získané informace nebudou příliš detailní. Tato metoda skenování je ideální v mělčích vodách, protože kužel pokrývá tím větší oblast, čím hlouběji sonar skenuje.

Skenování úzkým paprskem (obvykle v úhlu 10° až 20°) přináší přesnější a detailnější informace, ale pokrývá menší oblast. Tato metoda skenování je vhodná v hlubších vodách, protože kužel se rozšíří méně a tak sonar může přesněji určit polohu překážek.

5.2.3 Echoloty

Echoloty pracují s vysokofrekvenčními ultrazvukovými signály a vytvářejí dvojrozměrnou nebo trojrozměrnou mapu dna [19]. Umožňují přesně zmapovat dno v dané oblasti, změřit hloubku, a také lokalizovat konkrétní druhy ryb. Mohou být vybaveny funkcí GPS, díky které lze sledovat pohyby ryb v určitých oblastech.

Echoloty jsou vhodné především pro rybáře pracující na menších rybnících a řekách, kde oproti mořím není velká hloubka a kde je potřeba mít přehled o tom, kde se ryby nacházejí.

5.2.4 Princip funkce echolotu

Echolot pracuje na podobném principu jako sonar [17]. Vysílá do vody ultrazvukové signály, které se odrážejí od objektů pod hladinou a vracejí se zpátky k hladině. Senzor echolotu pak tyto signály zaznamená, zpracuje a na obrazovce vytvoří 2D nebo 3D obrázek podvodního světa. Dále zobrazí, zda se v oblasti pod ním nacházejí ryby nebo jiné předměty. Některé echoloty mohou navíc ukazovat teplotu vody a rychlost proudu.

Echoloty se využívají k hledání ryb a mapování dna hlavně na hlubších rybnících, kde není možné na dno vidět.

Echolot dokáže za pomoci signálů a jejich odrazů od ryb vypočítat, jak jsou ryby velké a v jaké vzdálenosti od zařízení se nacházejí. Pokročilejší echoloty dokáží také zobrazit tvar ryby a informace o jejím pohybu a chování pod vodou.

2D echoloty dokáží detekovat ryby a jiné objekty pouze ve dvou rovinách – horizontální a vertikální. Informace získané 2D echolotem nebudou příliš detailní. 3D echoloty dokáží zobrazovat podvodní prostředí trojrozměrně a umožňují mnohem detailnější zobrazování podvodních struktur a chování ryb. Bývají obvykle dražší a jejich instalace a obsluha je náročnější.

5.3 Typy sonarů a echolotů

5.3.1 Aktivní a pasivní systémy

Sonary a echoloty můžeme rozdělit na aktivní a pasivní [20], [29].

Aktivní sonary využívají zvukový vysílač a přijímač. Vysílají do vody ultrazvukové signály, které se odrážejí od předmětů a následně se vracejí zpět k přijímači sonaru. Tyto signály jsou poté zpracovány počítačem sonaru, který změří čas mezi vysláním signálu a jeho návratem od překážky a určí vzdálenost, ve které se překážka nacházela. Pokud tedy například trvala cesta ultrazvukového signálu k překážce a zpátky 2 sekundy a rychlost zvuku ve vodě je v průměru 1500 m/s, sonar vyhodnotí, že překážka je ve vzdálenosti 3000 m. Pro správnou funkci aktivního sonaru je potřeba vysoce kvalitní reproduktor, který je schopný vysílat signály na dlouhé vzdálenosti.

Pasivní sonary pracují na principu příjmu zvukových signálů vysílaných rybami, vodními živočichy, ponorkami a jinými zdroji zvuku nacházejícími se pod vodou. Dokáží určit, ze kterého směru zvukový signál přichází. Nedokáží ale určit, v jaké vzdálenosti se nachází zdroj zvuku, protože nemohou změřit čas, za který se zvuk dostal od zdroje k přijímači.

5.3.2 Typy aktivních sonarů

Aktivní sonary můžeme rozdělit na 3 hlavní kategorie [15]. Těmi jsou:

- Searchlight sonar (jinak také PPI Sonar)
- Scanning sonar
- Sector Scanning sonar.

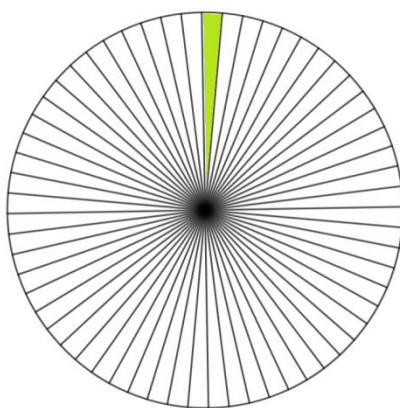
5.3.2.1 Searchlight sonar

Searchlight sonar je navržený tak, aby zobrazoval informace v 360stupňovém pohledu díky neustálému otáčení senzoru [15].

Na obrazovce je sonar obvykle znázorněn jako bod ve středu obrazovky obklopený ozvěnami v kruhu okolo plavidla, ke kterému je nainstalován. Sonar vyšle ultrazvukové signály na mořské dno. Následně se přepne do režimu příjmu a zaznamenává vracející

seodražené signály. Poté se senzor pootočí, sonar vyšle další signál a proces se opakuje. Detekční rozsah searchlight sonaru je jen asi 6 stupňů, proto trvá delší dobu, než se senzor plně otočí a kvůli pohybům lodi mohou některé oblasti zůstat nedetekovány.

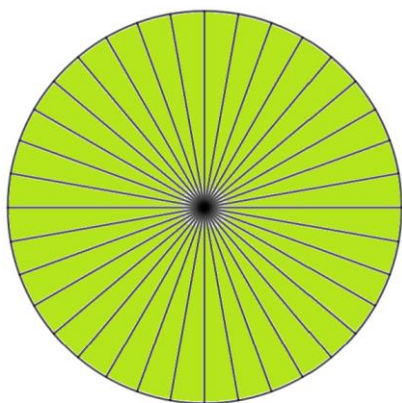
Senzorová část searchlight sonaru je rozměrově malá, což umožňuje instalovat sonar tohoto typu i na malé rybářské lodě.



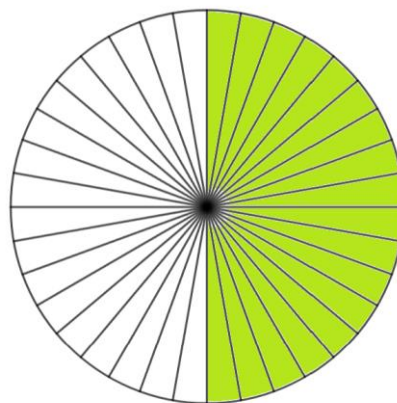
Obr. 6: detekční rozsah searchlight sonaru (obázek vlastní)

5.3.2.2 Scanning sonar

Scanning sonar, na rozdíl od searchlight sonaru, vysílá ultrazvukové signály současně v celém rozsahu, aniž by bylo nutné pootáčet senzorem [15]. Skenování okolí tak probíhá mnohem rychleji. Dokáže detekovat i rychle se pohybující objekty. Skenovací rozsah takového sonaru může být 360 stupňů (Full-circle scanning sonar) nebo jen 180 stupňů (Half-circle scanning sonar).



Obr. 7: detekční rozsah full-circle sonaru (obrázky vlastní)



Obr. 8: detekční rozsah half-circle sonaru

5.3.2.3 Sector scanning sonar

Sector scanning sonar pracuje na stejném principu, jako searchlight sonar. Liší se v detekčním rozsahu [15]. Zatímco searchlight sonar má detekční rozsah jen asi 6 stupňů, jak bylo již výše zmíněno, detekční rozsah sector scanning sonaru je 45 stupňů. Díky tomu je skenování tímto typem sonaru 4x až 7x rychlejší.



Obr. 9: detekční rozsah sector scanning sonaru (obrázek vlastní)

5.3.3 Druhy paprsků

5.3.3.1 Single-beam a Split-beam

Single-beam a Split-beam sonary jsou složeny ze dvou hlavních částí [39]. Jednou z nich je snímač, který vysílá a přijímá ultrazvukové signály. Druhou hlavní částí je vysílač, který ovládá nastavení signálů ze snímače a převádí vracející se signály na použitelná data.

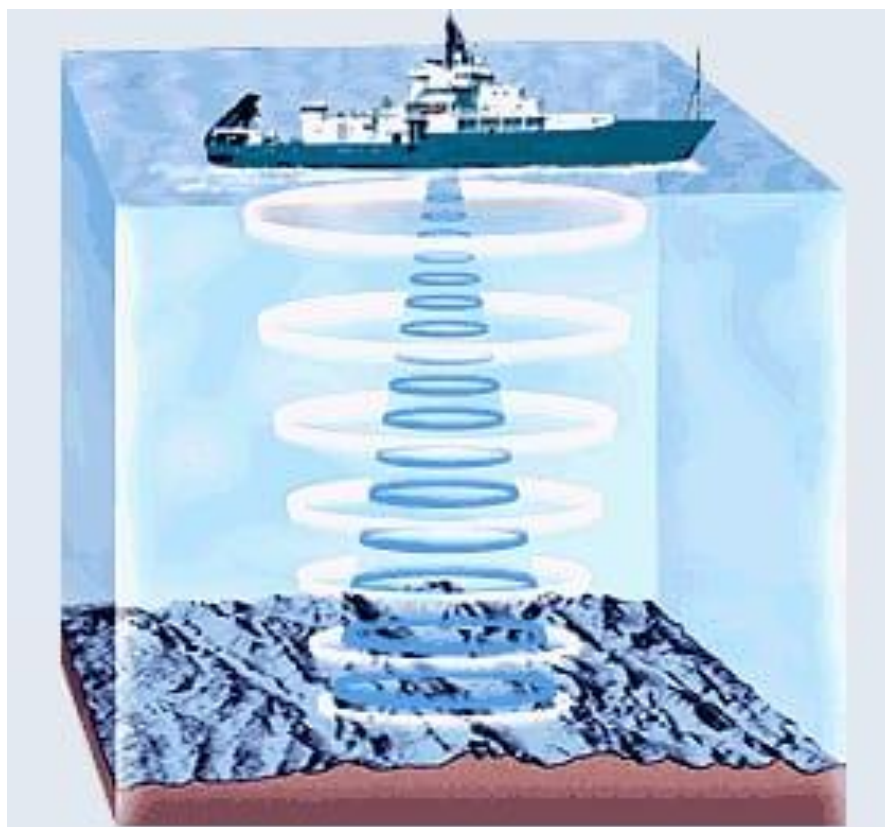
Na rozdíl od multibeam sonaru, který používá několik snímačů, aby pokryl velké území, split-beam a single-beam sonary používají jen jeden, vysílající paprsek (tzv. „ping“) vertikálně po vodním sloupci.

Ultrazvukové vlny vysílané ze split-beam sonaru vytvářejí tvar písmene X. To pomáhá přesněji určit, kde se objekty pod vodou nacházejí, a rozlišit více detailů. Signály ze sonaru se pod vodou postupně rozšiřují a tvoří kužel podobně, jako paprsky světla ze svítilny. Když ping narazí na předmět s rozdílnou hustotou nebo rychlostí šíření zvuku, než okolní voda, odrazí se a vrátí zpátky do snímače.

Sonar dokáže nejen určit hloubku, kde se předmět nacházel, ale také může poskytnout informace o jeho složení. Narazí-li ultrazvuková vlna na tvrdé a kamenité dno, většina zvuku se odrazí a vrátí zpátky ke snímači, a jen málo zvuku bude pohlceno materiálem. Pokud naopak bude dno měkké a bahnité, pohltí mnohem více zvuku a signál vracející se ke snímači bude slabší.

Sonar při pohybu plavidla, na kterém je připevněn, postupně sbírá informace o pozicích a složení objektů pod ním, a tyto informace odesílá do počítače. V počítači se shromážděná data zpracují a vytvoří mapu znázorňující hloubkový dosah zvuku, tzv. echogram.

Sonary tohoto typu často používají nižší frekvence, než jiné sonarové systémy, díky čemuž mohou ultrazvukové vlny urazit ve vodě větší vzdálenosti. Je možné je použít samostatně pro studium obecného geologického tvaru a složení mořského dna, nebo v kombinaci s jinými systémy pro vytvoření širších a rozsáhlejších map o vysoké kvalitě. Kromě mapování dna se split-beam sonar používá také pro výzkum biologického složení vodního sloupce.



Obr. 10: single beam sonar [36]

5.3.3.2 Dual beam

Dual beam sonar vysílá do vody dva ultrazvukové signály ve tvaru soustředných kuželů [9]. Širší z nich má obvykle skenovací rozsah okolo 60° , vyhledává rychleji a na větší ploše, ale s relativně nízkým rozlišením. Užší paprsek má skenovací rozsah okolo 20° , zmapuje menší plochu, ale poskytuje ostřejší rozlišení. Pokud tedy během plavby širší paprsek zaznamená zajímavé místo (například místo výskytu ryb), můžeme přepnout na úzký paprsek, který nám nalezený předmět zobrazí detailněji. Sonary tohoto typu bývají užitečné v hlubších vodách o hloubce 15 a více metrů.

5.3.3.3 Tri beam

Tri beam sonar vyhledává předměty pod vodou pomocí tří ultrazvukových signálů kuželovitého tvaru [9]. Jeden úzký paprsek se skenovacím rozsahem okolo 20° směřuje přímo pod plavidlo, na které je sonar přimontován. Další dva paprsky se skenovacím rozsahem okolo 35° lemují paprsek uprostřed. Jeden z nich je nakloněný mírně doleva, druhý doprava. Sonary tohoto typu mají funkci třírozměrné obrazovky, což umožňuje sledovat data ze všech tří paprsků současně. Bývají účinnější v mělkých vodách o hloubce asi 12 až 15 metrů.

5.3.3.4 Multibeam

Multibeam sonar využívá pro mapování mořského dna a detekci předmětů ve vodním sloupci soustavu několika snímačů [22]. Tato soustava bývá obvykle namontována přímo na trup lodi.

Na rozdíl od single-beam sonaru vysílá tento sonar několik signálů najednou. Signály tvoří vějířovitý tvar, který pokrývá prostor přímo pod lodí i na obě strany. Sonar měří hloubku moře a intenzitu odraženého zpětného signálu. Tato data poskytují informace o geologickém složení mořského dna. Opět platí, že tvrdší, skalnaté materiály odrazí více zvuku, než měkké materiály.

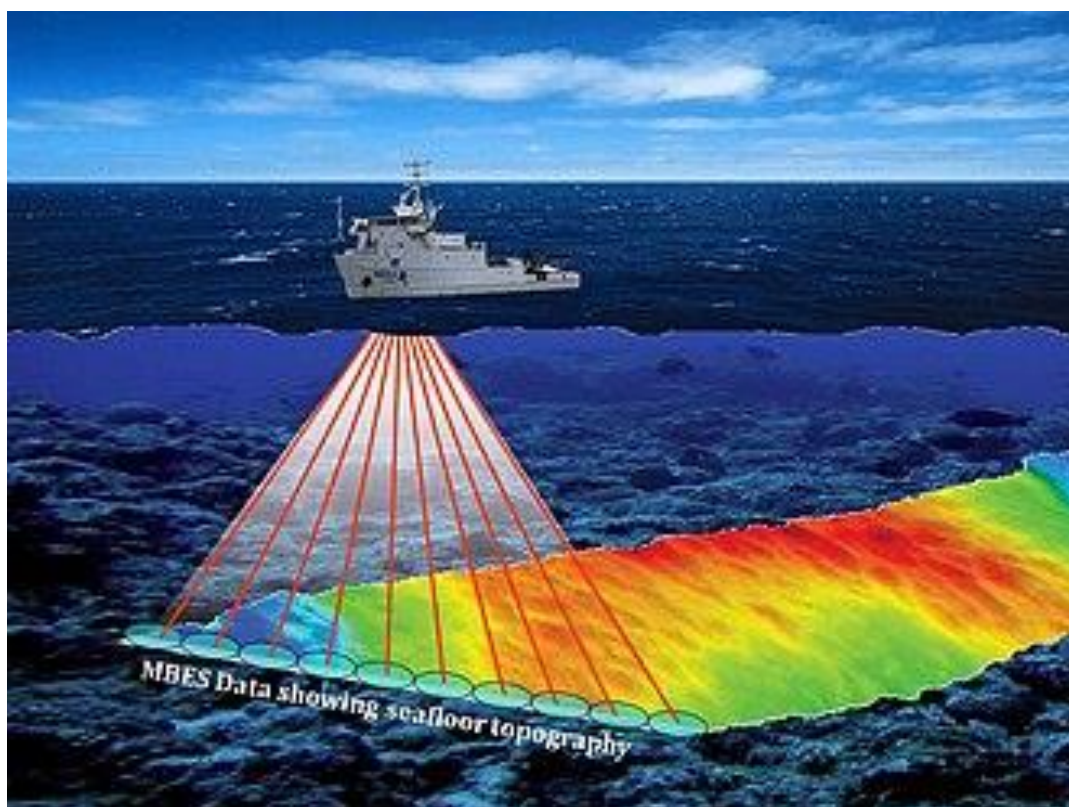
Pomocí sonaru lze také detekovat objekty nacházející se ve vodním sloupci mezi mořským dnem a snímači, jako jsou například vraky lodí, vzduchové bubliny nebo husté biologické vrstvy.

Data ze sonaru se shromažďují v počítači a hydrografové s jejich pomocí vytvářejí dvourozměrné nebo trojrozměrné batymetrické mapy, tedy mapy znázorňující hloubku moře v různých místech. Tyto mapy pomáhají vizualizovat mořské dno. Hlubší a mělčí oblasti bývají na batymetrických mapách barevně odlišeny.

Sonary tohoto typu jsou užitečné pro charakterizaci mořského dna i vodního sloupce. Zachytí-li sonar například větší množství vzduchových bublin, může to znamenat, že je na mořském dně průsak, ze kterého uniká plyn. Dále to může znamenat výskyt hydrotermálních průduchů.

Sonary jsou vhodné pro mapování velkých oblastí. Čím je ale větší hloubka vody, tím nižší rozlišení bude mít mapa mořského dna, kterou pomocí sonaru vytvoříme. Chceme-li mapovat ve vysokém rozlišení, je potřeba umístit tyto sonary poblíž mořského dna. Můžeme je například připevnit na autonomní podvodní vozidlo nebo nějaké dálkově ovládané zařízení.

Určení hloubky, tvaru a charakteru mořského dna nám může napovědět, jaké organismy se v dané oblasti nacházejí. Chceme-li zkoumat novou podmořskou oblast, často je jedním z prvních kroků použití multibeam sonaru.



Obr. 11: Multibeam sonar [21]

5.3.3.5 Side-Scan

Side-scan sonar je zařízení se soustavou několika snímačů vysílajících signály na obě strany [27]. Soustava může být namontována na trup lodi nebo na jinou platformu, např. vlečnou loď. Signály vysílané snímači tvoří vějířovitý tvar. Pro mapování oceánu tímto typem sonaru je potřeba, aby se loď pohybovala konstantní rychlostí a v přímé linii.

Sonar používá různé frekvence ultrazvuku v závislosti na cíli průzkumu. Nižšími frekvencemi (50 kHz – 100 kHz) lze pokrýt velké plochy mořského dna, ale rozlišení získaného obrazu bude nižší. Signály o vyšších frekvencích (500 kHz – 1 MHz) zaznamenají menší plochu, ale s mnohem lepším rozlišením.

Mapa vytvořená side-scan sonarem se skládá ze světlých a tmavých oblastí, kdy tmavé oblasti značí tvrdé předměty na mořském dně a světlé oblasti značí měkký povrch, např. bahno nebo písek.

Side-scan sonar se často využívá pro mapování míst kulturního dědictví, jako jsou například vraky lodí. Dále se využívají k charakterizaci mořského dna a mohou pomoci biologům určit místa výskytu některých mořských živočichů. Tento typ sonaru nedokáže změřit hloubku, proto se často používá v kombinaci se single-beam nebo multibeam sonarem, což pomáhá vytvořit komplexnější mapy mořského dna.

5.4 Používané frekvence

Aktivní sonary používají různé frekvence zvuku, resp. ultrazvuku, podle toho, jaká je jejich úloha [31]. Zvuk o nižší frekvenci (pod 20 kHz) má v mořské vodě větší dosah díky nižšímu útlumu se vzdáleností. Proto čím vzdálenější objekty chceme pomocí sonaru detekovat, tím nižší frekvenci je potřeba použít. Nižší frekvence však nejsou vhodné pro detekování malých objektů. Vysoké až velmi vysoké frekvence (nad 100 kHz) poskytují vynikající rozlišení malých objektů, na druhou stranu jsou ale silně ovlivněny útlumem se vzdáleností od sonaru. Vysokofrekvenční sonary jsou užitečné pouze v mělkých vodách nebo pro detekci na krátké vzdálenosti.

Podle používané frekvence rozdělujeme sonary na nízkofrekvenční, středofrekvenční a vysokofrekvenční.

Nízkofrekvenční sonary

Nízkofrekvenční aktivní sonary vysílají zvukové signály o frekvencích nižších, než 1 kHz [31]. Protože nízké frekvence jsou méně ovlivněny útlumem, dokáží tyto sonary detekovat překážky ve vzdálenosti až 200 mil (tedy asi 322 000 km). Použití nízkých frekvencí obvykle vyžaduje velkou vysílací soustavu. Nízkofrekvenční sonary se používají hlavně na letadlových lodích pro zajištění ochrany.

Středofrekvenční sonary

Středofrekvenční aktivní sonary vysílají zvukové signály o frekvencích od 1 kHz do 10 kHz [31].

Při frekvencích od 1 kHz do 3 kHz mají větší detekční dosah (několik desítek mil) při použití vysokého výstupního výkonu, ale stále je potřeba velká vysílací soustava. Proto se používají jen na velkých lodích.

Při frekvencích od 3 kHz do 10 kHz mají sonary menší dosah a menší výstupní výkon. Vysílací soustavy těchto sonarů jsou menší a je proto možné namontovat je na menší lodi. Středofrekvenční sonary se používají hlavně pro vlastní ochranu lodí, podobně jako sonary nízkofrekvenční.

Vysokofrekvenční sonary

Vysokofrekvenční aktivní sonary vysílají ultrazvukové signály o frekvencích cca od 30 kHz do 500 kHz [31]. Vysoké frekvence umožňují lepší rozlišení. Protože jsou ale v mořské vodě silně ovlivněny útlumem, dosáhnou jen na krátkou vzdálenost. Využívají se k hydrografickému průzkumu, nebo například k vyhledávání min.

5.5 Beamforming, akustická lokace zdroje

Beamforming označuje metodu, kdy se využívá více zdrojů nebo snímačů pro zvýšení přesnosti lokalizace zdroje signálu resp. zdroje odrazu.

Princip spočívá v tom, že snímáme odražený signál současně více snímači (hydrofony, mikrofony). Snímačů může být jen několik nebo celá soustava – pak se hovoří o tzv. mikrofonním poli (microphone array) či akustické kameře. Předpokladem využití je znalost:

- Vzájemných vzdáleností mezi snímači v trojrozměrném prostoru
- čas vyslání impulsu (signálu)
- tvar a charakteristiky impulsu: doba trvání, energie, frekvence (rozsah frekvencí u rozmítaných signálů)

Díky výše uvedeným předpokladům je možná přesnější lokalizace zdroje. Tu získáme vzájemným porovnáním parametrů jednotlivých signálů:

- doba putování signálu než dorazil do snímače
- fáze
- amplituda

V základní formě se podobná technika využívá u symetrických vedení v audiotechnice (třížilové vedení). Jeden kabel vede základní signál $x(t)$. Druhý kabel vede tentýž signál, ale fázově otočený o 180° označený $\hat{x}(t)$. Na druhém konci kabelu máme dva přijaté signály $y(t)$ a $\hat{y}(t)$. Pokud provedeme součet těchto dvou signálů, měla by být v ideálním případě výsledkem nula. V reálu je výsledkem šumový signál resp. jeho dvojnásobek. To je dáno tím, že předpokládáme, že kabely jsou dostatečně blízko sebe, takže každý z nich naindukoval stejný šum.

Šum, který se do kabelu naindukoval během přenosu, odpovídá $n(t) = \frac{y(t) + \hat{y}(t)}{2}$.

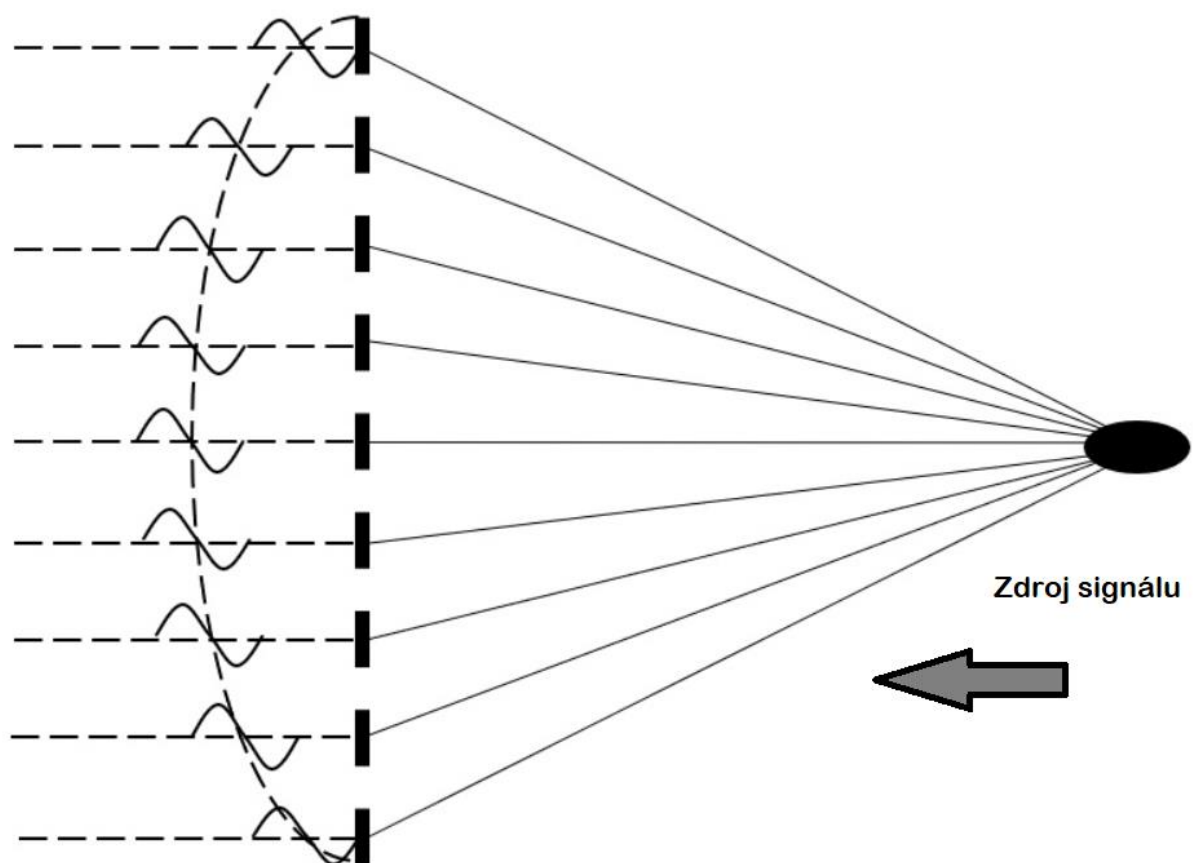
Uvedený postup nám ve výsledku umožní na výstupní straně očistit původní signál od šumu prostým odečtením: $z(t) = y(t) - n(t) = x(t)$.

Beamforming rozšiřuje uvedený princip na základě využití většího množství snímacích prvků. Jejich počet mohou být nižší jednotky, ale také mohou čítat 100 a více.

V oblasti sonarů se Beamforming využívá pro přesnější lokalizaci objektů, od kterých se odrazil původní signál (aktivní sonary) resp. objektů, které signál vyslaly (pasivní detekce). Přínosy této techniky:

- přesnější lokalizace zdroje
- snížení šumu
- vyšší rozlišení

Obrázek ukazuje, jak vypadá jeden a tentýž přijatý signál, pokud je snímán více snímači současně. Je patrný fázový posuv přijatých signálů $y_n(t)$ na jednotlivých snímačích:



Obr.12: Beamforming [23]

Jelikož známe délku trvání zdrojového signálu (na obrázku malá sinusovka), s využitím přijatých $y_n(t)$ dokážeme lokalizovat zdrojve 2D nebo 3D poli. Díky

odpovídající vlnové délce, době putování signálu a dalším charakteristikám lze určit pravděpodobné rozměry objektu, jeho vzdálenost a další parametry.

Využití Beamformingu je v sonarech klíčové pro zvýšení přesnosti přístrojů při zachování základního požadavku: co nejmenších rozměrů sonaru resp. echolotu (ideálně s jejich umístěním pouze na jedné lodi). Podobně lze tyto techniky využívat na straně vysílače (antény), pro vysílání signálu. V radioelektronice tyto principy využívají tzv. fázovací obvody, kam patří třeba Blassova a Butlerova matice.

5.6 Odlišnosti a specifika dle prostředí

Výběr vhodného sonaru/echolotu závisí na mnoha faktorech. Musíme brát v úvahu hloubku, ve které chceme měření provádět, salinitu vody, nebo to, jak přesné výsledky chceme měřením získat.

Obecně platí, že čím nižší je frekvence vysílaného signálu, tím větší bude jeho dosah. Proto chceme-li provádět měření na moři z plavidla na hladině, a nepotřebujeme příliš přesná data, je lepší použít nízkofrekvenční sonar. Problém nastává, když potřebujeme přesnější výsledky, než je možné z takového sonaru získat. Vysoké frekvence nám sice dávají výsledky mnohem přesnější, ale jsou krátkodosahové. Tento problém lze vyřešit např. připevněním vysokofrekvenčního sonaru na ponorku a měřením z větší hloubky.

Při měření na jezerech a rybnících, kde není velká hloubka, je vhodné používat sonary s vysokou frekvencí – dostaneme velmi přesná data a malý dosah signálu nás na rybníce nemusí trápit. Vysokofrekvenční sonary navíc bývají podstatně menší, a není tedy problém takový sonar přimontovat k menšímu plavidlu.

Jak bylo již zmíněno, na měření nemá vliv pouze hloubka, ale také salinita vody. Čím je salinita vyšší, tím menší bude dosah ultrazvukového signálu. To je další důvod, proč se pro měření z hladiny moře lépe hodí nízké frekvence.

5.7 Echolot EK80

Simrad EK80 je v současnosti nejmodernějším vědeckým echolotem na trhu [6], [28]. Využívá se pro monitorování podvodních ekosystémů tam, kde je zapotřebí získat vysoce kvalitní vědecká data. Operuje s několika různými kombinacemi vysílačů a snímačů prostřednictvím jedné operátorské stanice. Rozsah využívaných frekvencí je od 10 kHz do 500 kHz. Je vhodný pro širokou škálu oceánografických aplikací. Kalibrace split beam je implementována pro režimy FM (chirp – v jednom pulzu vyšle signál s více frekvencemi) a CW (vysílá známou frekvenci spojitých ultrazvukových vln).

EK80 využívá operační systém Microsoft Windows [28]. Může pracovat s paprsky single beam nebo split beam. Je vhodný k trvalé instalaci na trup výzkumného plavidla i k přenosnému použití.

Možné aplikace echolotu EK80 jsou:

- vyhodnocování biomasy a distribuce ryb
- identifikace a rozlišování druhů ryb
- výzkum planktonu
- mapování biotopů
- studie chování mořských živočichů
- výzkum životního prostředí
- detekce ropy a zemního plynu

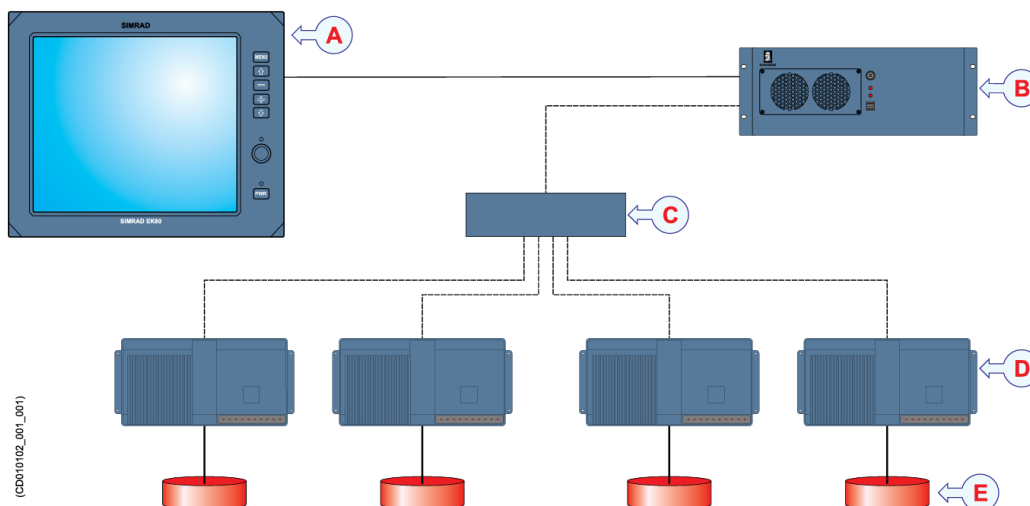
Systém echolotu EK80 je modulární. Lze tedy sestavit několik různých kombinací vysílačů a snímačů tak, jak potřebujeme danému účelu. Typická konfigurace systému může obsahovat tyto jednotky:

- displej (1 a více)
- procesorová jednotka
- přijímač (1 a více)
- ethernetový přepínač
- snímač (1 a více)

Jak bylo již zmíněno, systém může pracovat s několika typy vysílačů. To zahrnuje také příslušný hardware pro provoz akustického dopplerovského profilování proudu – ADCP (acoustic Doppler current profiling) [28 – str. 16].

5.7.1 Systémový diagram

V systémovém diagramu jsou označeny hlavní součásti základního systému EK80 [28]. Základní systém se skládá z jednoho snímače, jednoho vysílače a jednoho počítače (rsp. procesorové jednotky). V případě potřeby lze přidat další snímače a vysílače.



Obr.13: Systémový diagram [28]

V obrázku výše jsou vyznačeny:

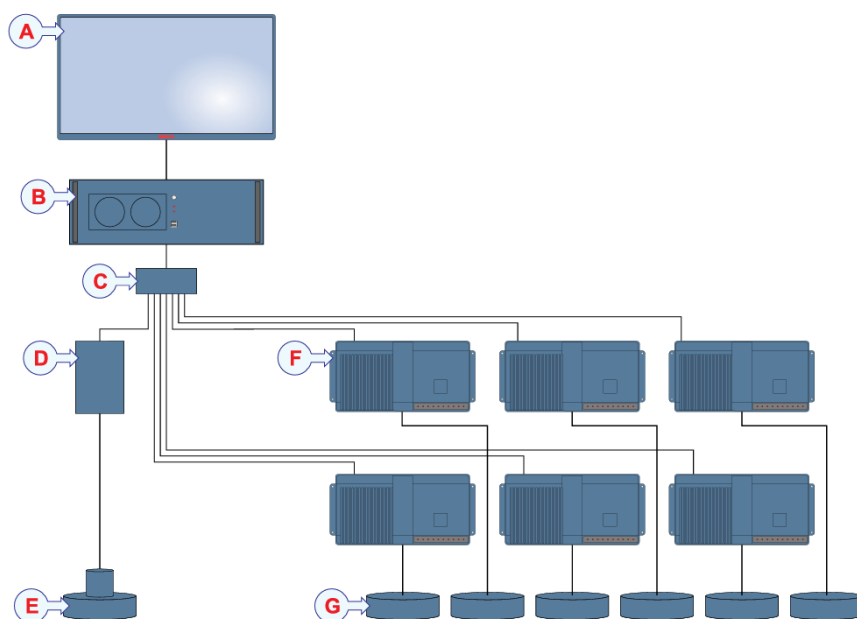
- A – displej
- B – počítač (procesorová jednotka)
- C – ethernetový přepínač
- D - vysílač
- E – snímač(e)

5.7.2 Funkce systému ADCP

Systém EK80 můžeme rozšířit přidáním speciálního hardwaru pro ADCP [28]. V současné době je k dispozici Simrad EK150-3C. Jedná se o fázový snímač s frekvencí 150 kHz, který slouží k měření a profilování proudu. Šířku vysílaného paprsku je možné nastavit na 3 stupně pro přesné profilování proudu, nebo 2,5 stupně, je-li nastaven paprsek split-beam.

Simrad EK150-3C lze tedy využít ke dvěma účelům, buď jako ADCP, nebo jako split-beam echolot. S těmito dvěma funkcemi nelze operovat současně.

Schéma systému ADCP



Obr.14: Schéma systému ADCP [28]

- A – displej
- B – počítač (procesorová jednotka)
- C – ethernetový přepínač
- D – napájecí jednotka
- E – Simrad EC150-3C
- F – vysílač
- G – Snímač(e)

5.7.3 Hlavní jednotky systému

Displej

Nezbytnou součástí systému EK80 je displej [28 – str. 21]. Pro co nejlepší čitelnost je potřeba chránit displej před oslněním a nastavit ho na správnou výšku a úhel. Lze použít jakýkoliv displej splňující minimální požadavky systému. Software podporuje všechny velikosti displejů, chceme-li ovšem zobrazovat několik kanálů echogramu současně, je vhodné pořídit velký displej s vysokým rozlišením.

Displej se neprodává společně s echolotem EK80, je potřeba dokoupit ho samostatně [28 – str. 29]. Vybraný displej musí být určený k použití na moři a musí splňovat minimální

požadavky na výkon. Je také potřeba, aby displej podporoval video formáty poskytované počítačem.

Společnost Kongsberg Maritime nabízí tři displeje kompatibilní se systémem EK80 – Hatteland JH19T14, Isic DuraMON WS MD24 a Isic DuraMON MD24 Glass.

Procesorová jednotka

Procesorová jednotka je počítač obsahující provozní software [28 – str. 22]. Tento počítač řídí systém EK80. Nabízí také řadu sériových a ethernetových linek sloužících pro komunikaci s externími zařízeními.

Počítač musí splňovat požadavky společnosti Microsoft® na operační systém. Musí také poskytovat prostředky rozhraní potřebné pro komunikaci s periferními zařízeními a senzory. Konstrukce počítače musí být schopna odolat vibracím a pohybům způsobeným plavidlem. Operační systém musí být 64bitový Microsoft® Windows 10 [28 – str. 22]. Dále je potřeba vysoce kvalitní ethernetový adaptér, resp. dva adaptéry, chceme-li počítač připojit k lodi. Počítač je obvykle ve vědecké laboratoři nebo namontován na můstku.

Počítač je potřeba k echolotu dokoupit samostatně [28 – str. 30]. Opět je možné zakoupit ho u společnosti Kongsberg Maritime.



Obr.15: procesorová jednotka [28 – str. 22]

Ethernetový přepínač [28 – str. 23]

Důležitou součástí systému EK80 je vysokokapacitní ethernetový přepínač, a to především používáme-li více než jeden vysílač. Přepínač slouží k připojení každého vysílače k počítači.

Vysílač (transiever)

Vysílač je zařízení sloužící k přenosu akustické energie vodou [28 – str. 23]. Tento přenos běžně nazýváme ping. Po každém pingu vysílač přijme ozvěnu z mořského dna (nebo od překážky, od které se signál odrazil), ozvěny jsou dále filtrovány, zesíleny a převedeny do digitálního formátu. Při práci s EK80 je možné používat několik vysílačů současně. Můžeme použít vysílač WBT (Wide Band Transceiver – širokopásmový vysílač), WBT Mini nebo WBT tube.

Vysílač WBT

Tento typ vysílače je určený pro aplikace, kde je naší nejvyšší prioritou výkon a zároveň pro nás není rozhodující spotřeba energie [28 – str. 23]. WBT má čtyři 500W kanály, které mohou pracovat buď společně s děleným vysílačem, nebo samostatně s jednopaprskovými vysílači.

Vysílač je k počítači připojený vysoce kvalitním ethernetovým kabelem, maximální vzdálenost mezi vysílačem a počítačem je 70 metrů. Zařízení vyžaduje externí napájecí zdroj. Vhodný zdroj se prodává společně s EK80, případně lze vysílač napájet velkokapacitní baterií.



Obr.16: Vysílač WBT [28 – str. 23]

Vysílač WBT Mini

WBT Mini má oproti vysílači WBT menší rozměry a nižší spotřebu energie [28 – str. 24]. Obsahuje čtyři samostatné kanály s funkcí multiplexování, což umožňuje velkou flexibilitu při nastavování systému s různými konfiguracemi vysílačů s jedním paprskem (single-beam) nebo děleným paprskem (split-beam). WBT Mini je umístěn ve voděodolné skříni, konstrukce umožňuje dlouhodobé nasazení zařízení v náročných prostředích. Stejně jako WBT vyžaduje i tento vysílač externí zdroj napájení.



Obr.17: Vysílač WBT Mini [28 – str. 24]

Vysílač WBT Tube

WBT Tube je hloubkově dimenzovaná verze vysílače WBT [28]. Zařízení je umístěno v tlakově odolné trubici. Vysílač je navržen pro dlouhodobé používání v hloubkách až 4 km. Opět lze nastavit několik různých konfigurací vysílačů s jedním nebo děleným paprskem. Zařízení vyžaduje externí zdroj napájení. Každý používaný vysílač komunikuje s procesorovou jednotkou pomocí jedné vysokorychlostní ethernetové linky.

Snímač (transducer)

Snímače pro echolot EK80 jsou navrženy tak, aby optimálně pracovaly ve velkém pásmu a v náročném prostředí [28]. Snímačů vhodných pro EK80 je několik. Podle vlastností se dělí na tři kategorie: širokopásmové, s děleným paprskem a hloubkové.



Obr.18: Snímač [28 – str. 25]



Obr. 19: Snímač (foto vlastní)



Obr. 20: Snímač (foto vlastní)

Následující informace o snímači a kalibračních koulích byly sepsány na základě konzultace s panem RNDr. Michalem Tušerem, Ph.D. z hydrobiologického ústavu v Českých Budějovicích

Snímač se umísťuje pod vodu a je možné natočit ho kterýmkoliv směrem podle potřeby. Snímače pro vysoké frekvence jsou zpravidla menší velikosti, než vysílače pro nízké frekvence. Vyšší frekvence používáme, chceme-li pozorovat menší objekty. Například pro pozorování zooplanktonu bychom použili frekvenci 300 kHz. Nevýhodou vysokých frekvencí je ovšem krátký dosah. Nelze tak pozorovat zooplankton v příliš velké hloubce. Chceme-li naopak pozorovat větší objekty, použijeme menší frekvence. Například pro pozorování malých ryb bychom použili frekvenci kolem 120 kHz.

Při měření se zpravidla používají dva snímače, jeden namířený vertikálně a druhý horizontálně. Je tomu tak proto, že vertikálně namířený snímač má svou „slelou zónu“, kam nedohlédne.

Každý snímač je rozdělený na čtyři kvadranty, z nichž každý zachytí odražený signál v jiném čase. Z rozdílu naměřených časů návratu signálu pak počítač zjistí úhel odrazu, a tedy odkud signál přišel.

Články ve snímačích stárnou a po čase už snímač nemusí zaznamenávat data s takovou přesností jako na začátku. Proto je potřeba je kalibrovat. K tomu používají kalibrační koule, které mají jasně danou odezvu. Kalibrační koule se umístí do akustického kužele a vyšle se signál, který se od ní odrazí zpět. Má-li odražený signál jinou odezvu, než by měla koule dávat, je nutné přístroj překalibrovat.



obr. 21: kalibrační koule (foto vlastní)

Simrad EC150-3C

Simrad EC150-3C je fázový snímač s frekvencí 150 kHz [28 – str. 26]. Slouží k profilování proudu. Nabízí šířku paprsku 2,5 stupně pro použití s rozděleným paprskem, nebo 3 stupně pro přesné profilování proudu. Snímač se dodává s napájecí jednotkou a 40 m dlouhým kabelem s otevřeným koncem. Jeden konec kabelu je připojený ke snímači, druhý pak k napájecímu zdroji. Snímač je možné namontovat na trup plavidla, případně na dno pancéřového nebo zápuštného kýlu.



Obr. 22: Simrad EC150-3C [28 – str. 26]

Pohybová referenční jednotka (MRU)

Operace ADCP není možné provádět bez vstupu ze snímače pohybu [28 – str. 32]. Systém EK80 odpovídá snímačům referenční pohybové jednotky vyráběným divizí Seatex společnosti Kongsberg Maritime.

5.7.4 Další volitelné položky

WBT Skříňka se zásuvkami

WBT Skříňka je přístrojový stojan vybavený tlumiči nárazů [28 – str. 33]. Může obsahovat maximálně sedm zásuvek. Každá zásuvka pojme jeden širokopásmový vysílač s jeho napájecím zdrojem. Součástí skřínky je také ethernetový přepínač a panel rozdělovače napájení. Je-li zapotřebí více zásuvek pro vysílače, lze je dokoupit samostatně.

Sekundární displej

Systém EK80 lze používat s jedním, dvěma, nebo třemi displeji [28 – str. 34]. Displej je potřeba dokoupit samostatně, jak bylo již zmíněno výše. Sekundární displeje musí rovněž splňovat minimální výkonnostní specifikace a být stavěny pro použití na moři.

GPS

K EK80 lze dále připojit systém GPS [28 – str. 34]. Je-li připojen, může být v uživatelském rozhraní zobrazena aktuální zeměpisná poloha výzkumného plavidla. Kromě údajů o poloze může GPS poskytovat také informace o rychlosti.

Požadavky na rozhraní GPS jsou:

- sériová linka: standardní datagramové formáty NMEA 0183
- ethernetová linka: standardní datagramové formáty NMEA 0183

Senzor zaznamenávající rychlost

Připojíme-li k systému senzor záznamu rychlosti, lze v uživatelském rozhraní zobrazit aktuální rychlost výzkumného plavidla [28 – str. 35]. Senzor není standardní součástí dodávky, obvykle je vhodný snímač již na plavidle nainstalován.

Požadavky na rozhraní senzoru jsou:

- sériová linka: standardní datagramové formáty NMEA 0183
- ethernetová linka: standardní datagramové formáty NMEA 0183

Kurzový gyroskop

Kurzový gyroskop slouží k tomu, abychom mohli v uživatelském rozhraní zobrazit aktuální kurz výzkumného plavidla [28 – str. 35]. Není standardní součástí dodávky, prodává se samostatně. Ve většině případů ale již na plavidle vhodný kurzový gyroskop nainstalovaný je.

Požadavky na rozohraní kurzového gyroskopu jsou:

- sériová linka: standardní datagramové formáty NMEA 0183
- ethernetová linka: standardní datagramové formáty NMEA 0183

Rozdělovač sériového vedení

U velkých zařízení s mnoha hydroakustickými systémy je často zapotřebí, aby tyto systémy získávali stejné navigační informace (hloubka, rychlost) z jediného senzoru [28 – str. 37]. Tyto informace jsou poskytovány v sériovém formátu. Rozdělovač sériového vedení slouží pro distribuci informací z jednoho senzoru k několika různým zařízením.

Zdroj nepřerušovaného napájení

Při práci s EK80 je potřeba zajistit nepřetržitý provoz systému nezávisle na měnící se kvalitě napájení [28 – str. 38]. K tomu slouží zdroj nepřerušovaného napájení (UPS). Není součástí standardní dodávky, lze ho zakoupit samostatně. K dispozici je několik typů, vybírat bychom měli podle podmínek prostředí, fyzického prostoru, který máme k dispozici pro instalaci, dostupnosti a životnosti baterií a požadavků na napájení EK80.

Požadavky na zdroj nepřerušovaného napájení jsou:

- vstupní napětí musí odpovídat napájecímu napětí plavidla
- výstupní střídavé napětí 230 V, frekvence 50 Hz
- výstupní výkon musí přesahovat požadavky systému EK80
- výstupní střídavé napětí musí mít sinusový průběh

5.7.5 Obecná bezpečnostní pravidla

Při instalaci a údržbě systému EK80 je nutné dodržovat několik bezpečnostních opatření [28 – str. 39]:

- 1) Všichni pracovníci musí být řádně proškoleni v příslušných montážních a údržbářských pracích.
- 2) Montážní personál musí nosit vhodný pracovní oděv. Ten nesmí obsahovat dostatečné množství statické elektřiny, aby se mohl vznítit. Při manipulaci s těžkými předměty je potřeba nosit ochrannou helmu a ochrannou obuv.
- 3) Před zahájením instalačních či údržbových prací na EK80 je vždy nutné vypnout veškeré napájení pomocí hlavního jističe. Jistič má být označen výstražnou cedulí, která informuje ostatní pracovníky, že na systému probíhají instalační nebo údržbové práce. Při odstraňování poruch při zapnutém napájení musí být přítomny minimálně dvě osoby. Všechny jednotky systému musí být řádně uzemněny.
- 4) Předtím, než začneme se systémem pracovat, je zapotřebí přečíst si příslušné pokyny pro první pomoc při úrazu elektrickým proudem a porozumět jim. Při instalační či údržbové práci je vždy nutné mít k dispozici lékárničku. S pokyny pro poskytování první pomoci při úrazu elektrickým proudem musí být seznámeni všichni pracovníci.
- 5) Některé části systému EK80 mohou být těžké. Při práci s těmito částmi je potřeba mít k dispozici vhodné nářadí a certifikované zvedací zařízení. Dále je potřeba nosit ochrannou helmu a ochrannou obuv.
- 6) S elektrickými kabely zacházíme opatrně, aby nedošlo k jejich poškození. Dbáme na správné připojení kabelů k jednotlivým částem systému.
- 7) Při plavbě na rozbouřeném moři neotevíráme dvířka skříňky. Mohlo by dojít k poškození obsahu skříňky.

5.7.6 Požadavky pro instalaci

Požadavky na napájecí napětí

Pro elektrická zařízení obecně platí, že napájecí napětí by se nemělo lišit o více než 10 % od jmenovitého napětí zařízení [28 – str. 41]. I pro EK80 platí, že napájecí napětí musí být udržováno v rámci specifických požadavků pro každý vysílač v systému. Podrobné požadavky na napájecí napětí bychom našli v příslušných datových listech a dokumentaci pro uživatele. Odchylkapřechodového napětí na přípojnících hlavního rozváděče se musí pohybovat v rozmezí od -15% do +20% jmenovitého napětí (s výjimkou poruchových stavů).

Požadavky na zdroj nepřerušovaného napájení

Systém EK80 by měl být napájen ze zdroje nepřerušovaného napájení se sinusovým výstupem [28 – str. 41]. Tento zdroj musí být schopen nezávisle udržovat napájení systému EK80 minimálně po dobu 10ti minut, aby v případě výpadku napájení bylo možné systém EK80 řízeně vypnout.

Požadavky na kabely a zapojení

Pro provozní výkon systému EK80 je zásadní, aby byl systém správně zapojen [28 – str. 42]. Všechny kabely vedené mezi systémovými skříněmi musí být po celé délce podepřeny a chráněny pomocí kabelovodů a/nebo kabelových žlabů. Kabely nesmí být instalovány v blízkosti zdrojů a kabelů vysokého výkonu, anténních kabelů nebo jiných možných zdrojů rušení. Kabely snímačů musí být vedeny v ocelových kanálech.

Požadavky na odchylku kompasu

Jednotky EK80 instalované na můstku mohou ovlivnit kompas [28 – str. 42]. Po dokončení instalace systému musí být plavidlo natočeno v provozním i nefunkčním režimu. Kapitán plavidla odpovídá za aktualizaci tabulky odchylek kompasu s ohledem na národní registr plavidla a příslušný námořní úřad.

Zdroje hluku

Provozní výkon systému EK80 může být ovlivněn hlukem [28 – str. 42]. Je proto potřeba, aby hluk vydávaný plavidlem a elektrickými zařízeními na něm byl co nejnižší.

Hluk plavidla

Trup plavidla, kormidlo a lodní šroub musí být před instalací systému EK80 důkladně zkontrolovány. Zdrojem hluku pod vodou mohou být nerovnosti pod čarou ponoru, deformace pláště nebo různé vyčnívající překážky. Je potřeba tyto zdroje turbulencí co nejlépe vyhladit, nebo, v ideálním případě, odstranit.

Hluk elektrických zařízení

Míra elektrického hluku závisí především na kvalitě napájení plavidla. Elektrický šum může vznikat v jakékoli jiné části zařízení, než ve snímači. Nejběžnějším zdrojem elektrického šumu je brum, který je obvykle generován nekvalitním napájením. Následně je zachycován citlivými elektrickými obvody. Při vyšších frekvencích může být elektrický šum omezujícím faktorem.

Požadavky na suché dokování

Je-li jeden nebo více snímačů namontováno pod trupem plavidla, musíme před suchým dokováním provést zvláštní opatření [28 – str. 43]. Při umístění plavidla zkontrolujeme, že je pod snímači dostatek volného prostoru. V blízkosti snímačů by se neměly vyskytovat podpěrné bloky ani konstrukce. Umístění každého snímače musí být zaznamenáno v plánu kotvení plavidla. Systém EK80 musí být před suchým dokováním vypnutý a počítač s jističem musí být zřetelně označeny, aby se předešlo náhodnému zapnutí systému.

Požadavek na schválení klasifikace

Před instalací systému EK80 je nutné, aby instalaci schválil národní registr plavidla a příslušný námořní úřad nebo klasifikační společnost [28 – str. 44]. Za získání a zaplacení tohoto schválení zodpovídá majitel plavidla a loděnice provádějící instalaci systému.

5.7.7 Zabezpečení sítě

Připojíme-li systém EK80 k místní síti, vždy dochází ke zpřístupnění dat v jeho počítači [28 – str. 45]. Přístup k vašim datům tak mají všechny počítače připojené ke stejné síti, což znamená několik potencionálních hrozeb. Vzdálené počítače mohou vaše data číst a měnit. Mohou také nainstalovat do vašeho počítače nežádoucí software, a tím změnit jeho chování.

Úroveň ohrožení počítače určují dva parametry:

- 1) pravděpodobnost, že vzdálený počítač provede některou z výše jmenovaných akcí
- 2) škoda způsobená v případě, že taková situace nastane

Společnost Kongsberg Maritime nemá informace o kompletní instalaci systému EK80 na jakémkoliv plavidle, systémy poskytované touto společností jsou považované za samostatné offline systémy.

Nejsou-li zavedeny zásady zabezpečující všechny počítače v síti, nemá zabezpečení samotného systému EK80 žádný význam. Za zabezpečení systému zodpovídá konečný uživatel.

5.7.8 Instalace systému EK80

Instalace systému je náročná a vyžaduje pečlivou přípravu. Celkový postup instalace je uveden v manuálu [28 – str. 48].

Instalační loděnice musí poskytnout všechny potřebné konstrukční a instalační výkresy, příslušné pracovní normy a montážní postupy. V případě potřeby musí být všechny tyto dokumenty schváleny národním registrem plavidla a příslušným námořním úřadem nebo klasifikační společností. Toto schválení musí být poskytnuto dříve, než bude zahájena instalace. Za získání a zaplacení takového schválení zodpovídá majitel lodi a loděnice provádějící instalaci.

Postup instalace

- 1) Určíme fyzické umístění snímače tak, abychom co nejvíce zabránili akustickému a elektrickému rušení.
- 2) Nainstalujeme snímače. Každý snímač pronikne trupem plavidla. Jedná se o klíčovou část instalace. Ke každému snímači existují příslušné instalační nákresy, které lze stáhnout z webových stránek společnosti Kongsberg Maritime, obvykle ve formátu AutoCad.
- 3) Instalujeme systémové jednotky EK80. Některé z nich mohou být komerční, tedy nejsou součástí dodávky a musely být zakoupeny samostatně.
- 4) Instalujeme kabely mezi jednotlivé systémové jednotky. Dodržujeme příslušný kabelový plán, postupy a obecné požadavky na kabeláž popsané v manuálu v kapitole „Rozvržení kabelů a propojení“.
- 5) Instalujeme kabely propojující systém EK80 s příslušnými periferními zařízeními.

- 6) Zapínáme a nastavujeme systém EK80.
- 7) Provádíme kompletní test systému podle pokynů v manuálu v kapitole „Nastavení pro práci“.

Po provedení instalace je potřeba vyplnit a podepsat formulář s poznámkami k instalaci a zaslat jej na oddělení podpory Simrad.

5.7.9 Nářadí, vybavení a spotřební materiál potřebný pro instalaci

Pro instalaci systému je potřeba mít k dispozici všechno potřebné nářadí a vybavení pro mechanické práce [28 – str. 50]. Musíme být vybaveni standardní sadou nářadí obsahující běžné nářadí pro elektronické a elektromechanické úkony. Do takové sady patří různé typy šroubováků, kleště, klíče, odizolovač kabelů, páječka,...

Každé nářadí musí být k dispozici v různých velikostech a mělo by být demagnetizované. Před instalací je potřeba se ujistit, že máme k dispozici následující specializované nářadí:

- 1) Veškeré nářadí a spotřební materiál potřebný pro svařování
- 2) Veškeré nářadí a spotřební materiál potřebný pro fyzickou instalaci jednotek, skříní a stojanů
- 3) Veškeré nářadí a spotřební materiál potřebný pro elektroinstalaci

5.7.10 Požadavky na sonarovou místnost

Sonarová místnost je prostor, ve kterém je nainstalovaná trupová jednotka, případně i další systémové jednotky (např. vysílací a/nebo napájecí) [28 – str. 52]. Pro umístění těchto jednotek se doporučuje použít vyhrazený prostor a nainstalovat jednotky relativně blízko sebe kvůli omezené délce kabelů.

Požadavky na prostředí

Jednotky EK80 je nutné nainstalovat v prostředí, které je suché a bezprašné [28 – str. 52]. Dále nesmí být jednotky vystaveny nadměrným teplotám. Nevhodné podmínky mohou způsobit korozi a následné poruchy elektronických obvodů. Sonarovou místnost je potřeba v pravidelných intervalech navštěvovat a podmínky kontrolovat.

Požadavky na vodotěsnost

Sonarová místnost musí svou velikostí, umístěním a konstrukcí splňovat požadavky na vodotěsnost [28 – str. 53]. Musí být možné v případě potřeby uzavřít všechny vodotěsné poklopy a dveře do místnosti, aby se zachovala bezpečnost plavidla. Fyzická velikost sonarové místnosti musí být omezena tak, aby v případě vniknutí většího množství vody dovnitř nemohlo dojít k nestabilitě místnosti či k převrácení nebo potopení výzkumného plavidla [28 – str. 53]. Všechny vodotěsné paluby a přepážky je nutné pravidelně kontrolovat a ujistit se, že v nich nejsou žádné nechráněné otvory či nevhodné průchody umožňující postupné zaplavit sonarové místnosti. Je také potřeba kontrolovat stav vodotěsných dveří a poklopů. V podpalubí by měla být nainstalována čidla vysoké hladiny, abychom byli včas varováni před abnormálním nadržováním vody. Tato čidla je také potřeba pravidelně kontrolovat. Všechny kabely vedoucí do sonarové místnosti musí být vedeny ocelovými trubkami sahajícími nad volnou palubu.

Požadavky na velikost a přístup

Vhodná velikost sonarové místnosti a snadný přístup do ní snižují riziko koroze a usnadňují údržbu [28 – str. 53]. V místnosti musíme mít možnost mít všechny dveře a skříně plně otevřené, aniž by nás omezovaly v pohybu.

V sonarové místnosti se nesmí používat žádné jiné těžké stroje, nesmí být zbytečně zatarasena nosníky či trubkami, a musí být za všech podmínek namoři i v kotvišti přístupná.

Požadavky na izolaci, vytápění a větrání

Sonarová místnost musí být vybavena topením a napojena na ventilační systém plavidla [28 – str. 54]. Přepážky v místnosti musí být izolované a opatřené vnitřní stěnou směrem k palubě plavidla.

Izolace by měla odpovídat alespoň 50 mm minerální vlny. Je důležité řádně odizolovat potrubí, prochází-li prostorem náchylným ke kondenzaci.

Vytápění slouží mimo jiné k tomu, aby v sonarové místnosti snižovalo vlhkost. Výkon topení v sonarové místnosti by měl být minimálně 1000 W a mělo by být nainstalováno poblíž paluby.

Dále musí být sonarová místnost napojena na ventilační systém výzkumného plavidla. Není-li ventilační systém k dispozici, instalují se ze sonarové místnosti trubky vedoucí do vhodného místa pro přívod čerstvého vzduchu. Ten by měl vstupovat do

místnosti co nejblíže k podlaze a být odváděn z co největší výšky, aby chlazení bylo co nejefektivnější. Pod větracími trubkami má být namontován sběrač kapek, který odvádí vlhkost ze sonarové místnosti do podpalubí.

Požadavky na elektrické instalace, kabely a komunikace

Sonarová místnost musí být vhodně osvětlena [28 – str. 55]. Tím se usnadňuje jak instalace přístrojů, tak jejich budoucí údržba. Dále musí místnost být vybavena telefonem, interkomem či jinými prostředky pro ústní komunikaci mezi sonarovou místností a řídicí místností. Každá jednotka v místnosti by měla být vybavena vlastním jističem. V místnosti musí být dostatečný počet zásuvek.

Jednotky v místnosti jsou připojeny k dalším jednotkám EK80 umístěným v různých částech plavidla, případně mohou být připojeny k jiným periferním zařízením. Tyto kabely mohou procházet poklopy nebo místy, kde by mohlo dojít k jejich poškození. V takovém případě musí být vedeny v kanálech.

Požadavky na palubu a palubní čerpadlo

Je-li sonarová místnost umístěna pod hladinou, je nutné, aby byla napojena na systém ponorného čerpadla výzkumného plavidla [28 – str. 56]. Není-li možné ji k systému čerpadla připojit, musí být pro tento prostor unstalováno samostatné čerpadlo. Dále musí být v podpalubí instalována a aktivována čidla vysoké hladiny, abychom byli včas varováni před abnormálním nahromaděním vody. Tato čidla pak musí být pravidelně kontrolována. Sonarový prostor musí být vhodně vyložen, aby všechna zařízení a kabely v něm byly dobře přístupné.

5.8 Sonar EK80 v praxi

Na úvod děkuji panu RNDr. Michalu Tušerovi, Ph.D. z hydrobiologického ústavu v Českých Budějovicích za poskytnutí informací a materiálů potřebných ke zpracování této kapitoly.

Průběh měření

Na výzkumných plavidlech jsou naklopitelné držáky, na které se před měřením přimontují vysílače/snímače echolotu. Než začneme měřit, je potřeba připravit počítač a kalibrovat snímač pomocí kalibračních koulí. Pokud bychom po výjezdu zjistili, že je přístroj špatně kalibrovaný, můžeme již překalibrovávat pouze data, ale už ne přístroj.

Po nádrži (či jiné zkoumané vodní ploše) se plavidlo pohybuje buď náhodně, nebo způsobem zig zag. Který způsob je vhodnější záleží mimo jiné na počasí.



Obr. 23: výzkumné plavidlo (zdroj: Biologické centrum AV ČR, HBÚ)



Obr. 24: výzkumné plavidlo (zdroj: Biologické centrum AV ČR, HBÚ)



Obr. 25: výzkumné plavidlo (zdroj: Biologické centrum AV ČR, HBÚ)

Sledování ryb pomocí sonaru

Za dne se většina ryb pohybuje v hejnech. Pozorujeme-li sonarem hejno ryb, vznikají na displeji masy a je těžké odhadnout, kolik ryb v hejnu vlastně je. Chceme-li tedy sonarem pozorovat ryby, je lepší jezdit v noci.

Při použití kilohertzových signálů se nám obvykle nezobrazí na displeji celá ryba, ale pouze její plynový měchýř, od kterého se signál odráží. Velikosti ryb je tedy potřeba dopočítávat zpětně.

Vzduchové bubliny se na záznamu zobrazují stejně, jako plynové měchýře ryb. Rybu lze od bubliny rozeznat na vertikálních záznamech. Tam se ryba zobrazí jako vodorovná čára (protože vodorovně plave). Bublina se na vertikálním záznamu zobrazí jako šikmá čára, protože plavidlo se pohybuje vodorovně a bublina se pohybuje směrem nahoru.

V našich podmínkách se většinou netvoří monodruhovía hejna. Nemáme-li předem nějaké informace o daném ekosystému, nepoznáme ze záznamu, na co se přesně díváme. Všechno dává stejnou odezvu.

Na moři se častěji tvoří monodruhovía hejna. O jaký druh ryb se jedná pak můžeme rozeznat pomocí kombinace různých frekvencí signálů.

Při použití megahertzových signálů už lze rozeznat tkáň ryby, nejen její plynový měchýř. Na záznamu bychom tak viděli tvar ryby, její ploutve, a mohli bychom tak snáze odhadnout, o jaký druh ryby se jedná. Megahertzové signály rozeznají i medúzu, která je z 99% tvořena vodou.

S jakými problémy se v praxi setkáváme

Měření se sonarem je potřeba provádět za klidného počasí. Nelze například měřit za bouře. Na druhou stranu by také hladina neměla být úplně klidná. V takovém případě se hladina chová jako reflektor. Vzniká spousta odrazů a o jedné rybě by tak sonar získal informace několikrát v různých časech – viděl by ji jako několik ryb vedle sebe.

Zpracování dat

Data lze z měření zpracovávat pomocí různých počítačových softwarů. Příkladem může být *Sonar5Pro* nebo *Echoview*.

Následující informace o zpracování dat byly sepsány podle zdroje [25 – str. 140, 141]

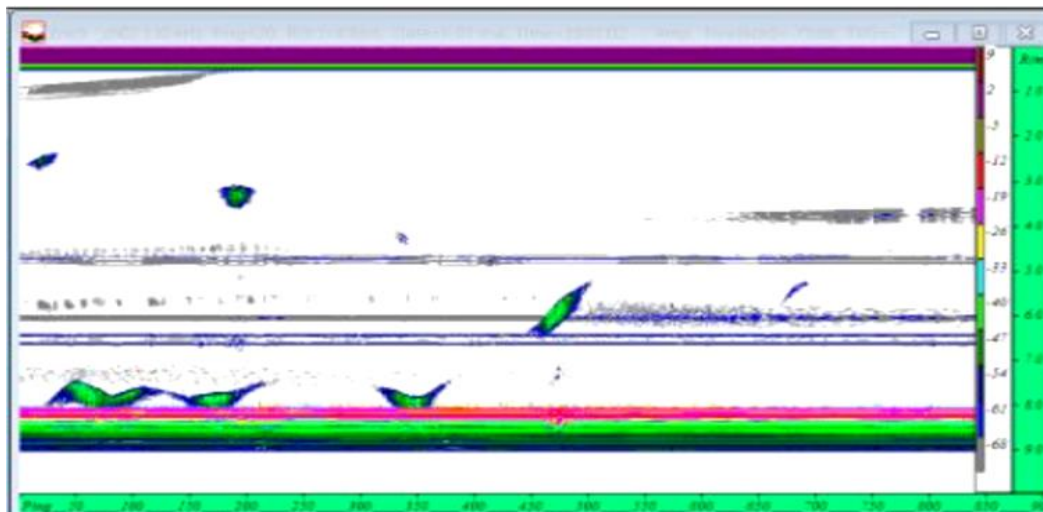
Echolot vysílá ultrazvukové signály v krátkých pulsech, které nazýváme *ping*. Tyto pulsy se šíří ve tvaru kužele. Po vyslání pingu čeká echolot na odezvy odražené od objektů, které mají jinou hustotu než voda (plynový měchýř ryby, dno, rostliny). Vzdálenost objektu změří podle času, za který se vrátí odražený ping. Každý zaregistrovaný předmět je změřen několikrát a jednotlivé pingy se skládají do echogramu. Echogram je v podstatě graf, ve kterém na ose X běží čas a na ose Y hloubka. Délka stopy každé zaznamenané překážky pak závisí na době jejího pobytu v akustickém kuželul.

Chceme-li z výsledků měření odhadnout množství ryb, lze to provést dvěma způsoby – echointegrací, nebo počítáním ozev (echo-counting).

Echointegraci využijeme, tvoří-li ryby velké shluky. Jsou-li ryby (či jiné překážky) oddělené, využijeme echo-counting, při němž se analyzují jednotlivé rybí ozvy do určité vzdálenosti od středu akustického kužele.

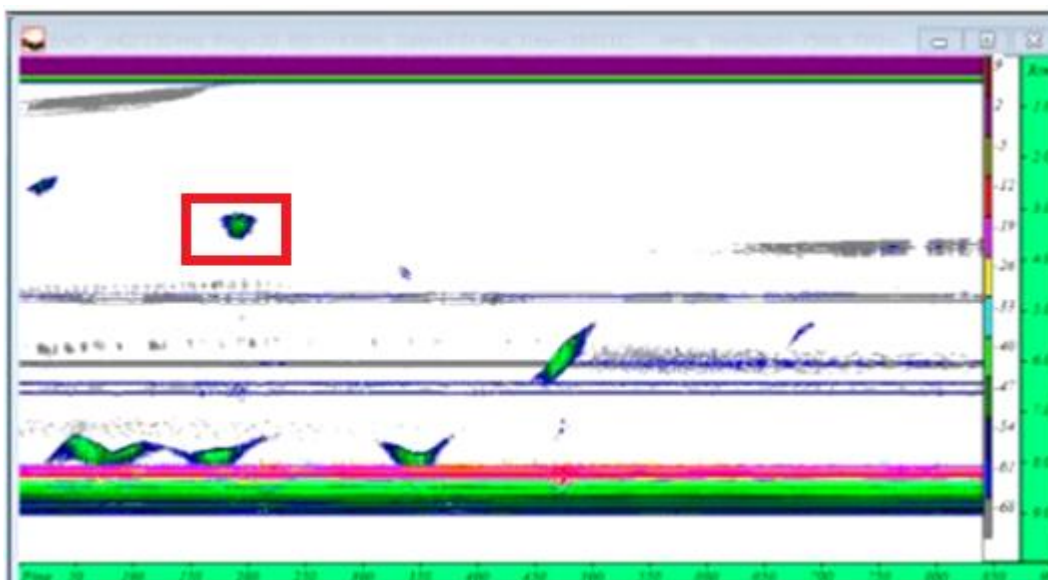
Na echogramu obvykle vidíme z ryby pouze její plynový měchýř, její velikost je potřeba následně dopočítat.

Echogram



Obr. 26: Echogram, příklad.

Na obrázku výše je záznam z echolotu. Napravo vidíme dvě svislé škály. První je škála odrazové síly – barvy v echogramu nám říkají, jakou sílu měl signál odražený od daného objektu. Druhá škála, vyznačená zeleně, udává hloubku zaznamenaných předmětů.



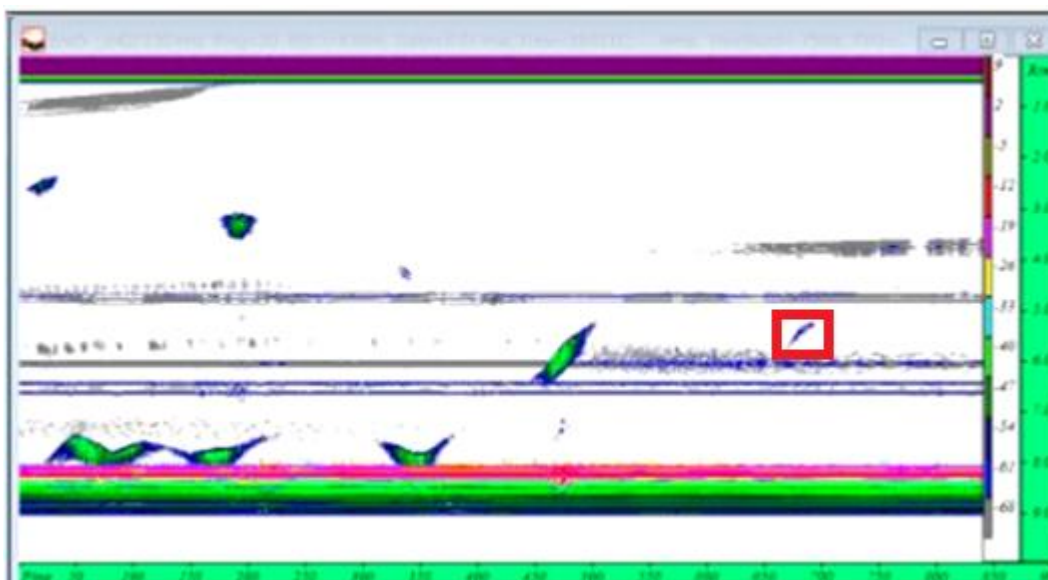
Obr. 27: Echogram, příklad.

V červeně vyznačeném poli můžeme vidět rybu, která v době měření buď plavala vodorovně, nebo „stála“ na místě.



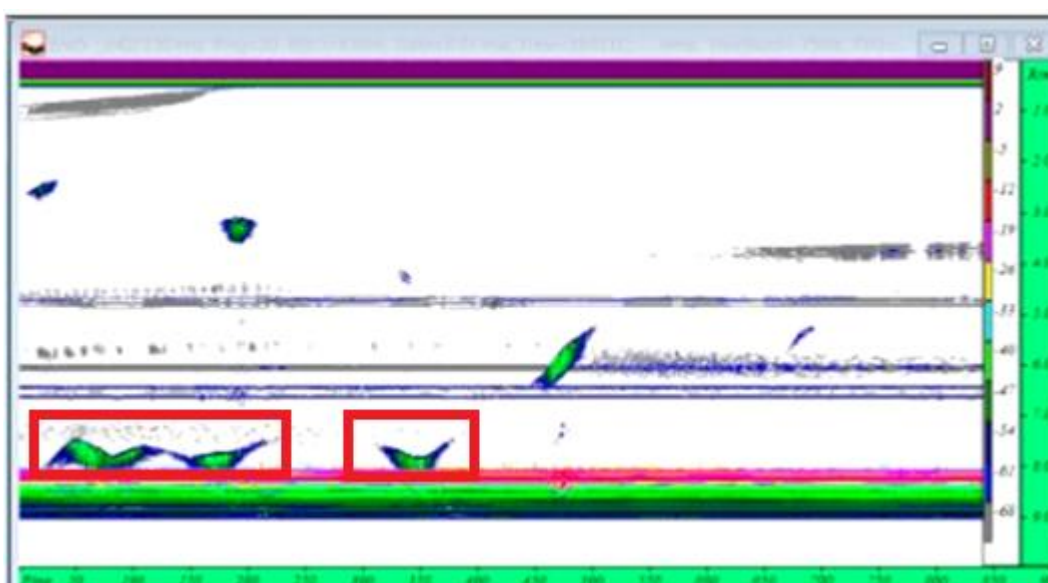
Obr. 28: Echogram, příklad.

Zde v červeně vyznačeném poli vidíme rybu, která v době měření stoupala k hladině.



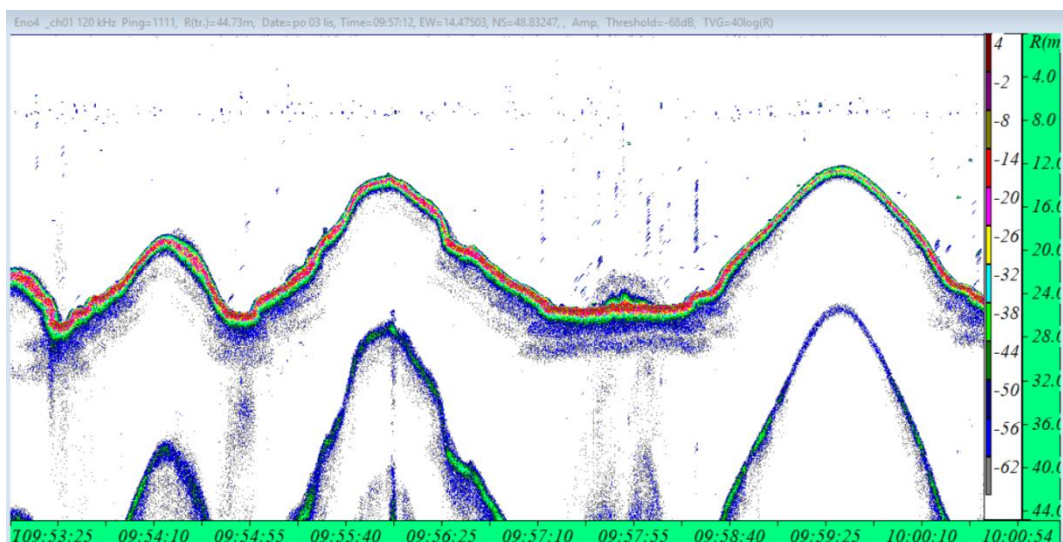
Obr. 29: Echogram, příklad.

Jako tenké šikmé čáry se na echogramu zobrazují stoupající vzduchové bubliny.



Obr. 30: Echogram, příklad.

Zde ve vyznačených červených polích vidíme rostliny rostoucí u dna.



Obr. 31: Echogram, příklad.

Časová náročnost kalibrace, měření a zpracování dat

Kalibrace EK80 obvykle zabere 1 až 2 dny. Je potřeba provádět ji v místě, kde je dostatečná hloubka. Kalibrace se provádí pomocí kalibračních koulí, které jsem již zmiňovala v kapitole 5.7.3.

Samotné měření může trvat několik hodin, dní, týden nebo až dva týdny. Přesná doba záleží na velikosti vodní plochy, kde měření provádíme. Při měření se výzkumné plavidlo pohybuje velmi pomalu, obvykle rychlostí kolem 3 km/h. Měření na rybníce Římov by pravděpodobně zabralo 3 až 4 hodiny. Měření na jezeře Balaton by trvalo asi 6 nebo 7 dní.

Z celé měřené plochy zpravidla pokryjeme jen pár procent (3 % Balaton, 6-7 % Římov).

Zpracování dat může zabrat několik dní, nebo také měsíc. Záleží na množství naměřených dat a na tom, jestli data zpracovává software, nebo je zpracováváme manuálně. Software zpracovává data rychle (1-2 dny), některá data ale může podhodnotit.

K čemu data využíváme

Data z měření lze využít pro odhad množství ryb, zjištění jejich druhů a velikostí. Na základě těchto informací se pak rozhoduje o redukci nebo změně obsádky.

Naměřená data lze také využít pro vylepšování metod měření.

5.9 Komerčně dostupné přístroje echolot

V této kapitole budu porovnávat ceny a vlastnosti vybraných echolotů nabízených na stránkách www.tropicfishing.cz [10].

Sonar Lowrance Eagle 4X

Lowrance Eagle 4X je menší sonar určený hlavně pro kajaky a malé rybářské lodě [32]. Displej sonaru je orientovaný na výšku. Se svým širokoúhlým snímáním sonar poskytuje větší pokrytí vodního sloupce a nepřetržitým posouváním zprava doleva po obrazovce, čímž uživateli usnadňuje interpretaci a rozpoznání ryb.



Obr. 32: Sonar Lowrance Eagle 4X [32]

Sonar disponuje funkcí Autotuning, uživatel tedy nestráví dlouhou dobu zbytečným nastavováním a manuálním laděním. Displej sonaru nabízí dobré rozlišení a čistotu zobrazení, a to i při sledování obrazovky v polarizačních brýlích. Otočný uzamykací konektor zajišťuje snadnou a spolehlivou instalaci a sundání obrazovky.

Parametry:

délka:	8,5 cm
výška:	15,3 cm
úhlopříčka obrazovky:	4“

Cena na www.tropicfishing.cz: 4 509 Kč

Sonar Lowrance Eagle 7 Splitshot

Sonar Lowrance Eagle 7 Splitshot je velmi snadný na ovládání [33]. Snadno se instaluje a manipulace s obrazovkou je také velice jednoduchá. Sonar obsahuje sondu SplitShot™ HD s technologií FishReveal a automatickým laděním pro rychlé a optimální nastavení. IPS obrazovka poskytuje dobré rozlišení a viditelnost ze všech úhlů i v polarizačních brýlích.



Obr. 33: Sonar Lowrance Eagle 7 Splitshot [33]

Jedná se o širokoúhlý CHIRP sonar, který dokáže vyhledávat a detailně rozlišovat konkrétní ryby či rybí hejna.

Lowrance Eagle 7 Splitshot disponuje funkcí automatického ladění, čímž zajišťuje optimální nastavení bez nutnosti zdlouhavého manuálního nastavování. Funkce Genesis Live umožňuje uživateli vytvářet vlastní 1 stopové vrstevnicové mapy oblíbených míst v reálném čase.

IPS displej Eagle 7 poskytuje velmi dobré rozlišení, jas a viditelnost, a to i na přímém slunci nebo přes polarizované sluneční brýle.

Instalace a demontáž je snadná díky systému twist-lock konektorů.

Velikost displeje	225 mm x 139 mm
Rozlišení displeje:	800x480
Typ displeje:	IPS
Úhly zobrazení:	85° nahoru/dolů, 80° vlevo/vpravo
Napájení:	12 VDC
Spotřeba energie:	550 mA, 250 mA při 12 VDC
Provozní teplota:	-15 °C až +55 °C

Parametry:

Délka:	22,5 cm
Výška:	13,9 cm
Úhlopříčka obrazovky:	7“
Hmotnost:	0,67 kg

Cena na www.tropicfishing.cz: 13 889 Kč

Echolot Humminbird HELIX 9x MSI+ GPS G4N

Tento echolot je vybaven 9“ HD displejem, sonarem Dual Spectrum CHIRP a zabudovanou GPS s mapami Humminbird Basemap [4], [11]. K echolotu lze dokoupit samostatně program AutoChart Live, který umožňuje vytvářet 2D mapy uživatelem oblíbených rybářských míst v reálném čase. Tyto mapy pak ukládá do interní paměti přístroje. V případě vložení SD karty se data zapisují na tuto kartu.



Obr.34: Echolot Hummingbird HELIX 9x MSI+ GPS G4N [11]

Parametry

Frekvence CHIRP

Narrow: 180 – 240 kHz

Wide: 140 – 200 kHz

Full: 150 – 220 kHz

Velikost displeje: úhlopříčka 229 mm

hloubkový dosah:

455 kHz: 122 m

800 kHz: 38 m

MEGA: 61 m

stranový dosah:

455 kHz: 244 m

800 kHz: 76 m

MEGA: 122 m

Měření rychlosti: ano - GPS

Měření teploty: ano

Rozlišení cíle: 6,35 cm

Cena na www.tropicfishing.cz: 33 872 Kč

Sonar Lowrance HDS Pro 9

Sonar Lowrance HDS Pro 9 nabízí detailní pohled pod vodní hladinu [34]. Sonda Active Imaging™ HD poskytuje ve vysokém rozlišení zobrazení CHIRP, SideScan a DownScan Imaging™. Zobrazení DownScan a boční snímání SideScan umožňují snadnou identifikaci ryb ve vodním sloupci. Sonar disponuje sondou ActiveTarget®2, která v přímém přenose monitoruje dění pod vodní hladinou.



Obr. 35: Sonar Lowrance HDS Pro 9 [34]

Rozměry: 280 x 166,7 x 77,7 mm

Dostupné frekvence:

SideScan: Low CHIRP Freq.: 445 - 495 kHz
High CHIRP Frwq.: 1065 – 1265 kHz

Typ displeje: SolarMAX HD

Velikost displeje: úhlopříčka 228 mm

Pozorovací úhly: 80° nahoru/dolů
80° vlevo/vpravo

Cena na www.tropicfishing.cz: 58 589 Kč

Echolot Humminbird - Solix 10 Chirp MSI+ GPS G3

Echolot Solix 10 je vybavený dotykovým displejem a sonary MEGA Side Imaging+, MEGA DownImaging+, Dual Spectrum Chirp [12]. Dále je součástí výbavy GPS a program AutoChart Live (viz Humminbird HELIX 9x), Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet.



Obr. 36: Echolot Humminbird - Solix 10 -chirp MSI+ GPS G3 [12]

Velikost displeje: úhlopříčka 257 mm
frekvence CHIRP:
Full: 28 – 75 kHz
Narrow: 75 – 155 kHz
Optional Deepwater: 28 – 250 kHz
Wide: 130 – 250 kHz

Rozlišení cíle: 6,35 cm

Stranový dosah:

76 m (800 kHz)
152 m (MEGA)
244 m (455 kHz)

Hlubkový dosah:

38 m (800 kHz)
76 m (MEGA)
122 m (455 kHz)

Měření teploty: ano

Cena na www.tropicfishing.cz: 84 990 Kč

Sonar Lowrance HDS Pro 16

Tentosonar nabízí nejdetailnější pohled pod vodní hladinu ve své třídě [35]. Stejně jako sonar Lowrance HDS Pro 9 disponuje sondou Active Imaging™ HD (viz výše) s vysokým rozlišením 1 MHz.



Obr. 37: Sonar Lowrance HDS Pro 16 [35]

Dostupné frekvence:

SideScan: Low CHIRP: 445 – 495 kHz
High CHIRP: 1065 – 1115 kHz
DownScan: Low CHIRP: 690 – 740 kHz
High CHIRP: 1215 – 1265 kHz

Rozměry: 430,5 x 259,2 x 87,8 mm

Typ displeje: SolarMAX HD

Velikost displeje: úhlopříčka 40,64 cm

Pozorovací úhly: 80° nahoru/dolů
80° vlevo/vpravo

Cena na www.tropicfishing.cz: 131 109 Kč

6 Podvodní akustika a sonary ve výuce na SŠ

6.7 Možnosti zařazení tématu do výuky na SŠ

V této kapitole navrhnu možnosti zařazení tématu sonarů a podvodní akustiky do výuky na vybraných typech středních škol.

Gymnázium

Na gymnáziích se sonary obvykle krátce zmiňují v rámci výuky o ultrazvuku. Podrobněji by se téma sonarů a podvodní akustiky dalo probírat v rámci volitelného fyzikálního semináře, pokud by tento seminář probíhal v ročníku, ve kterém se řeší akustika. Je také možné zadat na dané téma maturitní seminární práci.

Přírodovědné lyceum

Na přírodovědných lyceích by bylo možné téma zařadit v podobě projektové výuky. Na tématu by mohly pracovat dva studenti, jeden se zaměřením na fyziku a druhý se zaměřením na biologii, kteří by společně provedli měření se sonarem a vypracovali seminární práci. Student se zaměřením na fyziku by se v práci více zabýval fyzikálními vlastnostmi ultrazvuku a principy funkce sonaru. Student zaměřený na biologii by se v práci více zaměřil na využití sonarů v rybářství a vodohospodářství.

Další možnosti

O funkci sonarů by se dále mohlo vyučovat na průmyslových či elektrotechnicky zaměřených středních školách. Téma by se hodilo i na střední odborné školy se zaměřením elektro, slaboproud, silnoproud nebo automatizace.

6.8 Návrh zadání SOČ

Ultrazvuk a sonary

Téma je vhodné pro studenty technických či rybářských středních škol.

V teoretické části práce se student bude zabývat následujícím:

- Fyzikální vlastnosti ultrazvuku
- Rozdíly šíření ultrazvuku ve vzduchu a ve vodě
- Princip funkce sonaru
- Využití sonaru v rybářství
- Jak sonar zaznamenává ryby
- Za jakých podmínek funguje sonar lépe a za jakých hůře
- Porovnání komerčně dostupných sonarů

Je-li škola schopna spojit se s někým, kdo disponuje sonarem, popř. vlastní-li škola sonar, bude studentova práce zahrnovat také praktickou část.

V praktické části se bude student věnovat využití sonaru při kontrole a sledování zdraví ryb. Student může např. 10 dní kontrolovat ryby v nějakém úseku vodní plochy a sledovat jak rychle plavou (jsou-li ryby pomalé, může to znamenat, že jsou nemocné), či sledovat počet ryb, které za daný čas proplavou pod sonarem.

Závěr

V práci jsem popsala fyzikální vlastnosti zvuku a vysvětlila principy šíření zvuku ve vodě. Popsala jsem principy funkce sonaru a echolotu, různé typy těchto zařízení a možnosti jejich využití ve výzkumu, vojenství a dalších oblastech.

Motivací pro moji práci byla obecně malá dostupnost česky psané literatury, která by se věnovala podvodní akustice. Jako studentku aprobace matematika fyzika mne zajímala fyzikální podstata šíření zvuku ve vodě včetně jejího matematického popisu.

Šíření zvuku v kapalinách je zjevně náročnější než šíření zvuku ve vzduchu. K tomu se přidávají jevy jako salinita mořské vody, která má na šíření zvuku velký vliv. Výsledné vztahy pro závislost šíření zvuku, které uvádím v kapitole 4, jsou znatelně komplikovanější než obecně užívané vztahy pro šíření zvuku v plynném prostředí.

Při práci se zdroji jsem zjistila, že sonary a echoloty mají velmi dlouhou historii, kde mj. figuruje Leonardo da Vinci. Jak uvádím v kapitole 5. 1., historie těchto zařízení je silně spjata se světovými válkami. Je to logické, jejich technický vývoj měl prvořadý význam pro přežití a to zejména ostrovní Velké Británie.

Při práci na popisu sonarů a echolotů jsem se opět dozvěděla spoustu nových informací. Počínaje způsobem skenování vodní plochy, tak zejména využíváním vysílání komplikovanějších zdrojových signálů. Domnívala jsem se, že obecně je používán jeden krátký impuls o jedné konkrétní frekvenci. Jak se však čtenář s kapitoly dozví, mnohem častěji jsou využívány signály, které jsou složeny z více impulsů; takzvaný *Multibeam*. Výhody a nevýhody i vlastnosti těchto zařízení jsou popsány tamtéž.

Součástí práce je kapitola o echolotu EK80. V rámci práce na této kapitole jsem se sešla s panem RNDr. Michalem Tušerem, Ph.D., který se sonarem pracuje. Na základě konzultací jsem popsala, jak probíhá práce s tímto zařízením. Bylo v plánu zúčastnit se měření na vodní nádrži Římov, toto měření bylo bohužel zrušeno. Ráda bych se reálného měření zúčastnila v budoucnu, pokud k tomu bude příležitost.

Protože zařízení EK80 bylo vlastně jediné, které jsem mohla podrobněji poznat, věnuji se mu od kapitoly 5.7 a dále. Jak uvádím výše, Echolot EK80 od společnosti Simrad je v současnosti považován za nejmodernější vědecké zařízení toho druhu na světě. Jeho využití je velmi rozsáhlé, má velké množství praktických aplikací. Při seznamování s tímto

echolotem jsem narážela na to, že žijeme v zemi, která nemá vlastní moře ani oceán. Věřím že národy jejichž země je omývána mořem, vnímají potřebu a možnosti využití takovýchto zařízení úplně jinak než my, Středoevropané. Při čtení o různých funkcích a vlastnostech echolotu jsem si uvědomila, že vzhledem k absenci moře by mne spousta těchto aplikací vlastně ani nenapadla. Z těchto důvodů jsem se nakonec rozhodla systém EK80 popsat mnohem podrobněji a to formou částečného zpracování malé části manuálu a podpůrných dokumentů. Podotýkám, že jenom manuál k tomuto přístroji má více než 600 stran. Je psaný anglicky, v češtině není dostupná žádná jeho část. Pasáže a obrázky, které jsem do mé práce zařadila, jsou tedy pouhým zlomkem toho, co výrobce k echolotu EK80 sám uvádí.

Podotýkám, že texty, které jsem vytvořila pro moji práci, jsou zcela nové a v podstatě jediné, které jsou česky mluvícímu čtenáři v současnosti k dispozici.

Dr. Tušer pracuje na Hydrobiologickém Ústavu Biologického centra (HBÚ BC) už několik let. Věnuje se možnostem a způsobu detekcí ryb právě s využitím echolotů. Má za sebou výzkumné stáže v zahraničí, na moři a oceánech a jeho odborný pohled mi pomohl ucelit si vědomosti a poznatky k echolotu EK80.

Díky němu jsem také dostala možnost se seznámit přímo s tímto zařízením, podívat se na způsob zapojení a jeho provedení. Všechny komponenty echolotu jsou provedeny *velmi* odolně. Možná by bylo vhodnější použít spojení *extrémně* odolně. Všechny kabely jsou značně tlusté a neohebné. Působí dojemem, že vydrží velké množství namáhání. Podobně provedení snímáče působí velmi robustním až téměř nerozbitným dojemem.

Ráda bych také zmínila kalibrační kouli, kterou jsem si díky dr. Tušerovi měla možnost prohlédnout. Kalibrace, jak uvádím ve své práci, je nedílnou součástí na začátku každého nasazení echolotu EK80. Je prováděna právě tímto specifickým zařízením.

S dr. Tušerem a s vedoucím mé práce bylo domluveno, že se zúčastním skutečného měření na Římovské přehradě. Bohužel vlivem neočekávaných okolností bylo celé měření zrušeno a já jsem tuto možnost před termínem odevzdání mé diplomové práce nedostala. Nicméně stále platí, že pokud se vyskytne možnost, budu k měření přizvána.

I přes uvedené body jsem v kapitole 5.8 popsala využití Sonaru EK80 v praxi a to právě díky poznatkům dr. Tušera. Kapitulu jsem též doplnila jeho fotografiemi z reálného měření.

Velmi důležitou součástí využití echolotů je zpracování dat. Tým dr. Tušera využívá program SonarPro od norského vývojáře Balk Helge z University of Oslo. Výrobce Simrad nabízí svůj vlastní software na zobrazení a zpracování dat. Nicméně výzkumná skupina dr. Tušera potřebuje s daty nakládat podrobněji a získávat z nich i další údaje, než stačí běžnému uživateli. Asi hlavním rozdílem je, že uživatelská data jsou již finálně upravena připravena k zobrazení (ukazují celkový součet). Chybí v nich údaje o úhlech síle konkrétních signálů, tedy signálů z jednotlivých složek. Program SonarPro je sice složitější na ovládání a není tak uživatelsky přívětivý, ale obsahuje i tyto dílčí informace. Z nich je pak možné získávat i další informace jako je úhel natočení ryb, rychlost jejich pohybu apod.

Aktuální verze tohoto software má číslo 5. V kapitole 58 uvádím několik naskenovaných obrázků z tohoto softwaru, které demonstrují, jak mohou vypadat uživatelská data.

Jako protipól k echolotu EK80 fungují malé komerčně dostupné echoloty, určené především pro amatérské rybáře. Překvapilo mě velké množství zařízení na trhu stejně jako široké rozpětí cen. Ceny těchto zařízení začínají už u jednotek tisíců. Dostupnost těchto zařízení je tedy skutečně vysoká.

Nejsem rybářka, takže nedovedu posoudit, jak moc je či není přínosné pro amatérského rybáře, toto zařízení vlastnit. Snižuje šanci ryb a zvyšuje pravděpodobnost úlovku. Čistě z lidského hlediska mi přijde poněkud nesportovní tato zařízení využívat. Snižuje se tím nejistota, které - aspoň jak se domnívám - k rybaření patří.

Srovnání několika levných echolotů pro amatérské účely je v práci zařazeno záměrně. Spolu s vedoucím práce se domníváme, že je vhodné poskytnout aktuální představu komerčně dostupných zařízení

Poslední kapitola 6 se věnuje možnostem, jak by bylo možné poznatky získané v této práci přenést do výuky středních škol. Uvedená problematika se vztahuje k výuce fyziky. Její zařazení do výuky považuji za snadné a přínosné. Uvádím konkrétní příklady, jak do výuky téma zařadit. Předpokládám, že pro každého učitele fyziky, bude jednoduché přijít i s novými nápady, jak téma do výuky zařadit. Kapitulu by bylo možné rozšířit popisem více výukových aktivit. A konečně pro ilustraci v kapitole 6.8 uvádím, jak by mohlo vypadat zadání SOČ. Opět platí, že téma považuji za velmi vděčné a snadno využitelné i pro tyto účely; mezi studenty určitě bude mnoho těch s rybařením jako koníčkem.

Souhrnně mohu říci, že mě práce na tématu bavila. Získala jsem mnoho nových poznatků z oblasti, ve které jsem se až dosud vlastně nikdy nepohybovala. Práci jsem se s přestávkami věnovala skoro rok a půl. I přes některé dílčí potíže si dovolím říci, že téma práce se podařilo naplnit. Osobně mě mrzí, že se nepodařilo vyjet na praktické měření. Ale doufám, že se ještě naskytne možnost měření se zúčastnit a doplnit si tak chybějící část mých znalostí.

Zdroje

- 1) CREATIVE COMMONS. Akustický odpor. *Www.wikiskripta.eu* [online]. [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Akustick%C3%BD_odpor
- 2) Akustika. *Www.wikiskripta.eu* [online]. [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Akustika#Akustick%C3%A1_rychlost_v_%E2%80%93_3_okam%C5%BEit%C3%A1_rychlost
- 3) 2. Akustika, základní pojmy a veličiny v akustice. PONÍŽIL, Petr. *Ufmi.ft.utb.cz* [online]. 2009, 29. 9. 2009 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: https://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_02.pdf
- 4) *AutoChart - Hummingbird*. Online. *Humminbird.johnsonoutdoors.com*. Dostupné z: <https://humminbird.johnsonoutdoors.com/us/learn/mapping/autochart>. [cit. 2025-01-07].
- 5) *Beamforming*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Beamforming>. [cit. 2025-02-09].
- 6) KONGSBERG DISCOVERY. *EK80 High-precision scientific echo sounder and ADCP system*. Online. *Www.kongsberg.com*. Dostupné z: <https://www.kongsberg.com/discovery/ocean-science/ek-family/ek80/>. [cit. 2024-10-10].
- 7) FULTON, Ken. Beyond Discovery - Sounding Out the Ocean's Secrets. *Www.nasonline.org* [online]. 2013 [cit. 2023-12-02]. Dostupné z: <https://www.nasonline.org/publications/beyond-discovery/sounding-out-oceans-secrets.pdf>
- 8) Da Vinci and Sound Waves. *Covecollective.org* [online]. Dostupné z: <https://editions.covecollective.org/chronologies/da-vinci-and-sound-waves>
- 9) Dual Beam vs Tri Beam Sonar. *Hummingbirdfishfinderreviews.com* [online]. 2013, 17. 1. 2013 [cit. 2024-03-24]. Dostupné z: <https://hummingbirdfishfinderreviews.com/dual-beam-vs-tri-beam-sonar/>
- 10) *Echoloty a sonary*. Online. *Www.tropicfishing.cz*. Dostupné z: <https://www.tropicfishing.cz/sonary-echoloty/>. [cit. 2024-12-28].
- 11) *Echolot Humminbird HELIX 9x MSI+ GPS G4N*. Online. *Www.tropicfishing.cz*. Dostupné z: <https://www.tropicfishing.cz/echolot-humminbird-helix-9x-msi-gps-g4n/>. [cit. 2025-01-07].
- 12) *Echolot Humminbird - Solix 10 Chirp MSI+ GPS G3*. Online. *Www.tropicfishing.cz*. Dostupné z: <https://www.tropicfishing.cz/echolot-humminbird-solix-10-chirp-msi-gps-g3/>. [cit. 2025-01-08].
- 13) JÜTTNEROVÁ, Sandra a Iveta BRYJOVÁ. © VŠB-TU OSTRAVA. Fyzika ultrazvuku. *Www.jtarchitekt.cz* [online]. [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: https://www.jtarchitekt.cz/fyzika_ultrazvuku.html
- 14) BELLIS, Mary. Historie sonaru. *Cs.efferit.com* [online]. [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: <https://cs.efferit.com/historie-sonaru/>

- 15) How does Sonar work. *Www.furuno.com* [online]. [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: <https://www.furuno.com/en/technology/sonar/basic/>
- 16) Introduction to SONAR. *Man.fas.org* [online]. [cit. 2024-01-14]. Dostupné z: https://man.fas.org/dod-101/navy/docs/es310/uw_acous/uw_acous.htm
- 17) Jak funguje echolot na ryby: návod pro začátečníky. *Na-ryby.eu* [online]. [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://na-ryby.eu/jak-funguje-echolot-na-ryby-navod-pro-zacatecniky/>
- 18) Jak fungují sonary. *Www.deeper-sonar.cz* [online]. [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://www.deeper-sonar.cz/jak-funguji-sonary-p117.htm>
- 19) Jaký je rozdíl mezi echolotem a sonarem a který použít pro rybolov. *Na-ryby.eu* [online]. [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://na-ryby.eu/jaky-je-rozdil-mezi-echolotem-a-sonarem-a-ktery-pouzit-pro-rybolov/>
- 20) Jak zvolit správný sonar pro rybaření. *Na-ryby.eu* [online]. [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: <https://na-ryby.eu/jak-zvolit-spravny-sonar-pro-rybareni/>
- 21) *Multibeam echosounder*. Online. *En.wikipedia.org*. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Multibeam_echosounder. [cit. 2024-12-04].
- 22) Multibeam Sonar. NOAA OCEAN EXPLORATION, NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. *Oceanexplorer.noaa.gov* [online]. [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://oceanexplorer.noaa.gov/technology/sonar/multibeam.html>
- 23) © BENTHOWAVE INSTRUMENT INC. *Phased Array Transducer*. Online. *Www.benthowave.com*. Dostupné z: <https://www.benthowave.com/products/BII-7630PhasedArray.html>. [cit. 2025-03-13].
- 24) HUSÁKOVÁ. Rychlost_zvuku.pdf. *Is.muni.cz* [online]. 2006 [cit. 2023-12-27]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1441/jaro2014/FY2RC_FM1/um/rychlost_zvuku.pdf
- 25) Rybářství ve volných vodách. Online. *Fakulta rybářství a ochrany vod, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích*. S. 140 - 141. Dostupné z: http://ryby.agrobiologie.cz/wp-content/uploads/rybarstvi_ve_volnych_vodach_book.pdf. [cit. 2024-12-03]
- 26) Rychlost zvuku. *Cs.wikipedia.org* [online]. [cit. 2023-12-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Rychlost_zvuku
- 27) Side-Scan Sonar. NOAA OCEAN EXPLORATION, NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. *Oceanexplorer.noaa.gov* [online]. [cit. 2024-03-24]. Dostupné z: <https://oceanexplorer.noaa.gov/technology/sonar/side-scan.html>
- 28) ©2022 Kongsberg Maritime. *Simrad EK80 Instalation Manual*. Online. 2022. ISBN 978-82-8066-182-1. Dostupné z: https://www.simrad.online/ek80/ins/ek80_ins_en_us.pdf. [cit. 2024-10-10]
- 29) AHAČIČ, Petra. *SONAR* [online]. Breg, Slovinsko, 2008 [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: <http://www.fizika.si/seminarji/Sonar/Sonar.pdf>. Seminární práce. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Vedoucí práce Doc. dr. Zvonko JAGLIČIČ.
- 30) Sonar. *Cs.wikipedia.org* [online]. [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sonar>

- 31) © DEPARTMENT OF CLIMATE CHANGE, ENERGY, THE ENVIRONMENT AND WATER. Sonar and seismic impacts. *Www.dcceew.gov.au* [online]. 15. 10. 2021 [cit. 2024-04-01]. Dostupné z: <https://www.dcceew.gov.au/environment/marine/marine-species/cetaceans/sonar-seismic-impacts>
- 32) *Sonar Lowrance Eagle 4X*. Online. *Www.tropicfishing.cz*. Dostupné z: <https://www.tropicfishing.cz/sonar-lowrance-eagle-4x/>. [cit. 2025-01-05].
- 33) *Sonar Lowrance Eagle 7 Splitshot*. Online. *Www.tropicfishing.cz*. Dostupné z: <https://www.tropicfishing.cz/sonar-lowrance-eagle-7-splitshot/>. [cit. 2025-01-05].
- 34) *Sonar Lowrance HDS Pro 9 bez Sondy*. Online. *Www.tropicfishing.cz*. Dostupné z: <https://www.tropicfishing.cz/sonar-lowrance-hds-pro-9-bez-sondy/>. [cit. 2025-02-12].
- 35) *Sonar Lowrance HDS Pro 16 bez Sondy*. Online. *Www.tropicfishing.cz*. Dostupné z: <https://www.tropicfishing.cz/sonar-lowrance-hds-pro-16-bez-sondy/>. [cit. 2025-02-12].
- 36) WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION. *Sonar Single Beam*. Online. *Www.whoi.edu*. Dostupné z: <https://www.whoi.edu/know-your-ocean/ocean-topics/ocean-tech/acoustics/sonar-single-beam/>. [cit. 2024-12-03].
- 37) SOSUS. *En.wikipedia.org* [online]. [cit. 2024-01-14]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/SOSUS>
- 38) NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. *Speed of sound in sea water - Underlying Physics*. Online. *Resource.npl.co.uk*. Dostupné z: <http://resource.npl.co.uk/acoustics/techguides/soundseawater/underlying-phys.html>. [cit. 2024-09-19].
- 39) Split-Beam Sonar. NOAA OCEAN EXPLORATION, NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. *Oceanexplorer.noaa.gov* [online]. [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://oceanexplorer.noaa.gov/technology/sonar/split-beam.html>
- 40) Úhlová frekvence. *Cs.wikipedia.org* [online]. [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C3%9Ahlov%C3%A1_frekvence
- 41) DROZD, Petr. *Ultrazvuk v robotice* [online]. 2002, 1-2 [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: <https://www.fd.cvut.cz/departament/k620/ROD/CVICENI/texty/uzvkrob.pdf>
- 42) Vlastnosti zvuku. *Www.wikiskripta.eu* [online]. [cit. 2024-01-14]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Vlastnosti_zvuku
- 43) Výška tónu. *Www.muzikopedie.cz* [online]. [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: <https://www.muzikopedie.cz/akustika/%C3%BAvod-do-akustiky/v%C3%BD%C5%A1ka-t%C3%B3nu>