

# **Záznam zvuku pod vodní hladinou a jeho využití ve zvukové postprodukci**

Jaroslav Nečas

---

Bakalářská práce  
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlín  
Fakulta multimediálních komunika

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta multimediálních komunikací  
Ateliér Audiovize

Akademický rok: 2022/2023

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Jaroslav Nečas
Osobní číslo:	K20256
Studijní program:	B0211P310005 Teorie a praxe audiovizuální tvorby
Specializace:	Zvuková skladba
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	1. Teoretická část: Záznam zvuku pod vodní hladinou a jeho využití ve zvukové postprodukci 2. Praktická část: Zvuková skladba audiovizuálního díla (vyrobeného v systému řízené výroby FMK) v minimální délce 12 minut, ve výstupní kvalitě uvedené ve Výrobní knize AAV, nebo zvuková skladba souboru audiovizuálních děl, nebo zvuková skladba souboru krátkých animovaných filmů v celkové délce 10 minut. viz Zásady pro vypracování

Rozsah bakalářské práce: **viz Zásady pro vypracování**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

Bláha, I. *Zvuková dramaturgie audiovizuálního díla*. 2019. Praha: Akademie múzických umění v Praze. ISBN 978-80-7331-303-6.  
Grečnár, J. *Zvuková realizácia filmu: umenie majstra zvuku*. Bratislava: JUGA-138. 2012. ISBN: 978-80-89030-50-7. EAN: 9788089030507.  
Viers, M. *The Location Sound Bible: How to Record Professional Dialog for Film and TV*. Michael Wiese Production. 2012. ISBN-13: 978-1615391200.  
FARNELL, Andy. *Designing Sound*. Applied Scientific Press Limited, 2010. ISBN 978-0956088604.  
URICK, Robert. *Principles of Underwater Sound*. Peninsula Publishing, 2013. ISBN 978-0932146274.

Vedoucí teoretické části: **MgA. Pavel Hruša**  
Ateliér Audiovize  
Vedoucí praktické části: **MgA. Pavel Hruša**  
Ateliér Audiovize

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2022**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2023**



**Mgr. Josef Kocourek, Ph.D.**  
děkan

**MgA. Irena Kocí, Ph.D.**  
vedoucí ateliéru

Ve Zlíně dne 1. prosince 2022

## Zásady pro vypracování

### 1. Teoretická část:

Rozsah práce: minimálně 15 normostran textu bez započítání obsahu, rejstříku a obrazových příloh.

Formální podoba: Jednotná formální úprava teoretické části práce, její uložení a zpřístupnění se řídí aktuální verzí příslušné směrnice rektora. Student odevzdává 1 ks fyzické (tištěné) práce v pevné vazbě. Tištěná verze práce obsahuje originální „Zadání DP/BP“ včetně příslušných podpisů a studentem podepsané Prohlášení o původnosti práce. Práce v elektronické podobě obsahuje nascanované „Zadání DP/BP“ se všemi formálními náležitostmi a také nepodepsané Prohlášení studenta o původnosti práce. Plný text elektronické verze ve formátu PDF/A a případné přílohy (zkomprimované do jednoho zip souboru) student odevzdá nahráním do IS/STAG a do příslušné složky na NAS-AAV (viz níže).

Pokyny k vypracování: prostudujte a analyzujte dostupné materiály z profesního hlediska a formulujte závěry a získané vědomosti do podoby akademického/odborného textu.

### 2. Praktická část:

Příпустné varianty praktické části:

- 1) Zvuková skladba audiovizuálního díla (vyrobeného v systému řízené výroby FMK) v minimální délce 12 minut, ve výstupní kvalitě uvedené ve Výrobní knize AAV.
- 2) Zvuková skladba souboru audiovizuálních děl oficiálně schváleného před odevzdáním Výrobní komisí ateliéru Audiovizuální tvorba, ve výstupní kvalitě uvedené ve Výrobní knize AAV.
- 3) Zvuková skladba souboru krátkých animovaných filmů v celkové délce 10 minut. Varianta musí být schválena před odevzdáním Výrobní komisí ateliéru Audiovizuální tvorba.

Další požadované materiály praktické části:

- a) Upoutávka, teaser či trailer na předložené audiovizuální dílo (var. 1 a 2).
- b) Písemná explikace z pohledu dané specializace. Minimální rozsah 2 normostrany (var. 1, 2, 3).
- c) Anotace (var. 1, 2, 3).
- d) Technický scénář (var. 1).
- e) Štábová listina (var. 1, 2).

V případě, že je dílo autorským počinem nebo není součástí praktické části SZS studenta Produkce, je nutné dodržet doložení požadovaných materiálů a-h dle zadání specializace Produkce. Tato data odevzdává za projekt vždy jeden člověk. Nezbytná je konzultace s vedením AAV.

Všechny odevzdávané materiály musí splňovat vnitřní technické normy dle Výrobní knihy AAV pro odevzdávání prací a musí být řádně popsány (jméno, název, logo fakulty, formát, rozlišení). Součástí závěrečné práce je vytištěný a podepsaný formulář „Údaje o bakalářské práci studenta“.

Uložení na NAS:

Ve složce na NAS-AAV, označené „Bakalářská / Magisterská práce“ uložte:

1. Teoretickou práci ve formátu PDF/A a případné přílohy (zkomprimované do jednoho zip souboru) dle specifikací výše.
2. Vytvořte podsložku Praktická práce, která bude obsahovat materiály částí a- h. Řádně nazvaný film/absolventské dílo odevzdávejte ve formátech splňujících vnitřní technické normy AAV pro odevzdávání prací.
3. Vytvořte podsložku s názvem Katalog, která bude obsahovat „Podklady pro katalog FMK UTB ve Zlíně“: 10 kusů obrazové dokumentace praktické části závěrečné práce pro využití v publikacích FMK. Formát pro bitmapové podklady: JPEG, barevný prostor RGB, rozlišení 300 dpi, 250 mm delší strana. Formáty pro vektory: AI, EPS, PDF. Loga a texty v křivkách. V samostatném textovém souboru uveďte jméno a příjmení, login do portálu UTB, obor (ateliér), typ práce, přesný název práce v češtině i v angličtině, rok obhajoby, osobní e-mail, osobní web, telefon. Přiložte svou osobní fotografii v tiskovém rozlišení.

### 1. Teoretická část:

**2. Praktická část:**

Zvuková skladba audiovizuálního díla (vyrobeného v systému řízení výroby FMK) v minimální délce 12 minut, ve výstupní kvalitě uvedené ve Výrobní knize AAV.

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ / DIPLOMOVÉ PRÁCE

### Beru na vědomí, že


- bakalářská/diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou/diplomovou práci - nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské/diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské/diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské/diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### Prohlašuji, že:

- jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně dne: 4. 5. 2023

Jméno a příjmení studenta: Jaroslav Nečas

  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je souhrnně představit základy záznamu podvodních zvuků a seznámit čtenáře s teoretickými a praktickými znalostmi. Protože není mnoho česky psané literatury o tomto tématu, věřím v přínos této práce.

Teoretická část se zabývá jak historií podvodního snímání, tak i problematikou šíření zvuku ve vodě.

Analytická část je zaměřena na experimentování s hydrofony pod vodní hladinou. Součástí této práce je i datový nosič, který obsahuje všechny zmíněné nahrávky a ukázky. Jedná se o praktickou část.

Klíčová slova: podvodní hladina, zvukový, záznam

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to introduce comprehensively the basics of underwater sounds recordings and to make the readers familiar with theoretical and practical knowledge. As there are not many Czech written sources for this topic, I believe this thesis might be an asset.

The theoretical part deals both with the history of underwater recording and acoustic problems in the water.

The analytic part is aimed at experimenting with hydrophones underwater. The thesis includes also a data carrier containing all the mentioned recordings and clips. It is a practical part of the thesis.

Keywords: underwater, audio, recording

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce MgA. Pavlovi Hrudovi, který mi poskytl cenné rady a směr při psaní mé bakalářské práce. Další osoba, které bych chtěl poděkovat, je Ondřej Plaček. Jako potápěč odvedl excelentní práci a bez jeho odhodlání by nebylo možné tento výzkum provést. Nesmím opomenout také Vojtěcha Knapa, kterému děkuji za asistenci při nahrávání.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.



# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 PŘÍPRAVA K REALIZACI NAHRÁVÁNÍ</b> .....	<b>13</b>
1.1 AKUSTIKA POD VODOU .....	13
1.1.1 Historie akustiky pod vodou .....	15
1.1.2 Historie hydrofonu .....	16
1.2 PRINCIP HYDROFONU .....	18
1.3 VLASTNOSTI HYDROFONU .....	19
1.3.1 Předzesilovač.....	19
1.3.2 Citlivost .....	19
1.3.3 Šum .....	20
1.3.4 Kabeláž.....	21
1.3.5 Frekvenční odezva .....	22
1.3.6 Směrová charakteristika .....	23
1.3.7 Dynamický rozsah.....	23
1.3.8 Hydrofon a záznamové zařízení.....	24
1.4 KATEGORIZACE HYDROFONU .....	25
1.4.1 Struktura hydrofonu .....	27
1.5 NEJPOUŽÍVANĚJŠÍ HYDROFONY .....	27
1.6 ZPŮSOBY SNÍMÁNÍ ZVUKU POD VODOU .....	30
1.7 MIKROFONNÍ TECHNIKY PRO ZAZNAMENÁNÍ ZVUKU POD VODOU.....	31
1.8 OSTATNÍ ZPŮSOBY PRO PODVODNÍ SNÍMÁNÍ ZVUKU .....	32
1.8.1 Dynamické a kondenzátorové mikrofony .....	32
1.8.2 PZM mikrofony.....	33
1.8.3 Ostatní zařízení.....	33
1.8.4 DIY Hydrofony .....	35
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>36</b>
<b>2 NAHRÁVÁNÍ PODVODNÍ HLADINY</b> .....	<b>37</b>
2.1 NAHRÁVÁNÍ PODVODNÍ HLADINY V UMĚLÝCH PLOCHÁCH .....	38
2.1.1 Příprava realizace .....	38
2.1.2 Zkušební ponor.....	38
2.1.3 Nahrávání v umělých plochách .....	40
2.2 PODVODNÍ NAHRÁVÁNÍ V DOMÁCÍCH PODMÍNKÁCH .....	42
2.2.1 Monofonní nahrávání pomocí hydrofonu .....	43
2.2.2 Srovnání a závěr použitých technik .....	44
2.3 PODVODNÍ HLADINA VE ZVUKOVÉ POSTPRODUKCI.....	46
2.4 UŽITÍ VODNÍCH ZVUKŮ .....	46
2.4.1 Akční žánr .....	47

2.4.2 Dokumentární žánr.....	48
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>49</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>50</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>52</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>53</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>55</b>

## ÚVOD

Záznam podvodního zvuku se stal nepostradatelným již před desetiletími. Kvůli problematice šíření zvuku pod vodou bylo zapotřebí experimentovat s mnoha způsoby vhodného zachycení zvukového signálu. Hydrofony, určené především pro podvodní nahrávání, považujeme dnes za standard.

Protože sedmdesát jedna procent zemského povrchu pokrývá voda, můžeme si pouze domýšlet, kolik zajímavých zvuků lze pod vodní hladinou zaznamenat. Zvědavost se stala hlavním důvodem k výběru této bakalářské práce. Rád bych zde našel a popsal nejvhodnější způsoby snímání zvuku pod vodou.

Snažil jsem se zachytit celý proces nahrávání od popsání teoretických postupů až po samotné zkoumání podvodní hladiny. Protože je tento typ nahrávání poměrně neprozkoumaný, bylo možné experimentovat s novými způsoby snímání.

V teoretické části se budu snažit vysvětlit jednotlivé pojmy a terminologie. Chci se zabývat nejdůležitějšími otázkami: Lze nahrávání provést i bez podvodních mikrofonů? Jaké mikrofonní techniky jsou nejvíce používané pro podvodní snímání? Jaká je hlavní problematika šíření zvuku pod vodou?

Za nejdůležitější část své bakalářské práce považuji samotný výzkum, který se bude odehrávat v zajímavých podvodních oblastech. Budu zkoumat české vody s pomocí profesionálního potápěče Ondřeje Plačka. Tato bakalářská práce má sloužit nejen jako souhrn informací potřebných k nahrávání, ale především jako návod pro samotné realizování podvodního záznamu. Jedná se ale především o můj vlastní pohled na daný proces.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 PŘÍPRAVA K REALIZACI NAHRÁVÁNÍ

Nejdůležitější částí pro tvorbu zmíněných scén je samotný záznam podvodní hladiny, a proto je nutné si před realizací pečlivě promyslet jednotlivé techniky.

Při vytváření podvodního zvuku se preferuje spíše reálně nahraný materiál, který je později upravený různými typy ekvalizérů či prostorových efektů. Jde však o jednu z cest a je zcela na nás, jak k vytváření **podvodních scén přistoupíme**.<sup>1</sup> V průběhu experimentování jsem však došel k závěru, že zvuk vyžaduje spíše reálný prvek namísto uměle vytvořeného (například za použití syntezátoru). Důkazem je mnoho článků od odborníků, kteří se během své kariéry dostali k vytváření podvodních zvuků. Jedním z těchto lidí je například **Randy Thom**.<sup>1</sup>

Historicky se podvodní snímání zvuku provádělo především monofonně, ale nyní existuje mnoho způsobů pro tvorbu podvodních audiovizuálních projektů. Chceme-li najít nejvhodnější způsob pro úspěšné nahrávání, je nutné si pečlivě ověřit běžné postupy nahrávání a vzít v potaz výhody či nevýhody každé metody.

Kromě běžného používání hydrofonů zjistíme rovněž využitelnost ostatních způsobů. Rad a návodů je opravdu mnoho, proto je nejlepším řešením s každou metodou experimentovat a vyvodit si z ní vlastní závěr.<sup>1</sup>

### 1.1 Akustika pod vodou

Realizace podvodního snímání vyžaduje znalost akustiky. Proč mají zvuky jisté vlastnosti a jakým způsobem se pod vodou mění? Přestože se zvukové vlny ve vodě a ve vzduchu chovají v zásadě podobně, způsob, jakým jsou přenášeny, je odlišný. Ve vodním prostředí je zvuk šířen rychlostí  $c = 1500$  m/s. Hladina zvuku ve vodě, která je udávaná v dB, není podobná jako ve vzduchu. Důvody jsou následující: **referenční intenzita a hustota zvuku**.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> FILM SOUND. How to make underwater sounds? *Filmsound.org* [online]. © 2023 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <http://filmsound.org/QA/underwatersounds.html>

<sup>2</sup> How does sound in air differ from sound in water?. In: *Dosits* [online]. Rhode Island: University of Rhode Island and Inner Space Center, c2002-202 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://dosits.org/science/sounds-in-the-sea/how-does-sound-in-air-differ-from-sound-in-water/>

Referenční intenzita používaná k výpočtu hladin zvuku ve vodě se od těch ve vzduchu výrazně odlišuje. Intenzita zvukové vlny závisí nejen na tlaku, ale také na hustotě a rychlosti zvuku v jednotlivém prostředí. Zvuky pod vodní hladinou mají zcela rozdílnou intenzitu, protože hustota vody je mnohem větší. Druhým faktorem, který určuje rozdílnost podvodního šíření zvuku, je jeho rychlost. Ve vodě se zvuk šíří mnohem rychleji než vzduchem.

Dvěma důležitými faktory ovlivňujícími charakter signálu jsou: **jeho frekvence a doba trvání**. Jedná se o klíčové rysy při určování frekvence signálu. Nízkofrekvenční signály jsou ve vodním prostředí absorbovány menší rychlostí než vysokofrekvenční signály. Mohou tedy cestovat na delší vzdálenosti, a přesto být detekovány.

Doba trvání je především závislá na zdroji generovaného zvuku. Signály používané pro echolokaci jsou velmi krátké. Impulzy vysílané například delfíny skákavými jsou dlouhé pouze 50–80 mikrosekund. Jiné signály, jako jsou zvuky keporkaků, mohou trvat hodiny. Každý zvuk má svoji **unikátní dobu trvání**.

Důležité je si uvědomit odlišnost šíření zvuku v různých typech vod. Například mělké vody mají speciální vlastnosti šíření zvuku. Ve srovnání s hlubší vodou je šíření v těchto lokacích obecně charakterizováno komplexními interakcemi jak s vodní hladinou, tak se samotným dnem (což má za následek odraz a rozptyl).

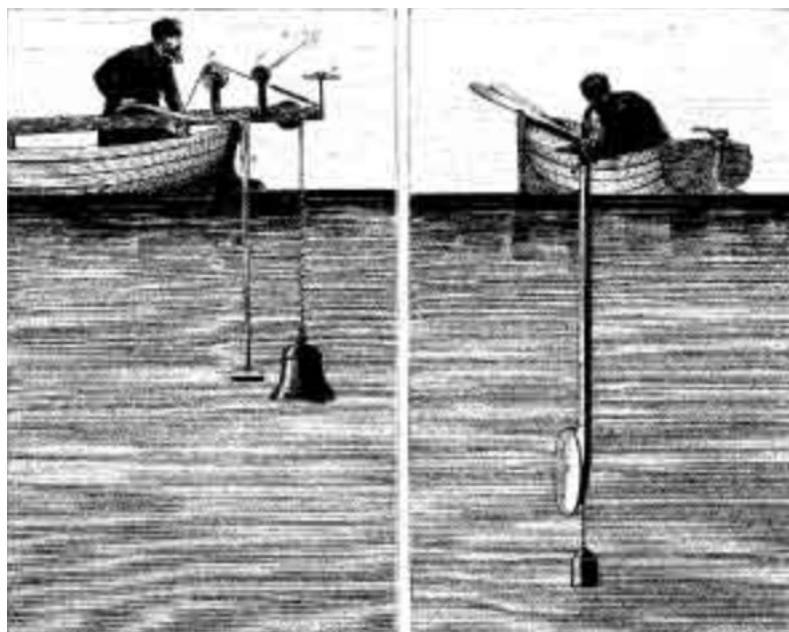
Obzvláště zajímavou podskupinu prostředí zahrnují řeky a ústí řek, které jsou velmi mělké (často <20 m). Šíření zvuku v těchto konkrétních prostředích je často složité, a to z důvodu velmi rozdílných hloubek a odlišných charakteristik vody (např.: slanost, zatížení sedimentů a teplota).

Sladké vody nemají stratifikaci (dozrávání semen rostlin) způsobenou rozdílem slanosti, a proto mají konstantní rychlost zvuku. Výsledkem je, že šířící se zvuk se intenzivně mění s povrchem i dnem. Ve srovnání s mělkou vodou má však zvuk v řekách další útlumové ztráty, ke kterým může docházet při interakci s břehy řek. Řeky mohou rovněž vykazovat teplotní stratifikaci (rozvrstvení teplot vody v závislosti na hloubce), což může vést k akustickým problémům.

### 1.1.1 Historie akustiky pod vodou

První úspěšné pokusy měření zvukových vln v podvodním prostředí byly provedeny až na začátku 19. století. Odposlechu podvodních zvuků bylo docíleno používáním dlouhé trubice. Jednalo se o zařízení navržené samotným Leonardem da Vincim.

Průlom nastal v roce 1826, kdy na Ženevském jezeře ve Švýcarsku provedla hrstka fyziků a matematiků první záznam rychlosti zvuku šířícího se ve vodě. V tomto experimentu byl použit podvodní zvon, do kterého se udeřilo současně se zapálením střelného prachu na první lodi. Na druhé lodi byl zvuk zvonu a záblesk střelného prachu pozorován na kilometry daleko. Čas mezi zábleskem střelného prachu a zvukem dopadajícím na druhý člun byl použit k výpočtu rychlosti šíření zvuku ve vodě.<sup>3</sup>



Obrázek 1 Experimentování se zvukovými odrazy

---

<sup>3</sup> The First Practical Uses of Underwater Acoustics: The Early 1900s. In: *Dosits* [online]. Rhode Island: University of Rhode Island and Inner Space Center, c2002-202 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://dosits.org/people-and-sound/history-of-underwater-acoustics/the-first-practical-uses-of-underwater-acoustics-the-early-1900s/>

V roce 1838 byly prováděny první experimenty se zvukovými odrazy na oceánském dně a mezi lety 1877–1878 vydal britský vědec John William Strutt, známý také jako Lord Rayleigh, *The Theory of Sound*, dvousvazkové dílo často považované za začátek moderního studia akustiky. Lord Rayleigh byl první, kdo formuloval vlnovou rovnici k popisu zvukových vln. Jedná se o základ pro všechny práce na akustice a jeho výzkum **připravil půdu pro aplikování podvodní akustiky ve dvacátém století.**<sup>4</sup>

### 1.1.2 Historie hydrofonu

Koncem roku 1889 se vytvořila skupina **Submarine Signal Company**, která byla zaměřena na zvýšení bezpečnosti plavby lokálních plavidel.

Mikrofon vyvinutý Thomasem Edisonem byl uhlíkovými granulemi instalován do vodotěsné nádoby a sloužil jako **první provizorní hydrofon** pro příjem podvodního signálu. Bohužel, hydrofony měly ve zvyku zachycovat i ostatní nechtěné parazitní ruchy jako lodě, stříkající vodu a další nežádoucí zvuky.

V polovině dubna 1912 požádala společnost Reginalda A. Fessendena, zda by se nemohl mikrofon přepracovat tak, aby nebyly snímány okolní zvuky běžného prostředí. Po potopení Titaniku se do výzkumu hydrofonu začalo přidávat stále více lidí a společností. Hlavním důvodem bylo vytvoření vynálezu na určení vzdálenosti mimo objekty ve vzduchu. Za tímto patentem stojí L. R. Richardson a technika se nazývá „**echo ranging**“. O měsíc později podal patentovou žádost o uplatnění této metody také pod vodní hladinu.

Za účelem vylepšení hydrofonních systémů se vytvořilo nové zařízení pro měření ozvěn a odrazů. Připomínalo výkonný reproduktor a detekovalo jednotlivé zvuky přicházející od zdroje. Takzvaný **Fessendenův oscilátor** byl schopen úspěšně detekovat mořské dno v hloubce 74 metrů. Navzdory velkým pokrokům v podvodní akustice se **Submarine Signal Company** rozhodla své výsledky a systémy neuvádět na trh. Důvodem byl nedostatek financí pro uskutečnění daných výzkumů.

---

<sup>4</sup> The First Studies of Underwater Acoustics: The 1800s. In: *Dosits* [online]. Rhode Island: University of Rhode Island and Inner Space Center, c2002-202 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://dosits.org/people-and-sound/history-of-underwater-acoustics/the-first-studies-of-underwater-acoustics-the-1800s/>





Obrázek 2 Experimentování s hydrofonem

První skutečný a plně funkční hydrofon byl vyvinut během první světové války britskými vědci k lokalizování ponorek a ledovců. Během této války byl použit piezoelektrický jev vyvinutý Paulem Langevinem, který přispěl k vybudování systému ozvěn. V roce 1918 byly ozvěny poprvé zachyceny z blížících se ponorek na vzdálenost až 1 500 m. Válka však skončila dříve, než mohlo být podvodní měření ozvěn využito v praxi.

Po skončení první světové války přišel čas na objevování tajemství podvodní akustiky. V roce 1923 společnost **Submarine Signal company** uvedla do výroby nízkofrekvenční hydrofon založený na Fessendenově oscilátoru. Zařízení nazýváme „**fathometrem**“.

Během **druhé světové války** se úsilí zaměřilo na systémy pro měření vzdálenosti ozvěn, kterým se ke konci války začalo říkat „**sonary**“ jako zkratka pro Sound Navigation And Ranging. Sonar byl **důležitým objevem a vnímáme ho jako předchůdce hydrofonu**. Druhá světová válka byla pro vývoj měření zvuku paradoxně velice plodným obdobím.

Rychlý rozvoj podvodní akustiky naštěstí pokračoval i po druhé světové válce. Ve spojení s pokrokem v technologii (např. počítače) se podvodní akustika stala důležitým nástrojem pro podvodní komunikaci. Nadále hraje významnou roli v **navigaci, lodní dopravě anebo logistice**.

## 1.2 Princip hydrofonu

Typický hydrofon funguje díky převodu zvukové vlny na elektrické napětí pomocí detekcí změn tlaku v okolním prostředí. Princip spočívá v piezoelektrickém jevu. Jde o schopnost materiálu produkovat elektrický náboj v reakci na aplikované mechanické namáhání. Hydrofony jsou závislé na piezoelektrické k detekci vibrací a tlakových výkyvů. Piezoelektrické materiály mohou měnit tvar a přeměnit mechanickou energii na elektrickou.

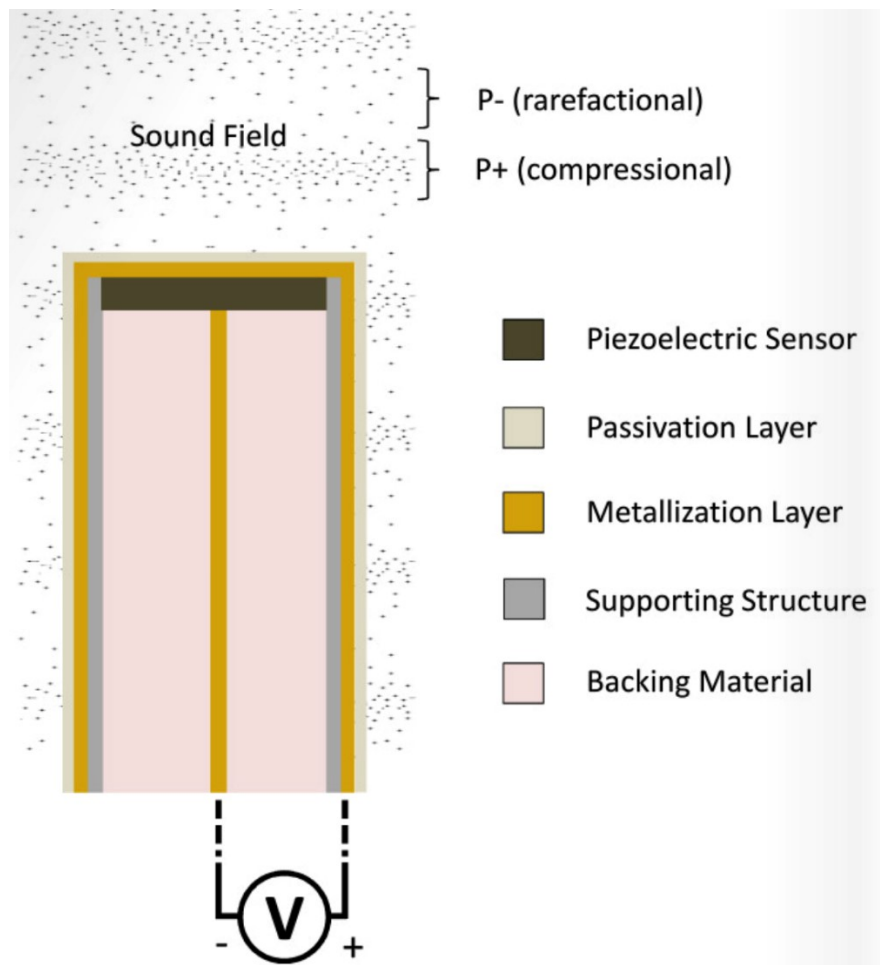
Zvukový signál je forma tlakové vlny, která fyzicky pohybuje částicemi. Mechanickou sílu vytváří, jakmile přichází do kontaktu s hydrofonem. V důsledku toho dochází k vibracím v piezoelektrickém krystalu. **Podle fyzikálních vlastností je požadováno, aby výstupní napětí bylo přímo úměrné akustickému tlaku u vstupu.** Napětí se generuje pomocí aplikování síly a tlaku na tento materiál. Když se na keramický předmět převede elektrické napětí, krystalická struktura má tendenci se vyrovnat a dále nést elektrický náboj.

Hydrofon obsahuje pouzdro, ve kterém je vodivý substrát. Piezoelektrický krystal je namontován na vnější povrch substrátu a prostřednictvím krystalu se zvyšuje jeho hmotnost (dále dochází k omezení rezonujících frekvencí na piezoelektrickém krystalu).

Protože je zvuk v podvodním prostředí ovlivněn především změnou teploty, při vyšších hodnotách se hustota povrchu snižuje. Proto se zvuk procházející podvodní hladinou na povrchu láme.

Oproti sonaru, který označujeme jako aktivní zařízení, je **hydrofon pasivního rázu**. Podvodní mikrofony nevysílají, jako výše zmíněný sonar, zvukové vlny. Fungují v podstatě jako **odposlouchávací zařízení**.

Většina profesionálních hydrofonů je vystavena zátěži v různém prostředí s měnícím se tlakem a teplotou. Je proto potřeba vybírat daný typ hydrofonu s velkou rozvahou.



Obrázek 3 Vrstvy hydrofonu

### 1.3 Vlastnosti hydrofonu

#### 1.3.1 Předzesilovač

Keramický hydrofon není schopen plně fungovat společně se standardním mikrofonním předzesilovačem. Je nutné, aby příslušný rekordér obsahoval svoji předzesilovací jednotku (jako například H56).

#### 1.3.2 Citlivost

Citlivost hydrofonu je poměr výstupního napětí k akustickému tlaku tekutiny, která jej obklopuje. Přijímaný signál se udává v dB, ačkoliv výrobci uvádějí také lineární hodnotu citlivosti napětí „mV“. Citlivost je popsána rovněž v pascalech a v jednotkách V/Pa.

$$NEP \{Pa\} = \frac{Preamp \text{ Noise } \{\mu V\}}{Hydrophone \text{ Sensitivity } \left\{ \frac{nV}{Pa} \right\} \times Preamp \text{ Gain}} \times 1000$$

Obrázek 4 Výpočet citlivosti hydrofonu

Citlivost hydrofonu je určena strukturní rezonancí a elektrickými či piezoelektrickými vlastnostmi materiálu (PVDF-TrFE). Průměrná hodnota citlivosti hydrofonů je dle výzkumných dokumentů uváděna kolem **-124 dB**.

Cílem při modulování zvukového signálu je vyhnout se nedostatečnému poměru signálu k šumu (především u signálu s nízkou amplitudou). Dále je žádoucí se vyhnout nelinearitě, ořezávání frekvencí a saturaci signálů s vysokou amplitudou. Pro zaznamenání signálu s nízkou amplitudou (například hlasitý okolní hluk v tichém prostředí) je tedy preferován rekordér s vysokou citlivostí. Nicméně pro měření signálu s vysokou amplitudou (například v blízkosti zdroje s vysokou výstupní úrovní) je vhodnější nižší citlivost z důvodu **zkreslení zvukových dat**. Je nutné připomenout, že pro hydrofony s integrovaným předzesilovačem (nízký šum a vysoká citlivost hydrofonu) je integrální zesílení předzesilovače neupravitelné. Takové hydrofony nejsou vhodné pro záznam signálů s vysokou amplitudou.

### 1.3.3 Šum

Pro měření signálů s nízkou amplitudou je klíčovým parametrem vlastní šum zařízení (self – noise). Vysoký self – noise může pocházet z nesprávného výběru hydrofonu, zesilovače nebo vzniká zachycením elektrického šumu generovaného libovolným záznamovým zařízením. Rekordér může vytvářet rezonanční jevy při nízkých frekvencích a dále ovlivňovat celkovou citlivost (pokud je hydrofon pevně připojen k rekordéru).<sup>5</sup>

Existují dvě obecné definice šumu. První říká, že šum je **jakýkoliv nežádoucí zvuk**. Druhá definice zní, že šum je **nepravidelný, přerušovaný nebo statistický**.

<sup>5</sup> *Reducing Mechanical and Flow-Induced Noise in the Surface Suspended Acoustic Receiver* [online]. San Diego, 1993 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=535bb2d7dd45d407acd24b959073a05ac0a2f258>. Disertace. University of California. Vedoucí práce Dr. Mark A. Grosenbaugh.

Hladiny šumu jsou měřeny pro dva účely.

- Za prvé, může jít o akustický šum, který je sám o sobě velmi běžný. Typickým příkladem akustického šumu jsou: vítr, vlny, déšť a zvířata; dále se jedná o lodní dopravu a průmyslové činnosti.
- Zadruhé se může jednat o vlastní šum nahrávacího zařízení, který je generován samotným rekordérem, a jde především o elektronický šum. Elektronický šum ze záznamových zařízení může být hlavním zdrojem generování parazitních signálů.

V oblasti nahrávání podvodních prvků existuje termín nazvaný „**mechanical noise**“. Jedná se o parazitní zvuky a šумы, které jsou produkovány při nárazu hydrofonu do neurčitého objektu, například do vodního dna či útesu (může se jednat o jakýkoliv objekt).

Další význačný šum může pocházet přímo z lokace, kde nahráváme. Šum z prostředí (někdy jednoduše označovaný jako „šum v pozadí“) lze jasně odlišit od šumu ze záznamového zařízení. Nejběžnější „klasická“ definice okolního hluku je akustický nechtěný ruch v pozadí bez rozlišitelných zdrojů. Definice má zásadní problém, a to jak identifikovat „rozlišitelné zdroje“ a jak je odstranit z našeho nahrávání. Nedávné pokusy o definování okolního hluku měly tendenci zahrnovat veškerý dosah zvuku hydrofonu ze všech zdrojů.

Podle norem je okolní hluk definován jako „šum, který neobsahuje vlastní šum ze záznamového zařízení nebo ruchy z prostředí“. Jedná se především o šum nad vodní hladinou, jako například hluk větru, pohyb vln na hladině, různorodé zvuky ryb, savců nebo hluk vzdálené dopravy.

Poslední druh nechtěného šumu je zvuk z hladiny. Jedná se například o hluk generátoru, motoru lodi a dalších parazitních zvuků. Zmíněné problémy nejsou v českých vodách běžné, proto se nemusíme obávat o použitelnost našich zaznamenaných dat.

#### 1.3.4 Kabeláž

Je důležité myslet na problematiku kabeláže a propojení hydrofonu se záznamovým zařízením. Výrobce používaných hydrofonů doporučuje používat kratší kabel z důvodu ztráty užitečného signálu (čím delší kabel, tím větší riziko ztráty užitečného signálu ze zaznamenaného zvuku). Nejčastěji se u výrobců setkáme s délkou přibližně 10 m.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> ASF-1 MKII - HYDROPHONE W/ 48V-PHANTOM POWER SUPPLY. Ambient [online]. Mnichov: Ambient Recording, b. r. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://ambient.de/en/brands/ambient/708/asf-1-mkii-hydrophone-w/48v-phantom-power-supply>

Dotyk a nežádoucí kontakt s kabelem může zavinit nepoužitelnost zvukového náběru. Většinou nežádoucí kontakt neboli „**handling-noise**“ nastává, když je kabel natažen působením proudu vody. Kabel je silně napnutý a nastávají nepříjemné vibrace zapříčiněné působením vodního toku kolem něj, čímž vzniká nízká parazitní frekvence. Rozsah nežádoucích zvuků je řádově okolo 10 Hz (1 cm průměr kabelu vytváří signál o frekvenci 9 Hz). I kdyby byl hydrofon namontován na pevném objektu, silný proud může způsobit tlakovou vlnu a parazitní vibrace.<sup>7</sup>

Účinek lze zmírnit použitím mechanických aerodynamických krytek kolem kabelu. Nicméně hydrofony umístěné vespod vodní hladiny na dlouhých kabelech mohou být vystaveny značnému riziku brnkání v důsledku přílivu a odlivu. Pokud nahráváme ve velkých a neklidných vodách, můžeme použít elastická lana, abychom tento problém zmírnili.

### 1.3.5 Frekvenční odezva

Aby se odezva rozšířila na dostatečně vysokou frekvenci, potřebujeme zaznamenat frekvenční složky v daných signálech. To vyžaduje, aby hydrofon, a jakýkoli zesilovač, byl dostatečně širokopásmový a frekvence jakékoli předzesilovací jednotky byla větší než dvojnásobek maximální akustické frekvence signálu, která má být zaznamenána. Je běžné, že se rekordéry převzorkují pro požadované frekvenční minimum.

Je žádoucí, aby citlivost zařízení byla v rámci frekvenčního pásma neměnná. Jakékoli významné rezonanční chování uvnitř frekvenčního rozsahu bude mít za následek zkreslení zaznamenaných dat. Dosáhnout dokonale ploché odezvy při běžném výskytu vysokofrekvenčních zvuků ve vodním prostředí je obtížné. Existuje kompromis mezi frekvenční odezvou a citlivostí, protože hydrofony s vysokou rezonancí mívají menší konstrukci a jsou relativně necitlivé.

---

<sup>7</sup> DORRITIE, Frank. Field Recording. In: *Field Recording* [online]. Anglie: Artistpro, 2003, s. 70 [cit. 2023-01-28]. ISBN 1931140200. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=xkjXLvATB5UC&pg=PA70&dq=hydrophone+recording&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwiq5YnjqOv8AhU0DRAIHYYJbAYgQ6AF6BAGFEAI#v=onepage&q=hydrophone%20recording&f=false>

Některé komerční hydrofony s integrovanými předzesilovači jsou navrženy s horní propustí pro snížení frekvencí nižších než 10 Hz. Horní propust je využívána především pro odstranění nízkofrekvenčních parazitních signálů generovaných neakustickými objekty, jako třeba pohyb povrchových vln.<sup>8</sup>

### 1.3.6 Směrová charakteristika

V ideálním případě by hydrofon měl mít všesměrovou odezvu. Všesměrovost je však pouze přibližná a platí výhradně pro nízké frekvence. Pokud je velikost hydrofonu větší než akustická vlnová délka, bude hydrofon vykazovat znatelnou směrovost. Hydrofon není orientován tak, aby hlavní osa (pro kterou byl hydrofon kalibrovaný) byla zarovnána se směrem přicházející zvukové vlny. Směrovost hydrofonu se nejprve projeví podél směru hydrofonu.<sup>9</sup>

Jedním z problémů, který může způsobit zvýšenou směrovost, je umístění hydrofonu v blízkosti objektu, který je schopen odrážet zvukové vlny. Kombinace přímé a odražené vlny způsobí interferenci v závislosti na úhlu dopadu zvukového signálu. Zmíněný efekt může být patrný na kilohertzových frekvencích, pokud je hydrofon rozmístěn v blízkosti nosné konstrukce (například kotviště).

Je vhodné, aby hydrofon měnil směrovost vůči citlivosti, například za účelem určení směru příchozích signálů nebo k eliminaci nechtěných ruchů (jako je hlučné plavidlo). Toho obvykle dosáhneme použitím více než jednoho hydrofonu nebo za pomoci snížení citlivosti v daném směru (například od povrchu).

### 1.3.7 Dynamický rozsah

Dynamický rozsah by měl být zvolen pro zaznamenání zvukových dat bez zkreslení nebo saturace zvoleného hydrofonu. Zvuky s vysokou amplitudou, jako například hlasité plavidlo, způsobí jasné a zřejmé zkreslení nasnímaných dat. Je však třeba poznamenat, že zařízení musí být lineární v celém dynamickém rozsahu. To znamená, že citlivost zařízení je konstantní v celém frekvenčním rozsahu.

---

<sup>8</sup> *Underwater Noise Measurement: Good Practice Guide No. 133* [online]. In: . Skotsko: Marine Scotland, c2014 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.npl.co.uk/special-pages/guides/gpg133underwater>

<sup>9</sup> *Underwater Noise Measurement: Good Practice Guide No. 133* [online]. In: . Skotsko: Marine Scotland, c2014 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.npl.co.uk/special-pages/guides/gpg133underwater>

Při nahrávání signálů s nízkou amplitudou je třeba dbát na to, aby signál nebyl pouze šum z rekordéru. Proto je důležité modulovat podvodní zvuky okolo  $-6$  dB. Důvodem je velmi nízká amplituda zaznamenaných zvuků. Tyto zvuky jsou většinou velmi tiché, proto je důležité si pohlídat vstupní úroveň zvukového signálu.

Dalším problémem, který může způsobit potíže při nahrávání širokopásmových signálů, jsou amplitudy frekvenčních složek. Například může jít o problém při okolním hluku, kde se nacházejí především nízkofrekvenční zvuky (např. několik stovek hertz). Řešením je použít rekordér, který se skládá z několika kanálů, z nichž každý je používán k nahrávání určitého frekvenčního pásma. Frekvenční pásmo, nastavení vstupního signálu zesilovače a dokonce i hydrofon mohou být vybrány tak, aby odpovídaly očekávaným hladinám akustického tlaku a dosahovaly dobré kvality nahraných dat bez zkreslení nebo saturace. Frekvenční pásma se musí překrývat, má-li být zaznamenáno celistvé spektrum. Nevýhodou je požadování kalibrace hydrofonu a zpracování dat pro každé frekvenční pásmo.

Dynamický rozsah rekordéru je zvláště důležitý při snímání vysokofrekvenčních zvuků, přičemž tento údaj musí dodavatel specifikovat tak, aby šlo odhadnout úroveň nezkresleného signálu.

### 1.3.8 Hydrofon a záznamové zařízení

Záznamová zařízení (například audio rekordér) jsou stále dostupnější pro nahrávání podvodního zvuku. Takové rekordéry se skládají z hydrofonu připojeného k elektronickému zařízení obsahujícímu předzesilovač, paměťového média a baterie pro napájení jednotky. Zařízení mají velmi účinnou schopnost zaznamenávat podvodního zvuk, aniž je nutné je vyrábět přímo na míru. Vyžadují početné odborné znalosti k nastavení a provozu rekordéru.

Před nahráváním by měl zvukový mistr vždy zajistit, aby vlastnosti zařízení odpovídaly potřebám a požadavkům nahrávání. Rekordér by měl být dodán s kompletní kalibrací systému včetně všech informací potřebných k určení úrovní nahraných dat (včetně kalibrace hydrofonu, zesilovače atd.) Pokud nejsou dodány výrobcem, informace o kalibraci by měly být získány z nezávislého zdroje.

Přiblížení hydrofonu k tělu rekordéru může způsobit odražené signály ze zařízení. To způsobí kolísání frekvenční odezvy systému na kilohertzových frekvencích (u typických rekordérů je účinek mnohem nižší na spodních frekvencích) a kolísání směrovosti přijímače. Některé hydrofony jsou vybaveny ochranným krytem v podobě kovové klece, která snižuje



pravděpodobnost poškození hydrofonní konstrukce. Špatně navržený kryt může ovlivnit frekvenční odezvu či směrovost na kilohertzových frekvencích, a je proto vhodné kalibrovat hydrofon s nasazeným krytem.<sup>10</sup>

#### 1.4 Kategorizace hydrofonu

K realizaci podvodního nahrávání je doporučena určitá znalost hydrofonů a jejich vlastností. Existuje mnoho faktorů, které mohou ovlivnit správný výběr hydrofonu.

Jedná se především o **citlivost, frekvenční odezvu, výdrž a cenovou relaci**. Jednotlivá kritéria musí být brána v potaz při samotném výběru. Obecné požadavky pro hydrofony – rozsáhlý frekvenční/dynamický rozsah, vyrovnaná frekvenční odezva a nízký šum z rekordéru.

Hydrofonní frekvenční odezva závisí na výstupním napětí vzhledem k tlaku amplitudy. Ideální frekvenční odezva je ta, která je citlivá stejným dílem na všechna frekvenční pásma. Pro docílení zmíněné vyrovnanosti zaznamenaného zvukového signálu je nutné brát v potaz vedlejší jevy jako rezonanční frekvenci, materiál a impedanci.

Důležitou kategorií při výběru je samotné rozdělení a odlišnost všelijakých druhů hydrofonů. Hydrofony se dělí do pěti hlavních skupin. Jedná se o hydrofony **membránové (HM)**, **jehlové (HN)**, **kapslové (HGL)**, **optické (HFO)** a **kavitační (HCT)**.



Obrázek 5 Druhy hydrofonů

Membránové se vyznačují nejvyrovnanější frekvenční odezvou.

<sup>10</sup> *Underwater Noise Measurement: Good Practice Guide No. 133* [online]. In: . Skotsko: Marine Scotland, c2014 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.npl.co.uk/special-pages/guides/gpg133underwater>

Keramické jehlové mají přívětivou citlivost vzhledem ke své velikosti, ale nenabízejí vyrovnanou frekvenční odezvu. Jsou vhodné do velmi rušných lokací. Je nutné podotknout, že produkují rezonance okolo 2 MHz. Jedná se o nejlepší volbu do oblastí s nejméně odrazy zvukového signálu.

Optické hydrofony jsou často designované pro specifické a unikátní nahrávání, které vyžaduje velkou odolnost vůči akustickému tlaku či vyšším teplotním hodnotám. Příkladem využití optických hydrofonů je kontrola možných zemětřesení a neobvyklých výkyvů na dně oceánů. Optické hydrofony jsou schopné vydržet akustický tlak v hodnotě 500 MPa.<sup>11</sup>

Kavitační hydrofony jsou uzpůsobeny pro měření akustických zvukových vln v kavitačním prostředí. Příkladem je záznam zvukového signálu ve vroucí vodě. Piezoelektrické senzory jsou chráněny teflonovým materiálem k větší odolnosti vůči vysokým teplotám. Nejužitečnější frekvenční rozsah u kavitačních hydrofonů se nachází v rozmezí 20–100 kHz.

Důležité hledisko každého hydrofonu je jeho citlivost, která bude vždy rozdílná. Materiál, velikost, konstrukce a elektrický šum budou rovněž u různých typů hydrofonů rozdílné. Výsledná hodnota amplitudy musí být nejméně pětkrát větší, než šum rovnocenný k tlaku hydrofonu. Cílem je maximalizovat poměr signálu a šumu – **SNR**.

Abychom určili odolnost daného hydrofonu, musíme se soustředit na dvě hlediska – **odolnost a linearita předzesilovače**.

Práh odolnosti hydrofonu je těžko měřitelný. Okolí senzoru je velmi křehké a náchylné k různým typům zkratu. Zásadním faktorem, který určuje nejvyšší odolnost, je minimalizování kavitace a teploty. Nezapomeňme, že ochranná struktura hydrofonu ponořená do vody o teplotě 50 °C bude ztrácet na své účinnosti. Vyšší teploty mohou piezoelektrický materiál kompletně zničit a schopnost zachycovat akustické vlny bude minimální. Vedlejšími faktory jsou šum předzesilovače a kvalita podvodní hladiny.

Obecně platí, že **mechanické poškození a vysoký akustický tlak** jsou pro hydrofon největším nebezpečím.<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> Hydrophone Handbook. *Ondacorp* [online]. Sunnyvale: Onda Corporation, c2020 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.ondacorp.com/Handbook/mobile/index.html#p=1>

<sup>12</sup> Hydrophone Handbook. *Ondacorp* [online]. Sunnyvale: Onda Corporation, c2020 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.ondacorp.com/Handbook/mobile/index.html#p=1>

### 1.4.1 Struktura hydrofonu

Struktura klasického hydrofonu je založena na keramické složce společně s piezoelektrickým elementem, který používá hydrofon k přeměně zvukové vlny na elektrický signál. Protože je keramický materiál levný a obsahuje silný vstupní signál, stal se nedílnou součástí každého hydrofonu. Oproti kondenzátorovým mikrofonům není zapotřebí phantomového napájení. Běžné hydrofony většinou nenabízejí vyrovnanou frekvenční charakteristiku.

Zaznamenaný materiál bude obsahovat spíše vysokofrekvenční zvuky. Pro vyrovnanější charakteristiku je zapotřebí dražších hydrofonů určených pro lokalizaci zemětřesení či různých výzkumů.

Hydrofony rozdělujeme do dvou kategorií: **rezonanční hydrofony a ploché hydrofony**. Rezonanční hydrofony jsou většinou vyrobené s pomocí piezoelektrického senzoru ponořeného do vodotěsného povlaku. Obvykle se signál nachází ve středo-vysokém frekvenčním pásmu.<sup>13</sup>

Ploché hydrofony naopak vyžadují piezoelektrický keramický materiál společně s integrovaným zesilovačem. Jejich odezva je v celém frekvenčním rozsahu. Oproti výše zmíněnému rezonančnímu hydrofonu jsou ploché hydrofony méně citlivé. Při nahrávání tišších podvodních ruchů počítejme s větším šumem.

## 1.5 Nejpoužívanější hydrofony

K nahrání podvodních zvuků slouží široká nabídka hydrofonů v různé cenové relaci. Výběr je opravdu velký, a proto je nutné pečlivě volit vyhovující hydrofon pro konkrétní účely. Celosvětově se doporučuje pět nejpoužívanějších hydrofonů pro podvodní záznam.

Pro vědecké účely je využíván prakticky nejdražší hydrofon, který je možno sehnat na trhu – **B&K 8106**. Jedná se o jediný hydrofon s frekvenčním rozsahem od 7 Hz s citlivostí 173 dB.

---

<sup>13</sup> Choosing a Hydrophone For Field Recording. *Ondacorp* [online]. New York: Poff, c2023 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.zachpoff.com/resources/choosing-a-hydrophone-for-field-recording/>



Obrázek 6 B&amp;K 8106.

Pokud požadujeme hydrofon v přijatelnější cenové relaci, tak se v nabídce Ambient nachází velká řada hydrofonů. **ASF-1 MKII** je stále určený pro různé výzkumy a měření oceánského dna. Jako jediný se chlubí nejrozsáhlejší frekvenční charakteristikou v rozmezí 7–40 kHz. Je velice odolný a jeho robustní struktura zaručuje dlouhou životnost. Odborníci považují ASF-1 MKII<sup>14</sup> za nejlepší hydrofon s nejvíce kladnými parametry (pokud nám nevadí cenová relace v rozsahu 40 000 Kč).



Obrázek 7 ASF-1 MKII

---

<sup>14</sup> ASF-1 MKII - HYDROPHONE W/ 48V-PHANTOM POWER SUPPLY. Ambient [online]. Mnichov: Ambient Recording, b. r. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://ambient.de/en/brands/ambient/708/asf-1-mkii-hydrophone-w/48v-phantom-power-supply>

Společnost DPA vyvinula před lety jediný 48V napájený vodotěsný mikrofon 8011<sup>15</sup>. Frekvenční rozsah začíná bohužel až od 100 Hz. I přes absenci spodních frekvencí je mikrofon známý kulatým a čistým zvukem. **8011** produkuje menší množství šumu než Ambient hydrofony, které jsou v terénu často používané.



Obrázek 8 DPA 8011

Standardem pro zaznamenání podvodní hladiny se stal **Aquarian Audio H2a-XLR**. V této nízké cenové relaci se jedná o nejlepší podvodní mikrofon, který nemá konkurenci. I když nenabízí širokou frekvenční odezvu, pro tvoření jednoduchých vodních kompozic je dostačující.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> DPA 8011 Hydrophone. Gravitymedia [online]. Londýn: gravitymedia, c2023 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.gravitymedia.com/product/dpa-8011-hydrophone/>

<sup>16</sup> Choosing a Hydrophone For Field Recording. *Ondacorp* [online]. New York: Poff, c2023 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.zachpoff.com/resources/choosing-a-hydrophone-for-field-recording/>



Obrázek 9 Aquarian Audio H2a-XLR

## 1.6 Způsoby snímání zvuku pod vodou

Přestože je hydrofon nejrozšířenějším a nepoužívanějším zařízením pro nahrávání, nejedná se o jediný způsob snímání. Například Frank Serafine vytvářel pro snímek *He Hunt for Red October* vodní ruchy pomocí univerzálního PZM mikrofonu. Zmíněný mikrofon byl použit pro zachycení nízkofrekvenčních rezonancí.<sup>17</sup>

Ačkoliv jsou mikrofony plochého tvaru, byly chytře připevněny do velkých barelů s 40 kg oleje. Následně byly hozeny do oceánu a díky tomu se zvuk v barelu tříštil. Tím se docílilo zajímavých a originálních vodních zvuků, které se použily pro sekvence s průlety torpéd. Frank Serafine zmiňuje v různých článcích i levnější způsoby snímání vodních zvuků. Podotýká využití síly vazelíny a prezervativu. Například opatřil Schoeps mikrofon různým ochranným materiálem a v rozumné hloubce prostřednictvím něj nahrával různé zvuky.

Je nutné však myslet i na riskantnost těchto mikrofonních technik. Do membrány mikrofonu se mohou, i přes účinný prezervativ, dostat vodní molekuly. Známí mistři zvuku navrhují uskutečnit podvodní snímání s levnějšími dynamickými mikrofony. Není vhodné použít drahé membránové mikrofony.

Největší problematika spočívá ve frekvenční charakteristice. Mikrofon umístěný v barelu nikdy nenabídne vyrovnanou frekvenční odezvu, proto musíme výsledky měření brát s rezervou.

---

<sup>17</sup> Creating the Undersea Sounds of Red October. *Film Sound* [online]. New York: Poff, c2023 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <http://www.filmsound.org/articles/redoctober.htm>

## 1.7 Mikrofonní techniky pro zaznamenání zvuku pod vodou

Mikrofonní techniky pro podvodní nahrávání se od technik užívaných při běžném snímání filmových ruchů liší. Zvuk má tendenci se chovat ve vodním prostředí zcela odlišně, proto se obvykle mění počet technik a směrových charakteristik. Běžné mikrofonní techniky (XY, ORTF, MS...) se v podvodních oblastech hůře uplatňují.

Ve vodních podmínkách nejsou směrové mikrofony vůbec účinné. Jediným hydrofonem, který je schopen směrově a především kvalitně zachytit jednotlivý podvodní zvuk, je DIFAR sonobuoy. Mikrofonem lze zachytit signál pouze do 2,5 kHz a je spíše využíván na lokalizování blížících se ponorek.

ORTF technika, kde se mikrofonní kapsle nacházejí na úrovni uší (18–0,31 m), rovněž představuje výraznou komplikaci. Kvůli rychlosti zvuku ve vodě je vlnová délka signálu delší, a tím větší vzdálenost potřebujeme k získání vyrovnaného stereofonního zvuku. Předpokládaná vzdálenost se pohybuje v rozmezí 0,9–1,2 m.



Obrázek 10 Stereofonní techniky pro záznam podvodního zvuku

Mluvíme o 4× větší vzdálenosti než při běžném nahrávání. Počítejme rovněž s odlišným frekvenčním rozsahem. Šíření zvuku ve vzdušných oblastech se nachází mezi 20–20 kHz. Oproti tomu pod vodou je frekvenční rozsah mnohem větší, mnozí uvádí hodnotu 10–10 MHz. Spodní frekvence mají tendenci se díky podvodnímu prostředí dostat mnohem

dále než na souši. Počítejme s různými druhy odrazů a rezonančních jevů. Totéž platí pro využití zbývajících způsobů snímání jako například X-Y.<sup>18</sup>

Protože lidské ucho nevnímá zvuk v podvodní hladině s velkou přesností a jedná se především o monofonní vnímání, stereofonní techniky nejsou tolik rozšířené. Jediný použitelný způsob stereofonního snímání je použít všesměrové hydrofony v dostatečné vzdálenosti.<sup>19</sup>

## 1.8 Ostatní způsoby pro podvodní snímání zvuku

Absence hydrofonu nemusí zastavit realizaci podvodního nahrávání. Během desítek let se našlo bezpočet různých technik a způsobů, jak zvukově zaznamenat podvodní hladinu. Nahrávání vodních kompozic lze provést i bez použití profesionálního hydrofonu.

### 1.8.1 Dynamické a kondenzátorové mikrofony

Několik let se experimentovalo s velkým množstvím kondenzátorových a dynamických mikrofonů. Hlavní výhodou je jejich dostupnost. Podvodní zvuk nahraný na dynamický mikrofon nabízí bohaté spektrum spodních frekvencí. Bohužel, neposkytuje dostatečně silný signál. Oproti hydrofonům nenabízí vyšší frekvence, které přidávají konkrétnost a srozumitelnost podvodním zvukům.

Větší riziko se nachází při ponoření dražšího kondenzátorového mikrofonu do vody. Pomocí spektrogramu se zjistilo velké množství žádoucích frekvencí ve středním pásmu. Jedná se opravdu o velký risk. Tato možnost se s přihlédnutím k ceně kondenzátorového mikrofonu většinou nedoporučuje.<sup>20</sup>

---

<sup>18</sup> GEIL, F. Hydrophone Techniques for Underwater Sound Pickup. *Annapolis*. 1992, 40(9), 711–718. ISSN 1714-7565.

<sup>19</sup> TITEUX, N. Underwater sound design. In: *Nicolastiteux.com* [online]. 10. 4. 2020 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.nicolastiteux.com/en/blog/underwater-sound-design/>

<sup>20</sup> FEBRIYANDO, L. *The Use Of Dynamic And Condenser Microphone With Cardioid Polar Pattern As An Alternative Of Hydrophone To Record Underwater Sounds*. Tangerang, 2022. Bachelor thesis. Music Faculty of Pelita Harapan University.





Obrázek 11 Použití dynamických mikrofonů

### 1.8.2 PZM mikrofony

Kreativní a originální způsob pro podvodní snímání je použití PZM mikrofonu. Mikrofony jsou ploché, zapuštěné v destičce, která se položí na pevný povrch. PZM pracuje na základě změn odporu vůči jeho povrchu. Většinou slouží k nahrání různých druhů vibrací a rezonancí povrchu, na kterém jsou přichyceny.

### 1.8.3 Ostatní zařízení

Mimo běžné způsoby snímání podvodních zvuků doporučují výzkumné společnosti (DolphinEar) zkoušet ostatní zařízení pro snímání námi určených zvuků.

Jednou z možností je umístění kapesního rekordéru do specificky vytvořené keramické nádoby. Zařízení je určeno pro velmi dlouhé nahrávání a zachycení určitých podvodních živočichů. Většinou zůstává na podvodní hladině umístěno celé dny.<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> CETACEAN RESEARCH TECHNOLOGY. Home. *Cetaceanresearch.com* [online]. © 2023 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: [https://www.cetaceanresearch.com/?gclid=EAIaIQobChMI5Ljs9s\\_q\\_AIVdUWRBR1IIwHREAAYASAAEgK10\\_D\\_BwE](https://www.cetaceanresearch.com/?gclid=EAIaIQobChMI5Ljs9s_q_AIVdUWRBR1IIwHREAAYASAAEgK10_D_BwE)



Obrázek 12 Hydrofon v podobě kapesního rekordéru

Můžeme dále zvážit další způsob snímání zvuku pod vodou, a to pomocí využití vlastních zařízení. Pro uskutečnění nahrávání je potřeba vlastnit dostatečně pevný a odolný case (například Pelican 1400 Case). Rekordér umístíme do uzavřeného prostoru a necháme ležet pod vodní hladinou alespoň dvě hodiny.



Obrázek 13 Rekordér umístěný do vodotěsného kufříku

#### 1.8.4 DIY Hydrofony

Hydrofon je v praxi velmi nákladný komponent. Proto poslední možností, všemi známými zvukaři doporučenou, může být vlastní výroba hydrofonu neboli DIY (Do It Yourself).

Na internetu a v odborné literatuře lze nalézt bezpočet prototypů vytvořených v domácím prostředí. Žádný však neposkytuje obdobné zvukové vlastnosti ve srovnání s profesionálními hydrofony.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> JOHN GRZINICH. Do-it-yourself hydrophones. *Maaheli.ee* [online]. © 2023 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://maaheli.ee/main/d-i-y-hydrophones/>

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 2 NAHRÁVÁNÍ PODVODNÍ HLADINY

Nejdůležitější částí této bakalářské práce je experimentování a zkoušení různých způsobů zaznamenání nahrávek ve venkovním nebo vnitřním prostředí. Cílem nahrávání bylo zjistit, jestli je možné docílit vodních zvuků bez **navštívení venkovních prostředí** a zda je lze vytvořit nápadité podvodní kompozice i v menších plochách. Experimenty jsem prováděl na DIY hydrofonech Cjossul Mini (Cjossul Mini je možné použít rovněž jako kontaktní mikrofony).



Obrázek 14 Technika použitá pro podvodní záznam zvuku v bazénu

Podle **Davida Farmera**, významného zvukového designera, se reálné podvodní zvuky výrazně liší od těch, které běžně posloucháme v kinosále. Podvodní zvuky ve filmech jsou často tlumené a neobsahují vysokofrekvenční zvuky. To je přesným opakem toho, co voda ve skutečnosti dělá. Publikum si ale na tlumené zvuky pod vodou zvyklo, takže je do jisté míry očekává.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> FILM SOUND. How to make underwater sounds? *Filmsound.org* [online]. © 2023 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <http://filmsound.org/QA/underwatersounds.html>

Díky provedenému nahrávání jsem měl možnost si tato tvrzení ověřit a vyvodit si z nich vlastní závěr.

## **2.1 Nahrávání podvodní hladiny v umělých plochách**

Hlavním cílem bylo zaznamenat unikátní podvodní zvuky, otestovat všemožné způsoby nahrávání pomocí hydrofonu a popsat problémy spojené s nahráváním.

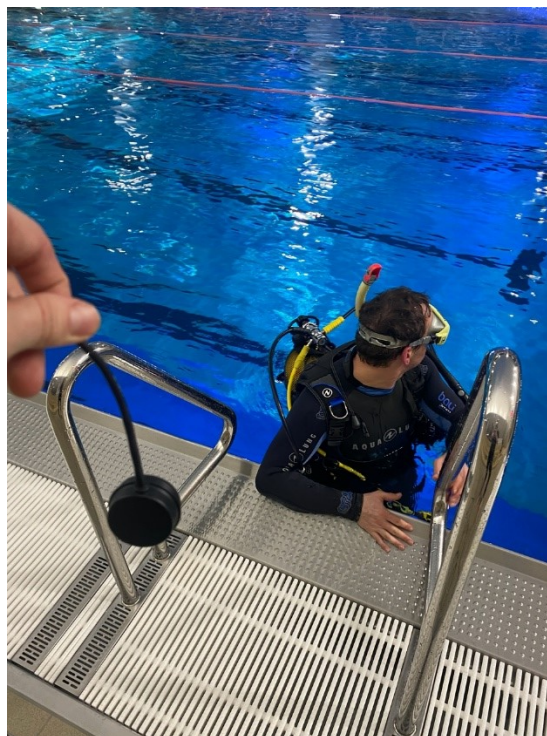
### **2.1.1 Příprava realizace**

Příprava realizace spočívala především ve výběru správné délky kabelu pro dostatečný dosah při nahrávání. Je nutné si uvědomit, že vyhovující délka kabelu se nachází mezi 20–30 metry. Kratší kabel bude zvlášť při nahrávání s potápěči nedostatečný. S výběrem kabelu se pojí zvolení správného počtu hydrofonů/mikrofonů, které budou pro naše nahrávání použity. Než se pustíme to stereofonního nahrávání, je důležité mít vyřešené správné a bezchybné monofonní nahrávání. Po úspěšném nahrávání s jedním hydrofonem můžeme přejít na záznam zvuku s dvěma mikrofony. Protože, stereofonní techniky jsou ve vodě problematické kvůli akustickým problémům, tak bychom si více uškodili, než pomohli. Při použití stereofonní techniky nestačí mít mikrofony náhodně u sebe, ale podmínkou je mít je v rozmezí 0,9–1,2 m. Je možné provést nahrávání například pomocí nějakého nástavce na mikrofonní stojan.

Kromě zajištění technické stránky je nejdůležitější komunikace mezi osobou, která dané nahrávání provádí. Protože, jsou hydrofony velmi citlivé a všesměrové, doporučuji vysvětlit jednotlivé záležitosti dané osobě, která s nahráváním pomáhá.

### **2.1.2 Zkušební ponor**

Před ponorem do umělých ploch, jako jsou lomy a rybníky, bylo potřeba vyzkoušet si komunikaci s potápěčem a jednotlivé techniky pro snímání podvodního zvuku. Spolupráce s Ondřejem Plačkem, který prováděl ponor, byla velice příjemná. Byl mi vysvětlen průběh ponoru a na co si dávat při nahrávání pozor. Ponor proběhl v 25metrovém bazénu ve Zlíně.



Obrázek 15 Spolupráce s potápěčem

Během ponoru jsem lokalizoval problémy či parazitní zvuky, které nahrávky znečistily. Jedná se v zásadě o parazitní zvuky způsobené nechtěným dotýkáním kabelu. I přes nepříjemný zvuk jsem se rozhodl handling-noise vyřešit pomocí editace v Pro Tools. Zmiňovaný problém je součástí podvodního nahrávání a laborování, proto na něj nebylo zaměřeno tolik pozornosti. Další nechtěný parazitní ruch, se nímž se lze při ponoru obvykle setkat, je potápěčovo dýchání.

I přes náhodné ruchy, které občas znemožnily čistý záznam zvuku, se nám podařilo vymyslet kreativní nápady pro zajímavé vodní zvuky. Hydrofon v potápěčově ruce nic zásadního a zajímavého nezaznamenal (pouze nepříjemné odrazy zvuku od bazénu). Jak bylo podotknuto na začátku kapitoly, pro naše zmíněné zvukové efekty je potřeba vyvinout velkou tlakovou vlnu. Může se jednat o seskok z **můstku do vody**, **prudké hození hydrofonu** nebo **případné vlnění okolo hydrofonu**.



Obrázek 16 Experimentování a laborování na nahrávání podvodních zvuků

### 2.1.3 Nahrávání v umělých plochách

Nahrávání v umělých plochách proběhlo v půlce března. Jednalo se o Kůrovický lom a díky Ondřeji Plačkovi jsem dostal do této rezervace plný přístup.



Obrázek 17 Kůrovický lom

Díky Vojtěchu Knapovi jsem měl k dispozici rekordér Sound Devices MixPre-10II, se kterým jsem byl schopen zaznamenávat data do 32-Bit.





Obrázek 18 Použitá technika na nahrávání v lomu

Hlavním cílem tohoto nahrávání bylo zjistit, jestli jsou zaznamenané zvuky v umělých plochách vůbec použitelné pro podvodní scénérie ve filmu. Zdali stojí vložit tolik úsilí pro získání realistického zvuku.

Postup při nahrávání v těchto oblastech byl totožný jako v bazéně. Pro mě se situace nezměnila. Na břehu jsem moduloval signál dvou hydrofonů, které byly díky Ondrovi umístěny v hloubce 6 m. Potápěč ode mě dostal instrukce položit hydrofony ve větší vzdálenosti pro vyrovnanější stereobázi.



Obrázek 19 Nahrávání podvodního zvuku v lomu

Zaznamenaná data nepřinesla takový úspěch jako při předešlých nahráváních. Zvuky nebyly tolik pestré a nepřinesly **žádné zajímavé prvky**. Jednalo se pouze o podvodní atmosféru, která však může být použita pro **dokumentární žánry, kde realismus hraje hlavní roli**.

Protože se v oblasti nacházela velká část zmrzlých vodních ploch, využil jsem tuto příležitost pro zaznamenání praskajícího ledu. Zmíněné zvuky byly z celého nahrávání nejpoužitelnější a více jsem si uvědomil důležitost stylizovaného zvuku.



Obrázek 20 Nahrávání lámajícího se ledu

## 2.2 Podvodní nahrávání v domácích podmínkách

**Protože nahrávání ve venkovních oblastech nenaplnila mé očekávání**, rozhodl jsem se zvuky stylizovat v domácích oblastech. Zvuky pod vodou jsem měl více pod kontrolou a byla možnost experimentovat s neobvyklými způsoby snímání.

### 2.2.1 Monofonní nahrávání pomocí hydrofonu

Experimenty byly provedeny monofonně. K záznamu byl použit kapesní rekordér Sony D100 a později také Sound Devices MixPre-10. Data byla zaznamenána ve 48kHz a při použití Sound Devices jsem se rozhodl pro vzorkovací frekvenci 192 kHz. Cílem bylo v domácích podmínkách vytvořit co nejvíce vodních efektů za použití běžných objektů. Laborování proběhlo zkoušením jakýchkoliv neobvyklých technik.



Obrázek 21 Stylizování podvodních zvuků

Před realizací podvodního nahrávání v domácích podmínkách je nutné brát v potaz následující okolnosti: Samotný hydrofon nikdy nezaznamená zvuk **bez prudkého pohybu**. Použití vlastní ruky je nedostačující a je potřeba využít svoji představivost.<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> GAMESOUNDDESIGN. How To: Hydrophones. *Gamesounddesign.com* [online]. © 2018 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <http://gamesounddesign.com/Using-a-hydrophone-to-record-underwater-sounds.html>

Příkladem pro použitelné nahrávky může být využití rozpálených cihel a jejich následné hození pod vodu. Rovněž bylo experimentováno s hozením suchého ledu do sklenice s vodou (pro mohutnější dopady na vodní hladinu jsem použil kameny). **Správný postup neexistuje** a je nutné laborovat s všemožnými objekty, abychom získali zajímavé podvodní kompozice. Ukázkou může být použití brčka pro dosažení zvuku „bublání“ či bodu varu.

Je důležité nezapomenout na parazitní zvuky způsobené náhodným dotýkáním kabelu. Hydrofon je natolik citlivý, že zachytává každý kontakt s kabelem. Pro minimalizování parazitních zvuků je žádoucí vymyslet dostatečnou organizaci kabeláže. Kabel musí být v nehybné poloze, a proto je obvyklé použít pásku pro připevnění kabelu k objektu a k minimalizování nechtěných basových ruchů.

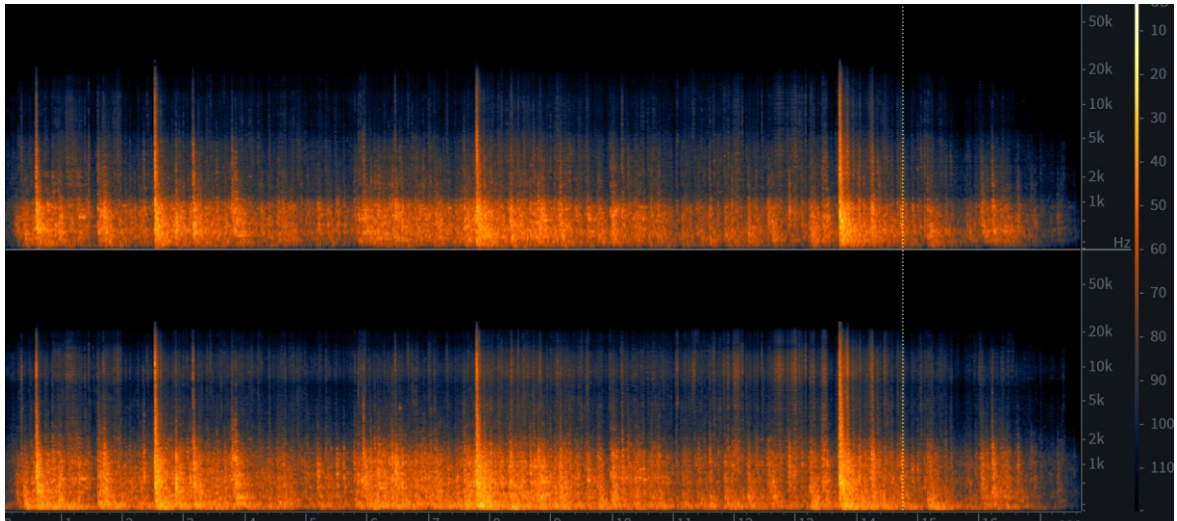


Obrázek 22 Stylizování podvodních zvuků v domácím prostředí

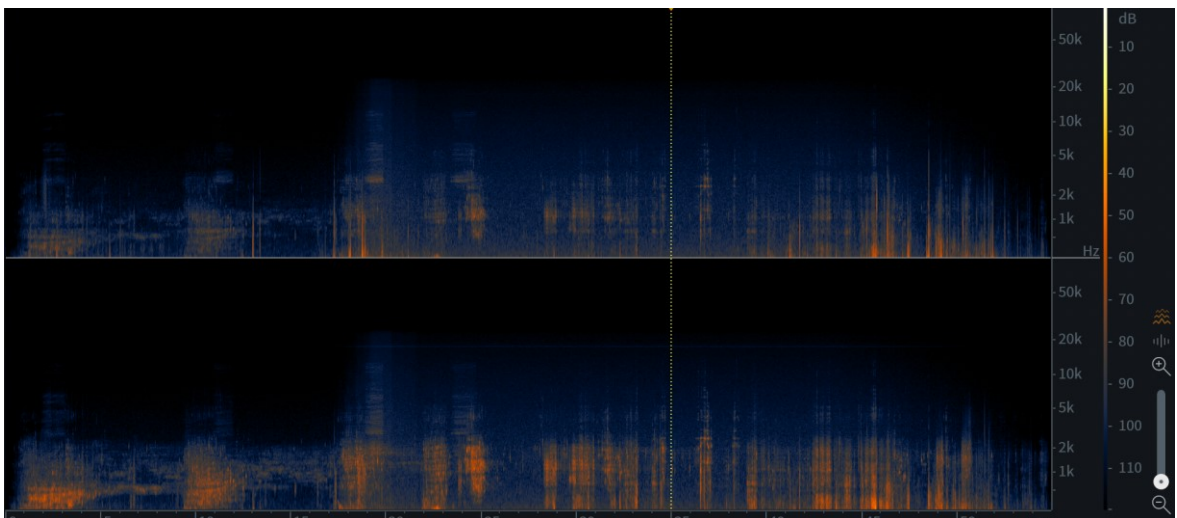
### 2.2.2 Srovnání a závěr použitých technik

Zaznamenaná data podvodní hladiny jsem analyzoval spektrální analýzou a spektrogramem. Cílem procesu bylo optimalizovat data tak, aby zněla jako nahrávky ze standardního hydrofonu. Pomocí spektrální analýzy byla měřena především hodnota vstupního signálu vůči frekvencím v celém rozsahu daného mikrofonu. Spektrogram byl použit pro vizuální znázornění frekvencí ve zvukovém spektru. Cílem první analýzy bylo najít kritické rozdíly mezi nahrávkami přes rekordér Sony d100 a Sound Devices MixPre-10. (Zásadní rozdíly jsem pomocí spektrogramu nezpozoroval). Druhou analýzou jsem prozkoumával

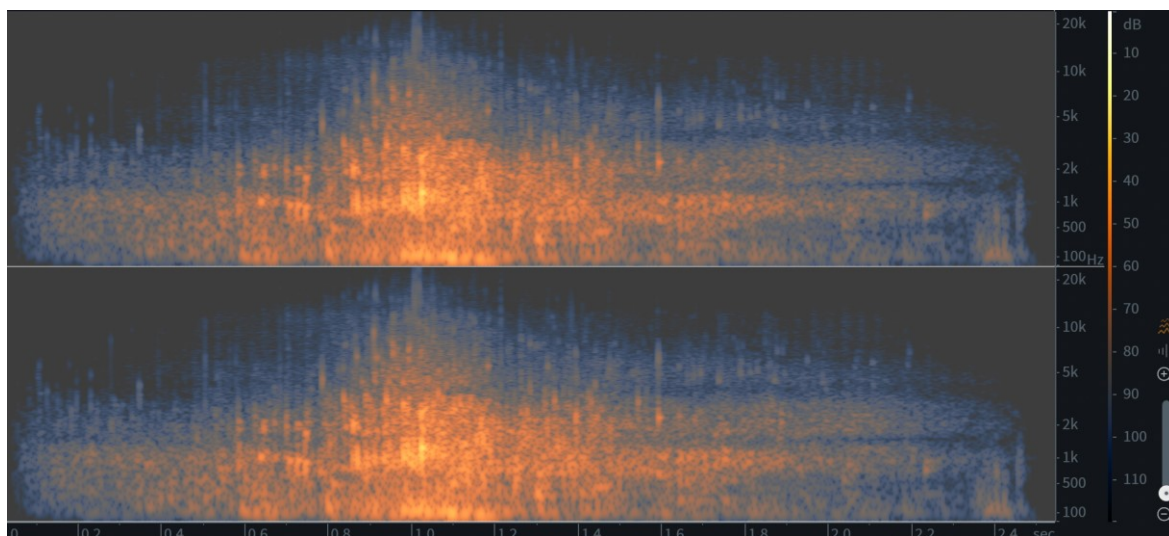
jednotlivou kvalitu zaznamenaných dat. Ukázalo se, že i přes správnou modulaci signálu byly nahrávky občas zkreslené. Jednalo se například o velké rány do vodní hladiny nebo roztržení ledu. Toto zkreslení bylo způsobeno překročením maximální hranice SPL (*sound pressure level*). Níže uvedené obrázky jsou příkladem analýzy pro podvodní záznamy.



Obrázek 23 Spektrální analýza zvuků lámajícího se ledu



Obrázek 24 Spektrální analýza podvodních zvuků



Obrázek 25 Spektrální analýza nárazu předmětu do vodní hladiny

### 2.3 Podvodní hladina ve zvukové postprodukcí

Úprava zaznamenaného materiálu byla poslední částí výzkumu. Nejedná se o žádné složité úpravy. Kvalitně zaznamenaný zvukový materiál nepotřebuje zásadní změny. Jedná se o běžné korekční úpravy, které jsou nutností při každé postprodukční práci. Zvukový materiál musí projít editační fází, která může zabrat hodně časového prostoru. Důvodem jsou zmíněné parazitní šумы a ruchy, jež jsou pro výsledný zvuk nežádoucí. Počítejme v mnohých případech rovněž s velkým množstvím korekčních úprav. Povinností je potlačit rezonanční frekvence, které jsou u každého hydrofonu rozdílné. Většinou se jedná o střední frekvenční pásmo v rozmezí 300–700 Hz.

Pokud se jedná o stereofonně nahraný zvuk, počítejme s fázovými posuny u obou hydrofonů. Záleží samozřejmě na prostoru, kde byl podvodní zvuk nasnímán, a proto je potřeba dodat v postprodukcí menší množství prostorového efektu. Poté je zcela na nás, jak výsledný zvuk upravíme či navrstvíme.

### 2.4 Užití vodních zvuků

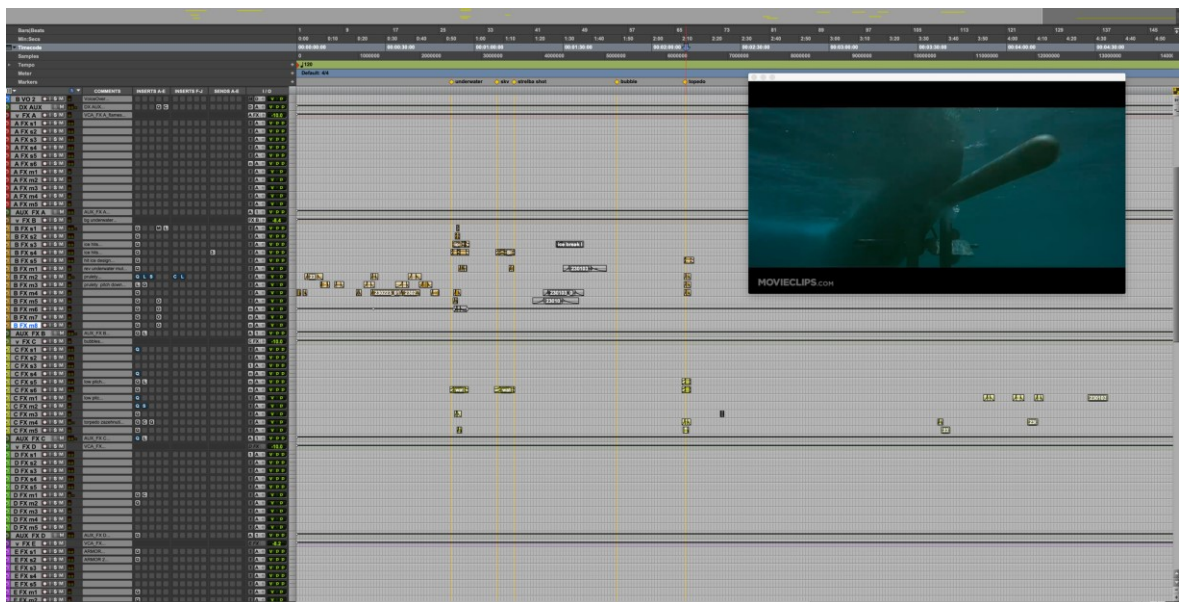
Při vytváření zvukových kompozic je nutné nezapomenout na **aplikovatelnost těchto zvuků**. Zaznamenat jednotlivé zvuky není v tomto procesu ta nejtěžší část. Kromě technických záležitostí je nutné si důkladně promyslet jednotlivou stylizaci a estetiku zvukových prvků. Každý žánr vyžaduje zcela odlišnou zvukovou stylizaci. Například v dokumentárním filmu se hodí spíše podvodní zvuky nahrané v **reálných oblastech**. Tímto docílíme jisté míry autentičnosti. Naopak v akčním filmu by tento druh realismu nebyl

dostačující, protože by nám chyběla zmíněná stylizace, která dělá zvuk zajímavým. Je nutné se touto problematikou zabývat a vyhovět našim potřebám filmu. Abych dokázal tato tvrzení, vybral jsem si dvě ukázky, na kterých budu prezentovat jednotlivé přístupy k podvodním scénám. K tomu jsem využil pouze vlastní nahrané zvuky pod vodou.

### 2.4.1 Akční žánr

Pro demonstrování využitelnosti podvodních zvuků jsem si vybral snímek *Ponorka U-571*. Nacházelo se zde mnoho scénérií, kde byla možnost vložit všechny nahrané zvuky. Jako příklad mohu uvést průlet torpéd nebo padání těžkých objektů ve vodě.

Zde jsem došel k tvrzení, že pro získání „klasických“ podvodních filmových zvuků je potřeba tyto elementy vrstvit. Místo vrstvení jsem pro mohutnost podvodních prvků použil *BaseHead*, abych byl schopen zvuky co nejefektivněji zpomalit. Protože jsem měl mnoho dat zaznamenaných ve 192kHz, tak bylo možné zvuky zpomalit bez ztráty kvality zvukového souboru. Dále jsem pomocí horní propusti potlačil vyšší frekvence, které dělaly zvuk až moc konkrétním. Ve výsledku podvodní zvuky obsahují spíše nižší a střední frekvence, které jsou pro tyto filmy charakteristické.



Obrázek 26 Implementování podvodních zvuků do akčního žánru

### 2.4.2 Dokumentární žánr

Pro dokumentární žánr jsem si vybral svůj oblíbený dokument *My Octopus Teacher*. Tento dokument je unikátní svým organickým zvukem, který se obešel bez jakékoliv stylizace. *Barry Donnelly*, který stojí za zvukovou postprodukcí tohoto dokumentu, snímal vodní zvuky pomocí interních mikrofonů kamery a dynamických mikrofonů, jež nabízejí spíše vysokofrekvenční zvuk. Dále využíval zvuky nahrané nad vodou, které byly posléze upraveny pomocí ekvalizéru tak, aby zněly jako pod vodou. Mým záměrem bylo se přiblížit původnímu zvuku ve filmu a vkládat do ukázky především ruchy, na něž jsem neaplikoval žádný *Audio Post-Processing*.

Na této ukázce jsem nestrávil tolik času jak v předešlém příkladu. Hlavní náplní práce byl správný výběr vodního zvuku. Oproti akčnímu filmu jsem se snažil přidat více vyšších frekvencí, které dávají věcem větší konkrétnost a uvěřitelnost. Protože se nejednalo o bojové scény, nemusel jsem na zvuky aplikovat saturace či všelijaké subharmonizéry.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> Recording & Designing Underwater Sounds Roundtable. Tonebenders [online]. Toronto: Muirhead, c2021 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://tonebenderspodcast.com/176-recording-designing-underwater-sounds-roundtable/>



## ZÁVĚR

Ve své práci jsem se zabýval především záznamem podvodního zvuku. Po přečtení práce by měl být čtenář obeznámen s veškerými teoretickými a praktickými znalostmi ohledně podvodního snímání.

Díky provedenému výzkumu se domnívám, že snímání podvodní hladiny je realizovatelné bez použití hydrofonů a dalších podvodních zařízení. Možností, jak kvalitně snímat podvodní zvuky, dle zjištěných informací existuje velké množství. Je ale zcela na mistrovi zvuku, jakou metodu zvolí a jak k ní přistoupí.

I přes velký výběr mikrofonů pro podvodní snímání je nejdůležitější samotný postup při nahrávání. Zvuky pod vodou jsou velmi specifické a při svém snímání kladou mnoho překážek. Jde především o akustické problémy či stereofonní techniky. I přesto je možné nahrát jednotlivé zvuky i s nejlevnějším mikrofonem.

Při záznamu podvodních zvuků je nutné nemít velká očekávání. Reálné zvuky nebudou plně dostačující do každého snímku. Někdy je žádoucí na realismus zcela zapomenout a vyhovět potřebám našeho filmu. Ve svém výzkumu jsem došel k názoru, že stylizované zvuky jsou pro běžné komerční filmy vhodnější než zvuky zaznamenané v reálných oblastech.

Vypadalo by to, že zaznamenání zvuku podvodní hladiny je čistě technická věc. Existují přímo dané konvence, které se musí dodržovat. Dle mého je nejdůležitějším aspektem pro vytvoření zajímavých zvukových kompozic lidská představivost.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

GAMESOUNDDESIGN. How To: Hydrophones. *Gamesounddesign.com* [online]. © 2018 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <http://gamesounddesign.com/Using-a-hydrophone-to-record-underwater-sounds.html>

FILM SOUND. How to make underwater sounds? *Filmsound.org* [online]. © 2023 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <http://filmsound.org/QA/underwatersounds>

JOHN GRZINICH. Do-it-yourself hydrophones. *Maaheli.ee* [online]. © 2023 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://maaheli.ee/main/d-i-y-hydrophones/>

CETACEAN RESEARCH TECHNOLOGY. Home. *Cetaceanresearch.com* [online]. © 2023 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: [https://www.cetaceanresearch.com/?gclid=EA1aIQobChMI5Ljs9s\\_q\\_AIVdUWRBR1IIwHREAAYASAAEgK10\\_D\\_BwE](https://www.cetaceanresearch.com/?gclid=EA1aIQobChMI5Ljs9s_q_AIVdUWRBR1IIwHREAAYASAAEgK10_D_BwE)

FEBRIYANDO, L. *The Use Of Dynamic And Condenser Microphone With Cardioid Polar Pattern As An Alternative Of Hydrophone To Record Underwater Sounds*. Tangerang, 2022. Bachelor thesis. Music Faculty of Pelita Harapan University.

GEIL, F. Hydrophone Techniques for Underwater Sound Pickup. *Annapolis*. 1992, 40(9), 711–718. ISSN 1714-7565.

TITEUX, N. Underwater sound design. In: *Nicolastiteux.com* [online]. 10. 4. 2020 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.nicolastiteux.com/en/blog/underwater-sound-design/>

Choosing a Hydrophone For Field Recording. *Ondacorp* [online]. New York: Poff, c2023 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.zachpoff.com/resources/choosing-a-hydrophone-for-field-recording/>

Creating the Undersea Sounds of Red October. *Film Sound* [online]. New York: Poff, c2023 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <http://www.filmsound.org/articles/redoctober.html>

ASF-1 MKII - HYDROPHONE W/ 48V-PHANTOM POWER SUPPLY. Ambient [online]. Mnichov: Ambient Recording, b. r. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://ambient.de/en/brands/ambient/708/asf-1-mkii-hydrophone-w/48v-phantom-power-supply>

DPA 8011 Hydrophone. Gravitymedia [online]. Londýn: gravitymedia, c2023 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.gravitymedia.com/product/dpa-8011-hydrophone/>

DORRITIE, Frank. Field Recording. In: *Field Recording* [online]. Anglie: Artistpro, 2003, s. 70 [cit. 2023-01-28]. ISBN 1931140200. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=xkjXLvATB5UC&pg=PA70&dq=hydrophone+recordin>

g&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwiq5YnjqOv8AhU0DRAIHJbAYgQ6AF6BAgFEAI#v=onepage&q=hydrophone%20recording&f=false

The First Studies of Underwater Acoustics: The 1800s. In: *Dosits* [online]. Rhode Island: University of Rhode Island and Inner Space Center, c2002-202 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://dosits.org/people-and-sound/history-of-underwater-acoustics/the-first-studies-of-underwater-acoustics-the-1800s/>

Hydrophone Handbook. *Ondacorp* [online]. Sunnyvale: Onda Corporation, c2020 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.ondacorp.com/Handbook/mobile/index.html#p=1>

*Underwater Noise Measurement: Good Practice Guide No. 133* [online]. In: . Skotsko: Marine Scotland, c2014 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.npl.co.uk/special-pages/guides/gpg133underwater>

*Reducing Mechanical and Flow-Induced Noise in the Surface Suspended Acoustic Receiver* [online]. San Diego, 1993 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=535bb2d7dd45d407acd24b959073a05ac0a2f258>. Disertace. University of California. Vedoucí práce Dr. Mark A. Grosenbaugh.

How does sound in air differ from sound in water?. In: *Dosits* [online]. Rhode Island: University of Rhode Island and Inner Space Center, c2002-202 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://dosits.org/science/sounds-in-the-sea/how-does-sound-in-air-differ-from-sound-in-water/>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

dB    decibel

DIY    Do it yourself

kHz    kilohertz

MPa    MegaPascal

PZM    Pressure zone mic

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 – Experimentování se zvukovými odrazy .....	15
Dostupný z: <a href="https://dosits.org/wp-content/uploads/2016/08/colladon-sturm_illustration.sm_.jpg">https://dosits.org/wp-content/uploads/2016/08/colladon-sturm_illustration.sm_.jpg</a>	
Obrázek 2 – Experimentování s hydrofonem .....	17
Dostupný z: <a href="https://dosits.org/wp-content/uploads/2017/05/history-noaa-fessenden.jpg">https://dosits.org/wp-content/uploads/2017/05/history-noaa-fessenden.jpg</a>	
Obrázek 3 – Vrstvy hydrofonu .....	19
Hydrophone Handbook [online]. 3rd. Sunnyvale: Ondacorp, 2023, 10s [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <a href="https://ondacorp.com/Handbook/mobile/index.html">https://ondacorp.com/Handbook/mobile/index.html</a>	
Obrázek 4 – Výpočet citlivosti hydrofonu.....	20
Hydrophone Handbook [online]. 3rd. Sunnyvale: Ondacorp, 2023, 18s [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <a href="https://ondacorp.com/Handbook/mobile/index.html">https://ondacorp.com/Handbook/mobile/index.html</a>	
Obrázek 5 – Druhy hydrofonů.....	25
Hydrophone Handbook [online]. 3rd. Sunnyvale: Ondacorp, 2023, 26s [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <a href="https://ondacorp.com/Handbook/mobile/index.html">https://ondacorp.com/Handbook/mobile/index.html</a>	
Obrázek 6 – B&K 8106. ....	28
Dostupný z: <a href="https://www.bksv.com/-/media/New_Products/Transducers/hydrophones/8106.ashx?w=600&amp;hash=296BD079E73E3ACA625447E35C6AF3B7842DAA35">https://www.bksv.com/-/media/New_Products/Transducers/hydrophones/8106.ashx?w=600&amp;hash=296BD079E73E3ACA625447E35C6AF3B7842DAA35</a>	
Obrázek 7 – ASF-1 MKII .....	28
Dostupný z: <a href="https://ambient.de//media/image/5b/e1/9f/ASF-1_MKII_960x720.webp">https://ambient.de//media/image/5b/e1/9f/ASF-1_MKII_960x720.webp</a>	
Obrázek 8 – DPA 8011 .....	29
Dostupný z: <a href="https://www.aquarianaudio.com/images/detailed/1/H1aH2aGrid1200w_9zdi-sl_xhpu-ip.jpg">https://www.aquarianaudio.com/images/detailed/1/H1aH2aGrid1200w_9zdi-sl_xhpu-ip.jpg</a>	
Obrázek 9 – Aquarian Audio H2a-XLR.....	30
Dostupný z: <a href="https://www.nicolastiteux.com/wp-content/uploads/2020/04/hydrophones-riviere.jpg">https://www.nicolastiteux.com/wp-content/uploads/2020/04/hydrophones-riviere.jpg</a>	
Obrázek 10 – Stereofonní techniky pro záznam podvodního zvuku .....	31
Dostupný z: <a href="https://www.naturepl.com/cache/pcache2/01039349.jpg">https://www.naturepl.com/cache/pcache2/01039349.jpg</a>	
Obrázek 11 – Použití dynamických mikrofonů .....	33
Dostupný z: <a href="https://www.cetaceanresearch.com/hydrophone-systems/rudar/images/nRUDAR-mk2.jpg">https://www.cetaceanresearch.com/hydrophone-systems/rudar/images/nRUDAR-mk2.jpg</a>	

Obrázek 12 – Hydrofon v podobě kapesního rekordéru.....	34
Dostupný z: <a href="https://www.911supply.ca/cdn/shop/products/s8916_310a6df7-99a3-4503-80f6-fe96a4b9bf5b_2048x.jpg?v=1656462450">https://www.911supply.ca/cdn/shop/products/s8916_310a6df7-99a3-4503-80f6-fe96a4b9bf5b_2048x.jpg?v=1656462450</a>	
Obrázek 13 – Rekordér umístěný do vodotěsného kufru .....	34
Dostupný z: Vlastní zdroj	
Obrázek 14 – Technika použitá pro podvodní záznam zvuku v bazénu .....	37
Dostupný z: Vlastní zdroj	
Obrázek 15 – Spolupráce s potápěčem .....	39
Dostupný z: Vlastní zdroj	
Obrázek 16 – Experimentování a laborování na nahrávání podvodních zvuků .....	40
Dostupný z: Vlastní zdroj	
Obrázek 17 – Kůrovický lom.....	40
Dostupný z: Vlastní zdroj	
Obrázek 18 – Použitá technika na nahrávání v lomu.....	41
Dostupný z: Vlastní zdroj	
Obrázek 19 – Nahrávání podvodního zvuku v lomu .....	41
Dostupný z: Vlastní zdroj	
Obrázek 20 – Nahrávání lámajícího se ledu .....	42
Dostupný z: Vlastní zdroj	
Obrázek 21 – Stylizování podvodních zvuků .....	43
Dostupný z: Vlastní zdroj	
Obrázek 22 – Stylizování podvodních zvuků v domácím prostředí.....	44
Dostupný z: Vlastní zdroj	
Obrázek 23 – Spektrální analýza zvuků lámajícího se ledu .....	45
Dostupný z: Vlastní zdroj	
Obrázek 24 – Spektrální analýza podvodních zvuků.....	45
Dostupný z: Vlastní zdroj	
Obrázek 25 – Spektrální analýza nárazu předmětu do vodní hladiny .....	46
Dostupný z: Vlastní zdroj	
Obrázek 26 – Implementování podvodních zvuků do akčního žánru .....	47
Dostupný z: Vlastní zdroj	

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Ukázky podvodního materiálu

## **PŘÍLOHA P I: UKÁZKY PODVODNÍHO MATERIÁLU**

Příloha č. 1 – DVD s ukázkami přiložené s fyzickou verzí práce

Online odkazy Příloha P I:

Ukázky - [https://drive.google.com/drive/folders/1LrDOowtc4DrodA7TW3RVzzoliN-FGnID?usp=share\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1LrDOowtc4DrodA7TW3RVzzoliN-FGnID?usp=share_link)