

Prostorový zvuk pro potřeby virtuální reality v audiovizuálních dílech

BcA. Daniel Kompas

Diplomová práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací

Ateliér Audiovize
akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **BcA. Daniel Kompas**
Osobní číslo: **K16448**
Studijní program: **N8209 Teorie a praxe audiovizuální tvorby**
Studijní obor: **Audiovizuální tvorba – Zvuková skladba**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **1. Teoretická část:**
Prostorový zvuk pro potřeby virtuální reality v audiovizuálních dílech

2. Praktická část:
Audiovizuální dílo nebo tematický soubor audiovizuálních děl, délka minimálně 20 min., zvuková skladba

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická část:

Rozsah práce: minimálně 30 normostran textu bez započítání obsahu, rejstříku a obrazových příloh.

Formální podoba: 1 ks v pevné vazbě s popisem na hřbetu i horní desce spolu s CD-R. Dále 2 ks práce, které mohou být v kroužkové vazbě.

Práci je třeba rovněž odeslat do knihovny UTB Zlín v elektronické podobě ve formátu pdf. a nahrát do příslušné složky na NAS-FMK.

Pokyny k vypracování: prostudujte a analyzujte dostupné materiály z profesního hlediska a formulujte závěry a získané vědomosti.

2. Praktická část: Výstupní dílo:

a) 2 ks DVD ve formátu DVD-video (PAL) s graficky upraveným bookletem.

b) Písemná explikace z pohledu dané specializace. Minimální rozsah: 2x normostrany.

c) V případě, že je dílo autorským počinem nebo není součástí praktické části SZZ studenta produkce, je nutné dodržet dále zásady: a - h (dle zadání praktické části práce na oboru Produkce). Tyto data odevzdává za projekt vždy jeden člověk - nutná konzultace s vedením AAV.

Všechny odevzdávané materiály musí splňovat vnitřní technické normy 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 diplomové práci studenta".

V samotné složce na AAV-NAS, označené "Podklady pro katalog FMK UTB ve Zlíně" odevzdejte v minimálním počtu 10 kusů obrazovou dokumentaci praktické části závěrečné práce pro využití v publikacích FMK. Formát pro bitmapové podklady: JPEG, barevný prostor RGB, rozlišení 300 dpi, 250mm 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.

Rozsah diplomové práce: viz. Zásady pro vypracování
Rozsah příloh: viz. Zásady pro vypracování
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/umělecké dílo

Seznam odborné literatury:

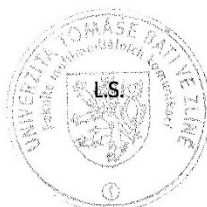
GREČNÁR, Ján. Zvuková realizácia filmu: umenie majstra zvuku. Bratislava: Juga, 2012. ISBN 978-80-89030-50-7.
DOOR JOHN GARAS. Adaptive 3D sound systems. IS.I: s.n.l, 1999. ISBN 90-386-1640-6.
BEGAULT, Durand R. 3-D sound for virtual reality and multimedia. Boston: AP Professional, c1994. ISBN 0120847353.
WIGGINS, B. (2004) An Investigation into the Real-time Manipulation and Control of Three-dimensional Sound Fields. PhD thesis, University of Derby, Derby, UK.
PULKKI, Ville. Spatial sound generation and perception by amplitude panning techniques. Espoo: Helsinki University of Technology, 2001. ISBN 9512255316.
POWER, Paul James. Future Spatial Audio: Subjective Evaluation of 3D Surround Systems. Salford. Dissertation thesis. University of Salford.
ARTEAGA, Daniel. Introduction to Ambisonics. Barcelona, 2017. Universitat Pompeu Fabra.

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Ján Grečnár, ArtD.
Ateliér Audiovize
Datum zadání diplomové práce: 4. prosince 2017
Termín odevzdání diplomové práce: 9. května 2018

Ve Zlíně dne 4. prosince 2017



doc. Mgr. Irena Armutidisová
děkanka



MgA. Jiří Mynařík
vedoucí ateliéru

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské/diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ 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.

Ve Zlíně 17. 1. 2018

DANIEL KOMPAS

.....
Jméno, příjmení, podpis

1) zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47b Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevyjíměčně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlédnutí veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

2) 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

3) 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložil, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Práce je zaměřena především na trend 360° děl, který v audiovizuálním průmyslu v současnosti vzrůstá, ale lehce se dotýká i možné budoucí transformace ve virtuální realitu. Na tuto problematiku se dívá z hlediska mistra zvuku. Nejprve stručně shrnuje historii a vývoj prostorového 3D zvuku. Dále vysvětluje teoretické základy nejužívanějších metod, které jsou pro tento účel navrženy, včetně formátů či způsobů reprodukce. Nakonec se tématu věnuje z praktického hlediska a snaží se nastínit způsob, jak lze ke zvukové stránce těchto děl přistupovat, a to pomocí zkušeností zběhlých profesionálů, i autora práce.

Klíčová slova: 3D zvuk, prostorový zvuk, Ambisonics, objektově orientované audio, 360, virtuální realita, VR

ABSTRACT

This thesis is focused on the trend of 360° audiovisual works, which has been growing in the audiovisual industry in recent years, but it mentions the industry's potential future transform into virtual reality as well. The thesis is looking into this issue from the point of view of a sound engineer. First, it briefly summarizes the history and progress of 3D spatial sound. Next, it explains the theoretical bases of the most commonly used methods, which are designed for this purpose, including formats and ways of reproduction. It concludes with an exploration of the practical considerations and tries to outline a methodology, how to approach to the audio part of these works, with the help of skilled professionals' and author's own experiences.

Keywords: 3D sound, spatial sound, Ambisonics, object-based audio, 360, virtual reality, VR

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce, panu prof. Ing. Jánů Grečnárůvi, ArtD., za jeho ochotu, trpělivost, vstřícnost a věcné připomínky. Dále pak slečně Anne Jimkes a pánům Thomasu Aichingerovi, Kevinu Bolenovi, prof. Angelu Farinovi, Mattu Bobbovi, Florentu Dumasovi a Abeshi Thakurovi za ochotu podělit se o své zkušenosti. A nakonec i slečně Danuši Končické za jazykovou korekturu.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 HISTORICKÝ KONTEXT	11
2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA 3D ZVUKU	14
2.1 TECHNIKY	14
2.1.1 AMBISONICS	15
2.1.1.1 Ambisonics prvního řádu.....	20
2.1.1.2 Ambisonics vyšších řádů	22
2.1.2 OBJEKTIVĚ ORIENTOVANÉ AUDIO TECHNIKY	25
2.1.2.1 Vektorově založené panorámování amplitud (VBAP)	28
2.1.2.2 Syntéza vlnového pole (WFS)	30
2.2 FORMÁTY	32
2.2.1 A-FORMAT	33
2.2.2 B-FORMAT	33
2.2.2.1 Standardy B-Formatu.....	33
2.2.2.1.1 FuMa (Furse/Malham)	34
2.2.2.1.2 AmbiX.....	34
2.2.2.1.3 TBE	35
2.2.3 C-FORMAT / UHJ	35
2.2.4 G-FORMAT	36
2.3 METODY REPRODUKCE	36
2.3.1 SLUCHÁTKA.....	36
2.3.2 REPRODUKTOROVÉ POLE	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	44
3 SNÍMÁNÍ ZVUKU PŘI PRODUKCI 360° DĚL	45
3.1 MIKROFONY	47
3.1.1 AMBISONICS PRVNÍHO ŘÁDU	47
3.1.2 AMBISONICS VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	51
3.1.3 OSTATNÍ.....	52
4 POSTPRODUKCE 360° DĚL.....	53
4.1 PRAKTICKÁ UKÁZKA POSTPRODUKCE	54
4.2 ENKÓDOVÁNÍ KONEČNÉHO VÝSTUPU	59
4.3 KONCOVÉ DEKÓDOVÁNÍ.....	59
ZÁVĚR	61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	72

SEZNAM OBRÁZKŮ	73
-----------------------------	-----------

ÚVOD

V této diplomové práci se zaměřuji na nový trend v oblasti audiovizuální tvorby, který se začal silněji rozmáhat zhruba před dvěma roky – virtuální realitu. Je ale třeba zdůraznit, že se zatím nejedná o opravdovou virtuální realitu, nýbrž „jen“ 360° (panoramatická, imerzivní či sférická) díla. Rozdíl je v tom, že v současnosti je divák omezen na jednu určitou pozici v prostoru, kterou určí tvůrce, a z této pozice pak může pozorovat okolí v plné šíři, resp. může si vybírat výsek, který chce vidět, a podle toho se v reálném čase přizpůsobuje i podoba zvukové stopy. Naproti tomu v opravdové virtuální realitě není omezen pouze na jednu pozici, ale může se volně pohybovat v prostoru. Taková podoba virtuální reality je ale zatím v audiovizuální sféře hudbou budoucnosti.

Práce je rozdělená na teoretickou část, jež se snaží shrnout hlavní informace, kterými by měl mistr zvuku disponovat předtím, než se pustí do práce na projektu tvořeném imerzivním způsobem. Tím se myslí různé techniky, formáty, či způsoby reprodukce. Jinými slovy – cílem této části je seznámit čtenáře co nejsrozumitelnějším, ale zároveň dostatečným způsobem s problematikou zvukové složky 360° audiovizuálních děl z teoretického hlediska. Čerpá hlavně z literárních pramenů, ale je doplněna i citacemi tvůrců z praxe. Následující praktická část si klade za cíl prakticky ukázat, jak může vypadat výroba takových děl v praxi a jaké nástroje je možné k tomu použít. Produkci se zabývá spíše zprostředkovaně, za pomoci zkušeností nabytých jinými mistry zvuku, které jsem oslovil. Část věnovaná postprodukci pak kromě zkušeností profesionálů zahrnuje i praktickou ukázkou jednoduchého projektu zpracovanou pro účely této práce.

K výběru tohoto tématu mě inspirovala hlavně zmiňovaná skutečnost, že jde v současné době o poměrně silně se rozmáhající trend a zajímá mě jak jeho současná podoba, tak další vývoj. Zároveň je možné, že se sám s výrobou takovýchto děl v budoucnu dostanu do kontaktu, proto věřím, že mě zpracování této práce posune i profesně.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORICKÝ KONTEXT

Ačkoliv začal být prostorový 3D zvuk v audiovizuálních dílech hojněji využíván až zhruba v posledních třech letech, sahá jeho historie daleko hlouběji do minulosti. Kořeny prostorového zvuku najdeme na konci 20. let 20. století u **Alana Blumleina**, elektronického inženýra z Velké Británie, který začal experimentovat se stereofonními technikami zvuku.¹ Mimo jiné položil i teoretický základ techniky *M/S stereo* (*Mid-Side stereo*), která umožňuje manipulovat s šířkou báze a poměrem konkrétního zvuku oproti ambientnímu.²

Na základě techniky *M/S stereo* následně v 70. letech 20. století (tedy prakticky ve stejné době jako dnes běžně používaný prostorový systém 5.1!), opět v Británii, vznikl nový princip – **Ambisonics**. Přišel s ním matematik Michael Gerzon a jeho kolegové Peter Fellgett a Peter Craven. Touto technikou byl rozšířen princip *M/S stereo* o dimenzi výšky a předozadní hloubky, tím pádem už bylo možné mluvit o 3D zvuku. Na konci 70. let pokračoval vývoj *Ambisonics* krokem k praktické aplikaci. Gerzon a jeho kolegové sestrojili mikrofon schopný zachytávat 3D zvuk, známý jako *SoundField*, a společně s ním představili i nové formáty pojmenované *A-Format* a *B-Format*.³ Gerzonovi a jeho kolegům pravděpodobně pomohlo i to, že v té době byl populární kvadrofonní (čtyřkanálový) zvukový systém, tzn. že byla možnost zaznamenávat 4 stopy na pásku, což odpovídalo počtu kapslí na jejich *SoundField* mikrofonu. Tomu, s čím Gerzon přišel, se začalo říkat **Ambisonics prvního řádu**, šlo tedy o jakousi prvotní, základní verzi obsahující čtyři kanály. V 90. letech pak došlo k dalšímu vývoji a na zřetel se dostala technika **Ambisonics vyšších řádů**, která slibovala díky většímu počtu kanálů daleko přesnější rozlišení (určení polohy zvuků). Podle oficiální facebookové stránky firmy *mh acoustics* vznikl v roce 2002 první prototyp mikrofonu *Eigenmike* s 32 kapslemi, schopný zachytit signál až čtvrtého řádu, který pak

¹ SOUSA, Fabio Wanderley Janhan. The development of a "Virtual studio" for monitoring Ambisonic based multichannel loudspeaker arrays through headphones, s. 19

² BLUMLEIN, Alan Dower. Improvements in and relating to Sound-transmission, Sound-recording and Sound-reproducing Systems.

³ A-Format je syrový, nezpracovaný signál z kapslí mikrofonu, který následně hardwarový, nebo softwarový enkodér převede na B-Format. Ten už obsahuje zpracovanou 3D prostorovou informaci, pracuje se s ním v postprodukci a poté většinou bývá i finálním výstupním formátem.

v roce 2009 dostal svou finální podobu.⁴ Výzkum *Ambisonics* vyšších řádů ale nadále pokračuje.^{5, 6, 7}

Později se objevily techniky založené na **objektově orientovaném principu**. Na konci 80. let přišel nizozemský profesor Berkhout s metodou **syntézy vlnového pole (WFS)**^{8, 9} a následně v roce 1997 byla finským výzkumníkem Villem Pulkkim popsána metoda **vektorově založeného panorámování amplitud (VBAP)**.^{10, 11}

V rámci historického kontextu není od věci ani stručná zmínka o vývoji **binaurální stereofonní techniky**¹², jelikož její principy jsou využívány i k reprodukci zvuku dnešních 360° děl, či dalších aplikací virtuální reality. Počátky lze najít už na konci 19. století a v 30. letech 20. století na ně navázal Alan Blumlein, který při svých experimentech se stereofonií pracoval s pojmem „binaurální“, i když trochu jinak, než je dnes zvykem. Jeho techniky jsou nyní známé jako metody „klasické“ (tedy ne binaurální) stereofonie.^{13, 14} Zároveň v roce 1933 proběhl světový veletrh, kde firma *AT&T* představila mechanického muže *Oscara*, který měl v uších mikrofony a dá se tedy považovat za jednu z prvních aplikací binaurální metody tak, jak ji dnes známe.¹⁵ Následně v roce 1972 firma *Neumann* uvedla na trh první komerčně vyráběnou „dummy head“.^{16, 17} Nicméně až do začátku 21. století nebyl pojem „binaurální“ ustálen a býval zaměňován se stereofonií.¹⁸

Nyní, na začátku 21. století, již vývoj postupuje daleko rychleji. V průběhu minulých zhruba 10 let byly masově adaptovány různé 3D audio **reprodukční systémy** jako *Dolby Atmos* či

⁴ Evolution of the Eigenmike. Dostupné z:

<https://www.facebook.com/mhacoustics/photos/rpp.751864598313444/862294257270477>.

⁵ SOUSA, Fabio Wanderley Janhan, ref. 1, s. 19 - 32

⁶ DANIEL, Arteaga. Introduction to Ambisonics, s. 22

⁷ Ambisonics. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ambisonics>

⁸ DANIEL, Jérôme, Rozenn NICOL a Moreau SÉBASTIEN. Further Investigations of Higher Order Ambisonics and Wavefield Synthesis for Holophonic Sound Imaging, s. 2

⁹ Wave field synthesis. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Wave_field_synthesis

¹⁰ SOUSA, Fabio Wanderley Janhan, ref. 1, s. 34

¹¹ POWER, Paul James. Future Spatial Audio: Subjective Evaluation of 3D Surround Systems, s. 10 - 11

¹² Snaží se co nejlépe napodobit principy lidského slyšení.

¹³ SOUSA, Fabio Wanderley Janhan, ref. 1, s. 42

¹⁴ A history of binaural recording. Dostupné z: <http://blog.bowers-wilkins.com/speakers/definitive-guides/a-history-of-binaural-recording/>.

¹⁵ GANZ, Cheryl. The 1933 Chicago World's Fair: century of progress, s. 78 - 79

¹⁶ Hlava figuríny s mikrofony v uších.

¹⁷ A Brief History of Binaural Audio. Dostupné z: <http://www.kallbinauralaudio.com/a-brief-history-of-binaural-audio/>.

¹⁸ SOUSA, Fabio Wanderley Janhan, ref. 1, s. 39, 43

Auro 3D a jsou vyvíjeny **kodeky** pro integraci imerzivního obsahu do televize (např. *MPEG-H*). Podporu takovému obsahu zavedly i **sociální sítě** (kupříkladu *Facebook*) či **video servery** (např. *Youtube*) a v neposlední řadě vznikly i různé **náhlavní soupravy** („headsety“) pro vstup do virtuální reality, jako je *Oculus Rift*.

2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA 3D ZVUKU

Stejně jako se vyvíjí další oblasti lidské činnosti, tak k tomuto přirozenému posunu dochází i u audiovizuální produkce. Ta je v současné době v bodu, kdy klasické plátno a prostorový zvuk tak, jak je dnes známe, přestávají mít divákům co nabídnout, a tak pomalu dochází k transformaci ve vyšší stádium - **virtuální realitu**. S touto pomalou transformací musí logicky jít vpřed i technologie (obrazu i zvuku). U zvukové složky jde především o jiné techniky, než bylo dosud zvykem, dále způsoby reprodukce, či formáty.

2.1 Techniky

Různých technik s ambicemi stát se řešením pro zvukovou složku virtuální reality v audiovizuální oblasti existuje povícero a prakticky žádná z nich není žádnou velkou novinkou. V této práci jsou uvedeny ty, kterým je věnována největší pozornost. Je to technika **Ambisonics**, která byla zatím nejdříveji adaptována do praxe a je užívána k produkci imerzivních videí. To mi potvrdil i profesor aplikované akustiky na univerzitě v Parmě *Angelo Farina*, který pracuje s *Ambisonics* od roku 1996 a má za sebou velké množství výzkumů i praktických zkušeností v této oblasti.

prof. Angelo Farina: „*Ano, Ambisonics je nejdříveji adaptovanou technikou pro plně 3D prostorové mixy, ale není nejlepší.*“

Souhlasně se k tomu vyjádřil i *Thomas Aichinger*, hlava vídeňského zvukového studia *scopeaudio*, které se věnuje i 360° dílům.

Thomas Aichinger: „*Existují i další, objektivě orientované systémy jako Auro 3D, ale myslím si, že vzhledem k tomu, že servery Youtube a Facebook implementovaly Ambisonics, je to ta správná zbraň. Vzpomeňte si na VHS vs Betamax...*“

S výše uvedeným souhlasí i *Kevin Bolen*, sound designer pro imerzivní média ve *Skywalker Sound*.

Kevin Bolen: „*Ambisonics prvního řádu je nejčastěji implementovaný formát pro díla vyžadující částečnou interaktivitu, tedy tři stupně volnosti, jako je právě 360° video.*“

A podobného názoru je také *Matt Bobb*, hlava Los Angeleského studia *Spacewalk Sound*, které spolupracuje se studii Universal, Fox či Warner Brothers.

Matt Bobb: „*V současné době je Ambisonics preferovaným formátem pro 3D prostorový zvuk. Ale průmysl je pořád ještě roztržštěný kvůli soupeřícím platformám podporujícím různé*

standards a řády Ambisonics. Doufám, že do roka se ustálí jeden typ či formát, který bude dobře znít a fungovat na všech možných zařízeních.“

Masová adaptace této techniky je pravděpodobně způsobena tím, že měla díky své poměrně dlouhé historii možnost nejvíce dozrát a také nabízí **kompletní řešení**, tzn. od nasnímání až po reprodukci. Především z těchto důvodů se bude většina této práce soustředit na ni a její součásti. Zmíněny ale budou i další, objektově orientované metody, konkrétně **Vektorově založené panorámování amplitud (VBAP)** a **Syntéza vlnového pole (WFS)**, které nenabízí kompletní řešení, jelikož jsou aplikovatelné až v postprodukční fázi.

2.1.1 Ambisonics

Přestože jde o techniku s dlouhou historií, dostává se jí větší pozornosti až nyní.^{19, 20} Jejím cílem je zachytit a reprodukovat co nejvěrněji celé **3D zvukové pole** daného místa.^{21, 22} O to se svým způsobem snaží i dnes běžně používané prostorové systémy jako 5.1 apod., ale jejich podstata spočívá v daném počtu diskretních kanálů, který musí být dodržen při nahrávání i reprodukci. To striktně určuje zejména podobu reprodukčního systému a komplikuje kompatibilitu s ostatními systémy.²³ Tyto techniky také neumožňují prakticky žádné pokročilejší úpravy v postprodukci. Jistou výjimkou je mikrofonní systém *Double M/S*, který obsahuje 3 mikrofony a je možné z něj v postprodukci pomocí softwaru dekodovat několik formátů např. od LCR až po 5.0 (teoreticky i 7.0) a zároveň umožňuje měnit charakteristiku mikrofonů, konkrétnost nahrávky, či rotovat signál kolem středové osy.^{24, 25} Nicméně pořád zůstává omezenost v tom smyslu, že mixáž i následná reprodukce předpokládají určitý daný počet kanálů/reproduktorů fixovaných v dané pozici.

Ambisonics naproti tomu de facto žádné **omezení kanály** v tomto smyslu **nemá**, protože je navrženo jako kompletní systém schopný 3D audio zachytit, zpracovat a následně

¹⁹ ARTEAGA, Daniel, ref. 6, s. 4

²⁰ HE, Jianjun. Spatial audio reproduction using primary ambient extraction, s. 24 - 25

²¹ WIGGINS, Bruce. An investigation into the real-time manipulation and control of three-dimensional sound fields, s. 51

²² KAPRALOS, Bill, Michael R. M. JENKIN a Evangelos MILIOS. Auditory Perception and Spatial (3D) Auditory Systems, s. 49

²³ Musí být manuálně downmixovány nebo upmixovány.

²⁴ Double MS Tool BF. Dostupné z: http://www.schoeps.de/en/products/dms_plugin_bf.

²⁵ GREČNÁR, Ján. Zvuková relizácia filmu: umenia majstra zvuku, s. 100 - 101

reprodukovat na **jakémkoliv koncovém systému**²⁶. Kódovací a dekováací fáze jsou na sobě ale naprosto **nezávislé**.²⁷ To v praxi znamená, že ta samá nahraná informace zakódovaná do *B-Formatu* může být bez manuálních úprav dekováána a reprodukováána od klasického stera až například po *Dolby Atmos*, či skrz ještě dokonalejší reproduktorové pole.²⁸ Navíc je velice **flexibilní** co se týče rozmístění reproduktorů – samozřejmě existují určité doporučené a nejlépe pravidelné/symetrické konfigurace^{29, 30}, ale tato technika si dokáže poradit téměř s čímkoliv³¹ za předpokladu, že dekodér zná rozmístění reproduktorů.^{32, 33, 34} Z toho ovšem plyne i jedna značná nevýhoda – mistr zvuku **nemá plnou kontrolu** nad tím, jak divák jeho práci uslyší, protože ten si dnes může video pustit na obrovském množství různých zařízení.³⁵

Kevin Bolen: „*Důležité je zkontrolovat mix na běžném poslechovém hardwaru, jako integrovaná sluchátka v headsetu Oculus Rift, nebo HTC Vive, Apple sluchátkách, nebo přímo z reproduktorů na telefonu, či počítači.*“

Matt Bobb: „*Největší výzvou v současné době je udělat takový mix, který bude dobře znít na všech různých platformách, jejichž počet neustále roste.*“

Zároveň výrazná odlišnost od běžných prostorových systémů spočívá v tom, že *Ambisonics* umí zachytit i informaci o **výšce**, ve které se daný zvukový zdroj nachází.^{36, 37} Ovšem nutno podotknout, že kromě nahrávání 3D informace mikrofonom nabízí také způsob **umělého vytvoření**, či dotvoření signálu pomocí separátně nahraných zvuků.^{38, 39} Tento způsob, jak se zdá, upřednostňuje většina profesionálů.

²⁶ POWER, Paul James, ref. 11, s. 46

²⁷ WIGGINS, Bruce. Has Ambisonics come of age?, s. 1

²⁸ SOUSA, Fabio Wanderley Janhan, ref. 1, s. 22 - 23

²⁹ SOUSA, Fabio Wanderley Janhan, ref. 1, s. 21 - 22

³⁰ HOLLERWEGER, Florian. An Introduction to Higher Order Ambisonic, s. 2 - 4

³¹ Nejen 3D, ale i 2D, tzn. jsou-li reproduktory jen v horizontálním plánu.

³² WIGGINS, Bruce, ref. 21, s. 55 - 60

³³ KAPRALOS, Bill, Michael R. M. JENKIN a Evangelos MILIOS, ref. 22, s. 51

³⁴ HOLLERWEGER, Florian, ref. 30, s. 2

³⁵ ARTEAGA, Daniel, ref. 6, s. 24

³⁶ WIGGINS, Bruce, ref. 21, s. 51

³⁷ KAPRALOS, Bill, Michael R. M. JENKIN a Evangelos MILIOS, ref. 22, s. 51

³⁸ POWER, Paul James, ref. 11, s. 49 - 51

³⁹ VINKEL, Simone Patricia. Exploration of First-Order Ambisonics Usage in VR Concert Experiences: The effect on Presence and Perceptual Quality of Spatial Sound, s. 16

Thomas Aichinger: „Myslím, že dobrého výsledku dosáhnete jenom tehdy, když se k 360° videím chováte víc jako hollywoodská produkce – všechny ruchy uděláte postsynchronně. [...] Preferuji znovuvystavení 3D zvukové scény v postprodukcí kvůli flexibilitě.“

Kevin Bolen: „Jako u všeho kontaktního záznamu, i zde manipulujeme nahrávky, abychom odstranili nechtěný hluk a soustředili se na unikátní a důležitý obsah, který podporuje narativní záměr scény. Jak se zlepšuje technologie a placovní mistři zvuku jsou více a více vynalézaví, je možné, že časem budeme moci použít daleko větší procento kontaktního zvuku, ale i dobrý kontaktní záznam pořád nestačí na prokázanou efektivnost sound designu a postsynchronních ruchů.“

Matt Bobb: „Pokud je to možné, používám nahrávky z placu jako odrazný bod. Vnímám je jako určitý snímek lokace. Ale pořád jsem v oboru zabývajícím se vyprávěním příběhů a moje práce není přesné okopírování zvuku dané lokace. Použiji cokoliv, co mám k dispozici k obohacení původní nahrávky.“

A podobně se vyjadřuje i nizozemská zvukařka *Anne Jimkes*, která studovala a pracovala i v USA např. ve společnosti *EccoVR*.

Anne Jimkes: „Stejně jako u klasického natáčení, je dobré mít *Ambisonics* nahrávku z placu jako základnu, která se dá doplnit detailnějšími elementy. Ale například při natáčení na zeleném pozadí je samozřejmě třeba zvukové pole vybudovat od začátku.“

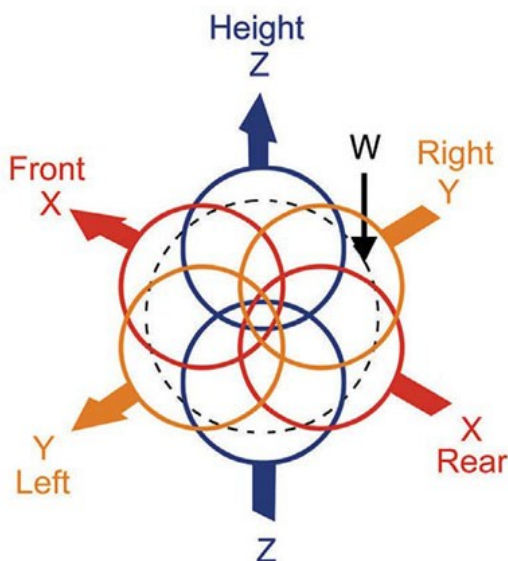
Princip *Ambisonics* spočívá v tom, že jednotlivé kanály *B-Formatu* **neobsahují diskrétní signály** pro jednotlivé reproduktory (levý, centrální, pravý,...), nýbrž informace o **akustickém tlaku** (celkové úrovni zvuku) a **zvukových obrazech pro jednotlivé osy 3D prostoru** (směru, odkud přesně zvuky přichází).^{40, 41} Jde tedy o celkový **zvukový obraz** prostoru, ať už nahraný nebo uměle vytvořený, který si lze představit jako pomyslnou kouli. Tyto zvukové informace jsou následně rozloženy a zakódovány pomocí tzv. sférických harmonických funkcí do **souřadnicového systému** na oné pomyslné kouli⁴² a při reprodukci opět dekódováním z tohoto souřadnicového systému složeny do reprezentace kompletního

⁴⁰ KAPRALOS, Bill, Michael R. M. JENKIN a Evangelos MILIOS, ref. 22, s. 50

⁴¹ SOUSA, Fabio Wanderley Janhan, ref. 1, s. 27

⁴² MELCHIOR, Frank, Andreas GRÁFE a Andreas PARTZSCH. Spatial audio authoring for Ambisonics reproduction, s. 1 - 2

zvukového pole (každý reproduktor obdrží signál s určitým poměrem všech kanálů).^{43, 44, 45, 46, 47, 48}



Obrázek 1 - Tři osy snímání Ambisonics (XYZ) se středovým komponentem akustického tlaku (W)

Pokud technika *M/S* umožňuje určitou míru **manipulace** signálu v postprodukční fázi, tak *Ambisonics* jako určitá forma nastavby *M/S*⁴⁹ posouvá hranici ještě dál. Umožňuje totiž provádět rotaci zvukového pole kolem několika os, či se v omezené míře virtuálně pohybovat ve zvukovém poli.^{50, 51, 52} Ale co víc, rotace kolem os může díky monitoringu pohybu hlavy provádět i samotný divák při sledování, jak se tomu děje třeba u 360° videí.

Vzhledem k tomu, že jde o interaktivní techniku, probíhá **dekódování** logicky vždy přímo **při reprodukci**. Nicméně podle teorie **duplexu** člověk lokalizuje jiným způsobem

⁴³ ARTEAGA, Daniel, ref. 6, s. 13 - 16

⁴⁴ VINKEL, Simone Patricia, ref. 39, s. 16

⁴⁵ HE, Jianjun, ref. 20, s. 28

⁴⁶ SOUSA, Fabio Wanderley Janhan, ref. 1, s. 26 - 32

⁴⁷ YUE, Cedric a Teun de PLANQUE. 3-D Ambisonics Experience for Virtual Reality, s. 3 - 5

⁴⁸ CENGARLE, Giulio. 3D audio technologies: applications to sound capture, post-production and listener perception, s. 15

⁴⁹ WIGGINS, Bruce, ref. 21, s. 50

⁵⁰ WIGGINS, Bruce, ref. 21, s. 64

⁵¹ SOUSA, Fabio Wanderley Janhan, ref. 1, s. 20, 23

⁵² ORTOLANI, Francesca. Introduction to Ambisonics: A tutorial for begginers in 3D audio, s. 15

frekvence hluboké a jiným ty vysoké.^{53, 54, 55, 56} Na základě toho tedy vznikly tři typy dekodování - *Basic*, *Max-rE* a *In Phase*. Ty se různí ve správnosti interpretace hlubokých a vyšších frekvenčních pásem a zároveň ve velikosti **sweet-spotu**⁵⁷. Se stoupající frekvencí se totiž *sweet-spot* radikálně **zmenšuje**, a tak je potřeba na těchto kmitočtech zvýšit energii.⁵⁸ Zároveň je velikost *sweet-spotu* určena i tím, že je každý zvuk emitován ve fázi a z druhé strany v protifázi, čili pro jeho zvětšení musí dojít k omezení protifáze.⁵⁹ Zřejmě nejlepším řešením je zatím **kombinace** typu *Basic* a jednoho ze dvou zbylých, kdy *Basic* interpretuje např. u 1. řádu *Ambisonics* pásmo zhruba do 400 – 700 Hz a druhý typ dekodéru obstará zbytek nad touto hranicí.^{60, 61} Nicméně nadále probíhají výzkumy a experimenty, které se snaží přijít s dalšími typy dekodérů.

Ambisonics je vzhledem ke svým možnostem překvapivě **nenáročný** systém v tom smyslu, že zvukový obraz 3D prostoru je schopen obsáhnout do poměrně malého množství kanálů (např. 4, v případě prvního řádu). Minimální počet zvukových emitorů při reprodukci musí být alespoň stejný jako počet kanálů (ideálně ale vyšší), z čehož plyne, že de facto není náročný ani v této fázi.^{62, 63, 64} S rostoucím řádem samozřejmě nároky stoupají.

Profesor Farina ještě upozorňuje na **novou techniku SPS** (*Spatial PCM Sampling*), kterou vynalezl se svým kolegou a která taktéž nabízí kompletní řešení, podobně jako *Ambisonics*.

prof. Angelo Farina: „*Technika SPS je daleko lepší a stabilnější než Ambisonics, ale zatím není šířeji podporována.*“

⁵³ Pozice hlubokých frekvencí je rozeznávána díky časovým rozdílům dopadu signálu na uši, kdežto pozice zdroje vysokých frekvencí člověk vyhodnotí podle rozdílu v intenzitě signálu, jelikož hlava vytváří akustický stín mezi sluchovými orgány.

⁵⁴ HARTMANN, William M., Brad RAKERD, Zane D. CRAWFORD a Peter Xinya ZHANG. *Transaural experiments and a revised duplex theory for the localization of low-frequency tones*, s. 1 - 2

⁵⁵ POWER, Paul James, ref. 11, s. 61 - 62

⁵⁶ KAPRALOS, Bill, Michael R. M. JENKIN a Evangelos MILIOS, ref. 22, s. 12 – 13

⁵⁷ Místo s optimálním poslechem.

⁵⁸ WIGGINS, Bruce, ref. 27, s. 3

⁵⁹ HOLLERWEGER, Florian, ref. 30, s. 8 - 10

⁶⁰ POWER, Paul James, ref. 11, s. 55 - 56

⁶¹ ARTEAGA, Daniel, ref. 6, s. 13 - 18

⁶² ARTEAGA, Daniel, ref. 6, s. 22, 24

⁶³ HOLLERWEGER, Florian, ref. 30, s. 2

⁶⁴ YUE, Cedric a Teun de PLANQUE, ref. 47, s. 4 - 5

2.1.1.1 Ambisonics prvního řádu

Jde o základní a zatím nejprozkoumanější variantu této techniky. Základním kamenem jsou **4 kanály B-Formatu** obsahující informace o akustickém tlaku a zvukových obrazech jednotlivých 3D os, jak už bylo uvedeno výše. Nejprve ovšem speciální mikrofon nahraje nezpracované stopy, neboli *A-Format*, pomocí čtyř kapslí se širší ledvinovou charakteristikou. Ty jsou umístěny co nejbližší sebe do tvaru čtyřstěnu.



Obrázek 2 - *SoundField* mikrofon s kapslemi ve tvaru čtyřstěnu

A-Format je následně překódován do *B-Formatu*. Při tomto kódování pomocí rovnic vzniknou z nahraných stop 4 kanály, jež obsahují signály ze čtyř **virtuálních mikrofonů**:^{65, 66}

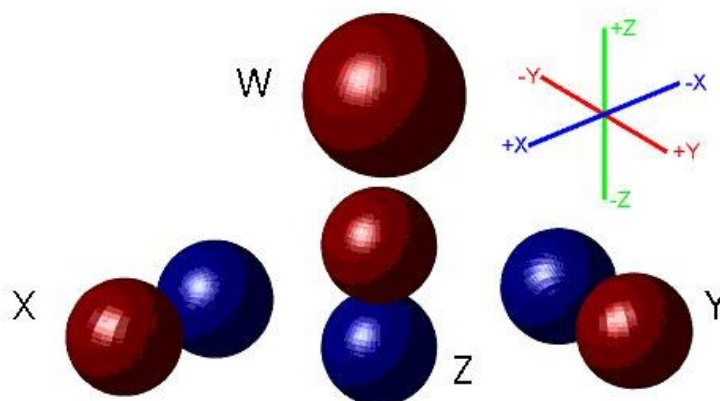
- a) **W** – virtuální mikrofon se všesměrovou charakteristikou, obsahuje informaci o akustickém tlaku
- b) **X** – virtuální mikrofon s osmičkovou charakteristikou, obsahuje informaci o předozadní ose (hloubce)
- c) **Y** – virtuální mikrofon s osmičkovou charakteristikou, obsahuje informaci o levo-pravé ose (šířce)
- d) **Z** – virtuální mikrofon s osmičkovou charakteristikou, obsahuje informaci o spodně-horní ose (výšce)^{67, 68}

⁶⁵ ARTEAGA, Daniel, ref. 6, s. 6 - 10

⁶⁶ POWER, Paul James, ref. 11, s. 47 - 48

⁶⁷ ARTEAGA, Daniel, ref. 6, s. 7

⁶⁸ GREČNÁR, Ján, ref. 25, s. 98



Obrázek 3 - Obrazová reprezentace prvních 4 kanálů Ambisonics

Díky tomu dojde k výše zmiňovanému vytvoření souřadnicové sítě v pomyslné kouli, ze které je následně pomocí dalších rovnic (resp. vhodnou kombinací kanálů) při dekódovacím procesu obraz zvukového pole rekonstruován pro libovolný poslechový systém. Podle výše zmíněného pravidla, že počet reproduktorů by měl být vždy minimálně stejný jako počet kanálů, nebo vyšší, vychází, že poslechový systém pro *Ambisonics* prvního stupně by měl být složen minimálně ze **čtyř reproduktorů**.

Nicméně začaly se objevovat názory, že tato základní varianta neposkytuje dostatečnou **lokalizaci zvuků**, protože při dekódování vznikne kombinací všesměrového mikrofону a osmičkových mikrofónů pro každý reproduktor virtuální mikrofón s **ledvinovou charakteristikou**, který je pro přesnou lokalizaci příliš **široký**.^{69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76}

Kevin Bolen: „*Běžně používané mikrofony prvního řádu prostě postrádají prostorovou „jasnost“, kterou bychom byli schopni vytvořit v postprodukci pomocí Ambisonics vyššího řádu.*“

⁶⁹ POWER, Paul James, ref. 11 , s. 51 - 52

⁷⁰ ORTOLANI, Francesca, ref. 52, s. 10, 19

⁷¹ WIGGINS, Bruce, ref. 27, s. 5, 9

⁷² CENGARLE, Giulio, ref. 48, s. 12 - 15

⁷³ CABRERA, Denis. Reproduction of Room Sound-fields for Subjective Assesment, s. 4 - 5

⁷⁴ SCAINI, Davide a Daniel ARTEAGA. Decoding of higher order Ambisonics to irregular periphonic loudspeaker arrays, s. 1

⁷⁵ BERTET, Stéphanie, Jérôme DANIEL, Etienne PARIZET, Laëtitia GROS a Olivier WARUSFEL. Investigation of the perceived spatial resolution of higher order Ambisonics sound fields: A subjective evaluation involving virtual and real 3D microphones, s. 3

⁷⁶ MOREAU, Sébastien, Jérôme DANIEL a Stéphanie BERTET. 3D Sound Field Recording with Higher Order Ambisonics - Objective Measurements and Validation of a 4th Order Spherical Microphone, s. 1 - 5

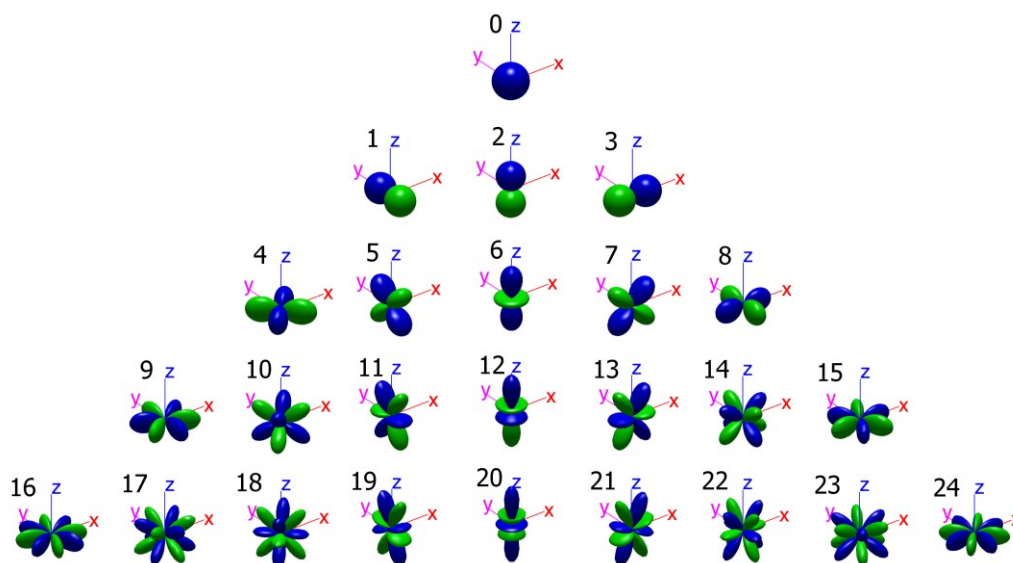
prof. Angelo Farina: „Používáme mikrofony prvního, i vyšších řádů, ale vyšší řády jsou samozřejmě lepší.“

První řád *Ambisonics* také nejvíce trpí již nastíněným nedostatkem zmenšujícího se *sweet-spotu* v závislosti na stoupající frekvenci.⁷⁷ Na hlubokých frekvencích zase dochází k nežádoucímu **nárůstu**, patrnému hlavně u zvuků, které by měly znít ve větší vzdálenosti, než jsou reproduktory od *sweet-spotu*, tudíž je pomocí různých filtrů při reprodukci aplikována tzv. *near field kompenzace*.⁷⁸

2.1.1.2 *Ambisonics* vyšších řádů

V souvislosti s výše zmíněnými negativy začal v 90. letech minulého století vznikat koncept vyšších řádů *Ambisonics*.⁷⁹ Princip zůstává stejný jako u prvního řádu, ale k původním čtyřem kanálům se **přidávají další**, poskytující signál z jiných os. Počet kanálů pro daný stupeň *Ambisonics* se počítá následovně (N označuje počet potřebných stop a M zastupuje řád *Ambisonics*):⁸⁰

$$N = (M + 1)^2$$



Obrázek 4 - Obrazová reprezentace *Ambisonics* až do čtvrtého řádu

⁷⁷ BERTET, Stéphanie, Jérôme DANIEL, Etienne PARIZET, Laëtitia GROS a Olivier WARUSFEL, ref. 75, s. 2

⁷⁸ POWER, Paul James, ref. 11, s. 56

⁷⁹ HOLLERWEGER, Florian, ref. 30, s. 5

⁸⁰ POWER, Paul James, ref. 11, s. 57

To znamená, že např. druhý řád *Ambisonics* obsahuje 9 kanálů, třetí řád 16 kanálů, atd. Pokud je zvukové pole **nahráváno**, určuje maximální řád **počet kapslí** mikrofonu. Limitem je zatím čtvrtý řád, který v testech přinesl relativně uspokojivé výsledky.^{81, 82} V případě, že je zvukové pole tvořeno **uměle** pomocí separátních zvuků, tak je řád určen při **exportu** z *DAW*, resp. kódování do *B-Formatu*, podle toho, kolik kanálů je vybráno.⁸³ V audiovizuální praxi se však dnes masověji využívá *Ambisonics* prvního, maximálně druhého řádu.

Kevin Bolen: „*V Ambisonics mícháme několik let, ale pracovali jsme jen s prvním řádem, kvůli požadavkům platform a limitacím plug-inů dostupných pro Pro Tools. V poslední době různé platformy začaly podporovat vyšší řád Ambisonics (druhý), takže jsme nedávno začali míchat v něm.*“

V současnosti existují minimálně dva komerčně vyráběné mikrofony, které jsou schopny zachytit signál vyššího řádu. Problém ovšem nastává ve **velikosti** takového mikrofonu. Pokud je mikrofon malý a má kapsle blízko u sebe, tak dokáže správně zachytit vyšší část frekvenčního spektra, ale dochází k nežádoucímu nárůstu nízkých kmitočtů. Pokud je naopak příliš velký, tak zachytí správně spodní frekvence, ale na vysokých dochází k prostorovému **aliasingu** (zkreslení).^{84, 85} Současná podoba je tedy jakýmsi **kompromisem**, který se snaží zachovat co nejpřirozenější informaci na obou koncích frekvenčního spektra.

Anne Jimkes: „*Prostorová kvalita nahrávky nezáleží jen na tom, kolik kapslí ji zachytilo. Záleží také na polární charakteristice kapslí a v jakém bodě začíná fázování kvůli těmto překrývajícím se charakteristikám. [...] Podle mých informací se společnost soustředí spíše na zlepšení kvality svých mikrofonů prvního řádu než vývoj vyšších řádů. Navíc tyto mikrofony jsou často užívány k zachycení atmosféry, což znamená, že spousta věcí může být a bude doplněna v postprodukci.*“

U dekódování a reprodukce mají vyšší stupně *Ambisonics* lepší výsledky z hlediska přesnější **lokalizace** směru daného zvuku, protože virtuální mikrofony vzniklé pro každý reproduktor

⁸¹ BERTET, Stéphanie, Jérôme DANIEL, Etienne PARIZET, Laëtitia GROS a Olivier WARUSFEL, ref. 75, s. 8

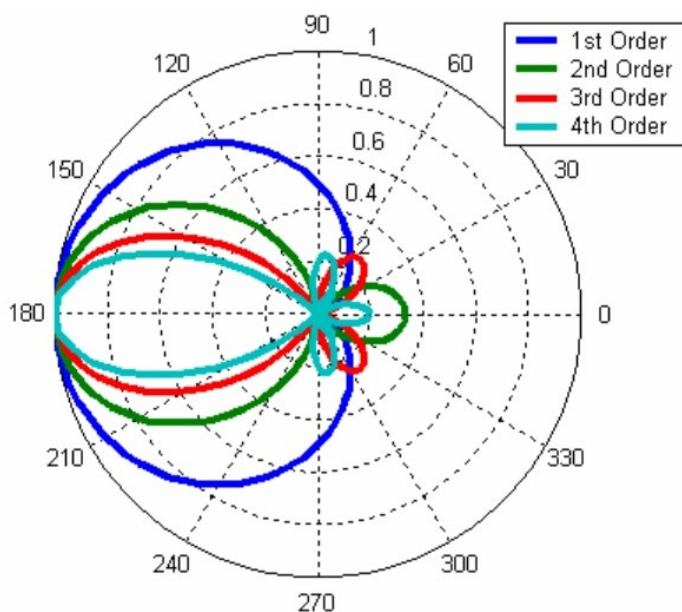
⁸² MOREAU, Sébastien, Jérôme DANIEL a Stéphanie BERTET, ref. 76.

⁸³ Může být omezeno možnostmi *DAW*, popř. *Ambisonics* plug-inu, či enkodéru. Např. *Pro Tools* jsou v současnosti (v 12.8.2) omezeny na 3. řád.

⁸⁴ MOREAU, Sébastien a Jérôme DANIEL. Study of Higher Order Ambisonic Microphone, s. 3

⁸⁵ MOREAU, Sébastien, Jérôme DANIEL a Stéphanie BERTET, ref. 76, s. 10 - 15

mají díky více kanálům užší charakteristiku, jinými slovy - zvuk přicházející z určitého směru se rozlévá mezi menší počet reproduktorů, tím pádem je lépe lokalizovatelný.^{86, 87} Dále pak dochází k **rozšíření** *sweet-spotu*, přičemž konkrétní podoba těchto změn záleží na řádu *Ambisonics*.^{88, 89, 90}



Obrázek 5 – Mění se charakteristika virtuálních mikrofonů pro každý reproduktor s narůstajícím řádem *Ambisonics*

Nicméně některé oblasti jsou zatím předmětem výzkumu, např. **dekodér** si zatím dokáže správně poradit jen s **pravidelnými** reproduktorovými poli a paradoxně došlo také k omezení pokročilých postprodukčních úprav (rotace, pohyb v prostoru,...).^{91, 92} A podobně jako u prvního řádu, i zde musí být aplikována *near-field kompenzace*, tzn. že se hluboké frekvence zdrojů „za“ reproduktivním polem redukuje a těch „před“ naopak navyšují.^{93, 94}

⁸⁶ ARTEAGA, Daniel, ref. 6, s. 19 - 23

⁸⁷ POWER, Paul James, ref. 11, s. 51 - 52

⁸⁸ HOLLERWEGER, Florian, ref. 30, s. 5

⁸⁹ DANIEL, Jérôme a Sébastien MOREAU. Further Study of Sound Field Coding with Higher Order Ambisonics, s. 1 - 2

⁹⁰ BERTET, Stéphanie, Jérôme DANIEL, Etienne PARIZET, Laëtitia GROS a Olivier WARUSFEL, ref. 75, s. 3 - 4

⁹¹ ARTEAGA, Daniel, ref. 6, s. 22

⁹² HOLLERWEGER, Florian, ref. 30, s. 13

⁹³ HOLLERWEGER, Florian, ref. 30, s. 10 - 11

⁹⁴ DANIEL, Jérôme, Rozenn NICOL a Moreau SÉBASTIEN, ref. 8, s. 8 - 9

Ale vyšší řády *Ambisonics* jsou zpětně **kompatibilní** s reproduktorovými poli určenými pro nižší řády, jelikož vždy obsahují kanály dostačující např. pro první řád a zbytek kanálů dekodér ignoruje.⁹⁵

2.1.2 Objektově orientované audio techniky

Pro správné pochopení těchto technik a způsobu přemýšlení je zapotřebí nejprve stručně popsat tradiční **kanálově orientovaný postup**, který stojí de facto v **opozici**. K tomu už částečně došlo v předchozí podkapitole věnující se metodě *Ambisonics*, ale zde dojde k rozšíření. Dlužno dodat, že **Ambisonics** stojí někde na **pomezí** obou přístupů, protože každý řád má daný a fixovaný počet kanálů, ale se zvukovým polem se pracuje jako s jedním velkým objektem.

S ohledem na **kanály** se v audiovizi přemýšlí od zavedení zvuku do filmu až dodnes, ale samozřejmě postupně docházelo k rozšiřování jejich počtu.⁹⁶ Filozofie tohoto přístupu je taková, že nejlépe ještě před natáčením je potřeba vědět, v jakém počtu kanálů bude finální mix a podle toho se přizpůsobuje celý řetězec. Na place je ovlivněn zejména formát nahrávání atmosfér, později mix hudby, výběr adekvátně vybaveného studia či míchací haly apod. Výstupem je jasně daný **počet** stop (kanálů), přičemž každá je při reprodukci odeslána do daného reproduktoru na přesně určené pozici. Z toho plynou dvě výhody - mistr zvuku přesně slyší finální podobu mixu díky **standardizovanému** umístění a počtu emitorů a reprodukce není de facto vůbec **náročná** na úložiště ani výpočetní výkon, protože jde jenom o přehrání relativně malého počtu stop v synchronnosti s obrazem.⁹⁷ Nevýhodou je, že pro zaručeně správnou interpretaci na jiných konfiguracích musí mistr zvuku **manuálně** provést nový mix a nakonec tak míchá například 3 verze (7.1, 5.1, stereo). Dále pak kanálově orientovaný mix neumožňuje téměř žádnou **interaktivitu** ze strany diváka, má poměrně úzký *sweet-spot* a slabou schopnost přesné **lokalizace** zvuků.^{98, 99, 100} Nicméně vznikly

⁹⁵ HOLLERWEGER, Florian, ref. 30, s. 12

⁹⁶ ABBOTT, Nathan Lyle William. Scene Spatialisation in Object-Based Audio: An Analysis of Interchange Formats for Advanced Electroacoustic Rendering Methods, s. 12 - 13

⁹⁷ HE, Jianjun, ref. 20, s. 26

⁹⁸ ABBOTT, Nathan Lyle William, ref. 96, s. 13 - 15

⁹⁹ ORTOLANI, Francesca, ref. 52, s. 3

¹⁰⁰ KAPRALOS, Bill, Michael R. M. JENKIN a Evangelos MILIOS, ref. 22, s. 51 - 52

i některé kanálově orientované systémy, které se pokouší o vytvoření 3D zvukového pole, např. *Hamasaki (NHK) 22.2.*¹⁰¹

Objektově orientované myšlení se začalo (masověji) objevovat v posledních letech jako nový vývojový krok. Tento přístup ztrácí závislost na přesně dané konfiguraci reproduktorů a je schopen se **adaptovat** téměř **kdekoliv**. Je to umožněno tím, že místo kanálů pracuje s jednotlivými **zvuky** (objekty), které má mistr zvuku možnost umístit kamkoliv do 3D prostoru. Proto je zpravidla lepší využít velký počet reproduktorů, protože divák potom má daleko lepší zážitek. Finální mix je dodán v podobě souboru, kde jsou zabaleny jednotlivé objekty, a dalšího souboru s metadaty.^{102, 103, 104, 105, 106, 107} Výhodou je tedy **nezávislost** na podobě reprodukcího řetězce a poměrně velké možnosti **interaktivity**. Toho právě chce využít i evropský výzkumný projekt *Orpheus* kupříkladu v rámci vysílání sportovních přenosů apod., kde by televize měly umožňovat divákovi, aby si sám zvolil, co vše chce slyšet a v jakém poměru vůči sobě, jinak řečeno – aby si díky práci s objekty mohl sám smíchat jemu vyhovující zvukovou stopu, což už bylo ostatně otestováno.^{108, 109} BBC také přišla s návrhem, že díky objektově orientované zvukové stopě je možné vysílaný program přizpůsobit na základě geografické polohy či podobně a také to vyzkoušela.¹¹⁰ Samozřejmě zde platí i možnost adaptace na základě sledování pohybů hlavy diváka. Dále, je-li pro přehrávání využít větší počet reproduktorů, má tento přístup i lepší výsledky v plynulosti pohybu zvuků a vůbec celkově v prostorové **iluzi** (dokáže vyvolat dojem přítomnosti objektu

¹⁰¹ HAMASAKI, Kimio, Setsu KOMIYAMA, Koichiro HIYAMA a Hiroyuki OKUBO. 5.1 and 22.2 Multichannel Sound Productions Using an Integrated Surround Sound Panning System.

¹⁰² Informace o poloze, pohybu či rozptylu zvuku, čase, kdy má být přehrán, atd.

¹⁰³ HERRE, Jürgen, Johannes HILPERT, Achim KUNTZ a Jan PLOGSTIES. MPEG-H 3D Audio - The New Standard for Coding of Immersive Spatial Audio, s. 1 - 9

¹⁰⁴ HERRE, Jürgen, Johannes HILPERT, Achim KUNTZ a Jan PLOGSTIES. MPEG-H Audio - The New Standard for Universal Spatial / 3D Audio Coding, s. 1 - 9

¹⁰⁵ OLDFIELD, Robert, Ben SHIRLEY a Jens SPILLE. Object-based audio for interactive football broadcast., s. 3 - 6

¹⁰⁶ ABBOTT, Nathan Lyle William, ref. 96, s. 15 - 18

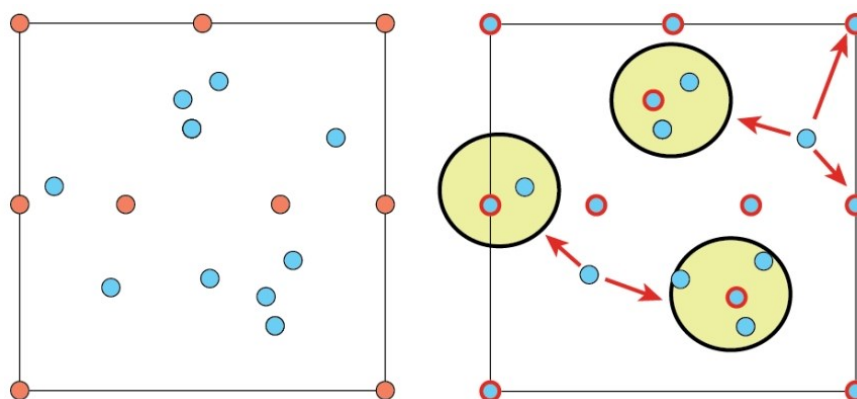
¹⁰⁷ Dolby Atmos Next-Generation Audio for Cinema [online]. Dostupné z: <http://www.dolby.com/uploadedFiles/Assets/US/Doc/Professional/Dolby-Atmos-Next-Generation-Audio-for-Cinema.pdf>, s. 4 - 11

¹⁰⁸ ORPHEUS - Object - Based Audio Experience [online]. Dostupné z: <https://orpheus-audio.eu/>.

¹⁰⁹ Object-Based Media Transforms Audio Content Creation. Dostupné z: <http://www.radioworld.com/global/0007/objectbased-media-transforms-audio-content-creation/340736>.

¹¹⁰ OLDFIELD, Robert, Ben SHIRLEY a Jens SPILLE. An object-based audio system for interactive broadcasting, s. 2

v prostoru) a přesnosti lokalizace.^{111, 112} Nevýhodou objektově orientované mixáže je, že mistr zvuku nemůže s jistotou vědět, na čem si divák mix pustí, takže teoreticky **ztrácí plnou kontrolu** nad svou prací. Dalším mínusem je zatím velká **náročnost** na výpočetní výkon a úložiště, jelikož dekodér musí podle metadat pracovat s velkým počtem objektů v reálném čase, aby je správně dekodoval podle dané konfigurace reproduktorů. Tento problém je částečně řešen tím, že některé objekty mohou být **seskupovány** do jednoho většího objektu.¹¹³ Zatím nebyl překonán ani nedostatek týkající se nepříliš velkého *sweet-spotu*.¹¹⁴



Obrázek 6 - Seskupení objektů do větších skupin

V praxi ovšem nelze vystačit jen s objekty, protože minimálně vystavět objekt po objektu atmosféry by bylo velice náročné po všech stránkách, stejně tak je praxí dostat hudbu předmíchanou v určitém formátu. Proto jsou do objektově orientovaných platforem **adaptovány**, hlavně v případě komerčních systémů, i ty kanálově orientované (7.1, 9.1,..) nebo dochází ke **spojení** s *Ambisonics* (prakticky zatím spíše jen ve hrách), což už je kombinace použitelná pro plnou virtuální realitu a možná i cesta, kam by se mohla dál posunout oblast audiovize.^{115, 116, 117}

¹¹¹ ABBOTT, Nathan Lyle William, ref. 96, s. 15 - 18

¹¹² Dolby Atmos Next-Generation Audio for Cinema [online]. Dostupné z: <http://www.dolby.com/uploadedFiles/Assets/US/Doc/Professional/Dolby-Atmos-Next-Generation-Audio-for-Cinema.pdf>, s. 5 - 6

¹¹³ HE, Jianjun, ref. 20, s. 27

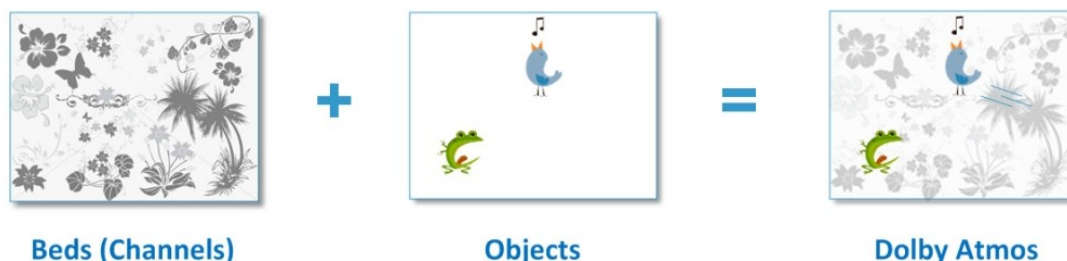
¹¹⁴ JACKSON, Philip, et al. Object-Based Audio Rendering, s. 1

¹¹⁵ OLDFIELD, Robert, Ben SHIRLEY a Jens SPILLE, ref. 105, s. 4 - 6

¹¹⁶ OLDFIELD, Robert, Ben SHIRLEY a Jens SPILLE, ref. 110, s. 6 - 7

¹¹⁷ Dolby Atmos Next-Generation Audio for Cinema [online]. Dostupné z: <http://www.dolby.com/uploadedFiles/Assets/US/Doc/Professional/Dolby-Atmos-Next-Generation-Audio-for-Cinema.pdf>, s. 6 - 7

Kevin Bolen: „Pro plnou svobodu (6 stupňů volnosti) pohybu ve zvukovém poli je nezbytné zkombinovat Ambisonics s objekty renderovanými při přehrávání, aby správně fungovala jak rotace podle divákových pohybů, tak jeho relativní vzdálenost od virtuálních zdrojů.“



Obrázek 7 - Ilustrace adaptování kanálově orientovaných formátů do objektově orientované platformy *Dolby Atmos*

Mezi komerčně adaptované a standardizované systémy částečně pracující na objektově orientované bázi patří *Dolby Atmos*, *Auro 3D* či *DTS:X*, které jsou k nalezení především v kinech, i když existují i omezené domácí verze. Pro využití ve vysílání, na internetu apod. se pak chystá nový standard *MPEG-H*, který by měl přinést podporu objektově orientovaným mixům a *Ambisonics* vyšších řádů, přičemž by ale měl být zpětně kompatibilní i s kanálově orientovaným postupem. Zároveň by měl přinést vysokou kvalitu zvuku za současného snížení datového toku (tedy nároku na výpočetní výkon a internetové připojení).^{118, 119} Dále se tato práce bude věnovat dvěma objektově orientovaným technikám, které jsou v literatuře nejčastěji zmiňovány v souvislosti s 3D prostorovým zvukem a potenciálem do budoucna.

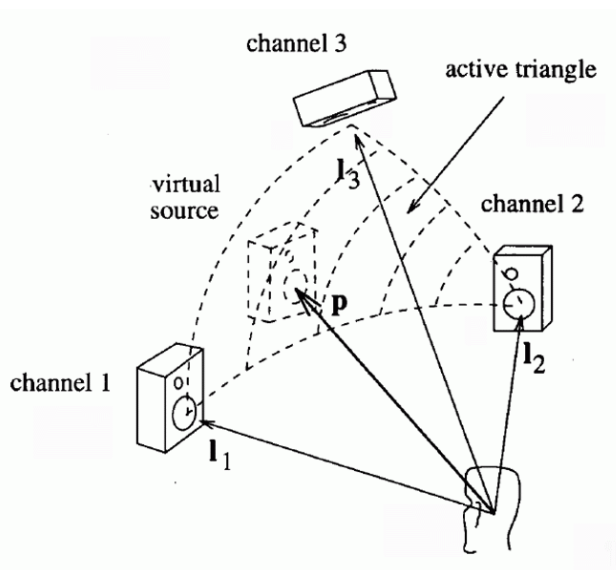
2.1.2.1 Vektorově založené panorámování amplitud (*VBAP*)

Techniku *vektorově založeného panorámování amplitud* (dále *VBAP* – *Vector-Based Amplitude Panning*) představil finský výzkumník Ville Pulkki. *VBAP* stojí na základech klasického **panorámování** zvuku, tzn. na pozicování zvuku pomocí rozdílu **hlasitosti** mezi

¹¹⁸ HERRE, Jürgen, Johannes HILPERT, Achim KUNTZ a Jan PLOGSTIES, ref. 104, s. 1 – 2, 10 - 11

¹¹⁹ BEACK, Seungkwon, Jongmo SUNG, Jeongil SEO a Taejin LEE. MPEG Surround Extension Technique for MPEG-H 3D Audio, s. 1 – 2, 6

dvěma nebo více reproduktory^{120, 121} a také teorii **duplexu**.¹²² To znamená, že jednotlivým zvukům je určena pomocí speciálního panneru poloha v 3D prostoru a jsou emitovány vybranými **třemi** reproduktory, které dohromady vytvoří virtuální zdroj snažící se co nejpřesněji simulovat místo, odkud zvuk vychází. Každý z reproduktorů zvuk reprodukuje s jinou amplitudou (hlasitostí), která je vypočítána na základě **vektorů** směřujících od diváka k reproduktorům a k pozici virtuálního zdroje.^{123, 124}



Obrázek 8 – VBAP vektory

Pokud je ovšem poloha zvuku shodná s polohou některého z reproduktorů, je aktivní jenom on. Podobně pokud má zvuk vycházet z místa přesně mezi dvěma reproduktory, emitují ho jen tyto dva. To má vést k maximální **ostrosti** a kvalitě zvuku.¹²⁵ Pro správné dekodování je ale třeba nejprve dekodéru zadat pozice reproduktorů.¹²⁶ Rozdělení reproduktorového pole

¹²⁰ CENGARLE, Giulio, ref. 48, s. 19 - 22

¹²¹ PULKKI, Ville a Tapio LOKKI. Creating Auditory Displays with Multiple Loudspeakers Using VBAP: A Case Study with DIVA Project, s. 1 - 3

¹²² PULKKI, Ville. Spatial sound generation and perception by amplitude panning techniques, s. 26 - 27

¹²³ Resp. vektor pozice virtuálního zdroje je dán součtem vektorů směřujících k reproduktorům.

¹²⁴ PULKKI, Ville, ref. 122, s. 16 - 19

¹²⁵ PULKKI, Ville. Virtual Sound Source Positioning Using Vector Base Amplitude Panning, s. 5 - 6

¹²⁶ WIGGINS, Bruce, ref. 21, s. 75

do **trojúhelníků** poté už proběhne automaticky a samotné panorámování zvuků probíhá v reálném čase při přehrávání.^{127, 128}

Ve srovnání s *Ambisonics* tato metoda **nenabízí kompletní řešení**, protože vynechává možnost 3D zvukové pole nahrát a umožňuje jenom jeho umělé vytváření pomocí separátně nahraných zvuků. To ostatně nabízí i *Ambisonics*, ale rozdíl je v tom, že signál zakóduje do *B-Formatu* a vždy ho emituje z velkého počtu reproduktorů, což podle Pulkkiho způsobuje nechtěná zkreslení (např. lokalizační, fázová,..) mimo *sweet-spot*. Naproti tomu *VBAP* pracuje s jednotlivými objekty a používá naráz maximálně 3 reproduktory, díky čemuž tento problém není přítomen.¹²⁹ Pulkki vidí výhodu *VBAP* v tom, že každá trojice reproduktorů je de facto samostatným souřadnicovým systémem, kdežto *Ambisonics* má jeden velký souřadnicový systém pro všechny reproduktory a i vyšší řády pořád emitují signál z více reproduktorů než *VBAP*. Tím pádem *Ambisonics* nedokáže natolik přesně umístit virtuální zdroj. Zároveň ale uvádí, že daní za to je **větší množství kanálů** než například 4, které potřebuje první řád *Ambisonics*.¹³⁰ Dále pak je *VBAP* sice schopné se adaptovat na různá reproduktorová pole stejně jako *Ambisonics*, ale podmínkou jsou nepřekrývající se reproduktorové trojúhelníky okolo diváka, které umožní plynulé přechody zvuků mezi nimi (každý reproduktor může patřit do více trojúhelníků). Trojúhelníky by měly mít co nejkratší strany, protože čím delší budou, tím horší bude přesnost virtuálního zdroje, ale velikost stran trojúhelníků je závislá i na vzdálenosti reproduktorů od diváka.¹³¹

2.1.2.2 Syntéza vlnového pole (WFS)

U této metody lze najít částečnou podobnost s *Ambisonics*, také se totiž snaží o věrnou **rekonstrukci zvukového pole**, resp. původních zvukových vln. *Ambisonics* ale spoléhá na psychoakustiku v tom smyslu, že pracuje s tzv. fantomovými zdroji.^{132, 133, 134} *Syntéza vlnového pole* (dále *WFS – Wave-Field Synthesis*) naproti tomu vytváří zvukové pole čistě na základě **fyzikálních** zákonů o šíření vln bez jakéhokoliv psychoakustického „klamání“

¹²⁷ PULKKI, Ville a Tapio LOKKI, ref. 121, s. 1 - 3

¹²⁸ PULKKI, Ville. Genering panning tools for MAX/MSP, s. 3 - 4

¹²⁹ PULKKI, Ville, ref. 122, s. 14

¹³⁰ PULKKI, Ville, ref. 125, s. 9

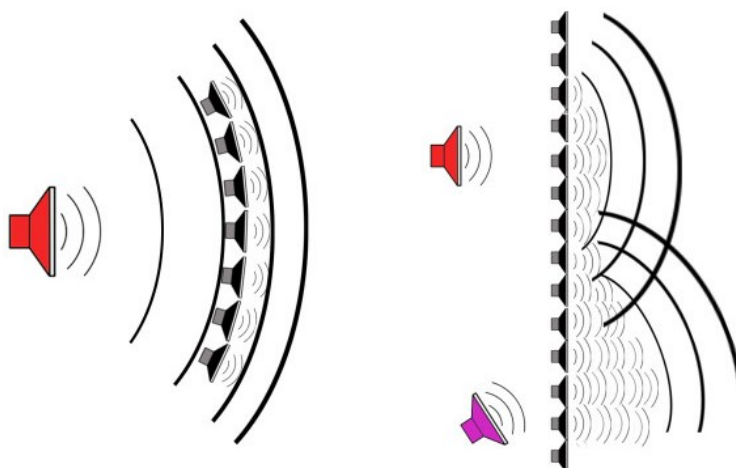
¹³¹ PULKKI, Ville, ref. 122, s. 18

¹³² Například když 2 reproduktory navodí kombinací svých signálů dojem, že zdroj je mezi nimi.

¹³³ FRANK, Matthias, Franz ZOTTER a Alois SONTACCHI. Producing 3D Audio in Ambisonics, s. 1

¹³⁴ MOREAU, Sébastien, Jérôme DANIEL a Stéphanie BERTET, ref. 76, s. 3

diváka. V zásadě jde o to, že objekt, který vydá nějaký zvuk, tím vyvolá určitou zvukovou vlnu (primární), kterou lze v daném bodě **rozložit** na libovolné množství menších vln (sekundárních) a následným **spojením** vznikne opět primární zvuková vlna.^{135, 136} Reproductory zde tedy slouží jako emitory sekundárních vln, jež dohromady vytvoří reprezentaci vlny primární. Je brána v potaz **vzdálenost** mezi virtuálním zdrojem primární vlny a reproductory (tedy body rozkladu na sekundární vlny), na základě čehož je aplikováno zpoždění, úpravy amplitudy a prostorové úpravy (prvotní odrazy a dozvuk).¹³⁷



Obrázek 9 - Ilustrace *WFS* (barevné reproductory označují primární zdroj, např. housle)

Díky tomu může vzniknout jeden z **nejvěrnějších** zvukových obrazů prostředí, jehož *sweet-spot* je de facto celý prostor mezi reproductory (zatím asi jediná objektově orientovaná technika, která překonává nedostatek malého sweet-spotu).¹³⁸ Vzhledem ke svému fyzikálnímu principu se při pohybu diváka zvuk mění naprosto **přirozeně**, jako by se měnil i v opravdovém prostředí.^{139, 140, 141} K docílení takové věrnosti je ovšem potřeba **velké množství reproductorů** (ideálně nekonečné), kanálů a výpočetního výkonu.^{142, 143}

¹³⁵ DANIEL, Jérôme, Rozenn NICOL a Moreau SÉBASTIEN, ref. 8, s. 2 - 3

¹³⁶ Wave Field Synthesis. Dostupné z: <http://www.holophony.net/Wavefieldsynthesis.htm>.

¹³⁷ WIGGINS, Bruce, ref. 21, s. 72 - 75

¹³⁸ CENGARLE, Giulio, ref. 48, s. 15 - 19

¹³⁹ DANIEL, Jérôme, Rozenn NICOL a Moreau SÉBASTIEN, ref. 8, s. 3

¹⁴⁰ RANJAN, Rishabh a Woon-Seng GAN. Wave Field Synthesis: The Future of Spatial Audio, s. 19 - 20

¹⁴¹ Wave Field Synthesis. Dostupné z: <http://www.holophony.net/Wavefieldsynthesis.htm>.

¹⁴² WIGGINS, Bruce, ref. 21, s. 75

¹⁴³ RANJAN, Rishabh a Woon-Seng GAN, ref. 143, s. 20 - 22

Reproduktory navíc musí být velmi **blízko** vedle sebe, protože zde dochází k prostorovému aliasingu a čím větší je vzdálenost reprodukcí membrán od sebe, tím nižší je hranice frekvence, nad kterou se toto zkreslení projevuje.^{144, 145, 146} Současné implementace fungují pouze ve **2D** konfiguraci, protože potřebný počet reproduktorů, kanálů a výpočetního výkonu by v 3D verzi byl neuvěřitelný.¹⁴⁷ Probíhají ale samozřejmě výzkumy, které se snaží tato negativa vyřešit a přijít s reálnou implementací *WFS* do 3D.¹⁴⁸

Pokud se to podaří, šlo by nejspíše o bezkonkurenčně nejlepší a nejpřirozenější způsob reprodukce 3D prostorového zvuku. Větším **problémem** by ale byla **nahrávací fáze**. Teoreticky totiž lze zvukové pole pro *WFS* nahrát pomocí jednoho mikrofonního pole, ale je třeba předem znát konfiguraci reprodukcí systému, jelikož mikrofonní pole musí být ve stejném tvaru a se stejným počtem mikrofónů jako reprodukční řetězec.¹⁴⁹ Nahrávání je ale opravdu spíše záležitostí teorie a v praxi bývá zvukové pole tvořeno uměle pomocí separátně nahraných zvuků, které jsou pak vzhledem k objektově orientované povaze *WFS*¹⁵⁰, stejně jako *VBAP*, převedeny do abstraktní reprezentace scény a při reprodukci věrně nasimulovány do svých pozic (včetně vzdálenosti).^{151, 152, 153}

2.2 Formáty

Formát je jakýmsi rámcem pro uložení určitého typu dat standardizovaným způsobem, v tomto případě jde o uložení informací o zvukovém poli ve třech dimenzích. Jedinou technikou z výše popsaných, která má (alespoň zatím) takové své speciální formáty nadefinované je **Ambisonics**, proto se tato podkapitola bude věnovat jen jim. Objektově orientované systémy, jak už bylo zmíněno, zatím sestávají ze stop s jednotlivými zvuky (či kontejneru, kam jsou tyto stopy zabaleny) a souboru se sounáležitými metadatami.

¹⁴⁴ WIGGINS, Bruce, ref. 21, s. 73 - 74

¹⁴⁵ PULKKI, Ville, ref. 122, s. 15 - 16

¹⁴⁶ CENGARLE, Giulio, ref. 48, s. 15 - 19

¹⁴⁷ Wave Field Synthesis. Dostupné z: <http://www.holophony.net/Wavefieldsynthesis.htm>.

¹⁴⁸ ROHR, Lukas, Etienne CORTEEL, Khoa-Van NGUYEN a Hervé LISSEK. Vertical Localization Performance in a Practical 3-D WFS Formulation.

¹⁴⁹ DANIEL, Jérôme, Rozenn NICOL a Moreau SÉBASTIEN, ref. 8, s. 2 - 3

¹⁵⁰ Wave Field Synthesis. Dostupné z: <http://www.holophony.net/Wavefieldsynthesis.htm>.

¹⁵¹ WIGGINS, Bruce, ref. 21, s. 72

¹⁵² CENGARLE, Giulio, ref. 48, s. 15 - 19

¹⁵³ DANIEL, Jérôme, Rozenn NICOL a Moreau SÉBASTIEN, ref. 8, s. 4

2.2.1 A-Format

Jedná se o nahrávací formát obsahující **nezpracovaný**, syrový signál z jednotlivých kapslí *Ambisonics* mikrofonu, který je určen ke konverzi do *B-Formatu*.^{154, 155} Nicméně prof. Farina tvrdí, že způsob této konverze se může odrazit na zvukové kvalitě.

prof. Angelo Farina: „Většinou jsou při konverzi uplatňovány „obecné“ filtry, které nejsou příliš přesné. Proto jsme vytvořili náš vlastní plug-in X-volver, který je založený na vypočítání individualizované filtrovací matice pomocí bezdozvukového měření konkrétního mikrofonu, takže konverze je dokonalá.“

2.2.2 B-Format

Jde o základní *Ambisonics* formát sloužící pro **uložení** informace o 3D zvukovém poli a využíváný od fáze **zpracování** až po **reprodukcii**. Pokud je informace nahrána mikrofonem do *A-Formatu*, dojde k jejímu překódování do *B-Formatu* pomocí *HW* nebo *SW* enkodéru, jenž je nejčastěji dodán samotným výrobcem mikrofonu. Jak už bylo zmíněno dříve, dojde při enkódování k vytvoření daného počtu kanálů (virtuálních mikrofonů), z nichž základní **čtyři** nesou jména W, X, Y a Z a jsou reprezentací akustického tlaku, hloubky, šířky a výšky zvukového pole. *B-Format* umožňuje postprodukční manipulaci například v podobě rotace kolem os, nebo přibližování se určitým směrem (což má za následek konkretizaci signálu z tohoto směru). V případě uměle vytvořeného pole dochází k zakódování zvuku na pozici danou uživatelem pomocí panorámování. Při přehrávání pak může být dekódován do téměř **jakéhokoliv** výstupu.^{156, 157, 158, 159}

2.2.2.1 Standardy B-Formatu

S vývojem *Ambisonics* vyšších řádů a s postupnou implementací této techniky do různých **platforem** vzniklo i **více variant B-Formatu**. Zatím je tedy třeba pro různé platformy dělat zvláštní exporthy, což může být časově náročné, ale tyto varianty mohou být i vzájemně

¹⁵⁴ Channel formats. Dostupné z: <https://ambisonic.info/ambisonics/channels.html>.

¹⁵⁵ ORTOLANI, Francesca, ref. 52, s. 13

¹⁵⁶ ORTOLANI, Francesca, ref. 52, s. 15 - 16

¹⁵⁷ Channel formats. Dostupné z: <https://ambisonic.info/ambisonics/channels.html>.

¹⁵⁸ GREČNÁR, Ján, ref. 25, s. 98 - 101

¹⁵⁹ HOLLERWEGER, Florian, ref. 30, s. 1 - 7

převáděny.¹⁶⁰ Odlišnosti spočívají v pořadí kanálů, jejich počtu, či způsobu normalizace.¹⁶¹ Zde jsou uvedeny tři standardy, se kterými se nyní v praxi lze nejčastěji setkat.

2.2.2.1.1 FuMa (Furse/Malham)

Starší varianta založená na pořadí kanálů a normalizačním schématu, které nesou stejný název - *FuMa*. Kanály jsou pojmenovávány **písmeny**^{162, 163}, přičemž pořadí prvních 4 je WXYZ¹⁶⁴ a normalizace je dána zeslabením kanálu W o polovinu (cca 3 dB).^{165, 166} Nevýhody této varianty ovšem spočívají v tom, že pořadí kanálů a tím pádem i všechno ostatní je definováno jen do **třetího** řádu *Ambisonics* (abeceda by dovolila definovat max. 4. řád)^{167, 168} a vzhledem k využívání kontejneru *WAV* (*Waveform Audio File*) je **velikost** souboru **omezena** na 4 GB.¹⁶⁹

2.2.2.1.2 AmbiX

Poměrně **novým** standardem je *AmbiX*, který využívá pořadí kanálů dané **čísly** (tzv. *ACN* – *Ambisonic Channel Number*) a normalizační schéma *SN3D*.^{170, 171} Číselné značení kanálů umožňuje nedefinovat prakticky **neomezený** počet kanálů (= řádů), jejich pořadí je ale jiné než *FuMa*. První čtyři by při převedení na písemné značení byly v pořadí WYZX.¹⁷² Normalizace spočívá v tom, že žádný z kanálů nesmí v žádném okamžiku překročit hladinu hlasitosti kanálu 0 (tedy W).^{173, 174} *AmbiX* používá kontejner *CAF* (*Core Audio File*), který

¹⁶⁰ NACHBAR, Christian, Franz ZOTTER, Etienne DELEFLIE a Alois SONTACCHI. *AmbiX - a suggested Ambisonics format*, s. 1 - 3

¹⁶¹ VINKEL, Simone Patricia, ref. 39, s. 16

¹⁶² CHAPMAN, Michael a Philip COTTERELL. *Towards a comprehensive account of valid Ambisonic transformations*, s. 3

¹⁶³ *Ambisonics Component Ordering*. Dostupné z:

https://www.audiokinetic.com/library/2016.1.0_5775/?source=Help&id=ambisonics_channel_ordering.

¹⁶⁴ VINKEL, Simone Patricia, ref. 39, s. 16

¹⁶⁵ MALHAM, Dave. *Higher order Ambisonics*, s. 2 - 3

¹⁶⁶ Facebook 360 Spatial Workstation User Guide [online]. Dostupné z: <https://facebook360.fb.com/spatial-workstation>, s. 2

¹⁶⁷ *Eigenbeam Data: Specification for Eigenbeams* [online]. Dostupné z:

https://mhacoustics.com/sites/default/files/Eigenbeam%20Datasheet_R01A.pdf, s. 8

¹⁶⁸ MALHAM, Dave, ref. 165, s. 3

¹⁶⁹ NACHBAR, Christian, Franz ZOTTER, Etienne DELEFLIE a Alois SONTACCHI, ref. 160, s. 1

¹⁷⁰ NACHBAR, Christian, Franz ZOTTER, Etienne DELEFLIE a Alois SONTACCHI, ref. 160, s. 3

¹⁷¹ *Ambisonics Component Ordering*. Dostupné z:

https://www.audiokinetic.com/library/2016.1.0_5775/?source=Help&id=ambisonics_channel_ordering.

¹⁷² VINKEL, Simone Patricia, ref. 39, s. 16

¹⁷³ KRONLACHNER, Matthias. *Spatial Transformations for the Alteration of Ambisonic Recordings*, s. 10

¹⁷⁴ NACHBAR, Christian, Franz ZOTTER, Etienne DELEFLIE a Alois SONTACCHI, ref. 160, s. 3

nemá omezení velikosti souboru 4 GB, a tak je daleko vhodnější pro *Ambisonics* vyšších řádů.^{175, 176}

2.2.2.1.3 TBE

Zvláštním standardem je *TBE*, se kterým přišla společnost se stejným názvem a jenž je založen na 8 kanálech v *B-Formatu* a 2 kanálech v klasickém stereu.¹⁷⁷ Osm kanálů je *Ambisonics* druhého řádu s jedním chybějícím kanálem, protože např. *Avid* podporoval v *Pro Tools* až donedávna maximálně 8 kanálů na stopu.¹⁷⁸ Dva **stereo** kanály jsou určeny pro zdroje, které **nemají** být rozloženy do 3D zvukového pole, ale jejich charakter má zůstat stejný, ať divák dělá cokoli, tedy například pro voice-over. Oba soubory jsou z *DAW* exportovány zvlášť ve formátu *WAV* a poté i společně s videem zakódovány do jednoho souboru. Tento standard je podporovaný například sociální sítí **Facebook** hlavně proto, že společnost *TBE* byla *Facebookem* koupena a vytvořila nástroj *facebook 360 Spatial Workstation*. Ten měl donedávna formát *TBE* jako standardní výstup, což se po vydání verze *Pro Tools 12.8.2* podporující větší počet kanálů změnilo na *AmbiX* druhého řádu plus stereo stopu. Nicméně já budu v praktické části této práce pracovat právě s variantou *TBE*, a proto ji zde uvádím.¹⁷⁹

2.2.3 C-Format / UHJ

Jedná se o reprodukční formát určený primárně pro přehrávání na **běžných** mono, či **stereo** konfiguracích bez potřeby *Ambisonics* dekodéru, který byl navržen pro účely vysílání a distribuce na CD, DVD atd. Obsahuje minimálně dva kanály: L a R. Ty jsou v případě mono reprodukce sečteny v jeden kanál a v případě stereo reprodukce se chovají jako klasické, trochu širší stereo. Je-li ale tento formát přehráván přes *Ambisonics* dekodér a na větším počtu reproduktorů, je možné z nich rekonstruovat horizontální prostorový zvuk. *C-Format* může obsahovat ještě další dva kanály: T a Q, které jsou využity jen v případě

¹⁷⁵ CHAPMAN, Michael, et. al. A standard for interchange of Ambisonic signal sets: Including a file standard with metadata, s. 4

¹⁷⁶ NACHBAR, Christian, Franz ZOTTER, Etienne DELEFLIE a Alois SONTACCHI, ref. 160, s. 4

¹⁷⁷ VINKEL, Simone Patricia, ref. 39, s. 16

¹⁷⁸ Conversion from Ambisonics to TBE (and back). Dostupné z: <http://www.angelifarina.it/TBE-conversion.htm>

¹⁷⁹ Facebook 360 Spatial Workstation User Guide [online]. Dostupné z: <https://facebook360.fb.com/spatial-workstation>, s 24

přehrávání skrz *Ambisonics* dekodér. Kanál T zlepšuje lokalizaci zvuku v horizontálním poli a díky Q je možné rekonstruovat celé 3D zvukové pole včetně výšky.^{180, 181, 182, 183}

2.2.4 G-Format

Posledním je **předdekódovaný** reprodukční formát, který umožňuje přehrávat díla smíchaná v *B-Formatu* na **běžných** prostorových konfiguracích, jako např. 5.1 bez nutnosti mít *Ambisonics* dekodér.^{184, 185}

2.3 Metody reprodukce

V zásadě existují **dva** způsoby, jak reprodukovat prostorový **Ambisonics** zvuk – buď skrz **reproduktory**, anebo **sluchátka**. O reproduktorovém poli přemýšlel sám Gerzon už od začátku, protože je to nejlogičtější metoda vytvoření 3D zvukového pole. Na druhou stranu se ale ukázalo, že jde o poněkud nepraktický způsob například pro domácí použití, a tak při pátrání po vhodnějších metodách přišlo mimo jiné i na binaurální implementaci pomocí sluchátek.

2.3.1 Sluchátka

Klasická sluchátka sice mají k dispozici jen dva kanály, ale přesto dokáží diváka přenést do trojrozměrného zvukového pole. Zásadním článkem jsou, tzv. **Head-Related Transfer Functions** (dále *HRTF*), které simulují principy lidského sluchu a aplikují se na danou zvukovou stopu v *B-Formatu*. Hlava je jakýmsi filtrem zvukových vln, který vnímá směr zvuku pomocí různých vodítek, jako jsou rozdíly mezi časem dopadu na obě uši, hlasitost, tvar a velikost hlavy, případně trupu, pro každého jedinečný tvar uší apod. Těmto vodítkům se souhrnně říká *HRTF*. Aby mohla být aplikována, musí se nejprve **nasminat**. K tomu dochází vsazením mikrofonů buď do uší figuríny, nebo člověka a následným přehráváním **impulzu** skrz reproduktor v různých polohách kolem hlavy subjektu v bezdozvukové

¹⁸⁰ ORTOLANI, Francesca, ref. 52, s. 16 - 17

¹⁸¹ ARTEAGA, Daniel, ref. 6, s. 11

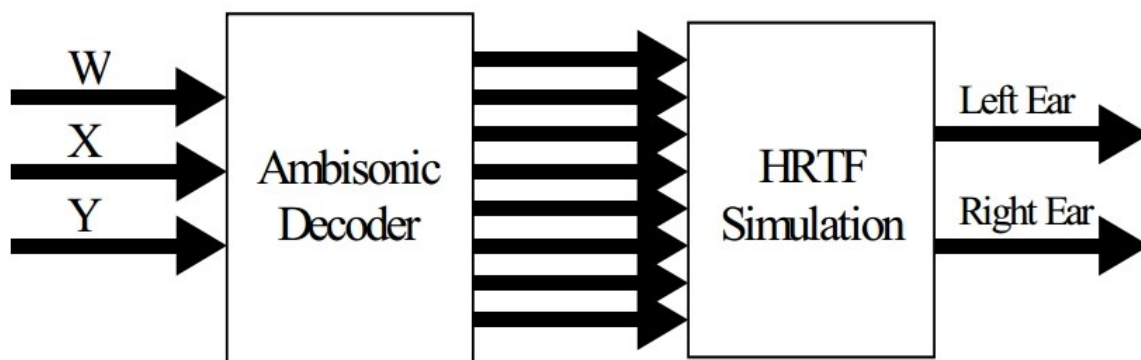
¹⁸² Ambisonic UHJ format. In: Wikipedia [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Ambisonic_UHJ_format

¹⁸³ Channel formats. Dostupné z: <https://ambisonic.info/ambisonics/channels.html>.

¹⁸⁴ ORTOLANI, Francesca, ref. 52, s. 18

¹⁸⁵ Channel formats. Dostupné z: <https://ambisonic.info/ambisonics/channels.html>.

komoře (vzdálenost cca od 10 cm do 1 m, za touto vzdáleností se už zvuk výrazně nemění, alespoň co se týká potřeb *HRTF*). Impulz je vždy zaznamenán oběma mikrofony a uložen ve formě impulzivní odezvy (jako např. u konvolučních reverbů). Čím více poloh je nahráno, tím vyšší prostorové rozlišení je daný set *HRTF* schopen poskytnout. Současná aplikace potom probíhá tak, že *Ambisonics* dekodér rozkóduje *B-Format*, ale výstupní kanály putují místo reproduktorů do **binaurálního** dekodéru, který pomocí *HRTF* impulzivních odezev v daných polohách reproduktory **virtuálně nasimuluje** do stereo stopy a tu odešle do sluchátek.^{186, 187, 188, 189, 190, 191, 192}



Obrázek 10 - Názorná ukázka dekodování *B-Formatu* do sluchátek

Existují **banky** s nahranými *HRTF*, které jsou dostupné ke stažení. Ale protože jde o vysoce **individuální** věc, je ideální mít k dispozici impulzivní odezvy vlastních uší. U *HRTF* filtrů figuríny, či cizího člověka dochází často k špatné orientaci v předozadní a spodně-horní ose.^{193, 194} Ale nahrát individuální *HRTF* pro každého člověka je vzhledem k náročnosti

¹⁸⁶ Ambisonics Explained: A Guide for Sound Engineers. Dostupné z: <https://www.waves.com/ambisonics-explained-guide-for-sound-engineers>.

¹⁸⁷ GARAS, John. Adaptive 3D sound systems, s. 26 - 34

¹⁸⁸ WIGGINS, Bruce, ref. 21, s.78 – 83, 103 - 110

¹⁸⁹ KAPRALOS, Bill, Michael R. M. JENKIN a Evangelos MILIOS, ref. 22, s. 14 – 16, 65 - 70

¹⁹⁰ POTISK, Tilen. Head-Related Transfer Function, s. 1 - 6

¹⁹¹ MCKENZIE, Thomas, Damian MURPHY a Gavin KEARNEY. Diffuse-field equalisation of first-order Ambisonics , s. 1 - 3

¹⁹² VENNERØD, Jakob. Binaural Reproduction of Higher Order Ambisonics: A Real-Time Implementation and Perceptual Improvements, s. 23 - 31

¹⁹³ BEGAULT, Durand R. 3-D sound for virtual reality and multimedia, s. 57 - 62

¹⁹⁴ MALHAM, Dave. Approaches to spatialisation, s. 4 - 5

a zdlouhavosti takřka nemožné, proto probíhají kupříkladu testy syntézy *HRTF* na základě analýzy obrazových snímků uší dané osoby.^{195, 196}

Dalším důležitým prvkem je **sledování pohybů hlavy** pomocí k tomu určené jednotky umístěné na sluchátkách nebo v „headsetu“, protože změny při pohybu hlavy také přispívají k lepší lokalizaci zvuku a zároveň je možnost takovéto interaktivity de facto samozřejmá věc pro virtuální realitu. Na základě toho, jak se divák otáčí nebo jinak pohybuje hlavou, dochází k **rotaci** zvukového pole, nebo **změně *HRTF* filtrů**.^{197, 198, 199} S používáním sluchátek a sledováním pohybů hlavy se většinou pojí také „headset“ v podobě brýlí s obrazovkou, který pomáhá vytvoření dojmu virtuální reality. A tyto pomůcky jsou často využívány i mistry zvuku při mixáži.

Kevin Bolen: „Při mixáži používáme *Oculus Rift* nebo *HTC Vive* tak často, jak to jen jde. Je nezbytné vidět video se správným zorným polem a relativní vzdáleností. Důležité je to i v případech stereoskopického videa, protože headset umožňuje vidět hloubku. Simulování prostředí koncového uživatele má při mixáži primární důležitost.“

Anne Jimkes: „Svoje mixy kontroluji na *GearVR*, ale preferuji *Oculus Rift*, protože je možné ho připojit přímo do projektu, což znamená, že svou práci můžu kontrolovat v reálném čase.“

Matt Bobb: „Při mixáži používám *Oculus Rift*. Nemám ho na hlavě pořád, ale pomáhá mi určit místa v mixu, na kterých bude ještě třeba zapracovat a šetří čas, protože nemusím nic exportovat a testovat.“



Obrázek 11 - Headset *HTC Vive*

¹⁹⁵ HRTF and personalization. Dostupné z: <http://pro.3dsoundlabs.com/category/personal-hrtfs/>.

¹⁹⁶ SOUSA, Fabio Wanderley Janhan, ref. 1, s. 62, 67 - 68

¹⁹⁷ BEGAULT, Durand R, ref. 197, s. 39 – 40, 132 – 133, 165 – 168

¹⁹⁸ SOUSA, Fabio Wanderley Janhan, ref. 1, s. 71 - 85

¹⁹⁹ GARAS, John, ref. 187, s. 93 - 95

Správné lokalizaci zvuků pomůže i **ekvalizace HRTF** s ohledem na frekvenční odezvu sluchátek, aby došlo k frekvenčnímu vyrovnání a také odstranění nežádoucích vlivů techniky použité při nahrávání impulzivních odezev.^{200, 201} A v neposlední řadě jde také o **dozvuk**. Jelikož *HRTF* bývají nahrávány v bezdozvukové komoře, dochází při přehrávání na sluchátkách k nepřírozenému efektu umístění zvukového pole „dovnitř hlavy“. Přidá-li se k *HRTF* filtru ještě dozvuk, zdroje jsou umístěny „mimo hlavu“ a tento efekt mizí.^{202, 203, 204, 205} Oboje je aplikováno ve fázi dekodování.

Sluchátka jsou výhodná v tom, že **izolují** diváka od okolí, nic ho neruší a tím pádem se může plně ponořit do virtuální reality. Navíc svou konstrukcí **oddělují** pravé a levé ucho, nedochází tedy k přeslechům, což je pro *HRTF* ideální.²⁰⁶

Sluchátka jsou zároveň téměř **výhradně** využívaným prostředkem i při mixáži, jak dokládají mnou oslovení odborníci.

Thomas Aichinger: „*Pro EQ a střih používám studiové monitory, ale pro umístování do prostoru a mix sluchátka. Nepříjemné mi to není a můžu míchat téměř kdekoliv.*“

Kevin Bolen: „*Nejdůležitější je míchat v prostředí, které simuluje divákovo vnímání. Filmy mícháme v míchacích halách, které simulují ideální kino a pokud očekáváme, že divák si náš mix pustí na sluchátkách, tak na nich musíme míchat. [...] Střih a část sound designu lze udělat na studiových monitorech, ale k jakýmkoliv rozhodnutím týkajícím se EQ, mixáže a umístování do prostoru jsou potřeba sluchátka. A nemusí to být nepříjemné, pokud je nastavená správná hlasitost, dodržují se pravidelné pauzy a používají se vysoce kvalitní sluchátka. Já osobně preferuji otevřenou konstrukci.*“

Anne Jimkes: „*V případě virtuální reality a 360° videí bude uživatel nejpravděpodobněji používat sluchátka. [...] Profesionálové by měli vlastnit alespoň jedna sluchátka, se kterými mohou pracovat delší čas bez přestávky.*“

²⁰⁰ KENDALL, Gary S. A 3-D Sound Primer: DIrectional Hearing and Stereo Reproduction, s. 15 - 16

²⁰¹ MCKENZIE, Thomas, Damian MURPHY a Gavin KEARNEY, ref. 191, s. 2

²⁰² BEGAULT, Durand R, ref. 197, s. 79 – 82, 145 – 153

²⁰³ WIGGINS, Bruce, ref. 21, s. 78 - 83

²⁰⁴ KAPRALOS, Bill, Michael R. M. JENKIN a Evangelos MILIOS, ref. 22, s. 79 – 82, 95 - 96

²⁰⁵ POTISK, Tilen, ref. 190, s. 6

²⁰⁶ KAPRALOS, Bill, Michael R. M. JENKIN a Evangelos MILIOS, ref. 22, s. 93

Matt Bobb: „Pro střih a sound design preferuji studiové monitory, ale při mixu používám jenom sluchátka.“

2.3.2 Reproduktorové pole

Vzhledem k tomu, že metoda *Ambisonics* je založena na reprezentaci 3D zvukového pole v podobě pomyslné koule a reproduktory by měly být schopny ho opravdu fyzicky a stabilně **zrekonstruovat** okolo celého těla diváka, tak i rozmístění reproduktorů se od tohoto tvaru odráží. Ideální by samozřejmě byla **koule** tvořená spoustou reproduktorů umístěných stejně daleko všude okolo diváka podobně jako u *WFS*, ale minimálně vzhledem k nákladnosti to není možné. Nicméně v geometrii je známo **pět** možných tvarů pravidelných mnohostěnů, kterým se říká *platónská tělesa* a tyto tvary byly adaptovány i do teorie *Ambisonics* jako ideální **vzory** pro **souměrné** rozmístění reproduktorových polí. Konkrétně se jedná o čtyřstěn, šestistěn, osmistěn, dvanáctistěn a dvacetistěn, přičemž reproduktory mají být umístěny v jednotlivých vrcholech nebo stěnách.^{207, 208, 209, 210, 211, 212, 213}



Obrázek 12 - Platónská tělesa

Postupem času byly představeny způsoby dekodování i pro **nesymetrická** reproduktorová pole, protože umístování reproduktorů symetricky může být např. v domácích podmínkách dost obtížné. Dekodéry pro nesymetrická pole jsou ale dost **složitě** pro výpočet a nemusí

²⁰⁷ WIGGINS, Bruce, ref. 21, s. 55 - 59

²⁰⁸ POWER, Paul James, ref. 11, s. 56 - 57

²⁰⁹ POWER, Paul, Chris DUNN a Jos HIRST. Localisation of Elevated Sources in Higher-Order Ambisonics [online], s. 2 - 3

²¹⁰ SONTACCHI, Alois, Franz ZOTTER a Robert HÖLDRICH. 3D sound field rendering under non-idealized loudspeaker arrangements, s. 2 - 4

²¹¹ GERZON, Michael A. Periphony: With-Height Sound Reproduction.

²¹² HOLLERWEGER, Florian, ref. 30, s. 3

²¹³ Ambisonic reproduction systems. In: Wikipedia [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Ambisonic_reproduction_systems

vždy vytvořit stabilní zvukový obraz (hlavně na vyšších frekvencích), proto výzkumy a experimenty v této oblasti nadále pokračují.^{214, 215, 216, 217, 218, 219} Na základě zjištění, že lidský sluch lépe **rozpoznává** směr zvuku na **úrovni uší** (v horizontálním plánu) než pod ní či nad ní, začala vznikat i tzv. **řádově smíšená** reproduktorová pole, která se řadí k nesouměrným systémům. Zde dochází k **oddělenému** dekodování pro horizontální plán a ostatní plány. Horizontální plán je dekodován ve vyšším řádu *Ambisonics* a do většího počtu reproduktorů, zbylé plány naopak. Tento přístup se tedy snaží o co nejlepší zvukové rozlišení i s informací o výšce, ale menším počtem potřebných reproduktorů.^{220, 221, 222, 223}

Plně 3D symetrické systémy zatím existují převážně jen ve **výzkumných ústavech** (např. jediný, kdo má z mnou oslovených odborníků k dispozici reproduktorové pole, je *prof. Angelo Farina* na univerzitě) a budou-li v budoucnu masově adaptovány do komerční sféry, tak předpokládám, že hlavně do **kin**. Soudím tak na základě nákladnosti a náročnosti realizace, která se vyplatí zřejmě jen v případě, že takovýto prostor bude schopen pojmout větší množství diváků a to umožňuje jen tato metoda reprodukce.

Ambisonics může být kromě trojdimenzionálních reproduktorových polí adaptováno i do čistě horizontálních **2D** polí, samozřejmě za cenu toho, že divákovi nezprostředkuje informaci o **výšce** (kanál/y obsahující tuto informaci dekodér nebere v potaz). Na druhou stranu je takový reprodukcí systém rozhodně použitelnější v **domácích** podmínkách i vzhledem k tomu, že je už dnes běžné mít doma 5.1 reprosoustavu. Podobně jako u 3D varianty by ale reproduktory měly ideálně být rozmístěny **souměrně** na půdorysu kruhu okolo diváka. Nesymetrické systémy jako např. zmiňovaná 5.1 jsou také použitelné, ale

²¹⁴ ARTEAGA, Daniel, ref. 6, s. 18, 22, 24

²¹⁵ POWER, Paul James, ref. 11, s. 58

²¹⁶ WIGGINS, Bruce, ref. 21, s. 59 – 60, 97, 112

²¹⁷ BENJAMIN, Eric. Ambisonic Loudspeaker Arrays, s. 1 - 3

²¹⁸ ARTEAGA, Daniel. An Ambisonics decoder for irregular 3D loudspeaker arrays, s. 2

²¹⁹ ZHU, Rong, Chang-chun BAO, Mao-shen JIA a Bing BU. The design of ambisonics decoders for irregular speaker array conforming to subjective perception, s. 1 - 3

²²⁰ POWER, Paul, Chris DUNN a Jos HIRST, ref. 209, s. 1

²²¹ HOLLERWEGER, Florian, ref. 30, s. 7

²²² Ambisonic reproduction systems. In: Wikipedia [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Ambisonic_reproduction_systems

²²³ FAVROT, Sylvain, Marton MARSCHALL, Johannes KÄSBACH, Jörg BUCHHOLZ a Tobias WELLER. Mixed-order Ambisonics recording and playback for improving horizontal directionality.

dekódování je opět velice náročné, obsahuje kompromisy a je zatím pořád předmětem výzkumu.^{224, 225, 226, 227}



Obrázek 13 - Ukázka 3D reproduktorového pole s 50 kanály nacházejícího se na University of York ve Velké Británii

prof. Angelo Farina: „Pole reproduktorů vytváří věrné zvukové pole v centrální oblasti, takže lidé v tomto „sweet spotu“ se mohou volně hýbat a otáčet, přičemž uslyší vše správně, protože zvukové vlny v této oblasti jsou rekonstruovány správně. [...] Systém prvního řádu je použitelný jen pro jednoho diváka, protože pokud se pohne o pár centimetrů, dostane se z oblasti správné rekonstrukce. U 3. řádu se může pohnout zhruba o půl metru. [...] Pro skupinu diváků (4 a více) je třeba alespoň systém pátého řádu (40 a více reproduktorů), v dostatečně velké místnosti (reproduktory by měly vždy být alespoň 1,5 m od poslechového prostoru, takže pro 2 x 2 m oblast by pokoj měl měřit alespoň 5 x 5 m).“

²²⁴ Ambisonic reproduction systems. In: Wikipedia [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Ambisonic_reproduction_systems

²²⁵ WIGGINS, Bruce, ref. 27, s. 6 - 7

²²⁶ ARTEAGA, Daniel, ref. 6, s. 18

²²⁷ ORTOLANI, Francesca, ref. 52, s. 2

Při rekonstrukci zvukového pole těmito způsoby tedy dochází společně s pohyby divákovy hlavy k přirozeným změnám ve vnímání zvukového pole na základě fyziologie hlavy. Dá se říct, že jde o „skutečné“ *HRTF*.²²⁸

3D zvuk je ale možné reprodukovat i pouze pomocí **dvou reproduktorů**. Princip je stejný jako kdyby šlo o sluchátka – využívá *HRTF* pro jednotlivé zvukové zdroje (např. virtuální reproduktory), ale problém je se vzájemnými **přeslechy** obou fyzických reproduktorů. Ten byl vyřešen aplikací tzv. *potlačovače přeslechů*, který posílá do každého kanálu společně s daným signálem zároveň **zpožděný** signál druhého reproduktoru v **protifázi**, čímž dojde k jeho vyrušení a k danému uchu tedy dorazí jen informace z korespondujícího směru. Zapojena je i technologie **sledování pohybu hlavy** a tím pádem se dokáží **adaptovat** i filtry (*HRTF* a potlačení přeslechů). Nevýhodou ovšem je velmi malý *sweet-spot*, v praxi je tato metoda (alespoň zatím) využitelná jen pro jediného diváka.^{229, 230, 231, 232, 233, 234}

²²⁸ BEGAULT, Durand R, ref. 197, s. 39 - 40

²²⁹ PELZER, Sönke, Bruno MASIERO a Michael VORLÄNDER. 3D reproduction of room auralizations by combining intensity panning, crosstalk cancellation and Ambisonics, s. 2 - 4

²³⁰ GARAS, John, ref. 187, s. 34 - 36

²³¹ BEGAULT, Durand R, ref. 197, s. 174 - 177

²³² KENDALL, Gary S., ref. 200, s. 16

²³³ KAPRALOS, Bill, Michael R. M. JENKIN a Evangelos MILIOS, ref. 22, s. 96 - 102

²³⁴ POTISK, Tilen, ref. 190, s. 6 – 10

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 SNÍMÁNÍ ZVUKU PŘI PRODUKCI 360° DĚL

Snímání zvuku při natáčení sférického díla se až tolik neliší od snímání na běžném place – primárním cílem je nahrát co nejvíc **použitelného** materiálu, především **dialogy**. Podobnosti se do určité míry dají najít i v samotné metodologii práce s mikrofony, ale samozřejmě jsou tam i markantní rozdíly. Jak už bylo naznačeno, pro tento druh obsahu se využívá téměř výhradně technika **Ambisonics**, která vyžaduje speciální mikrofon. Já ho bohužel k dispozici nemám, a tak jsem se rozhodl v této kapitole čerpat hlavně ze zkušeností jiných tvůrců.

Stěžejní část kontaktního záznamu zvukové složky imerzivního díla není možné pořídit pomocí směrových mikrofonů na teleskopické tyči, jak je tomu normálně zvykem, protože kamera zabírá úplně vše. Základem zde tedy je **Ambisonics mikrofon**, který snímá celé zvukové pole ze stejné pozice, v jaké se nachází kamera. Tím pádem musí být mikrofon umístěn tak, aby buď nebyl vůbec vidět, anebo se dal jednoduše vymaskovat. Nejčastěji je tedy nějakým způsobem připevněn na stativ pod kamerami, mezi nimi nebo nad nimi.



Obrázek 14 - Ukázka umístění mikrofonu, rekordéru a kamer na jeden stativ od prof. Fariny

Dalším nezbytným prvkem při kontaktním záznamu jsou **spotové mikrofony** umístěné blízko zdrojů nosných zvuků. Typickým příkladem mohou být bezdrátové mikroporty na tělech herců, případně schované podle potřeby v dekoraci, kam lze samozřejmě schovat i směrové mikrofony.

Thomas Aichinger: „Používám Ambisonics mikrofon Sennheiser Ambeo, ale jen pro atmosféry. Dialog nahrávám na klopové mikrofony.“

prof. Angelo Farina: „Nahráváme na Ambisonics mikrofon a daný počet přidavných spotových mikrofonů umístěných blízko zdrojů. [...] Když nahráváme s mikrofonem vyššího řádu, připojíme k PC druhou zvukovou kartu, která nám dává možnost nahrát 8 spotových mikrofonů synchronně s ním. Když používáme normální 4-kanálový Ambisonics mikrofon, máme Zoom F8, kam můžeme připojit další 4 spotové mikrofony.“

Záznamové zařízení je možné umístit pod kameru společně s mikrofonem a některé rekordéry umožňují ovládání na dálku přes **aplikaci** na telefonu nebo tabletu, takže mistr zvuku může mít díky kombinaci této aplikace a bezdrátového odposlechu vše pod kontrolou, i když nemá rekordér fyzicky před sebou. Pokud tuto možnost zařízení nemá, je třeba si scénu dopředu vyzkoušet nanečisto.

prof. Angelo Farina: „Když používáme mikrofony 1. řádu, umístíme rekordér pod kameru a ovládáme ho přes iPhone nebo iPad.“

Druhou možností je vzít si záznam s sebou a všechny mikrofonní signály do něj přivést **bezdrátovou** cestou. Může se stát, že scéna umožní schovat kabely a přivést je až k rekordéru tak, aniž by byly vidět, ale tato pravděpodobnost je malá, a tak se mi tato cesta jeví být méně spolehlivá a finančně náročnější, zejména kvůli potřebnému množství bezdrátových kanálů a vzdálenosti vysílačů od přijímače.

Thomas Aichinger: „Já používám bezdrátové systémy od Sennheiseru, které přenáší signál z mikrofonů do rekordéru, takže mohu během nahrávání normálně poslouchat atd.“

Vždy je ale důležité, aby u **všech** vstupů, kam je zapojen Ambisonics mikrofon, byl nastaven parametr *gain* na **stejnou** hodnotu, jinak by došlo ke zkreslení výsledného zvukového pole

a pozice zvuků.^{235, 236} Nutno podotknout, že mikrofony vyšších řádů *Ambisonics* dodávají svůj výstup **digitálně** a k záznamu je tedy potřeba místo klasického rekordéru **počítač** umístěný buď ve stejné místnosti, nebo jinde s nutností natáhnout k němu kabel a schovat ho.

prof. Angelo Farina: „*Eigenmike posílá signál přes ethernet, takže natáhneme jeden dlouhý kabel k počítači, který může být umístěn daleko od placu.*“

Pokud to časové možnosti dovolují, není od věci, stejně jako na běžném place, nahrát **asynchronně atmosféry** a některé specifické **ruchy**. Ten, kdo bude dělat postprodukcí, to stoprocentně ocení a samozřejmě se hodí i do vlastní banky. Dobrou praktikou je také nahrát pomocí *Ambisonics* mikrofonu **impulzivní odezvu** daného prostoru, která může být v postprodukcí použita pro realističtější zasazení spotových mikrofonů do prostoru.

Anne Jimkes: „*Protože Ambisonics mikrofon nenabere příliš dobře dialog, je potřeba použít spotové mikrofony, což ale znamená spoléhání se na bezdrátové systémy. Proto je důležité při každé příležitosti nahrát asynchronní repliky a ruchy.*“

3.1 Mikrofony

Rozdělení na *Ambisonics* prvního řádu a vyšších řádů se díky výzkumům a technologickému pokroku týká i mikrofonů. Z každé kategorie zde krátce představím několik nejpopulárnějších zástupců.

3.1.1 Ambisonics prvního řádu

Zoom H2N

Tento kapesní rekordér dostal díky novému firmwaru možnost záznamu *B-Formatu*. Jeho výhodou je bezesporu velmi nízká **cena**. Naopak nevýhodou je možnost nahrávat jenom v **horizontální** rovině - bez informace o výšce. Tento nedostatek se pokusila překonat jistá indická firma, která původní mikrofonní kapsle vyměnila za *Ambisonics* mikrofon vlastní výroby a svou modifikaci začala prodávat pod názvem *Brahma in Zoom*. Profesionálové

²³⁵ AMBEO VR Mic for 360 and VR videos, 2. díl, Recording. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=45RVqfHWHBc>.

²³⁶ VINKEL, Simone Patricia, ref. 39, s. 20

označují tento rekordér za dobrý odrazový můstek do začátku, ale stěžují si převážně na **kvalitu předzesilovačů**.^{237, 238}

Anne Jimkes: „Zoom byly vždy dostupné a praktické kapesní rekordéry. Nicméně mají své limitace, co se týče kvality zvuku a množství funkcí v porovnání s dražšími konkurenty. Rozdíl v ceně často znamená rozdíl v kvalitě hardwaru, např. interních předzesilovačích. Ale fakt, že se Zoom rozhodl jít více naproti tvůrcům 360° videí, je skvělou zprávou pro amatérské filmaře, kteří měli přístup k levným 360° kamerám, ale neměli možnost nahrávat prostorový zvuk.“

Thomas Aichinger: „Postprodukoval jsem zvuk nahraný na H2N – na atmosféru ok, ale nic víc, pokud jsou zdroje zvuku daleko. Nicméně je to dobrá a levná možnost do začátku.“

prof. Angelo Farina: „V základní verzi je jen horizontální, to je k ničemu. Brahma in Zoom přidává kanál Z, ale zachovává stejnou kompaktnost.“



Obrázek 15 - Zoom H2N

SoundField SPS200 & ST450 MK II

Firma *SoundField* je de facto **jediným původním** výrobcem *Ambisonics* mikrofonů, ale vzhledem k vypršení **patentů** dnes mohou tyto mikrofony vyrábět i ostatní firmy.²³⁹ Model

²³⁷ Zoom H2N Handy Recorder [online]. Dostupné z: <https://www.zoom-na.com/products/field-video-recording/field-recording/zoom-h2n-handy-recorder>

²³⁸ Brahma Ambisonics Microphone Review [online]. Dostupné z: <https://www.pro-tools-expert.com/home-page/2014/8/21/brahma-ambisonics-microphone-review.html>.

²³⁹ Soundfield microphone. In: Wikipedia [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Soundfield_microphone

SPS200 produkuje *A-Format*, který je převáděn do *B-Formatu* pomocí softwarového plug-inu poskytovaného spolu s mikrofonem.²⁴⁰



Obrázek 16 - *SoundField SPS200*

Druhý model **ST450 MK II** potřebuje ke svému fungování přidruženou **jednotku**, která slouží jako předzesilovač, jenž mimo jiné provádí i konverzi do *B-Formatu*. Dále pak umožňuje simulovat *M/S* stereo dekodér včetně stereo výstupu.²⁴¹



Obrázek 17 - *SoundField ST450 MK II* a přidružená jednotka

Sennheiser Ambeo VR Mic

V průběhu roku 2017 *Sennheiser* uvedl na trh vlastní *Ambisonics* mikrofon, který se, minimálně podle vzorku mnou oslovených tvůrců, stal poměrně **oblíbeným** produktem, protože ho vlastní všichni z nich. Jeho výstupem je *A-Format*, který je softwarovým plug-inem dodávaným výrobcem překonvertován na *B-Format*. Jde tedy o podobný případ jako

²⁴⁰ SoundField SPS200 Software Controlled Microphone [online]. Dostupné z: <http://www.soundfield.com/products/sps200>.

²⁴¹ ST450 MK II SoundField Portable [online]. Dostupné z: <http://www.soundfield.com/products/st450mk2>.

SoundField SPS200, ale *Sennheiser* je zhruba o polovinu **levnější** a na kvalitu jeho výstupu si nikdo nestěžoval.²⁴² Anne Jimkes tento mikrofon dokonce velmi chválí. A pozitivně se vyjadřuje i Florent Dumas z francouzského studia *Novelab*.

Anne Jimkes: „Velkou výhodou mikrofonu *Sennheiser Ambeo* je, že především jeho kapsle jsou založeny na letech zkušeností s vývojem mikrofonů a podpoře týmu, který neustále hledá cesty, jak mikrofon zlepšit. Například naše společnost *EccoVR* měla se *Sennheiserem* dohodu, která nám ho umožňovala testovat během vývoje.“

Florent Dumas: „Používal jsem *SoundField SPS200* i *Ambeo* a zdá se, že *Ambeo* má celkově jasnější zvuk.“



Obrázek 18 - *Sennheiser Ambeo VR Mic*

Core Sound TetraMic

Výstupem tohoto mikrofonu je opět *A-Format*, který je softwarem převeden na *B-Format*. Jeho výhodou je ještě o něco nižší **cena**, než nasadil *Sennheiser*, a zároveň výrobce tvrdí, že kvalita je srovnatelná s dražšími konkurenty. Dalšími výhodami jsou velmi **drobné rozměry** (12 x 1,2 cm) a **nízká váha**, což mimo jiné usnadňuje umístění pod kamerou.²⁴³



Obrázek 19 - *Core Sound TetraMic*

²⁴² Sennheiser Ambeo VR Mic [online]. Dostupné z: <https://en-us.sennheiser.com/microphone-3d-audio-ambeo-vr-mic>.

²⁴³ Core Sound Tetra Mic [online]. Dostupné z: <http://www.core-sound.com/TetraMic/1.php>.

3.1.2 Ambisonics vyšších řádů

mh acoustics Eigenmike em32

Eigenmike obsahuje 32 elektretových kapslí osazených na mikrofonní hlavě ve tvaru koule s průměrem 8,4 cm, umožňuje tedy zachytit *Ambisonics* **4. řádu**. Uvnitř mikrofonu jsou umístěny i **předzesilovače** pro jednotlivé kapsle a 24-bitový A/D **převodník**. Převedený digitální signál putuje přes síťový **ethernet** kabel do speciální **jednotky**, která jednak mikrofon napájí a jednak signál dále převádí do proudu, jenž odesílá přes Firewire nebo USB do počítače. Na PC musí být nainstalována **aplikace** dodávaná s mikrofonem a ta signál přijímá jako 32-kanálový signál, který dokáže nahrávat, různými způsoby manipulovat a zakódovat do *B-Formatu*. Ti, kteří měli možnost s ním pracovat, nešetří slovy chvály, ale **cena** tohoto mikrofonu se bohužel šplhá do statisíců.²⁴⁴

prof. Angelo Farina: „Mým nejoblíbenějším mikrofonem ze všech 13, které vlastním, je *Eigenmike* díky své všestrannosti a zvukové kvalitě.“



Obrázek 20 - mh acoustics Eigenmike eh32

Zylia ZM-1

Poměrně **nový** mikrofon osazený 19 kapslemi opět uspořádanými do tvaru koule s průměrem cca 10 cm. Připojuje se přes **USB** rozhraní přímo k počítači a záznam probíhá pomocí softwaru poskytnutého výrobcem. Zaznamenanou nahrávku je poté možné pomocí plug-inu od výrobce převést na *B-Format* až **3. řádu**. **Cena** je poměrně příznivá a pohybuje se v podobné relaci jako *Core Sound TetraMic*.²⁴⁵

²⁴⁴ Mhacoustic Products [online]. Dostupné z: <https://mhacoustics.com/products>.

²⁴⁵ Zylia [online]. Dostupné z: <http://www.zylia.co/>.



Obrázek 21 - Zylia ZM-1

3.1.3 Ostatní

Schoeps ORTF-3D

Za zmínku stojí i tento **nový osmikanálový** systém, který vyvinula firma *Schoeps*. **Není** sice založen na principu *Ambisonics*, ale zato jeho tvůrci tvrdí, že má **lepší** výsledky v **prostorovém rozlišení** než mikrofony prvního řádu, má velký *sweet-spot* při reprodukci, zní přirozeněji a zároveň je poměrně úsporný, co se týče počtu kanálů. Na druhou stranu je tento systém poměrně **velký**. Obsahuje 8 superkardioidních mikrofonů ve **dvou plánech** nad sebou a tvoří obdélník o velikosti 20 x 10 cm. Každé dva mikrofony nad sebou tvoří XY pár, přičemž jeden míří dolů a druhý nahoru. Výstupem je **osm stop** (L, R, LS, RS, Lh, Rh, LSh, RSh), které jsou zpracovány nejčastěji některým z prostorových pannerů. Výrobce píše, že je *ORTF-3D* vhodný pro 360° videa, VR hry i systémy jako *Dolby Atmos*.²⁴⁶ Jeho **cena** je ovšem obdobná jako v případě *Eigenmiku*.



Obrázek 22 - Schoeps ORTF-3D

²⁴⁶ "ORTF-3D": A Microphone setup for 3D Audio and VR ambience recording [online]. Dostupné z: <http://www.hauptmikrofon.de/stereo-3d/3d-audio/ortf-3d>.

4 POSTPRODUKCE 360° DĚL

Zpracování zvukové stopy probíhá zpravidla v *DAW*, na které je daný mistr zvuku zvyklý, ale musí mít nainstalovaný **speciální nástroj** v podobě sady plug-inů schopných pracovat s technikou *Ambisonics*. Takových nástrojů fungujících na podobném principu už dnes existuje několik, např. od firem *Audio Ease*, nebo *G'Audio*. Vymyká se zbrusu nový nástroj *dearVR Spatial Connect*, který po propojení s *DAW* umožňuje plně virtuální proces mixáže, např. za pomoci „headsetu“ *HTC Vive* a jeho ovladačů.²⁴⁷ Já jsem se u praktické ukázky rozhodl pro *facebook 360 Spatial Workstation*, který uvedli jako používaný software i všichni oslovení tvůrci.

facebook 360 Spatial Workstation

Tento nástroj začala vyvíjet již zmíněná firma *Two Big Ears*, kterou v průběhu vývoje koupil *Facebook*, a zdá se být **nejmasověji** využívaným a nejúplnějším nástrojem tohoto druhu na trhu. *Avid* ho dokonce v průběhu psaní této práce zavedl jako standardní výbavu *Pro Tools HD* od verze 12.8.2.²⁴⁸ Obsahuje v sobě nejen plug-iny nutné ke zvukové postprodukcii, ale dokonce i **enkodér**, který finální zvukovou/é stopu/y spojuje s obrazem ve výsledné formáty určené pro různé platformy.

Po nainstalování *Spatial Workstation* do počítače je možné s tímto nástrojem ihned začít pracovat. V případě použití *Pro Tools* jako *DAW* je však nutné mít verzi **Pro Tools HD**, jelikož ostatní verze **nepodporují** vícekanálový mix a verze **nižší** než 12.8.2 vyžadují použití *Spatial Workstation v2.2.1* nebo nižší. V kořenovém adresáři nainstalovaného nástroje jsou k nalezení **šablony** projektu pro *Pro Tools*, *Nuendo* a *Reaper* a je doporučeno je používat, protože správné nasměrování signálu projektem je poměrně složité.

První **tři** stopy jsou nachystány pro zvuky, které **mají** být na výstupu zakódovány do **Ambisonics** – první stopa s mono vstupem, druhá se stereo vstupem a třetí s *B-Format* vstupem. Každá z nich má na sobě zavěšený plug-in *Spatializer*, ke kterému se ještě vrátím, a před tímto plug-inem je možné na ně zavěsit např. EQ, kompresor, apod. Nepotřebné stopy

²⁴⁷ DearVr 3D audio reality engine [online]. [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: <http://dearvr.com/>

²⁴⁸ Ambisonics and VR/360 Audio in Pro Tools | HD [online]. Dostupné z: <http://www.avidblogs.com/ambisonics-vr360-audio-pro-tools-hd/>.

lze samozřejmě vymazat a potřebné naopak zduplikovat. Tyto stopy jsou odesílány přes bus do **3D Masteru**, kde dochází ke kontrole hlasitosti pomocí *Mix Loudness* plug-inu a z 3D Masteru putuje do **Control PlugIn** stopy s plug-inem *Control*, který mimo jiné obsahuje binaurální dekodér. Z **Control PlugIn** jde signál konečně do stopy **BinauralOut**, odkud už hraje do sluchátek. Další **dvě** stopy (**Audio 1** a **2**) jsou nachystány pro mono nebo stereo stopy, které **nemají** být kódovány do *Ambisonics* a při přehrávání se jejich charakter ani poloha nemají nijak měnit (tedy např. voice-over nebo nediegetická hudba). Tyto přídatné statické dva kanály však kromě *Facebooku* moc platform nepodporuje. Tyto dvě stopy jsou odesílány do **Head-Locked Master**, odkud dále putují do sluchátek. Nakonec poslední **tři** stopy slouží k **zaznamenání** a následnému exportu jak prostorové *Ambisonics* stopy, tak statické stereo stopy.

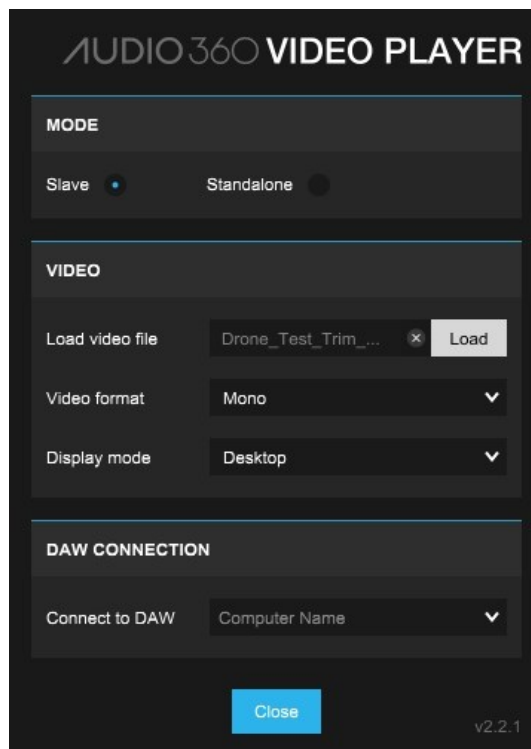


Obrázek 23 - Šablona *fb360 SW v2.2.1* otevřená v *Pro Tools HD 12.5*

4.1 Praktická ukázka postprodukce

V prvé řadě je třeba ze střížny dostat **správný** formát **video** souboru. *Spatial Workstation* podporuje kontejner *Quicktime* (.mov) v kodeku *DNxHD/DNxHR* ideálně s nízkou šířkou pásma a maximálním rozlišením 3840x2160, monoskopický nebo stereoskopický formát

(horizontální i vertikální).²⁴⁹ **Video** se **nekládá** přímo do **projektu**, jako obvykle, ale po spuštění *DAW* se šablonou je třeba z kořenového adresáře nástroje spustit *Video Player*, kde je možné provést různá nastavení a otevřít video, které se objeví v samostatném okně.



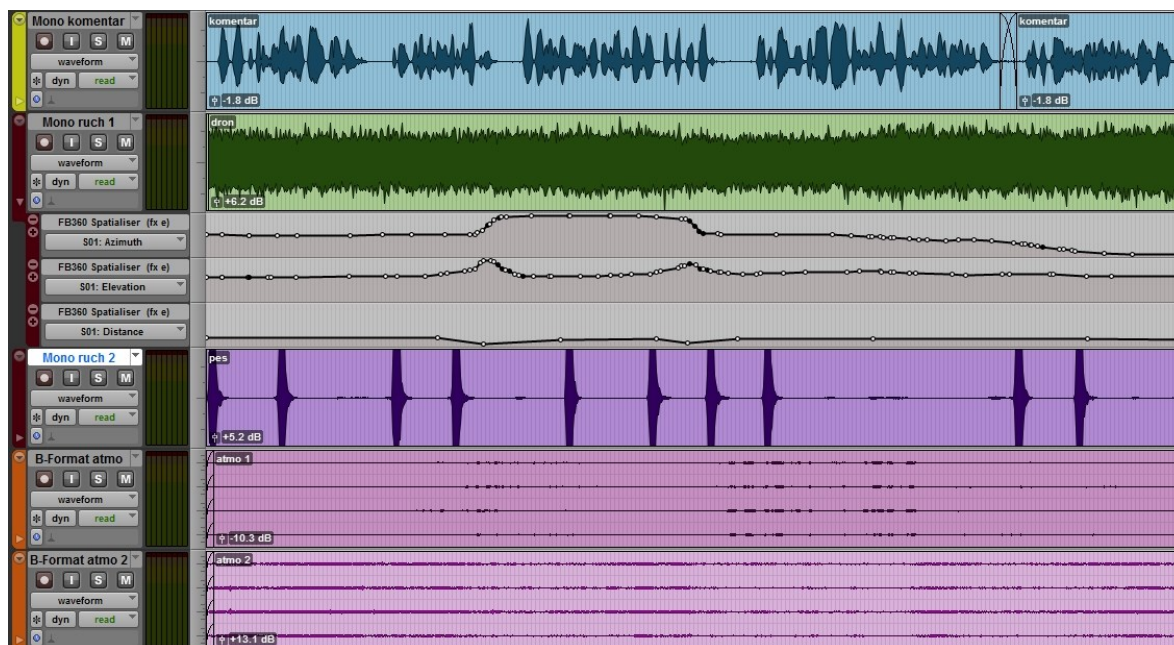
Obrázek 24 - *Mode* – určuje, zda bude VP řízen z DAW; *Video Format* – monoskopický, nebo stereoskopický; *Display Mode* – obrazovka, nebo headset (Oculus Rift, HTC Vive); *DAW Connection* – nastavuje se v případě použití jiného PC jako video přehrávače



Obrázky 25 a 26 - Vlevo – deformované video v běžném přehrávači; Vpravo – správně zobrazené video ve *fb360 SW Video Playeru*

²⁴⁹ Video Format Guidelines [online]. Dostupné z: <https://fb360spatialworkstation.zendesk.com/hc/en-us/articles/207888049-Video-Format-Guidelines>.

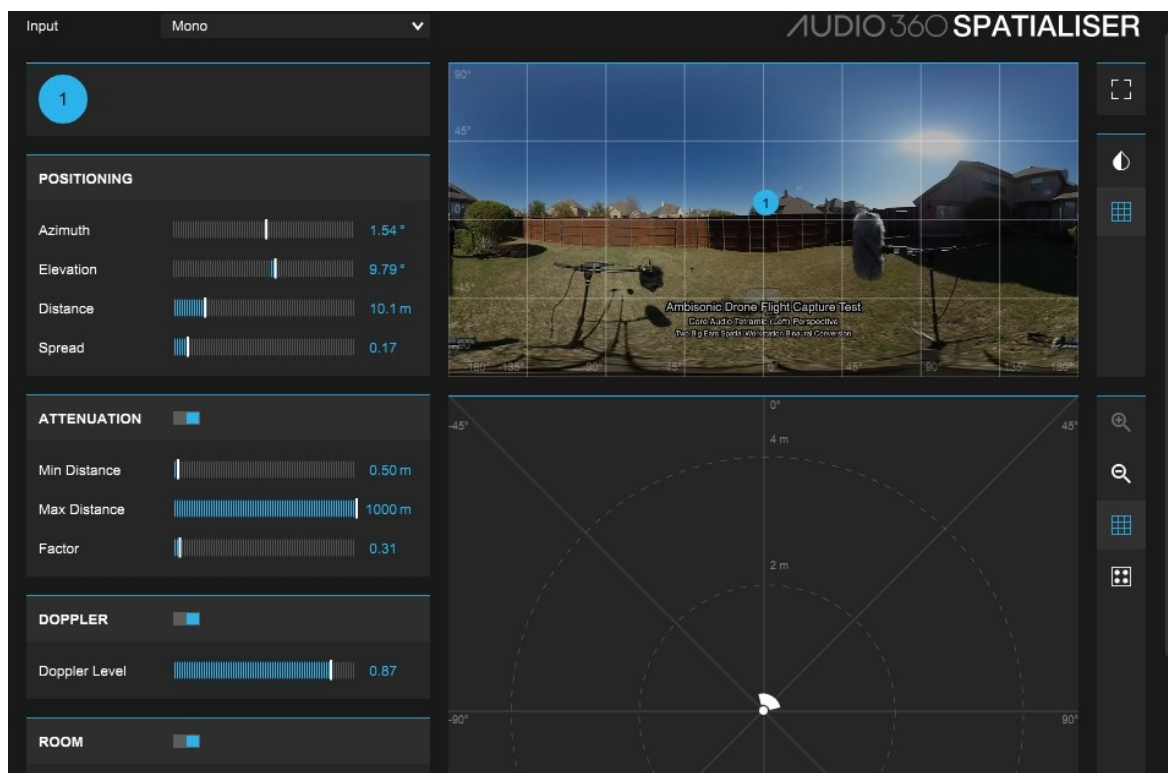
Já jsem si pro tento účel stáhl krátké testovací 360° video s létajícím dronem dostupné na stránkách zákaznické podpory *Spatial Workstation*²⁵⁰ a zvukové stopy z audio bank. Šablonu jsem si upravil tak, aby vyhovovala mým potřebám, co se týká stop (počtu, druhu,..). Použil jsem dvě atmosféry v *B-Formatu*, dva mono ruchy a komentář.



Obrázek 27 - Stopy mého projektu s automatizací polohy a vzdálenosti

Jak už jsem zmínil, na **každé** stopě s ruchy, atmosférami atd. je nasazen plug-in *Spatializer*, který funguje de facto jako 3D objektový, či *Ambisonics* panner a umožňuje v případě *B-Formatu* rotaci zvukového pole ve všech osách. V případě jednotlivých ruchů je možno pomocí myši sledovat jejich polohu, vzdálenost atd. na dvou pannerech, což se zapisuje do automatizace (tu je samozřejmě třeba nejprve povolit pro dané parametry). Na jedné stopě může takto být automatizováno až **sedm** ruchů, ale musí být spojeny a nasazeny v podobě jedné 7.0 stopy, přičemž *Spatializer* potom s každým kanálem této stopy pracuje samostatně.

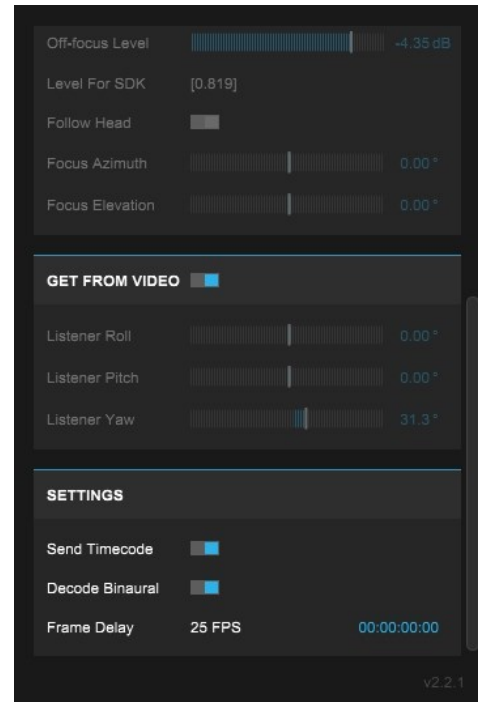
²⁵⁰ Video Format Guidelines [online]. Dostupné z: <https://fb360spatialworkstation.zendesk.com/hc/en-us/articles/207888049-Video-Format-Guidelines>.



Obrázek 28 - Vlevo - *Input* – zdrojová stopa, od mona, přes B-Format až po 7.0; pod ním čísla jednotlivých zvukových objektů s možností mezi nimi přepínat; *Positioning* – parametry určující polohu, vzdálenost a rozprostření zvuk. objektu; *Attenuation* – simulace klesající a stoupající intenzity s ohledem na vzdálenost; *Doppler* – simulace dopplerova efektu; *Room* – simulace dozvuku místnosti; Vpravo – dva pannery pod sebou, první řeší polohu objektu, druhý jeho vzdálenost

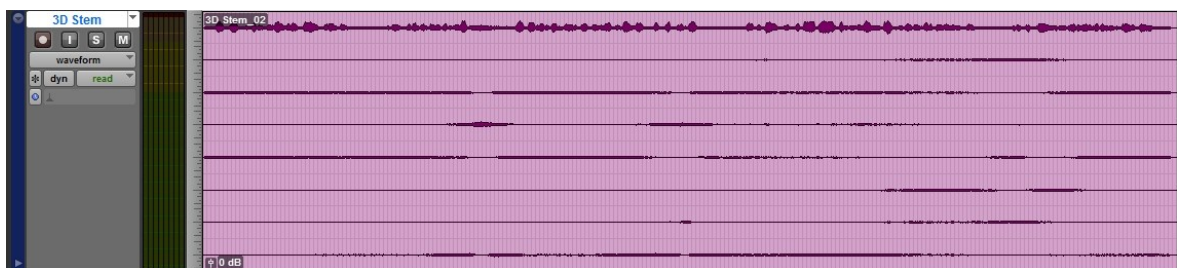
Jelikož bylo třeba, aby komentář zůstal **statický**, ať divák dělá cokoli, a např. *Youtube* **nepodporuje** zvláštní dvě stopy pro tento účel jako např. *Facebook*, vyřešil jsem tento problém **deaktivací** plug-inu *Spatializer* na dané stopě, což mělo ten následek, že se její výstup objevil pouze v kanálu *W*, který nenesou směrovou informaci.

Důležitým článkem řetězce je i plug-in *Control*, který má vliv na **všechny** stopy kódované do *Ambisonics*. Je **komunikačním** článkem mezi *Video Playerem* a *DAW*, obsahuje **binaurální dekodér** pro správný poslech při míchání na sluchátkách a také **globálně** nastavuje **dozvuk** místnosti.



Obrázky 29 a 30 - *Global Room* – nastavení dozvuku pro všechny stopy; *Mix Focus* – částečné potlačení zvuku z jiných stran, než kam se zrovna mistr zvuku dívá (nepromítá se do finálního exportu!); *Get From Video* – komunikace s Video Playerem; *Settings* – komunikace s Video Playerem a vypínání/zapínání binaurálního dekodéru

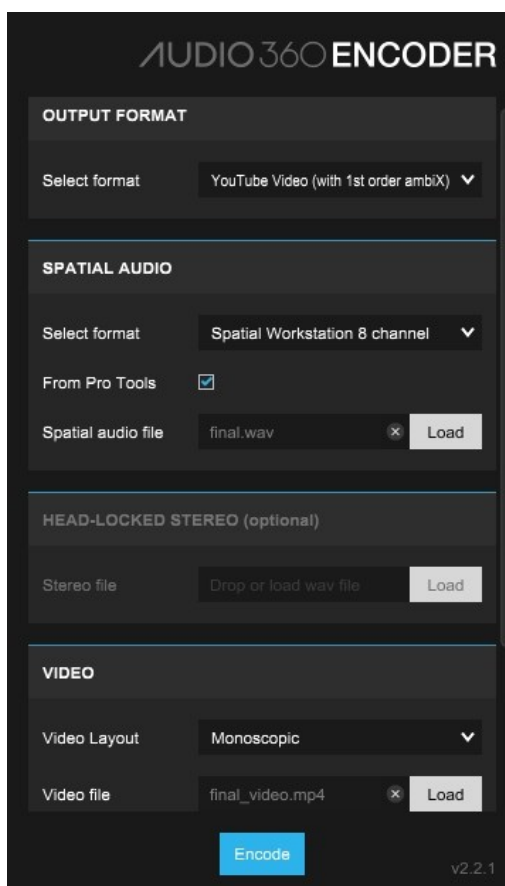
Export potom probíhá tak, že do přednastavené stopy *3D Stem* (případně do *Head-Locked Stem*, pokud je exportována i statická stereo stopa) je **nahrán** výsledek, který je potom **označen a vyexportován** pomocí klávesové zkratky Ctrl + Shift + K (Cmd + Shift + K u Macu).



Obrázek 31 - Výsledná *Ambisonics* stopa mého testovacího projektu

4.2 Enkódování konečného výstupu

Součástí *Spatial Workstation* je i **enkodér**, který je schopen **spojit** finální **obraz** (kontejner .mp4 v kodeku H.264) a **zvuk** do jednoho souboru. Zároveň do něj vloží i potřebná **metadata** podle zvolené platformy – každá platforma může mít (a často má) jiné požadavky, takže takovýchto exportů je zpravidla třeba udělat víc. Enkodér potřebuje ke své funkci ještě dodatečně nainstalování programovacího prostředí *Python* a nástroje *MP4Box*.



Obrázek 32 - *Output Format* – slouží k výběru požadované platformy; *Spatial Audio* – nastavení vkládaného formátu audia (při exportu z *Pro Tools* je třeba zaškrtnout danou položku!); *Head-Locked Stereo* – vložení statické stereo stopy (pokud daná platforma nepodporuje, znepřístupní se); *Video* – nastavení vkládaného formátu videa

4.3 Koncové dekódování

Díky injektáži potřebných **metadat**, kterou provádí *Encoder* stačí jen **nahrát** video na danou **platformu** a ta už si s ním **poradí**, ale zpracování může trvat i v řádu hodin. Když si potom uživatel video pustí, zanalyzuje **dekódovací skript** (umístěný na webové stránce, nebo

integrováný v mobilní aplikaci) podle dat poskytnutých operačním systémem, jakým způsobem má signál ze serveru dekodovat (binaurálně, 5.1,...), jak tvrdí profesor Farina. Toto jsem i sám vyzkoušel. Nicméně dekodování do formátu 5.1 v době psaní této práce funguje jenom na *Youtube*. *Facebook*, zdá se, dokáže dekodovat jen binaurálně. Prof. Farina také říká, že dekodování *Ambisonics* není příliš náročné na výpočetní výkon, protože zvukové pole se přizpůsobuje divákovým pohybům ještě před fází dekodování, takže *HRTF* se nemusí měnit, ale mohou zůstat statické. V podobném duchu jako prof. Farina se vyjadřuje i Abesh Thakur, jeden ze zaklatelů společnosti *Two Big Ears*, který nyní pracuje pro *Facebook* na dalším vývoji *fb360 Spatial Workstation*.

Abesh Thakur: *“Audio engine zodpovědný za dekodování je ukotven v aplikaci, nebo ve skriptu webové stránky, tedy na klientské straně, z pochopitelných důvodů.[...] Dekodování prostorového zvuku je jenom zlomkem požadavků, které má na HW dekodování videa (asi 4-5 %).“*

Kevin Bolen: *„Audio je vždy tím nejmenším prvkem, co se týče datové velikosti, tak potřebného výpočetního výkonu. Společnosti jako Qualcomm také přidávají do svých zvukových karet DSP procesory, které umožňují hardwarově akcelarovat dekodování Ambisonics do binaurálního stera.“*

ZÁVĚR

Jelikož je audiovizuální průmysl pravděpodobně na prahu určité „revoluce“ v podobě pomalé **transformace** do **virtuální reality**, došlo k prozatímnímu **roztržštění** oboru a existují různé přístupy k 3D zvuku, ať už jsou to **kanálově** orientované techniky, **objektově** orientované techniky nebo **Ambisonics**. Na poli imerzivních audiovizuálních děl zatím na plné čáře vítězí *Ambisonics*, ale otázkou je, co se stane, až 360° díla přestanou stačit a audiovize se bude chtít přiblížit plné virtuální realitě. Možná dojde ke spojení technik *Ambisonics* či *SPS* s objektově orientovanými technikami stejně jako ve VR hrách, anebo vznikne úplně jiná, dokonalejší metoda. Další otázkou je, jak se změní způsob práce při mixáži – už nyní je možné míchat plně virtuálně pomocí nástroje *dearVR Spatial Connect*, čehož někteří tvůrci naplno využívají. A co přinesou objektově orientované koncepty, jako projekt *Orpheus*, umožňující divákovi smíchat si **vlastní** zvukovou stopu? Bude vůbec mistr zvuku ještě potřebnou profesí? Na druhou stranu je možné, že trend imerzivních děl a podobných konceptů postupně **vyšumí**, stejně jako zájem o 3D obraz počínající už první polovinou 20. století, který přichází a opadáva ve vlnách. A s tímto trendem možná opadne i snaha o transformaci ve virtuální realitu. Nicméně v případě, že má tato „revoluce“ uspět, musí se všechny profese **naučit** s tímto formátem **pracovat**, a to především scénáristé. U nás zatím moc imerzivních děl nevzniká, a když, tak spíše reklamního rázu. Místní vysoké školy se do jejich podpory také příliš nehrnou zřejmě z finančních důvodů a jistě prozatímní nedůvěry.

Na poli zvuku je ještě mnoho práce, než bude ve stavu, který by se přibližoval ideálu pro současnou potřebu. Je třeba ujednotit standardní **formát** (resp. jeden typ *B-Formatu*), začlenit do praxe **technologie**, která umožňuje naslouchání informace s dostatečným prostorovým rozlišením za rozumnou cenu. Např. v našich podmínkách je totiž hlavně z časových a finančních důvodů těžko představitelné budovat 3D scény z jednotlivých ruchů, jak je to praktikováno v USA. Nicméně z dnes dostupných mikrofonů, které jsou schopny zachytit prostorový zvuk (*Ambisonics* prvního řádu) a zároveň mají přijatelnou cenu, se tvůrci shodují na *Sennheiser Ambeo VR Mic* jako na nejlepší možnosti. Dále musí dojít ke změně na poli **reprodukce** hlavně v domácím prostředí a tomu odpovídajícím způsobem i při mixáži. Současná nejpoužívanější metoda – sluchátka - sice funguje relativně dobře, ale je využitelná de facto jen pro jediného diváka. Distribuční **platformy** by také měly postupně začít podporovat vyšší řády *Ambisonics* a individualizované *HRTF* filtry, protože současné rozlišení v podobě prvního a druhého řádu, navíc ve spojení např. s *HRTF* figuríny (*Youtube*)

je podle mých testů výstupu z praktické části práce i názorů oslovených odborníků nedostatečné pro opravdu imerzivní zážitek. I proto by mohl být do budoucna velmi důležitý chystaný **standard MPEG-H**, jelikož bude podporovat *Ambisonics* vyšších řádů a navíc i objektově orientované plus kanálově orientované audio. Nakonec bude třeba snížit **finanční nároky** spojené s výrobou imerzivních děl, jež jsou zatím, alespoň na naše poměry, poměrně vysoké.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SOUSA, Fabio Wanderley Janhan. The development of a "Virtual studio" for monitoring Ambisonic based multichannel loudspeaker arrays through headphones. York, UK, 2011. Disertační práce. The University of York.
- [2] BLUMLEIN, Alan Dower. . Improvements in and relating to Sound-transmission, Sound-recording and Sound-reproducing Systems. Velká Británie. 394325. Uděleno 14. 6. 1933.
- [3] DANIEL, Arteaga. Introduction to Ambisonics. Barcelona: Universitat Pompeu Fabra, 2017. Lecture notes.
- [4] DANIEL, Jérôme, Rozenn NICOL a Moreau SÉBASTIEN. Further Investigations of Higher Order Ambisonics and Wavefield Synthesis for Holophonic Sound Imaging. In: . Amsterdam: AES Convention 114, 2003.
- [5] POWER, Paul James. Future Spatial Audio: Subjective Evaluation of 3D Surround Systems. Salford, UK, 2015. Disertační práce. University of Salford.
- [6] GANZ, Cheryl. The 1933 Chicago World's Fair: century of progress. Urbana: University of Illinois Press, c2008. ISBN 978-025-2033-575.
- [7] HE, Jianjun. Spatial audio reproduction using primary ambient extraction. Singapore, 2016. Disertační práce. Nanyang Technological University.
- [8] WIGGINS, Bruce. An investigation into the real-time manipulation and control of three-dimensional sound fields. Derby, UK, 2004. Disertační práce. University of Derby.
- [9] KAPRALOS, Bill, Michael R. M. JENKIN a Evangelos MILIOS. Auditory Perception and Spatial (3D) Auditory Systems. York, UK: University of York, 2003. Technical Report.
- [10] GREČNÁR, Ján. Zvuková realizácia filmu: umenie majstra zvuku. Bratislava: Juga, 2012. ISBN 978-80-89030-50-7.
- [11] WIGGINS, Bruce. Has Ambisonics come of age? In: Reproduced Sound 24 Conference Proceedings Vol 30. Pt 6. Institute of Acoustics, 2008. ISBN 9781605606811.
- [12] HOLLERWEGER, Florian. An Introduction to Higher Order Ambisonic. 2008.
- [13] VINKEL, Simone Patricia. Exploration of First-Order Ambisonics Usage in VR Concert Experiences: The effect on Presence and Perceptual Quality of Spatial Sound. Copenhagen, 2015. Diplomová práce. Aalborg University Copenhagen.

- [14] MELCHIOR, Frank, Andreas GRÄFE a Andreas PARTZSCH. Spatial audio authoring for Ambisonics reproduction. In: . Graz: Ambisonics symposium 2009, 2009.
- [15] YUE, Cedric a Teun de PLANQUE. 3-D Ambisonics Experience for Virtual Reality. Stanford University, 2017.
- [16] CENGARLE, Giulio. 3D audio technologies: applications to sound capture, post-production and listener perception. Barcelona, 2012. Disertační práce. Universitat Pompeu Fabra.
- [17] ORTOLANI, Francesca. Introduction to Ambisonics: A tutorial for begginers in 3D audio. Ironbridge Electronics, 2015.
- [18] HARTMANN, William M., Brad RAKERD, Zane D. CRAWFORD a Peter Xinya ZHANG. Transaural experiments and a revised duplex theory for the localization of low-frequency tones. In: The Journal of the Acoustical Society of America. 2016, 139(2), s. 968-985. DOI: 10.1121/1.4941915. ISSN 0001-4966. Dostupné také z: <http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.4941915>
- [19] CABRERA, Densil. Reproduction of Room Sound-fields for Subjective Assesment. In: Proceedings of Acoustics 2005. Busselton, Western Australia: Australian Acoustical Society, 2005.
- [20] SCAINI, Davide a Daniel ARTEAGA. Decoding of higher order Ambisonics to irregular periphonic loudspeaker arrays. AES Conference: 55th Intenational Conference: Spatial Audio: AES, 2014.
- [21] BERTET, Stéphanie, Jérôme DANIEL, Etienne PARIZET, Laëtitia GROS a Olivier WARUSFEL. Investigation of the perceived spatial resolution of higher order Ambisonics sound fields: A subjective evaluation involving virtual and real 3D microphones. In: . AES Conference: 30th International Conference: Intelligent Audio Environments: AES, 2007.
- [22] MOREAU, Sébastien, Jérôme DANIEL a Stéphanie BERTET. 3D Sound Field Recording with Higher Order Ambisonics - Objective Measurements and Validation of a 4th Order Spherical Microphone. AES 120th Convention, Paris, France: AES, 2006.
- [23] MOREAU, Sébastien a Jérôme DANIEL. Study of Higher Order Ambisonic Microphone. 7ème Congrès Français d'Acoustique (Joint congress CFA-DAGA'04). 2004.
- [24] DANIEL, Jérôme a Sébastien MOREAU. Further Study of Sound Field Coding with Higher Order Ambisonics. In: . 116th Convention, Berlin, Germany: AES, 2004.

- [25] ABBOTT, Nathan Lyle William. Scene Spatialisation in Object-Based Audio: An Analysis of Interchange Formats for Advanced Electroacoustic Rendering Methods. Adelaide, Australia, 2015. Bakalářská práce. University of Adelaide.
- [26] HAMASAKI, Kimio, Setsu KOMIYAMA, Koichiro HIYAMA a Hiroyuki OKUBO. 5.1 and 22.2 Mutichannel Sound Productions Using an Integrated Surround Sound Panning System. In: . 117th Convention: AES, 2005.
- [27] HERRE, Jürgen, Johannes HILPERT, Achim KUNTZ a Jan PLOGSTIES. MPEG-H 3D Audio - The New Standard for Coding of Immersive Spatial Audio. In: . IEEE Journal of selected topics in signal processing 9.5, 2015.
- [28] HERRE, Jürgen, Johannes HILPERT, Achim KUNTZ a Jan PLOGSTIES. MPEG-H Audio - The New Standard for Universal Spatial / 3D Audio Coding. In: . Journal of the Audio Engineering Society 62.12, 2015.
- [29] OLDFIELD, Robert, Ben SHIRLEY a Jens SPILLE. Object-based audio for interactive football broadcast. In: Multimedia Tools and Applications. 2015, 74(8), s. 2717-2741. DOI: 10.1007/s11042-013-1472-2. ISSN 1380-7501. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s11042-013-1472-2>
- [30] ORPHEUS - Object - Based Audio Experience [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <https://orpheus-audio.eu/>
- [31] OLDFIELD, Robert, Ben SHIRLEY a Jens SPILLE. An object-based audio system for interactive broadcasting. AES 137th Convention, Los Angeles, USA: AES, 2014.
- [32] JACKSON, Philip, et al. Object-Based Audio Rendering. In: . Guildford, UK: University of Surrey, arXiv preprint arXiv:1708.07218, 2017.
- [33] BEACK, Seungkwon, Jongmo SUNG, Jeongil SEO a Taejin LEE. MPEG Surround Extension Technique for MPEG-H 3D Audio. In: ETRI Journal. 2016, 38(5), s. 829-837. DOI: 10.4218/etrij.16.2615.0014. ISSN 1225-6463. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.4218/etrij.16.2615.0014>
- [34] PULKKI, Ville a Tapio LOKKI. Creating Auditory Displays with Multiple Loudspeakers Using VBAP: A Case Study with DIVA Project. In: International Conference on Auditory Display 1998. 1998.
- [35] PULKKI, Ville. Spatial sound generation and perception by amplitude panning techniques. Espoo: Helsinki University of Technology, 2001. ISBN 95-122-5531-6.

- [36] PULKKI, Ville. Virtual Sound Source Positioning Using Vector Base Amplitude Panning. In: Journal of the audio engineering society. 45. AES, 1997.
- [37] PULKKI, Ville. Generating panning tools for MAX/MSP. In: Proceedings of International Computer Music Conference 2000. Berlin, Germany: International Computer Music Association, 2000.
- [38] FRANK, Matthias, Franz ZOTTER a Alois SONTACCHI. Producing 3D Audio in Ambisonics. In: . AES 57th International Conference, Hollywood, CA: AES, 2015.
- [39] RANJAN, Rishabh a Woon-Seng GAN. Wave Field Synthesis: The Future of Spatial Audio. In: IEEE Potentials. 2013, 32(2), s. 17-23. DOI: 10.1109/MPOT.2012.2212051. ISSN 0278-6648. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6482237/>
- [40] ROHR, Lukas, Etienne CORTEEL, Khoa-Van NGUYEN a Hervé LISSEK. Vertical Localization Performance in a Practical 3-D WFS Formulation. In: Journal of the AES. 61. AES, 2013.
- [41] NACHBAR, Christian, Franz ZOTTER, Etienne DELEFLIE a Alois SONTACCHI. AmbiX - a suggested Ambisonics format. In: Ambisonics Symposium 2011. Lexington, 2011.
- [42] CHAPMAN, Michael a Philip COTTERELL. Towards a comprehensive account of valid Ambisonic transformations. In: Ambisonics Symposium 2009. Graz, 2009
- [43] MALHAM, Dave. Higher order Ambisonics. York, UK, 2003. University of York. Abstraction from Mphil thesis.
- [44] KRONLACHNER, Matthias. Spatial Transformations for the Alteration of Ambisonic Recordings. Graz, 2014. Diplomová práce. University of Music and Performing Arts, Graz.
- [45] CHAPMAN, Michael, et. al. A standard for interchange of Ambisonic signal sets Including a file standard with metadata. In: Ambisonics Symposium 2009. Graz, 2009.
- [46] GARAS, John. Adaptive 3D sound systems. Eindhoven, 1999. ISBN 90-386-1640-6. Disertační práce. Technische Universiteit Eindhoven
- [47] POTISK, Tilen. Head-Related Transfer Function. Ljubljana, 2015. Seminární práce. University of Ljubljana.

- [48] MCKENZIE, Thomas, Damian MURPHY a Gavin KEARNEY. Diffuse-field equalisation of first-order Ambisonics. In: Proceedings of the 20th International Conference in Digital Audio Effects. 2017.
- [49] VENNERØD, Jakob. Binaural Reproduction of Higher Order Ambisonics: A Real-Time Implementation and Perceptual Improvements. Trondheim, 2014. Diplomová práce. Norwegian University of Science and Technology.
- [50] BEGAULT, Durand R. 3-D sound for virtual reality and multimedia. Boston: AP Professional, c1994. ISBN 0120847353.
- [51] MALHAM, Dave. Approaches to spatialisation. Journal Organised Sound. New York, USA: Cambridge University Press, 1998, 3(2).
- [52] KENDALL, Gary S. A 3-D Sound Primer: Directional Hearing and Stereo Reproduction. Computer Music Journal [online]. The MIT Press, 1995 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.jstor.org/stable/3680989?origin=JSTOR-pdf>
- [53] POWER, Paul, Chris DUNN a Jos HIRST. Localisation of Elevated Sources in Higher-Order Ambisonics [online]. BBC, 2013 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.bbc.co.uk/rd/publications/whitepaper261>. Research & Development White Paper.
- [54] SONTACCHI, Alois, Franz ZOTTER a Robert HÖLDRICH. 3D sound field rendering under non-idealized loudspeaker arrangements. In: The Journal of the Acoustical Society of America. 2008, 123(5), s. 3652-3652. DOI: 10.1121/1.2934946. ISSN 0001-4966. Dostupné také z: <http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.293494>
- [55] GERZON, Michael A. Periphony: With-Height Sound Reproduction. Journal AES. 1973, 21(1).
- [56] BENJAMIN, Eric. Ambisonic Loudspeaker Arrays. In: . 125th Convention , San Francisco, CA: AES, 2008.
- [57] ARTEAGA, Daniel. An Ambisonics decoder for irregular 3D loudspeaker arrays. In: . 134th Convention, Rome, Italy: AES, 2013.
- [58] ZHU, Rong, Chang-chun BAO, Mao-shen JIA a Bing BU. The design of ambisonics decoders for irregular speaker array conforming to subjective perception. In: 2014 International Conference on Audio, Language and Image Processing. IEEE, 2014, 2014, s.

721-725. DOI: 10.1109/ICALIP.2014.7009889. ISBN 978-1-4799-3903-9. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7009889/>

[59] FAVROT, Sylvain, Marton MARSCHALL, Johannes KÄSBACH, Jörg BUCHHOLZ a Tobias WELLER. Mixed-order Ambisonics recording and playback for improving horizontal directionality. In: Proceeding of the audio engineering society 131st convention. AES, 2

[60] PELZER, Sönke, Bruno MASIERO a Michael VORLÄNDER. 3D reproduction of room auralizations by combining intensity panning, crosstalk cancellation and Ambisonics. In: Proceedings of the EAA Joint Symposium on Auralization and Ambisonics. 2014.

Internetové zdroje

[1] Brahma Ambisonics Microphone Review [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://www.pro-tools-expert.com/home-page/2014/8/21/brhma-ambisonics-microphone-review.html>

[2] Zoom H2N Handy Recorder [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://www.zoom-na.com/products/field-video-recording/field-recording/zoom-h2n-handy-recorder>

[3] Video Format Guidelines [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://fb360spatialworkstation.zendesk.com/hc/en-us/articles/207888049-Video-Format-Guidelines>

[4] Ambeo VR Mic for 360 and VR videos, 2. díl, Recording. In: Youtube.com [online]. 21. 8. 2017 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=45RVqfHWHBc>

[5] SoundField SPS200 Software Controlled Microphone [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.soundfield.com/products/sps200>

[6] ST450 MK II SoundField Portable [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.soundfield.com/products/st450mk2>

[7] Sennheiser Ambeo VR Mic [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://en-us.sennheiser.com/microphone-3d-audio-ambeo-vr-mic>

[8] Core Sound Tetra Mic [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.core-sound.com/TetraMic/1.php>

- [9] Mhacoustic Products [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://mhacoustics.com/products>
- [10] Zylia [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.zylia.co/>
- [11] "ORTF-3D": A Microphone setup for 3D Audio and VR ambience recording [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.hauptmikrofon.de/stereo-3d/3d-audio/ortf-3d>
- [12] Ambisonics and VR/360 Audio in Pro Tools | HD [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.avidblogs.com/ambisonics-vr360-audio-pro-tools-hd/>
- [13] HRTF and personalization. 3D Sound Labs [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://pro.3dsoundlabs.com/category/personal-hrtfs/>
- [14] Conversion from Ambisonics to TBE (and back). Angelofarina.it [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.angelofarina.it/TBE-conversion.htm>
- [15] Ambisonics Explained: A Guide for Sound Engineers. Waves.com [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://www.waves.com/ambisonics-explained-guide-for-sound-engineers>
- [16] Facebook 360 Spatial Workstation User Guide [online]. Facebook, 2017 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://facebook360.fb.com/spatial-workstation/>
- [17] Eigenbeam Data: Specification for Eigenbeams [online]. mh acoustics, LLC., 2016 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: https://mhacoustics.com/sites/default/files/Eigenbeam%20Datasheet_R01A.pdf. Datasheet.
- [18] Ambisonics Component Ordering. Audiokinetic.com [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: https://www.audiokinetic.com/library/2016.1.0_5775/?source=Help&id=ambisonics_channel_ordering
- [19] Channel formats. Ambisonic.info [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://ambisonic.info/ambisonics/channels.html>
- [20] Wave Field Synthesis. Holophony.net [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.holophony.net/Wavefieldsynthesis.htm>
- [21] Dolby Atmos Production Suite: Software version 2.5.1 [online]. Dolby Laboratories, 2017 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z:

http://developerdownload.dolby.com/docs/Dolby_Atmos_Production_Suite_guide.pdf.
Guide.

[22] Object-Based Media Transforms Audio Content Creation. Radio World [online]. 2017 [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <http://www.radioworld.com/global/0007/objectbased-media-transforms-audio-content-creation/340736>

[23] Dolby Atmos Next-Generation Audio for Cinema [online]. In: . Dolby Laboratories, 2014 [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <http://www.dolby.com/uploadedFiles/Assets/US/Doc/Professional/Dolby-Atmos-Next-Generation-Audio-for-Cinema.pdf>

[24] Double MS Tool BF. Schoeps Mikrofone [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: http://www.schoeps.de/en/products/dms_plugin_bf

[25] A Brief History of Binaural Audio. Kall Binaural Audio [online]. 2011 [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <http://www.kallbinauralaudio.com/a-brief-history-of-binaural-audio/>

[26] A history of binaural recording. Bowers & Wilkins [online]. 2010 [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <http://blog.bowers-wilkins.com/speakers/definitive-guides/a-history-of-binaural-recording/>

[27] Wave field synthesis. In: Wikipedia [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Wave_field_synthesis

[28] Ambisonics. In: Wikipedia [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ambisonics>

[29] Evolution of the Eigenmike. In: Facebook [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/mhacoustics/photos/rpp.751864598313444/862294257270477>

[30] Brahma Ambisonics Microphone Review [online]. Dostupné z: <https://www.pro-tools-expert.com/home-page/2014/8/21/brama-ambisonics-microphone-review.html>.

Osobní zdroje

[1] Thomas Aichinger – hlava vídeňského studia *scopeaudio*

[2] Kevin Bolen – sound designer pro imerzivní média v americkém studiu *Skywalker Sound*

[3] prof. Angelo Farina – profesor aplikované akustiky na univerzitě v Parmě, jeden z největších odborníků na Ambisonics

[4] Anne Jimkes – nizozemská zvukařka pracující nyní pro *NEP Broadcast Services* v nizozemí, předtím pro *EccoVR* studio v Los Angeles

[5] Matt Bobb – hlava amerického studia *Spacewalk Sound*, které spolupracuje na VR obsahu s Hollywoodskými studii i nadnárodními značkami

[6] Florent Dumas – VR sound designer ve francouzském studiu *Novelab*

[7] Abesh Thakur – vývojář, jeden ze zaklatelů společnosti *Two Big Ears*, nyní pracující pro *Facebook* a *Oculus*

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

DAW	Digital Audio Workstation (program pro zpracování zvuku)
WFS	Wave Field Synthesis (objektově orientovaná technika zvuku)
VBAP	Vector-Based Amplitude Panning (objektově orientovaná technika zvuku)
5.1 atd.	vícekanálové zvukové systémy
DTS:X atd.	objektově orientované zvukové systémy
Hz	Hertz – jednotka frekvence
BBC	britská veřejnoprávní televizní společnost
GB	jednotka množství dat
SN3D	jedno z normalizačních schémat Ambisonics
A/D převodník	převodník analogového signálu na digitální
VR	virtuální realita
EQ	ekvalizér
HW	hardware
SW	software
fb 360 SW	facebook 360 Spatial Workstation

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Tři osy snímání Ambisonics se středovým komponentem akustického tlaku [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z:

http://www.tvtechnology.com/portals/0/TVT_201512-WEB_2of2-48.jpg

Obrázek 2 - Soundfield mikrofon s kapslemi ve tvaru čtyřstěnu [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z:

<http://media.soundonsound.com/sos/jun04/images/livesoundfieldinternal.1.jpg>

Obrázek 3 - Obrazová reprezentace prvních 4 kanálů Ambisonics [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <https://uod-true-multi-channel-mixing.wikispaces.com/file/view/BFormat.JPG/30506097/BFormat.JPG>

Obrázek 4 - Obrazová reprezentace Ambisonics až do čtvrtého řádu [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <http://pcfarina.eng.unipr.it/Aurora/SH.png>

Obrázek 5 – Mění se charakteristika virtuálních mikrofonů pro každý reproduktor s narůstajícím řádem Ambisonics - WIGGINS, Bruce. An investigation into the real-time manipulation and control of three-dimensional sound fields. Derby, UK, 2004. Disertační práce. University of Derby, s. 67.

Obrázek 6 - Seskupení objektů do větších skupin [online]. Dostupné z: http://developerdownload.dolby.com/docs/Dolby_Atmos_Production_Suite_guide.pdf, s. 190

Obrázek 7 - Ilustrace adaptování kanálově orientovaných formátů do objektově orientované platformy Dolby Atmos [online]. Dostupné z: <http://www.dolby.com/uploadedFiles/Assets/US/Doc/Professional/Dolby-Atmos-Next-Generation-Audio-for-Cinema.pdf>, s. 7

Obrázek 8 - Ilustrace VBAP [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: http://www.ausim3d.com/products/Vectsonic/images/VBAP_triangle.gif

Obrázek 9 - Ilustrace WFS (barevné reproduktory označují primární zdroj, např. housle) [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: http://www.ausim3d.com/products/Vectsonic/images/VBAP_triangle.gif

Obrázek 10 - Názorná ukázka dekódování B-Formátu do sluchátek - WIGGINS, Bruce. An investigation into the real-time manipulation and control of three-dimensional sound fields. Derby, UK, 2004. Disertační práce. University of Derby, s.103.

Obrázek 11 - Headset HTC Vive [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: https://content.ebgames.com.au/website/images/detail/227137_detail_01.jpg

Obrázek 12 - Platónská tělesa [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://whistleralley.com/polyhedra/platonic.gif>

Obrázek 13 - Ukázka 3D reproduktorového pole s 50 kanály nacházejícího se na University of York ve Velké Británii [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://www.york.ac.uk/media/electronic-engineering/postgraduate/pasted%20image%200.png>

Obrázek 14 - Ukázka umístění mikrofonu, rekordéru a kamer na jeden stativ od prof. Fariny

Obrázek 15 - Zoom H2N [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: https://www.zoom-na.com/sites/default/files/products/downloads/images/H2n_XY-side.jpg

Obrázek 16 - SoundField SPS200 [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://img.audiofanzine.com/images/u/product/normal/soundfield-sps200-71269.jpg>

Obrázek 17 - SoundField ST450 MK II a pridružená jednotka [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://cdn.soundfield.com/assets/images/ST450-MKII-angle-with-mic.png>

Obrázek 18 - Sennheiser Ambeo VR Mic [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.fullcompass.com/common/products/original/293773.jpg>

Obrázek 19 - Core Sound TetraMic [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://cdn.hdvideopro.com/2017/01/Core-Tetra-Mic.jpg>

Obrázek 20 - mh acoustics Eigenmike eh32 [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: https://mhacoustics.com/sites/default/files/s1_0.jpg

Obrázek 21 - Zylia ZM-1 [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://www.gearnews.com/wp-content/uploads/2016/07/Zylia-ZM-1.jpg>

Obrázek 22 - Schoeps ORTF-3D [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.hauptmikrofon.de/images/ORTF3D3.jpg>

Obrázek 23 - Šablona fb360 SW v2.2.1 otevřená v Pro Tools HD 12.5

Obrázek 24 - Mode – určuje, zda bude VP řízen z DAW; Video format – monoskopický, nebo stereoskopický; Display mode –obrazovka, nebo headset (Oculus Rift, HTC Vive); DAW Connection – nastavuje se v případě použití jiného PC jako video přehrávače

Obrázky 25 a 26 - Vlevo – deformované video v běžném přehrávači; Vpravo – správně zobrazené video ve fb360 SW Video Playeru

Obrázek 27 - Stopy mého projektu s automatizací polohy a vzdálenosti

Obrázek 28 - Vlevo - Input – zdrojová stopa, od mona, přes B-Format až po 7.0; pod ním čísla jednotlivých zvukových objektů s možností mezi nimi přepínat; Positioning – parametry určující polohu, vzdálenost a rozprostření zv. objektu; Attenuation – simulace klesající a stoupající intenzity s ohledem na vzdálenost; Doppler – simulace dopplerova efektu; Room – simulace dozvuku místnosti; Vpravo – dva panny pod sebou, první řeší polohu objektu, druhý jeho vzdálenost

Obrázky 29 a 30 - Global room – nastavení dozvuku pro všechny stopy; Mix Focus – částečné potlačení zvuku z jiných stran, než kam se zrovna mistr zvuku dívá (nepromítá se do finálního exportu!); Get From video – komunikace s Video Playerem; Settings – komunikace s Video Playerem a binaurální dekodér

Obrázek 31 - Výsledná Ambisonics stopa mého testovacího projektu

Obrázek 32 - Output format – slouží k výběru požadované platformy; Spatial audio – nastavení vkládaného formátu audia (při exportu z Pro Tools je třeba zaškrtnout danou položku!); Head-Locked Stereo – vložení statické stereo stopy (pokud daná platforma nepodporuje, znepřístupní se); Video – nastavení vkládaného formátu videa