

AKADEMIE MÚZICKÝCH UMĚNÍ V PRAZE

FILMOVÁ A TELEVIZNÍ FAKULTA

Filmové, televizní a fotografické umění a nová média

Zvuková tvorba

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VÝROBA ZVUKOVÉ STOPY 360° FILMŮ A VIDEÍ

BcA. Adam Bláha

Vedoucí práce : MgA. Tomáš Oramus

Oponent práce: Mgr. Mga. Petr Neubauer

Datum obhajoby: 24.9.2016

Přidělovaný akademický titul: MgA.

Praha, 2019

ACADEMY OF PERFORMING ARTS

FILM AND TV FACULTY

Film, television and photography arts and new media

Department of sound

MASTER THESIS

MAKING SOUND FOR 360° FILMS AND VIDEOS

BcA. Adam Bláha

Vedoucí práce : MgA. Tomáš Oramus

Oponent práce: Mgr. Mga. Petr Neubauer

Datum obhajoby: 24.9.2016

Přidělovaný akademický titul: MgA.

Prague, 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem magisterskou práci na téma

Výroba zvukové stopy 360° filmů a videí

vypracoval(a) samostatně pod odborným vedením vedoucího práce a s použitím uvedené literatury a pramenů.

Praha, dne

podpis diplomanta

Upozornění

Využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, nebo jakékoliv nakládání s nimi je možné pouze na základě licenční smlouvy tj. souhlasu autora a AMU v Praze.

Abstrakt:

Tento text popisuje existující technologie a nástroje sloužící k výrobě, přenosu a reprodukci imerzivních zvukových stop sférických neinteraktivních lineárních audiovizuálních děl, určených především pro sledování skrze headset virtuální reality. Je kompilací základních znalostí o specifikách natáčení, postprodukce, masteringu, dramaturgie a reprodukce těchto zvukových stop. Věnuje zvýšenou pozornost ambisonické technologii a její implementaci v rámci výroby těchto děl.

Abstract:

This text describes existing technologies and tools which can be used for creation, distribution and reproduction of immersive sound tracks of spherical non-interactive linear audiovisual pieces, that are mainly meant to be viewed through virtual reality headsets. It is a compilation of basic knowledge about distinctions of shooting, post-production, mastering, dramaturgy and reproduction of such sound tracks. It focuses on ambisonics and it's implementation in creation process of such pieces.

Poděkování:

Autor této práce by chtěl poděkovat Tomášovi Oramusovi za vedení práce, Petrovi Neubauerovi za její oponenturu, Markovi Musilovi a Petrovi Šoupovi za poskytnuté rozhovory a Věře Bláhové za gramatickou korekturu textu.

Obsah

1 Úvod.....	10
1.1 Předpoklady a pojmy.....	10
1.2 O imerzi.....	12
2 Současná technologie 360° audiovize.....	14
2.1 Zvuk v 360° audiovizi.....	14
2.1.1 Reprodukce imerzivního zvuku.....	15
2.1.2 Ambisonie.....	16
2.1.3 Binaurální audio a HRTF	19
3 Záznam kontaktního zvuku během panoramatického natáčení	21
3.1 Technologie 360° kamerového záznamu a její vliv na práci zvukaře při natáčení	
3.2 Audio technologie pro sférické natáčení.....	23
3.2.1 Ambisonické mikrofony.....	23
3.2.2 Běžné mikrofony, mikroporty a rekordéry	25
3.3 Příprava natáčení.....	26
3.4 Realizace.....	27
3.4.1 Synchronizace.....	27
3.4.2 Sound report	27
3.4.3 Práce s ambisonickým mikrofonem.....	28
3.4.4 Záznam samostatných zvuků na lokaci	28
4 Zvuková postprodukce 360° filmů.....	29
4.1 Konečný produkt.....	29
4.2 Tvorba zvukové scény.....	30
4.2.1 Vrstva ambisonických nahrávek	30
4.2.2 Vrstva zvukových objektů.....	30
4.2.3 Head-locked audio	32

4.3	Postprodukční zvukové zdroje	32
4.3.1	Postsynchrony	32
4.3.2	Hudba.....	33
4.3.3	Zvukové efekty	34
4.4	Studiová infrastruktura pro editaci a mix zvuku pro 360° kinematografii	34
4.5	Software.....	36
4.5.1	Ucelené sady modulů.....	36
4.5.2	Spatializéry	39
4.5.3	Zásuvné moduly pro práci s ambisonickými zdroji.....	43
4.5.4	Monitorovací moduly.....	46
4.5.5	Transkodéry a masteringové moduly	47
4.6	Zvukový processing v rámci 360° mixu	48
4.7	Mastering	50
4.8	Spolupráce s programátorem.....	50
5	Dramaturgie zvuku 360° filmů.....	51
5.1	360° zvuková scéna.....	51
5.2	Vedení pozornosti diváka	53
5.3	Zvuková stylizace a záměrný nesoulad	54
5.4	Head-locked vrstva a zvuková dramaturgie.....	55
5.5	Nediegetické zvuky	55
5.6	Subjektivizace.....	56
5.7	Ohledy na diváka.....	56
6	Závěr - výhledy do budoucna	58
7	Seznam obrázků.....	60
8	Seznam použitých zdrojů.....	61

Používané zkratky:

VR – virtuální realita

HW – hardware

SW – software

HRTF – head related transfer function

DAW – digital audio workstation

FOA – first order ambisonics

PC – osobní počítač

2D – dvojrozměrný

3D – trojrozměrný

TC – timecode

ATK – Ambisonic Tool Kit

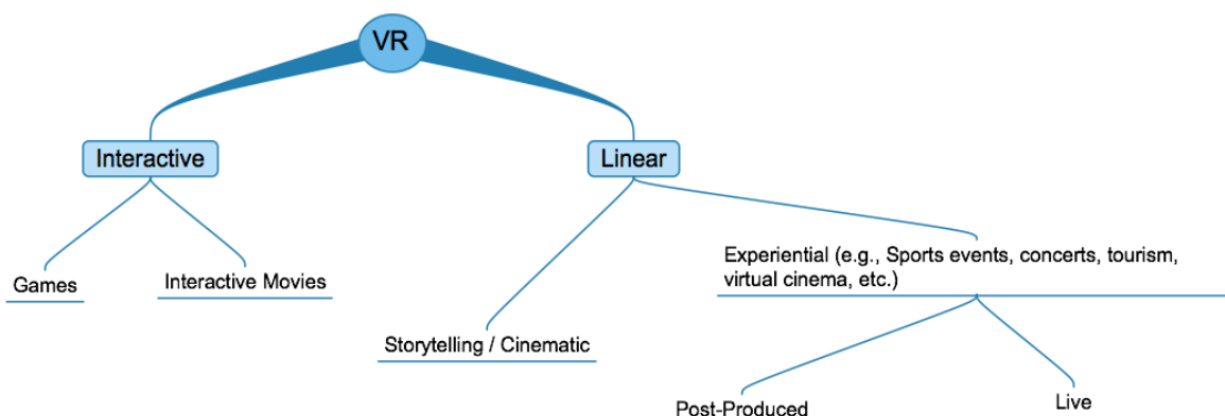
SDK – software development kit

1 Úvod

Experimenty s panoramatickou kinematografií, která se snaží obklopit diváka obrazem, se datují již od počátku dvacátého století. Až digitální doba a dostatečně výkonné a malé procesory, kvalitní displeje a polohovací zařízení však umožnily rozkvět tohoto druhu audiovizuální reprodukce, byť poněkud jiným způsobem, než si Fred Waller, průkopník panoramatické filmové projekce, pravděpodobně představoval. Strmý růst videoherního odvětví souvisí s nebývalým rozkvětem technologií pro virtuální realitu (VR). Kromě interaktivních aplikací, jako jsou právě hry, se lze ve virtuální realitě nechat obklopit lineárním audiovizuálním obsahem. Tento text se zabývá procesem výroby zvukové složky tohoto druhu audiovizuálních děl, technologiemi a nástroji, které se v tomto procesu využívají a dramaturgickými možnostmi, které nové médium přináší.

1.1 Předpoklady a pojmy

Nejprve je třeba blíže představit kategorii tvorby, které se práce bude věnovat. Především jde o 360° lineární audiovizuální vyprávění běžně zvané *cinematic VR* neboli „*kinematografie pro VR*“. Dalo by se namítnout, že jde o oxymoron – slova *cinematic* a *kinematografie* totiž implikují sledování v kině nebo alespoň filmovou projekci. Dle mého názoru však dobře vystihují snažení o technicky čistý umělecký počín, nehodlám se jim tedy bránit. Kromě *cinematic VR* existuje ještě kategorie *experiential VR*, což volně přeloženo znamená VR zážitky. Jde o imerzivní zprostředkování nějaké reálné zkušenosti (místa, sportovního utkání, uměleckého vystoupení apod.). Přestože se v textu zabývám především kinematografií pro VR, lze všechny zmíněné postupy použít i pro zážitkovou VR.



Obrázek 1 - kategorie obsahu pro VR

Chtěl bych podotknout, že nezáleží na tom, jestli divák výsledné dílo sleduje skrze náhlavní soupravu (tzv. *headset*) virtuální reality, na obrazovce chytrého telefonu s polohovacím zařízením, nebo na klasickém monitoru s možností ovládání natočení zorného úhlu pomocí myši, protože způsob práce se zvukovou stopou se v těchto případech neliší. Na čem naopak záleží, je, že se jedná o lineární neinteraktivní obsah. (Samozřejmě s výjimkou možnosti otáčení zorného a současně poslechového úhlu.) Počítám s tím, že sledování těchto děl skrze VR headset je ze všech jmenovaných způsobů nejvíce žádoucí, protože nejlépe splňuje podmínky pro imerzi, o kterou jde v 360° kinematografii především. Budu proto dále v tomto textu předpokládat, že cílovou reprodukční technologií je vždy VR headset.

Co znamená pojem *imerze* se pokusím vysvětlit v následující kapitole. Zde bych chtěl pouze zmínit, že v tomto textu pro jednoduchost zužuji význam slovních spojení *imerzivní audio*, případně *Imerzivní zvuk* na tvorbu, přenos a reprodukci prostorových zvukových scén obklopujících posluchače, obsahujících informaci o poloze a pohybu jednotlivých zvukových objektů (případně virtuálních zvukových objektů v případě ambisonie – viz 4.2.2). Tento způsob práce se zvukem se anglicky nazývá *scene based audio* neboli přenos a reprodukce zvukové scény, nebo také krajiny (tzv. *soundscape* – viz 5.1).

360° se stalo běžnou předponou pro jakýkoliv termín, který chceme odvodit pro 360° video a film. Měl bych však zmínit, že audiovizuální dílo pro VR nemusí vždy zabírat kompletní sféru kolem diváka, ale například pouze 270° či 180°. Přílehavější je tedy používat přídatné jméno *sférické*, přestože v textu používám obojí ve stejném významu.

1.2 O imerzi

Běžné filmy se od panoramatické tvorby vnějškově liší v mnoha rysech, od způsobu jejich výroby až po způsob jejich sledování. Vnitřně, v prožitku diváka je však nejpodstatnějším rozdílem míra imerze. Dle Cambridge Dictionary je imerze skutečnost totálního zapojení se do něčeho. Že mezi další významy tohoto slova patří *ponoření se* (do kapaliny), není náhoda.¹ Nebojím se tvrdit, že tato charakteristika je esencí kinematografie pro virtuální realitu (už jenom proto, že je absolutní esencí virtuální reality jako takové). Veškerá tvorba pro VR by tedy měla být koncovým uživatelem opravdu prožívána, nikoli pouze sledována. Právě tento rozdíl mezi sledováním a „bytím uvnitř“ nebo dokonce „stanutím se součástí“ díla je pro imerzi zásadní.

Je však třeba bezpodmínečně zmínit, že svou imerzivní působivost mají i běžné dvojrozměrné snímky, a také nepochybňuji, že mnoho filmových mistrovských děl v tomto ohledu překoná většinu dosavadní 360° tvorby. Pro tento text je proto zásadní především technologie. Technologie, která si vzala za cíl dokázat člověka přivést k absolutní imerzi do audiovizuálního díla a nabízí nástroje, které k tomuto účelu mají sloužit.

Pro míru imerze 360° filmů je velice podstatný právě zvuk. Lidský sluch je totiž v běžném životě hlavním zdrojem informací o okolním prostředí, a aby virtuální realita fungovala správně, musí toto akustické prostředí věrně napodobit. V reálném prostředí a v ideálním případě i ve VR má každý zdroj zvuku v auditivním poli jasně dané místo a jeho pozice je pro mozek člověka především v přední části pole a v horizontální rovině poměrně přesně určitelná. Když posluchač otáčí hlavou, vnímá, že se mění jeho pozice vůči zvukovému okolí, ne naopak. Úkolem zvukových technologií pro VR je tedy poskytnout divákovi co nejdokonalejší virtuální zvukové pole s uvěřitelně umístěnými zdroji a akustickou odezvou (virtuálního) prostoru. Vzhledem k tomu, že reprodukce zvuku ve VR v naprosté většině případů probíhá skrze sluchátka, se jedná o technicky náročný úkol. Senzory pozice hlavy, procesor a software, který VR řídí, však umožňují v reálném čase toto zvukové pole s využitím různých technologií extrahovat ze

¹ <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/immersion>

specifickým způsobem zakódované zvukové stopy a přizpůsobit ho okamžité orientaci hlavy diváka.

Velice důležitá je pro imerzi samozřejmě také (zvuková) dramaturgie daného díla – divák se nenechá „vtáhnout do děje“, pokud ho děj nebude zajímat. Ještě větší vliv má však technická čistota obrazu i zvuku. Jde o to, že míra imerze se do značné míry zvyšuje, když jsou funkční nejenom běžné charakteristiky filmového zvuku, jako je například čitelnost a kvalita jednotlivých zvuků, poměry hlasitostí a perspektiva, ale také směrová lokalizovatelnost jednotlivých zvukových zdrojů, jejich věrný pohyb ve 360° zvukovém poli a uvěřitelný dozvuk virtuálního prostoru. Dalším technickým parametrem, který imerzi zvyšuje, je tzv. *externalizace*, což je schopnost imerzivní technologie zmást mozek, aby posluchači zněl zvuk zdánlivě v prostoru kolem něj místo toho, aby zněl „uvnitř hlavy“, jak je při poslechu skrze sluchátka běžné.

2 Současná technologie 360° audiovize

2.1 Zvuk v 360° audiovizi

Ačkoliv by se to nemuselo zdát, způsob práce se zvukem v 360° virtuálním prostoru se od práce se zvukem určeným pro běžné domácí a kino formáty zásadně liší. (Jisté spojitosti by se daly nalézt u tvorby pro systém Dolby Atmos – viz níže.) Na rozdíl od channel-based stereo, 5.1 či 7.1 mixu, kde jsou výsledné stopy uzamčeny do několika definitivních kanálů reprodukováných pomocí reproduktorů pevně umístěných v prostoru, je nutno počítat se sférickým spojitým zvukovým prostředím, které je většinou plně prostorové. Jednotlivé zvukové zdroje totiž dokáží měnit své parametry v závislosti na vzdálenosti od středu sféry, a také se mění paralaxa mezi jednotlivými ušima při binaurálním poslechu (viz 2.1.3), takže mozek posluchače pak tyto zdroje vnímá, jako kdyby se opravdu pohybovaly v prostoru kolem něj. Další velký rozdíl pak spočívá v interaktivitě dané head-trackingem. (*Head-tracking* je sledování pohybů hlavy uživatele pomocí čidel polohy). To znamená, že stereo přehrávané sluchátky headsetu je renderováno v reálném čase podle okamžité orientace přilby (telefonu, tabletu...). Je proto potřeba, aby výsledný zvukový master neobsahoval jednotlivé, na poslechový prostor vázané kanály, ale nějakým způsobem zakódované, v čase se měnící 360° zvukové pole se záznamem informací o pozicích jednotlivých zvukových zdrojů, které jsou v něm obsaženy.

Jsou v zásadě dvě technologické možnosti, pomocí kterých se toho dá dosáhnout. Jmenují se *ambisonie* a *object audio*. Object audio spočívá v tom, že výsledný master obsahuje jednak „podklad“ v channel-based, případně ambisonickém formátu (viz níže) a objektové stopy, které nesou jednotlivé zvuky (zvukové objekty) a metadata, která pomáhají reprodukcímu dekodéru umístit každý zvuk v rámci libovolné konfigurace reproduktorů, a dokonce dopočítat umělou prostorovou odezvu pomocí konvoluce. Metadata zvukových objektů navíc mohou být naskriptována, díky čemu se objektový zvuk již dlouho využívá ve videoherním průmyslu. Objektový mix se dá vytvořit buď v prostředí pro vývoj počítačových her, nebo v Pro Tools, které jsou mnohem vhodnější pro tvorbu lineárního neinteraktivního obsahu – tedy pro film. Tento způsob tvorby podporuje právě i Dolby Atmos, známý z dnešních kinosálů. V současnosti firma Dolby

vyvíjí dedikovaný dekodér pro virtuální realitu a Dolby Atmos se tak možná stane plnohodnotným systémem pro tvorbu zvukové stopy pro 360° film. Jelikož se však jedná o separátní a specifický řetězec pro postprodukci a reprodukci zvuku a protože není v rámci VR a 360° audiovizuálního průmyslu tento systém zatím rozšířen, budu se dále v textu věnovat především druhému způsobu výroby zvukové stopy pro VR film či video.

Tím je využití technologie zvané *ambisonie* popsané v kapitole 2.1.2. K vytvoření ambisonického mixu se používají různé sady VST, RTAS a AAX pluginů pro běžně používaná DAWs. Jedná se o různé transkodéry, analyzéry, pannersy, „umísťovače v prostoru“ zvané anglicky *spatializers*, ambisonické reverby a monitorovací pluginy s možností head-trackingu. Začínají se objevovat také různé externí aplikace (standalone), které lze integrovat v rámci postprodukční workflow a celou ji tak zjednodušit a zrychlit. Finální master je v tomto případě zakódován do ambisonického formátu, který obsahuje prostorovou informaci o jednotlivých zvukových zdrojích. K němu je v některých případech možné připojit běžným způsobem smíchanou stereo stopu, která je pevně navázaná na sluchátka uživatele, takže vůči nim zůstává relativně nehybná. Tato vrstva masteru se nazývá *head-locked audio*.

2.1.1 Reprodukce imerzivního zvuku

Imerzivní audio lze samozřejmě přehrávat pomocí v prostoru umístěných reproduktorů. Takové řešení známe například z kinosálů s technologií Dolby Atmos nebo z prostorových zvukových instalací v galeriích. Někteří uživatelé ze socializačních důvodů preferují reproduktory i pro domácí VR. Pro 360° audiovizi je však mnohem vhodnější reprodukce pomocí sluchátek. Kvalitní sluchátka izolují posluchače od ruchu okolního světa. Zvuk přehrávaný reproduktory je navíc ovlivněn prostorovou odezvou místnosti, ve které se tyto reproduktory nacházejí, nehledě na to, že reprodukce zvukového pole není tak přesná, jako při použití sluchátek. V neposlední řadě je sluchátkové řešení mnohem levnější a jednodušší, nemluvě o jeho portabilitě. Nevýhoda spočívá v tom, že je složitější zajistit dostatečnou externalizaci zvuku. K tomuto účelu slouží *binauralizace* a *HRTF* (viz 2.1.3.).

2.1.2 Ambisonie

Ambisonie je technologie zachycení a reprodukce zvuku pomocí několika kanálů. Dokáže reprezentovat dvourozměrné či trojrozměrné zvukové pole. Přináší možnost zakódování směru a amplitudy zvukových vln a jejich reprodukce takovým způsobem, který umožní v posluchači vyvolat pocit, že poslouchá zvuk reálného prostředí.² Zvukovým polem se v tomto textu míní zvuková nahrávka pořízená tímto způsobem.

Podobně jako množství jiných technologií i ambisonie má svoje kořeny v technologickém skoku během druhé světové války. V roce 1941 bylo ve Spojených Státech patentováno vzdušné torpédo, naváděné zvukem rotorů nepřátelských letadel pomocí přístroje, který byl předzvěstí ambisonických mikrofonů.³ Rozvoj skutečného ambisonického audia pak začal v sedmdesátých letech dvacátého století v rámci Oxford University Tape Recording Society. Byli to Michael Gerzon a Peter Craven, kteří zde vytvořili koncept, který v roce 1974 vedl ke vzniku prvního „soundfield microphone“ – mikrofonu snímajícímu zvukové pole.⁴

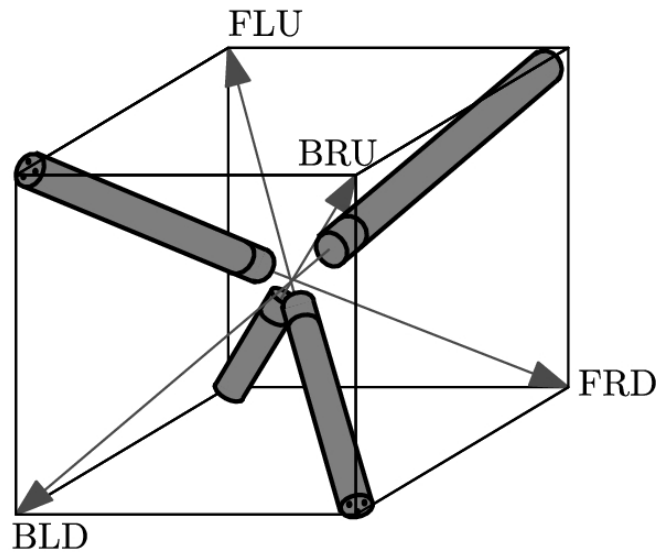
Tento a další mikrofony 1. ambisonického řádu (*first order ambisonics – FOA*) mají čtyři kapsle (W,X,Y,Z) v tzv. tetrahedrálním rozložení, které vychází z tetrahedronu, což je česky čtyřstěn – těleso se čtyřmi stěnami tvaru pravoúhlého trojúhelníku. Jsou schopny zaznamenat kompletní 360° sférické zvukové pole včetně informace o výšce zvukových zdrojů (myšleno prostorově – jde o tzv. *elevaci*). Svazek čtyř syrových signálů z těchto zařízení se nazývá A-formát. Ten tvoří matici, jejíž výsledek se nazývá B-formát. Jedná se o jeden kanál nesoucí informaci o amplitudě a tři kanály, které obsahují směrovou informaci skrze fázové vztahy.⁵

² *Reprezentace zvukových polí pomocí ambisonie; H. Khaddour a M. Trzos, Elektrorevue svazek 12, 2010, s.2*

³ *The Early Years of Ambisonics at York; D.G.Malham, AES Conference paper 59, 2019, s.2*

⁴ *s.2, tamtéž*

⁵ <https://postperspective.com/vr-audio-differences-format-B-formát>

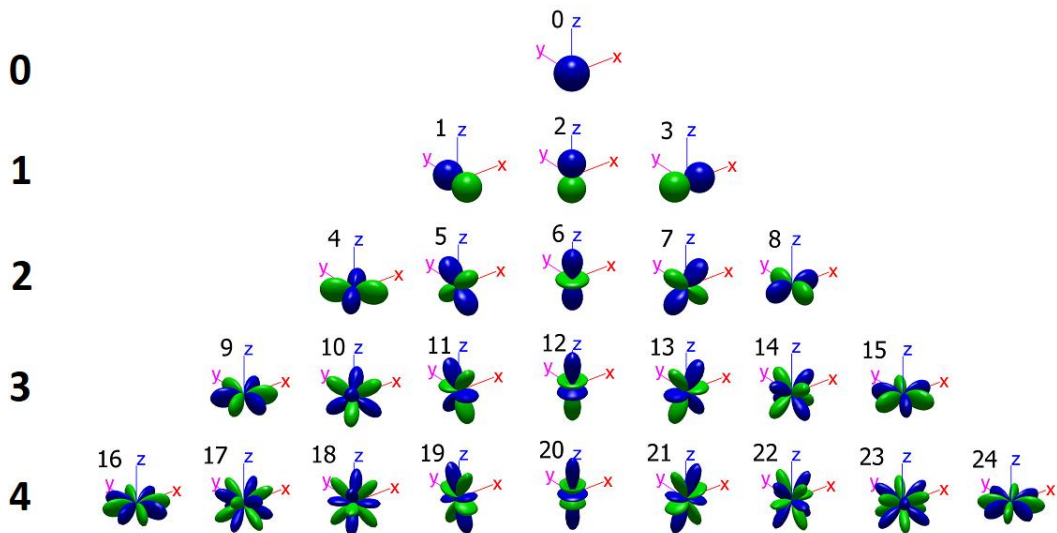


Obrázek 2 - konfigurace FOA mikrofону tvořeného čtyřmi mikrofony kardioidní charakteristiky v tetrahedrálním postavení

B-formát může být pomocí různých hardware nebo software dekodérů interpretován do téměř libovolné konfigurace reproduktorů. Zvukové pole, které je jeho pomocí zaznamenané, lze také digitálně snímat virtuálním monofonním mikrofonom prvního až čtvrtého řádu. Je ho možné libovolně otáčet podle všech os, deformovat a dokonce ho různě frekvenčně či dynamicky upravovat v různých směrech. Právě možnost ovládní orientace zvukového pole pomocí pozičních snímačů ve VR přilbách, telefonech a podobně způsobila široké možnosti využití ambisonie pro VR a 360° audiovizuální tvorbu.

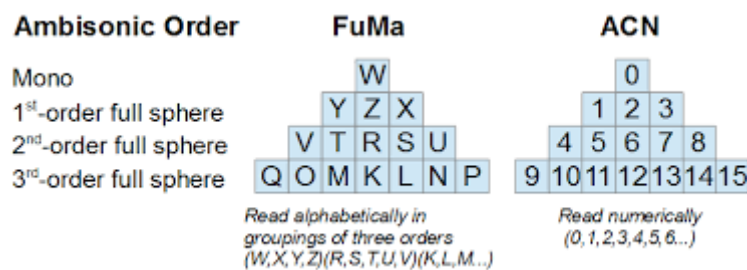
Kromě FOA existují i vyšší řády ambisonie. Matice n -tého řádu obsahuje $(n + 1)^2$ jednotlivých signálů, mikrofón tohoto řádu má pak stejný počet kapslí. Konkrétně je to 4, 9, 16, 25 a více. Obecně se dá říct, že čím vyšší je ambisonický řád, tím je lepší rozlišení záznamu a větší objem informace. V praxi 360° audiovize se vyšší než 3. řád zatím příliš nevyužívá.

Řád ambisonie



Obrázek 3 - jednotlivé složky ambisonického signálu až do 4. řádu

Poslední praktická informace, která zde musí zaznít, se týká standardů B-formátu. Pro správné rozklíčování signálu je nutné znát dvě jeho charakteristiky. Jedná se zaprvé o vzájemný poměr úrovně amplitudového a ostatních kanálů (normalizace) a zadruhé o jejich pořadí a číslování. Z různých kombinací těchto charakteristik jsou široce využívány především dva standardy - Furse-Malham (*FuMa*) a *AmbiX*, který využívá řazení *ACN*.



Obrázek 4 - řazení ambisonických komponent

Během produkce i postprodukce je potřeba si udržet přehled o tom, s jakým formátem ambisonického zvuku zrovna pracujeme, a zda zařízení, programy a pluginy, které používáme, mají správně nastavený vstup a výstup. Pokud si standardy a výši řádu ambisonie v různých částech celého řetězce dostatečně nepohlídáme, může se stát, že chybně zpracované zvukové zdroje budou špatně umístěné a zaznamenané zvukové pole tak může být zdeformováno.

2.1.3 Binaurální audio a HRTF

Počátky binaurální technologie, prvního většího kroku směrem k imerzivnímu zvuku, sahají až do osmdesátých let devatenáctého století. V původním významu se jedná o dvoukanálový způsob záznamu, přičemž oba mikrofony mají co nejvíc napodobit uši člověka. Důležitá je přitom vzdálenost obou mikrofonů, jejich směrovost a akustický stín hlavy (používají se umělé hlavy s mikrofony v uších). Binaurální nahrávka se pak z pochopitelných důvodů přehrává do sluchátek. O způsobu, jakým lidské uši a mozek lokalizují jednotlivé zvukové zdroje, se lze dočíst například v knize *Acoustics and Psychoacoustics*.⁶

Binaurální záznam zvuku nemá pro VR kinematografii zvláštní význam, binaurální audio jako takové však ano. Digitální binauralizace reprodukováného zvukového toku totiž pomáhá oklamat mozek a externalizovat zvukové pole. Pokud je k dispozici head-tracking, bere tento proces v potaz okamžitou polohu hlavy posluchače. Každý z kanálů výsledného ambisonického mixu je ovlivněn svým vlastním filtrem pro každé z uší. Pro FOA máme tedy 8 různých lineárních filtrů, které se vzájemně mění při pohybu hlavy. Výsledkem ambisonické matice ovlivněné těmito filtry je pak binauralizované stereo, které je definitivním reprodukcčním audio proudem pro sluchátka.⁷

Součástí těchto filtrů jsou *HRTFs* (*head related transfer functions*). HRTF popisuje, jak je zvuk ovlivněn tvarem hlavy a uší před tím, než vstoupí do ušního kanálu. Jedná se o konvoluční či algoritmickou funkci, která se liší se od člověka k člověku, neboť je ovlivněna mimo jiné velikostí a tvarem hlavy a ušních boltců.⁸ Měří se pomocí referenčních signálů a mikrofonů umístěných v uších měřené osoby. To je samozřejmě složitá procedura, u které nelze předpokládat, že ji koncový uživatel bude mít možnost podstoupit. Existují však rozsáhlé banky volně přístupných HRTFs (např. <http://recherche.ircam.fr/equipes/salles/listen/>). Rovněž existuje možnost je modifikovat a také matematicky modelovat a k dispozici jsou i poslechové testy pro jejich ozkoušení. Uživatel tak má možnost nalézt takovou, která mu co nejlépe vyhovuje. Krom toho již existují způsoby, jak lze HRTF jednoduše měřit doma (viz projekt Earfish na

⁶ D. M. Howard a J. Angus, *Focal Press*, 2006, kapitola 2.6

⁷ *Sound Field Format to Binaural Decoder with Head Tracking: A. McKeag a D. Mc Grath*, 6th Australian Regional AES Conference preprint, 1996, s.3

⁸ *HRTF Measurements With Recorded Reference Signals; M. Durkovic, F. Sagstetter a K. Diepold*, AES convention paper 8270, 2010, s.1

www.earfish.eu nebo článek *DIY measurement of your personal HRTF at home: low-cost, fast and validated*⁹⁾).



Obrázek 5 - měření HRTF v bezdozvukové komoře

⁹⁾ *Jonas Reiniers, Bart Partoens a Herbert Peremans, AES convention paper 339, 2017*

3 Záznam kontaktního zvuku během panoramatického natáčení



Obrázek 6 - Kamerový rig s ambisonickým mikrofonem a rekordérem

3.1 Technologie 360° kamerového záznamu a její vliv na práci zvukaře při natáčení

Sílicí podpora 360° obsahu streamovacími internetovými službami a sociálními sítěmi v posledních letech měla za následek vydání množství amatérských panoramatických kamer, jako jsou GoPro Fusion, Garmin VIRB 360, Ricoh Theta V, 360Fly 4K, Insta360 ONE a další. Tyto kamery jsou překvapivě levné, mají dva širokoúhlé objektivy a umí „sešít“ obraz z těchto objektivů buď interně, nebo pomocí přiloženého softwaru. Slovo sešít používám, jako překlad anglického *stitching* které se pro tento proces vžilo.

Profesionální 360° kamery mívají větší množství objektivů užšího záběru. Mezi výrobce těchto aparátů patří Insta360 se svými modely Pro2 a Titan, dále Pilot Era, Kandao, Z Cam, 360 Designs MiniEYE atd. Tyto přístroje mají různý počet objektivů, různé

rozlišení (Insta360 Titan až 11K) a různé možnosti stabilizace obrazu, streamování, ovládání na dálku a podobně.

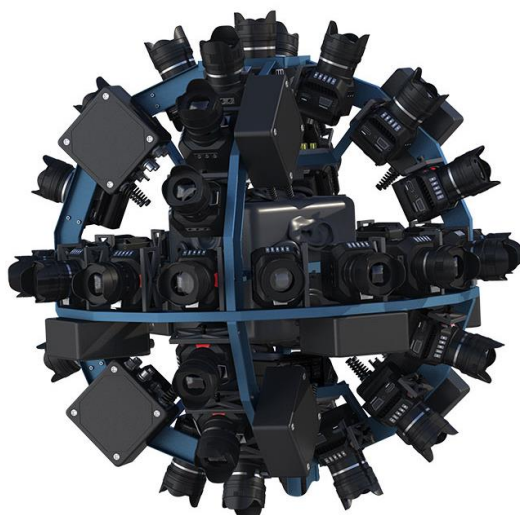
Kromě výše zmíněných „all-in-one“ modelů existují také různé modulární systémy a rigy pro kamery GoPro HERO, Blackmagic atd. Například profesionální systém EYE od společnosti 360 Designs lze osadit osmi až čtyřiceti dvěma kamerami Blackmagic Micro.

Naprostá většina 360° kamer má nějaký integrovaný mikrofon. U levných kamer může jít o monofonní, stereofonní, ojediněle kvadrofonní aparát, pokročilejší kamery jsou pak často vybaveny čtyřmi mikrofonními kapslemi schopnými zaznamenat FOA zvukové pole. V amatérské sféře trh nepočítá s potřebou nejkvalitnějšího možného audiozáznamu a v profesionální sféře se zase předpokládá samostatný zvukový záznam, proto jsou tyto mikrofony spíše referenční a nepříliš kvalitní. Pro některá natáčení může být vhodné, má-li kamera vlastní audio vstup. Tento rys mají například modely Insta360 Pro2 (nástavec na Zoom H3-VR) a Kandao Obsidian (stereo input, podpora Zoom H2n).

Sečtou-li se úhly záběru jednotlivých objektivů, vyjde nám u většiny sférických kamer více než 360°. Zorné pole každých dvou sousedících objektivů se totiž lehce prolíná. Sešívacímu softwaru tyto přesahy pomáhají dát celý sférický obraz dohromady. Jak je vidět, není možné umístit mikrofonistu ani stojan s mikrofonem nikde kolem kamery, protože zaznamenává obraz ve všech směrech. Z této skutečnosti vyplývá většina specifik panoramatického natáčení, jako je nutnost použití mikroportů, skrývání mikrofonů v dekoraci, nahrávání velkého množství samostatných zvuků a podobně.

Některé kamery mají slepý úhel, který poskytuje prostor pro umístění ambisonického mikrofonu, případně i malého rekordéru. Vyplývá to z nutnosti skrytí kamerového stativu. Specializovaný software a technici zabývající se sešíváním obrazu v postprodukcí dokážou tuto část sféry vyříznout a slepit obraz kolem, tak aby deformace vizuálního pole byla co nejmenší.

Problémem 360° kamer může být i jejich hlučnost, neboť větší množství kamerových čipů a veškeré elektroniky vyžaduje extenzivní chlazení, nemluvě o případných diskových polích, která jsou potřeba pro záznam při větším datovém toku. Mikrofony by tedy pochopitelně měly být umístěny tak, aby je ventilátory kamery rušily co nejméně.



Obrázek 7 - 360° kamerový rig EYE

3.2 Audio technologie pro sférické natáčení

Během natáčení sférických audiovizuálních děl si lze vystačit s vybavením používaným pro běžnou 2D produkci, je však potřeba s ním pracovat jiným způsobem. Navíc je vhodné mít k dispozici kvalitní ambisonický mikrofon. V následujících odstavcích se pokusím popsat, jaká zvuková technika je pro 360° natáčení nejvhodnější.

3.2.1 Ambisonické mikrofony

Pro dokonalý výsledek nám pouze ambisonický mikrofon stačit nebude. Jedná se však o dobrý základ zvukového mixu, o vhodný „podklad“, na který se dají vrstvit dialogy, ruchy a zvukové efekty. Při použití těch nejkvalitnějších ambisonických mikrofonů vyšších řádů, můžeme zaznamenat zvukové pole s velmi dobrým rozlišením. Většina přehrávačů 360° obsahu však zatím nepodporuje vyšší než třetí řád ambisonie. Také to znamená, že mikrofony vyšších řádů, které jsou většinou větší a signál z nich je třeba vést po kabelu do HW transkodéru, mohou být často vyřazeny ze hry. Následuje seznam dostupných ambisonických mikrofonů (v závorce ambisonický řád):

- **SoundField ST450 MkII (1)** – Populární set mikrofonu a přenosného modulu pro monitoring a dekódování do B-formátu. Hardware modul není příliš velký a mikrofon tak lze v rámci panoramatického natáčení využít.

- **SoundField SPS200** (1) – Pro panoramatické natáčení nejvhodnější mikrofon společnosti SoundField. Jedná se o tetrahedrální mikrofon s A-formát výstupem, bez HW modulu.
- **SoundField DSF-B MKII** (1) – Mikrofon s velkým „rackovým“ modulem určený pro televizní přímé přenosy.
- **MH Acoustics EigenMike em32** (4) – Špičkový mikrofon s 32 kapslemi schopný zaznamenávat zvukové pole s vysokým rozlišením. Výstup z mikrofonu je však nutné zapojit do hardware převodníku a poté přes firewire kabel do PC, takže je vhodný pouze pro využití ve studiovém prostředí.
- **Core Sound TetraMic** (1) – Relativně levný, malý a lehký tetrahedrální A-formát mikrofon se čtyřmi kapslemi vhodný spíše pro nahrávání v interiéru.
- **Core Sound OctoMic** (2) – Podobný mikrofon s osmi kapslemi pro ambisonii druhého řádu.
- **Sennheiser Ambeo VR 3D** (1) – Rovněž tetrahedrální A-formát přístroj, který je o něco dražší, větší, těžší a kvalitnější než TetraMic, vhodný pro exteriérové natáčení.
- **Rode NT-SF1** – (1) Dostupný mikrofon vhodný pro 360° produkce, s dekodovacím SW, který je volně ke stažení.
- **Brahma** (1,2) – Krom toho, že nabízí modifikovaný Zoom H2n se svou tetrahedrální hlavicí, pro něj vyrábí ještě nadstavbu (tetrahedrální mikrofon s větším průměrem membrán). Dále tato společnost vyrábí samostatný tetrahedrální terénní mikrofon a velkomembránový tetrahedrální studiový mikrofon. Novinkou je mikrofon Brahma-8 s osmi kapslemi, schopný zaznamenávat ambisonické nahrávky druhého řádu. Brahma vyvíjí stejný mikrofon s digitálním výstupem.
- **Zylia ZM-1** (3) – Jedná se o sférický mikrofon s devatenácti kapslemi kulové směrové charakteristiky. Zylia je USB mikrofon dodávaný s proprietárním SW. Jeho výhoda tedy spočívá v tom, že není třeba ho zapojit do rekordéru, nevýhoda naopak spočívá v komplikované aplikaci na filmových natáčeních.
- **Twirling720 Lite** (1) – Společnost Twirling vyrábí ambisonická zvuková řešení pro amatérské či poloprofesionální tvůrce, kteří točí 360° videa sami, bez zvukaře. Twirling720 Lite je malý mikrofon, který se zapojí přímo do vstupu chytrého mobilního telefonu.

- **Ricoh TA-1 (1)** – Tetrahedrální mikrofon vyvinutý společností Audio-Technica přímo jako nástavba pro 360° kamery Ricoh.
- **Octava MK-4012 4-D (1)** – A-formát mikrofon srovnatelný s přístroji od firem Rode a Sennheiser. Zajímavostí je, že se prodává bez mikrofonních kapslí.
- **Nevaton VR (1)** – Nejdražší a nejkvalitnější A-formát tetrahedrální mikrofon. Společnost Nevaton neplýtvá zdroji kvůli vývoji vlastního dekódovacího SW a soustředí se na co nejdokonalejší zpracování mikrofonu jako takového.

Nakonec bych se ještě chtěl zmínit o velice praktických kombaech rekordéru a mikrofonu, kterými jsou již zmíněný Zoom H2n, který nově umí zaznamenávat 2D ambisonické nahrávky v horizontální rovině a přístroje s integrovanými FOA tetrahedrálními mikrofony speciálně vyvinuté pro použití na 360° kamerovém rigu Zoom H3-VR a Twirling720 VR.



Obrázek 8 - ambisonické mikrofony (zleva: TetraMic, Zoom H2n, Eigenmike)

3.2.2 Běžné mikrofony, mikroporty a rekordéry

Přestože většinou není možné použít mikrofonní tyč, mohou běžné mikrofony vykonat spoustu užitečné práce. Lze je ukrýt v dekoraci nebo použít, pokud je třeba zaznamenat zvuk asynchronně, jako tzv. *wild track*. Kvůli skrývání jsou praktičtější mikrofony menších rozměrů. Mikroporty jsou pak, pokud film obsahuje dialog, naprosto nezbytné, neboť jiný způsob, jak funkčně nahrát dialogy a nevadit přitom obrazovému štábu neexistuje.

Krom mikroportů je vhodné používat bezdrátově i ostatní mikrofony, neboť se tím lze vyhnout složitému ukrytí kabelů a/nebo používání více rekordérů. Rozhodně také doporučuji mít k dispozici externí antény pro příjem rádiového signálu, protože se mnohdy stává, že zvukovou režii není možné umístit v blízkosti scény.

Během 360° natáčení lze samozřejmě použít jakýkoliv rekordér, který dostačuje počtem vstupů a výstupů dané produkci. Pokud není k dispozici bezdrátové řešení pro všechny použité mikrofony, je vhodné mít vícero malých rekordérů pro záznam jejich výstupu. K tomuto účelu jsou vhodné lehké, malé přístroje, jako je Zoom (H6, řada F), Tascamy DR nebo ze všech jmenovaných nejkvalitnější Sound Devices MixPre. Pro záznam ambisonického mikrofonu je samozřejmě zapotřebí minimálně čtyř stop.

Skvělou službu mohou poskytnout tzv. „handy“ rekordéry s integrovanými mikrofony, jako jsou například Zoomy řady H, Sony PCM-D100, Tascamy DR a podobně, jelikož je možné je jednoduše skrýt a není nutné řešit žádné kabely ani přenos signálu.

3.3 Příprava natáčení

Jako u každého jiného natáčení je nutné se seznámit se scénářem, lokacemi, způsobem kamerového snímání a podobně. Pro správnou volbu ambisonického mikrofonu a způsobu zaznamenání jeho výstupu je třeba znát kameru, případně kamerový rig, který se bude používat. Vzhledem k tomu, že v 360° filmech se z jejich podstaty většinou mnohem méně stříhá a že nelze použít mikrofonní tyč tak, jak jsme zvyklí, je zásadní připravit scénu způsobem, který co nejvíce usnadní skrytí mikrofonů.

K tomu může být potřeba větší množství upevňovacího vybavení, jako jsou tzv. magic arms, stativy různých velikostí, svorky, lepicí pásky a podobně. Lze se i dohodnout s rekvizitáři, scénografy a architekty na vytvoření rekvizit, či součástí dekorace, které se skrýváním zvukových zařízení pomohou. Je například možné si představit průzvučná stínidla na lustry a lampy a tak dále.

Zvukový mistr by si měl dát pozor na to, aby byl celý štáb před natáčením srozuměn s podmínkami zvukového záznamu pro 360° film. To znamená především čas na přípravu scény a skrytí mikrofonů a čas, který zvukař může potřebovat pro nahrání samostatných zvuků nebo dialogů. Speciálním případem jsou jízdy - obzvlášť, pokud kamera natáčí

uvnitř jedoucího vozidla. Další skutečností, která musí být režisérovi a všem ostatním známá, je nutnost bezchybného záznamu mikroportů mluvících herců (pokud se nepočítá s postsynchrony).

3.4 Realizace

3.4.1 Synchronizace

Vzhledem k tomu, že drtivá většina 360° kamer nemá vstup pro běžně používaný SMPTE timecode (TC) signál, stejně jako množství malých rekordérů, které jsou pro panoramatické natáčení vhodné, může být klasické řešení synchronizace pomocí TC generátorů problematické. Integrované mikrofony některých kamer, které by mohly se synchronizací pomoci, navíc mají údajně problém samy udržet synchronizaci s obrazem.¹⁰ Řešením je tedy spoléhat se na klasickou filmovou klapku a dát si pozor, aby bylo klapnutí zaznamenáno ve všech rekordérech.

3.4.2 Sound report

Kromě běžných údajů, které se do zvukového reportu píšou, je dobré zaznamenat pozice všech mikrofonů a handy rekordérů, způsob klapání záběrů a hlavně orientaci jednotlivých ambisonických mikrofonů. Nejjednodušší je určit si výchozí bod (podle kamery nebo nějakého výrazného bodu na scéně) a od toho počítat azimut podle hodin (výchozí bod je dvanáctá hodina a od něj po směru hodinových ručiček první, druhá, třetí a tak dále). Nejpraktičtější je srovnat přední stranu mikrofonu vždy na dvanáctou hodinu. Nakonec je potřeba si poznamenat, zda je upevněn vertikálně či horizontálně a jestli směřuje horní, respektive přední částí nahoru či dolů. Pro správnou pozdější manipulaci s ambisonickými nahrávkami je nutné všechny tyto skutečnosti znát.

Je velice praktické si dobře zaznamenat, jaký signál obsahuje každá stopa v každém z rekordérů. Pokud to jde, je vhodné stopy důkladně pojmenovat a případně popsat v sound reportu. U ambisonických signálů doporučuji popsat stopy X,Y,W,Z aby při nasazování zvuku v postprodukcí nedošlo k nechtěnému prohození některých z nich.

¹⁰ rozhovor s Markem Musilem, 43:00 - <https://soundcloud.com/infade/marek-musil-interview>

3.4.3 Práce s ambisonickým mikrofonem

Co se samotných ambisonických mikrofonů týče (bavme se teď o FOA tetrahedrálních mikrofonech pro použití s běžnými rekordéry), je potřeba si dát pozor na několik věcí. Zaprvé je nutné, aby byl zisk (*gain*) předzesilovače pro všechny čtyři kanály nastaven stejně. Také případné limity signálu musí být nastaveny tak, aby zabíraly společně. V nastavení naprosté většiny rekordérů však bohužel nelze spojit ovládání (*channel linking*) čtyř stop, ale pouze dvou a dvou. Je proto žádoucí nechat ambisonickým signálům dostatečný headroom (rezervu) a nastavit práh citlivosti limiteru na co nejvyšší hodnotu, aby ho signál pokud možno nikdy nepřekročil. Jakýkoliv limiting ambisonického signálu může totiž celé zaznamenané zvukové pole zdeformovat.

Hlavní ambisonický mikrofon kontaktně snímající scénu, by měl vždy být umístěn v ose kamery, aby bylo zvukové pole a obrazová sféra vycentované ve stejném bodě.

3.4.4 Záznam samostatných zvuků na lokaci

Stejně jako při natáčení běžného filmu je během 360° natáčení někdy výhodné si po dotočení záběru asynchronně nahrát některé specifické samostatné ruchy. K tomuto účelu nejlépe poslouží monofonní mikrofon na mikrofonní tyči. Jedná-li se o zvukové atmosféry, dá se využít buď ambisonický mikrofon, nebo stereo záznam. Pokud plánujeme použít danou stereo nahrávku v rámci head-locked stopy, může být na místě využít binaurální technologii. Pohybuje-li se kamera v záběru, pro který chceme nahrát asynchronně nějaký zvuk, může být vhodné projít s mikrofonem její trasu včetně správného časování, aby i zvuková atmosféra kolem diváka byla adekvátně proměnlivá.

Specifickým případem je asynchronní záznam jízdy v dopravních prostředcích. Tady bych kromě klasicky používaných mikroportů pod kapotou a u výfuku doporučil ambisonický mikrofon v místě kamery. Kromě toho lze 360° zvukový obraz dopravního prostředku obohatit o různé diskrétní zvukové objekty, které se v něm mohou vyskytovat, neboť tyto detaily v mixu zvuku pro VR mohou pomoci imerzi. Může to být třeba rezonování oken autobusu, otevírání, zavírání a signalizace dveří, drkotání kol kolejových vozidel, cvakání kontrolky směrových světel, stěrače, přehazovačka bicyklu a podobně.

4 Zvuková postprodukce 360° filmů

4.1 Konečný produkt

Pro pochopení postprodukční workflow zvuku ve sférické kinematografii je nejprve potřeba vědět, jak má vypadat konečný zvukový master. Podrobné specifikace závisí na distribuční platformě, pro kterou je finální produkt určen. Jedná se však vždy o ambisonický audio soubor obsahující prostorovou zvukovou scénu, který je kompatibilní s head-trackingem a otáčí se vůči sluchátkům při pohybech hlavy diváka. Ten může být doplněn o samostatnou, na sluchátka fixovanou, head-locked stereo stopu. (Pro úplnost připomínám, že se tento text soustředí pouze na ambisonický mix a že existuje ještě možnost mixu objektového.)

Dvěma široké veřejnosti nejpřístupnějšími platformami pro distribuci sférického obsahu jsou internetové společnosti Youtube a Facebook. Především jim vděčí sektor 360° videa za strmý růst, neboť se velmi zasadily o podporu a propagaci tohoto média. Dále jsou to Vimeo, Littlstar, Hulu, VeeR, Visbit a další. Detailní technické specifikace jednotlivých platforem shrnuje tabulka 1. Je zřejmé, že pokud je v plánu využít vícero distribučních platforem, je možné vytvořit více verzí finálního mixu. Krom možnosti vyexportovat všechny potřebné formáty přímo z DAW existuje množství různých transkodérů, které jsou schopny mezi sebou jednotlivé standardy převádět.

PLATFORMA	AUDIO SPECIFIKACE
Facebook 360	8 kanálů AmbiX, 2. řád + 2 headlocked nebo FOA AmbiX v kontejneru .mp4 nebo .mov
Youtube 360	FOA AmbiX + 2 headlocked v kontejneru .mp4
Vimeo 360	Zatím nepodporuje ambisonii a headtracking
LittlStar	FOA AmbiX jako separátní PCM, wav 24bit, 48KHz
VeeR	FOA AmbiX, .mp4 nebo .mov
VisBit	blíže nespecifikovaný FOA, kodek mp3 nebo AAC

Tabulka 1 – Specifikace některých internetových distributorů 360° lineárního audiovizuálního obsahu

4.2 Tvorba zvukové scény

Základem zvukové složky sférické audiovizuální tvorby je dobře vystavěná imerzivní zvuková scéna. Zvukovou scénou myslím kompletní virtuální zvukové prostředí s jeho členitostí, hloubkou, zvukovým obsahem a proměnlivostí v čase. Jsou to dialogy postav, ruchy, zvukové atmosféry, ale také způsob, jakým se akusticky chová filmový prostor kolem diváka. Pro jednoduchost budu v rámci tohoto pojmu počítat i s nediegetickými zvuky a případným head-locked audiem, byť stojí trochu stranou.

Technicky se zvuková scéna může skládat až ze tří různých složek. První z nich je vrstva ambisonických nahrávek (sem patří kontaktní záznamy z ambisonického mikrofону, ambisonické atmosféry apod.). Druhá jde o běžné nahrávky, které jsou během postprodukce panoramovány v rámci virtuálního prostoru zvukové scény. Nakonec finální mix může, nebo nemusí obsahovat head-locked stereo stopu, která je na rozdíl od předchozích vrstev nepohyblivá.

4.2.1 Vrstva ambisonických nahrávek

Obdobou této vrstvy v objektovém mixu pro kino jsou zvuky, kterým se říká *beds*. Jedná se většinou o zvukové „podklady“, na které se pak vrší zvukové objekty. Vytvořit umělé zvukové pole pomocí jednotlivých zvukových objektů lze samozřejmě také. Lze si například představit do ambisonické vrstvy zamíchanou nediegetickou hudbu, nebo konkrétnější atmosféru nějakého prostředí.

Většina DAWs v současnosti podporuje nativní kompatibilitu s ambisonickými zdroji a lze v nich vytvořit ambisonické stopy. Není proto problém s těmito zvuky pracovat běžným způsobem. Na trhu je k dispozici obrovské množství pluginů všech standardů, které jsou dedikovány práci s ambisonickým audiem (viz 4.5).

4.2.2 Vrstva zvukových objektů

Nejprve pro pořádek v názvosloví: *zvukový objekt* je pojem známý z workflow filmového objektového mixu. Jedná se o mono zdroj s automatizovanými metadaty o poloze a chování. Mnoho umístovacích nástrojů neboli „spatializérů“ (viz níže) však

umístěný zdroj zvuku rovnou kóduje do ambisonického zvukového pole a o zvukový objekt jako takový se tedy pak již nejedná. Dal by se navrhnout pojem *virtuální zvukový objekt*, to by ovšem v odvětví, kde se slovo *virtuální* skloňuje v naprosto jiném kontextu téměř neustále, mohlo být poněkud matoucí. Budu tedy v tomto textu používat slovní spojení *zvukový objekt* i pro monofonní zvukový zdroj umístěný do ambisonického zvukového pole.

Jako zvukový objekt se dá využít jakákoliv běžná monofonní či vícekanálová nahrávka nebo uměle vytvořený zvuk (*sound design*). Pokud zdrojový soubor obsahuje víc než jeden kanál, pracujeme s každým z nich v rámci scény jako se separátním monofonním zdrojem. Tyto zdroje jsou v DAW umístěny v jednotlivých stopách a pomocí spatializéru (ambisonického či objektového panneru) umístěny do virtuálního prostoru kolem diváka. Změna jejich pozice v čase se dá samozřejmě automatizovat.

Zvukovými objekty mohou být typicky nahrávky dialogů, kontaktní i postsynchronní ruchy, zvukové efekty, případně zdroje diegetické hudby a mnoho dalších. Veškerý procesing a jeho automatizaci u každého jednotlivého objektu je vhodné provádět na jeho vlastní stopě v DAW. Pokud se skládá z více vrstev, lze pro jednoduché umístění tyto vrstvy buď nejprve smíchat a nasadit do stopy výsledný zvuk, nebo použít aux sběrnici.

Kromě pozice v prostoru lze ovládat u každého objektu množství dalších parametrů, jako je poměr signálu odeslaného do dozvukového procesoru a podobně. Zdroj zvuku ve virtuálním prostoru navíc nemusí být bodový, ale může mít svůj objem, který lze samozřejmě měnit a automatizovat též.

Jak jsem již naznačil v předchozí kapitole, je možné část objektové vrstvy zvukové scény vyexportovat v ambisonickém formátu a znovu nasadit do projektu, čehož lze využít, pokud je žádoucí aplikovat sférické úpravy pomocí pluginů pro práci se zvukovým polem, případně pokud by bylo z nějakého důvodu potřeba využít možnost snímání zvukového pole virtuálním mikrofonom.

4.2.3 Head-locked audio

Poslední vrstvou, kterou finální balík zvukových stop může obsahovat, je head-trackingem neovlivněná stereo stopa fixovaná na sluchátka. Do ní se umisťují buď nediegetické zvuky, jako je hudba či voiceover, zvuky, které mají znít uvnitř divákovy hlavy (vnitřní hlas) nebo které přicházejí z určitého směru vztaženého k divákovi, ne k prostředí (tedy například za divákem, u jeho levého ucha atd). Případně může jít o zvuky, u kterých na směrovosti nezáleží (basové efekty, vzdálené zdroje apod).

Zdrojovými zvuky pro head-locked stopu mohou být monofonní či stereofonní nahrávky nebo mono či stereo extrahované z ambisonického zvukového pole. Jedná se o jedinou vrstvu, v rámci které může být vhodné použít binaurální nahrávku. Tato stopa se tvoří jako jakýkoliv běžný mix určený pro sluchátka. Lze ji ovšem vyrobit pomocí spatializéru a obohatit ji tak o virtuální prostorovou kvalitu. Z důvodu externalizace (pokud je žádoucí) pak může být vhodné ji zmasterovat přes HRTF filtr jako binaurální stereo.

4.3 Postprodukční zvukové zdroje

4.3.1 Postsynchrony

Postsynchronní ruchy i dialogy se nahrávají stejným způsobem, na který jsme zvyklí z běžné audiovizuální produkce. Jediný rozdíl, který však může tuto práci poměrně zkomplikovat, spočívá ve sférickosti obrazové stopy. Pro herce i ručaře je nemyslitelné, aby dělali svou práci s headsetem na hlavě, nemluvě o tom, že musí směřovat k mikrofonu a neotáčet hlavou ze strany na stranu. Tento způsob by byl navíc velmi technicky a produkčně komplikovaný. Zobrazí-li se sférický obraz na 2D obrazovce či projekčním plátně, je extrémně zdeformovaný s příliš malými detaily, takže pro ručaře nepraktický, pro herce pak, pokud se hovořící postava nenachází velmi blízko u kamery, v podstatě nepoužitelný.

Tento problém se dá vyřešit tak, že se ve střížně připraví potřebné výřezy obrazu pro jednotlivé postavy. Pro ruchy lze obraz rozřezat na kvadranty. Pokud se nějaký objekt v obraze přesouvá, je nutné ho naruchovat buď postupně pro každý kvadrant, což je velmi časově neefektivní a nebo mít k dispozici čtyři obrazovky se simultánně promítaným

obrazem. Druhé řešení je mnohem praktičtější, ovšem musí na něj být připravena adekvátní infrastruktura studia. Jednoduchým řešením může být operátor, který „švenkuje“ pohledem na obrazovce v ruchovém studiu tak, aby ruchaři vždy viděli akci, kterou potřebují. Zde je potřeba si dát pozor, aby nám neunikl nějaký ruch ve směru pohledu, který jsme dostatečně nezkontrolovali.

Postsynchronní ruchy jsou pro ambisonický mix velmi žádoucí. Tyto mono nahrávky lze jednoduše umístit do vytvářeného 360° pole, čímž se slyšitelně zvýrazní jeho hloubka díky výrazné směřovosti a znatelnému rozlišení perspektiv. Rovněž mohou dobře rozeznít virtuální akustický prostor, ať už jsou to různé povrchy viditelné v obraze nebo umělý dozvuk navržený v postprodukcii.

4.3.2 Hudba

Hudbu lze samozřejmě nahrávat i před natáčením či během něj, nejenom v postprodukcii. Na nahrávání jako takové to však nemá zásadní vliv. O nahrávání hudby pro film se zde samozřejmě nemá cenu ze široka rozepisovat, zmíním se tedy pouze o specifikách, která se vážou k nahrávání hudby pro ambisonický mix. Důležitým předpokladem je znát způsob, jakým bude daná nahrávka použita. Primární otázkou je, zda se jedná o hudbu diegetickou, či nediegetickou a zda je v plánu ji umístit do ambisonického mixu, nebo do head-locked stereo stopy.

Jedná-li se o diegetickou hudební nahrávku, pak záleží na tom, jakým způsobem bude interpretována v rámci filmového světa. Pokud se jedná o hudbu reprodukovanou, pak ji stačí nahrát běžným způsobem a smíchat do jedné nebo dvou stop. Výsledný mix se pak frekvenčně a dynamicky upraví (například aby zněl, jako když vychází z reproduktorů), umístí pomocí ambisonického panneru tam, odkud má hudba v obraze vycházet a na závěr se na něj aplikuje případný umělý dozvuk, aby přirozeně splynul se zvukovou scénou. Pokud se jedná o hudbu hranou v obraze živě, je možností více.

První možností je nahrát ji přímo na lokaci, buď během záběru, nebo po něm. Lze k tomu použít ambisonický mikrofon, stereo mikrofon či „handy“ rekordér, nebo jednotlivé bodové mikrofony. Tento způsob však nelze použít vždy, buď kvůli dialogu, nebo protože je nutné mít hudbu připravenou předem pro playback. Někdy prostě jenom nemusí být kam schovat mikrofony. V tom případě je nutné hudbu nahrát ve studiu. (I k

tomu je ovšem zapotřebí alespoň pomocná kontaktní nahrávka.) Samotné nahrávání lze provést buď klasicky, pomocí bodových mikrofonů, které se pak umístí do obrazu jako jednotlivé zvukové objekty, nebo ambisonickým mikrofonem s tou výhodou, že ve studiu se dají pohodlně použít kvalitní mikrofony vyšších řádů. Tento mikrofon by měl být od hudebního tělesa stejně daleko, jako byla při natáčení kamera, a těleso by mělo být rozestavěno tak, jak bylo zachyceno v obraze. Je třeba si zapsat orientaci mikrofonu, aby bylo možné ambisonickou nahrávku správně umístit. Nediegetická hudba se nahrává běžným způsobem.

4.3.3 Zvukové efekty

Zvukové efekty neboli *SFX*, jsou v anglo-americké terminologii protějškem ruchů. Ruchy jsou zde vnímány jako zvuky popisující realitu (kroky, šaty, manipulace s předměty apod.). Zvukové efekty jsou zpravidla o něco významotvornější zvuky s vyšší dramaturgickou funkcí často převzaté ze zvukových bank nebo zvuky uměle (synteticky) vytvořené procesem zvaným *sound design*.

Zvukové efekty se často vyskytují v předním zvukovém plánu a jejich úkolem je strhávat na sebe pozornost. Je-li to žádoucí, mohou být výrazně dynamické a mohou z mixu vybočovat i jinou mírou umělého dozvuku, útlumu s jejich vzdáleností a tak dále. Pokud se jedná o zvukové efekty, které pouze doplňují zvukovou scénu, pracuje se s nimi v podstatě stejně jako s postsynchronními ruchy.

Sound design je kategorie velice otevřená kreativitě sound designéra a zdatně rozšiřuje možnosti zvukové dramaturgie. Způsob nahrávání a syntézy těchto zvukových efektů, stejně tak jako jejich umístění závisí především na dramaturgickém záměru. Složitější sound designové plošné efekty mohou být i složeny z většího množství jednotlivých zvukových objektů a sfér.

4.4 Studiová infrastruktura pro editaci a mix zvuku pro 360° kinematografii

Běžné zvukové střižny evokují domácí televizní zkušenost a míchací filmové haly zase sledování filmu v kině. Mix zvuku lineárních audiovizuálních děl určených pro VR, je

v nich možné dokončit, je však nutné mít možnost práci průběžně kontrolovat ve VR headsetu. Ideální je mít k dispozici míchací halu s prostorovým reprodukčním systémem (5.1 nebo 7.1). Pokud víme, že je dané dílo určeno pouze pro VR headsety, pak rozhodně není chyba provést celý mix ve sluchátkách (je ovšem nutné počítat se skutečností, že někteří uživatelé domácích VR mají místnosti s reproduktory, které preferují před nepohodlnými a izolujícími sluchátky). Na trhu jsou navíc k dostání různé head-trackery – sledovače pohybů hlavy, a na internetu existují i návody, jak si vyrobit vlastní. Díky tomu lze poměrně jednoduše a levně vyrobit ambisonický mix s kontrolou head-trackingu i v domácím prostředí.

Za účelem propojení DAW s head-tracked sluchátky (respektive VR headsetem) byly vyvinuty různé pluginy a standalone aplikace. Tyto SW fungují stejně jako přehrávače 360° videí (případně zvuku). Přijímají data z čidla orientace hlavy, umí dekodovat ambisonická pole a často obsahují binauralizační filtry. Kromě VR headsetů fungují i s telefonem případně pouze se scrollováním v obraze pomocí myši.

V současnosti je jedním z hlavních problémů mixu pro 360° filmy nedostatek HW ovladačů. Těžiště tvorby zvukové scény spočívá v umístování a panoramování jednotlivých zvukových objektů v rámci sférického obrazu. Pluginy k tomu určené využívají buď princip umístování zdrojů v prostorové síti souřadnic nebo fungují způsobem „click and drag“ v náhledovém okně videa. Praktické by se pro tento účel mohly zdát kontrolery typu surround panner, pomocí kterých lze zautomatizovat horizontální souřadnice a posléze přidat elevaci (případně lze použít kontrolery dva). Často však může být velmi těžké tímto způsobem svázat zvukový objekt s vizuální referencí ve sférickém obraze. Mnohem praktičtější jsou tedy pluginy, které umožňují zakreslit pohyb zvukového objektu přímo do 2D zobrazení videa.

Ideálem by mohla být možnost provádět všechny tyto činnosti přímo uvnitř prostředí virtuální reality. První vlašťovkou tohoto způsobu práce se zvukem pro VR je systém DearVR Spatial Connect. Jedná se o aplikaci, která se spustí ve VR a přes síť se propojí s DAW Nuendo 10 nebo Reaper. Uvnitř této aplikace najde uživatel rozhraní pro vzdálené ovládání tohoto DAW. Pomocí herních VR ovladačů lze potom přímo „uvnitř“ daného videa ovládat pozici zvukových objektů, jejich hlasitost, umělý dozvuk a další parametry.



Obrázek 9 - Ukázka virtuálního pracovního prostředí DearVR Spatial Connect

4.5 Software

4.5.1 Ucelené sady modulů

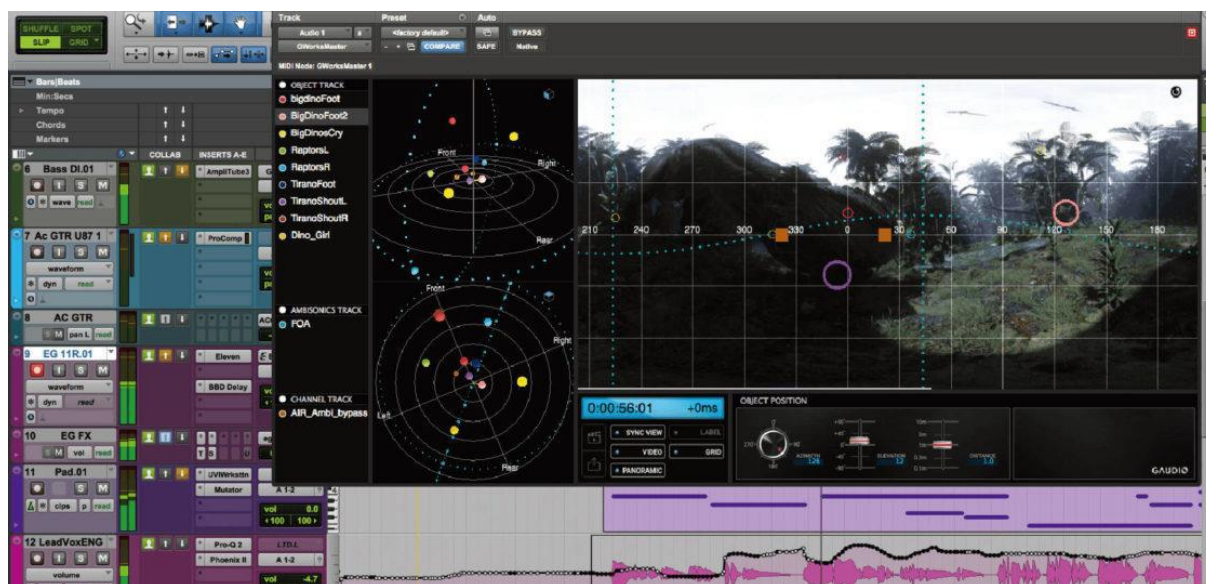
Existují celé sady zásuvných modulů, z nichž některé obsahují kompletní řešení pro ambisonický mix. Takovou sadou je například Fb360 Spatial Workstation, kterou společnost Facebook začala vyvíjet paralelně se spuštěním kompatibility s 360° videi v roce 2015. Facebook se snaží promovat panoramatickou tvorbu, a proto jsou tyto nástroje k dispozici zadarmo ke stažení. Zadarmo jsou i nástroje od společnosti Oculus. Tento výrobce však spoléhá spíše na programátory, a tak je Oculus SDK vytvořena pro herní enginey a pluginy pro klasická DAWs jsou pouze nepočetné a relativně jednoduché. Dalšími velkými sety zásuvných modulů jsou ATK, O3A, Ambix a jiné. Jejich jednotlivým součástem se budu věnovat v dalším textu podle jejich funkce, neboť různé moduly od různých výrobců lze nakombinovat a vytvořit si tak personalizované pracovní prostředí.

4.5.1.1 *G'audio Works*

Tento nástroj jsem se rozhodl představit v této kapitole, protože přesahuje jednotlivé kategorie, do kterých jsem pluginy rozčlenil v následujícím textu. G'audio je společnost, která vznikla přímo za účelem tvorby technologií pro práci s imerzivním VR zvukem a nabízí řešení jak pro hry, tak pro filmovou virtuální realitu. Její zásuvný modul pro tvorbu zvuku k 360° snímkům zatím podporují pouze Pro Tools běžící na operačním systému MacOS, jmenuje se G'audio Works a má dvě složky; master plugin, kde probíhá veškerý processing, a slave plugin, který do něj odesílá zvuk ze zdrojové stopy, ve které se zapisují informace o poloze. Skvělá je možnost jednoduše u každé zdrojové stopy zvolit, jestli je interaktivní (pozice se mění podle otáčení hlavou), neinteraktivní (binaurální head-locked) nebo nediegetická (pouze u stereofonních zvuků – ta pak projde master pluginem beze změny jako obyčejné statické stereo). Master plugin je pak praktický spatializer a vizualizér v jednom. Obsahuje video náhled, který lze přepínat mezi plošným a sférickým zobrazením a dvě sítě souřadnic v různých doménách. Zobrazení videa umožňuje v reálném čase namapovat zvukové zdroje na objekty v obraze metodou „klikni a táhni“. Automatizační křivku je pak možné editovat přímo v DAW. Dále lze kontrolovat vzdálenost každého zvukového objektu od posluchače, která ovlivňuje hlasitost a barvu zvuku podle interního vzorce. Ambisonickými zvukovými zdroji lze otáčet ve třech osách (roll, pitch, yaw). G'audio Works pak dokáže vyexportovat imerzivní zvukovou stopu ve všech běžných formátech.

Velkou výhodou G'audia je krom toho, že je zdarma, zajisté jeho kompaktnost a jednoduchost (především bych ocenil skutečnost, že není potřeba řešit žádný složitý routing). Veškeré umístování zvuků v prostoru a jejich monitoring včetně přehrávání videa (kompatibilního s head-trackingem) probíhá v jednom jediném pluginu. Nevýhodou je však kromě neexistující možnosti nastavení algoritmu pro útlum zvuku také absence simulace prostoru. Řešením může být použití vícekanálové dozvukové AUX stopy a její implementace do imerzivního pole pomocí virtuálních reproduktorů, nebo použití modulů jiných výrobců. G'audio nabízí ještě nástroje pro konvertování formátů a mastering finálního balíku dat (spojování obrazu a zvuku). Pomocí těchto nástrojů lze

vyexportovat interaktivní i neinteraktivní složku mixu zároveň. G'audio Works má navíc praktické presety exportů pro jednotlivé distribuční platformy.¹¹



Obrázek 10 - Pro Tools session s pluginem G'audio Works

4.5.1.2 RS360

RS360 od společnosti RealSpace3D Audio (divize firmy Visisonics) je samostatná (standalone) aplikace pro zjednodušenou výrobu zvukové stopy k 360° filmu. Její pořizovací cena není nijak závratná (bezmála 80 dolarů za rok). Jedná se v podstatě o velice jednoduché DAW, kam lze naimportovat monofonní nebo ambisonické zvuky do jednotlivých stop, ve kterých je pak možné automatizovat hlasitost a pozici (kterou lze vizualizovat i v náhledovém okně videa). Do aplikace se ovšem po vzájemném propojení dají také streamovat diskretní stopy z běžných DAW.

Užití RS360 bez propojení z DAW, poněkud svazuje tvůrci ruce, neboť aplikace nenabízí téměř žádné pokročilejší možnosti manipulace se zvukem. V digital audio workstation módu se však z RS360 stává funkční nástroj pro monitoring ambisonického mixu, protože podporuje sledování s head-trackingem v reálném čase. Jeho další silou je navíc podpora ambisonie až do působivého sedmého řádu jak na vstupu, tak na výstupu

¹¹ <https://gaudiolab.com/vr360/>

a také jednoduchý export výsledného mixu dle jednoho z obsažených presetů pro běžné platformy.¹²

4.5.2 Spatializéry

Základním nástrojem pro výrobu ambisonického mixu je vždy tzv. spatializér. Jedná se vlastně o jakýsi „umist'ovač“ a zároveň panner zvukových objektů do vytvářeného zvukového pole. Funguje buď jako pole souřadnic (azimut/elevace/vzdálenost) nebo jako videonáhled, do kterého se zakresluje pozice a pohyb jednotlivých zdrojů.

Tyto pluginy se zásadně liší v tom, jestli jsou určeny pro objektový mix (a zapisují tak pouze data, která se vážou k zvukovému objektu), nebo jestli se jedná o tzv. ambisonické pannery, které změň výstup stopy na ambisonický formát. I objektový mix však lze posléze přepočítat do ambisonického zvukového pole. Použit ambisonické pannery má tu výhodu, že můžeme v průběhu mixu na různé části zvukového pole aplikovat ambisonický processing.

4.5.2.1 Oculus Spatializer plugin

Tento zásuvný modul se zapojuje na monofonní stopu, jejíž obsah se pak chová jako zvukový objekt. Ten se umístí ve virtuálním prostoru pomocí parametrů X POS, Y POS a Z POS (v metrech). Dále lze nastavit, jak rychle ubývá zdroji hlasitost, při jeho pohybu od posluchače (přesněji vzdálenost, ve které se zvuk začne zeslabovat, a vzdálenost, ve které úplně zmizí). Součástí pluginu je také dozvukový modul, který má vypínatelné vrstvy reflections (odrazy) a reverb. Funguje na principu jednoduchého „krabicového“ (tzv. *shoebbox*) modelu. Nastavit lze velikost místnosti ve všech osách a pohltivost všech stěn zvlášť. Podstatné je, že všechny parametry týkající se velikosti místnosti a pohltivosti jejích stěn jsou globální. To znamená, že máme-li Oculus Audio Spatializer na více stopách a některý z těchto parametrů změňme v jedné z nich, změna bude globální a parametr se nastaví na stejnou hodnotu ve všech stopách. Je škoda, že dozvukový modul nelze alespoň vypínat a zapínat na každé stopě zvlášť. Zároveň je však třeba říci, že se jedná o

¹² <https://realspace3daudio.com/rs360/>

nejpracovanější dozvukový procesor (snad krom spatializérů DearVR) integrovaný do tohoto typu pluginu, protože obsahuje největší množství ovladatelných parametrů.¹³



Obrázek 11 - Oculus Spatializer

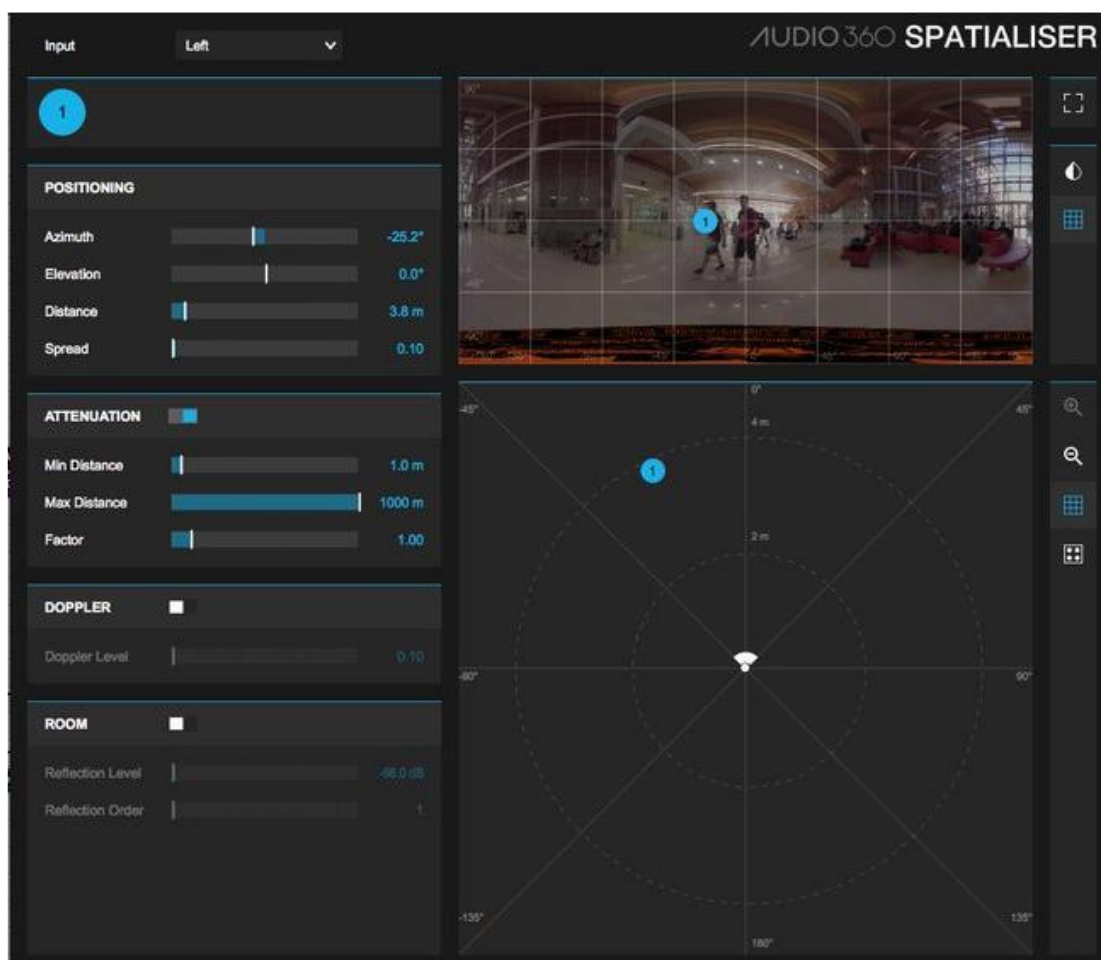
4.5.2.2 FB360 Spatializer

Tento plugin je jádrem FB360 Spatial Workstation. Jedná se o spatializér vyvinutý společností Two Big Ears, kterou brzo koupil Facebook. Vstupním zvukovým proudem může být nahrávka o jednom až sedmi kanálech (nepočítá se se subwooferem), případně ambisonické B-formát soubory standardu FuMa či AmbiX. U ambisonických nahrávek vlastně pouze otáčíme zvukovým polem (neboli souřadnicovou síť) vztažným k pozici mikrofonů. Kromě parametrů Roll, Pitch a Yaw, které tuto rotaci řídí, je k dispozici ještě parametr envelopment, který zmenšuje poloměr zvukové sféry kolem posluchače až do extrémního případu, kdy se veškerý zdroj zvuku vtěsná do středu pole a stane se z něj mono zdroj.

Práce s ostatními formáty je o poznání zajímavější. U stereo nahrávek se můžeme rozhodnout využít krom obou kanálů pouze levý, pravý či jejich mixdown. Každý kanál je ovládán zvlášť. Nejdůležitější sekce parametrů je nadepsaná *positioning*, a jak už název napovídá, slouží k umístění zdroje v prostoru. Přítomen je ještě parametr spread, který zdroj zvuku rozšiřuje a vytváří z něj tak plošný zvukový objekt. Dalšími sekcemi jsou *attenuation* (úbytek hlasitosti zdroje v závislosti na jeho vzdálenosti), *doppler* (možnost

¹³ <https://developer.oculus.com/>

simulace dopplerova jevu u pohybujících se zdrojů) a *room*, který nabízí základní simulaci prvních odrazů zvuku v prostoru, ovšem téměř bez možnosti nastavení jakýchkoli parametrů. Plugin navíc obsahuje přehrávač 360° videí pro adekvátní náhled. Jak je vidět, FB360 spatializer je velice univerzální a široce použitelný, a navíc je k dispozici zdarma.¹⁴



Obrázek 12 - FB360 Spatializer

4.5.2.3 Rondo360

Společnost Dysonics se již okolo patnácti let zabývá prostorovým zvukem na široké spotřebitelské úrovni. V poslední době se zaměřuje hlavně na vývoj zvukových řešení pro VR. Ten vedl k vytvoření systému Rondo360 – velmi jednoduché externí aplikace pro tvorbu imerzivních mixů. Ta se připojuje do DAWs pomocí send a return pluginů, díky kterým je kompatibilní s velmi širokou paletou pracovních stanic. Umí zpracovat většinu nejpoužívanějších formátů (mono, stereo, 5.1, FOA). Vícekanálové zdroje jsou přehrávány

¹⁴ <https://facebook360.fb.com/spatial-workstation/>

z virtuálních reproduktorů, které nejsou zobrazeny ve vizualizéru, a uživatel tak bohužel nemá dostatečný přehled, co kam umísťuje. Existuje však možnost smíchat tyto stopy do jednoho mono zdroje. Každý z těchto zdrojů pak může být v editoru Ronda libovolně umístěn v prostoru. Veškerá automatizace pohybu se zapisuje v hostitelské DAW. Rondo360 pak obsahuje veskrze minimalistický, naprosto primitivní mixer, kde lze upravit hlasitost jednotlivých zdrojů a zapnout či vypnout room, jehož parametry jsou nastaveny automaticky podle vzdálenosti zdroje od posluchače. Konzole pak obsahuje ještě globální limiter a kompresor, jejichž parametry jsou nastaveny napevno. Program bohužel obchází veškerou automatizaci hlasitosti v DAW. Všechny zdroje je tedy nutné mít předem připravené a Rondo360 slouží spíše jako nástroj pro mastering mixu do ambisonického audia. Celý systém je dost přímočarý a intuitivní. Oplývá však pouze nejzákladnějšími funkcemi a je tak předurčen spíše k amatérským a poloprofesionálním účelům.¹⁵

4.5.2.4 DearVR

DearVR nabízí dva spatializéry – *DearVR Music* zaměřený na hudbu a *DearVR Pro*, jenž je jeho všestrannější verzí. Okno pluginu má tři sekce. Spatializér, konvoluční reverb s množstvím integrovaných prostorových odezev a modul pro simulaci odrazů zvuku ve virtuálním akustickém prostoru, nastavitelnou pro každou stěnu zvlášť. Výstup z těchto nástrojů je však binauralizován skrze interní proces, což může vést k problémům při druhé aplikaci binauralizace během reprodukce. Proto se tyto pluginy pro tvorbu mixů, u kterých se počítá s pozdější interaktivitou danou head-trackingem, příliš nehodí. Na druhou stranu se pravděpodobně jedná o nejkvalitnější nástroj pro případnou výrobu externalizované head-locked stopy.¹⁶

4.5.2.5 Noise Makers Ambi Pan

Ambi Pan je jednoduchý ambisonický panner od společnosti Noise Makers. Umí ovládat základní umístění monofonního či stereofonního zdroje (pozici a šíři),

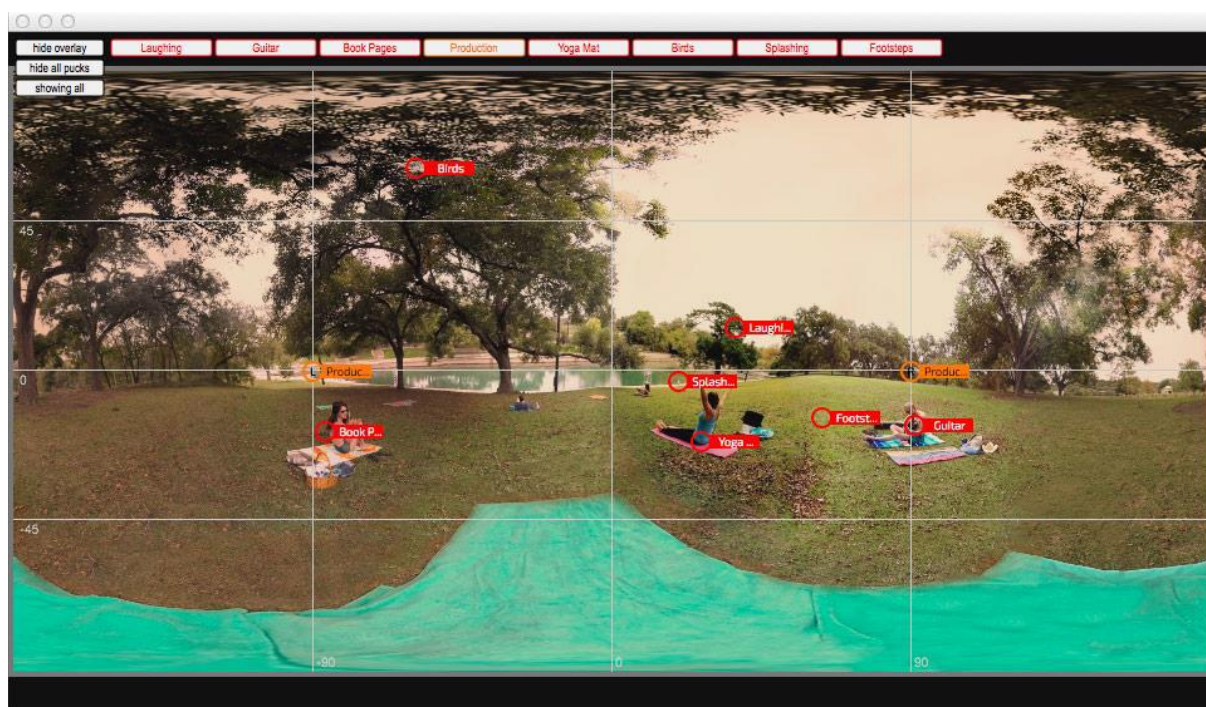
¹⁵ <https://www.harmonycentral.com/news/recording/dysonics-reveal-rondo360-vr-audio-software-r32668/>

¹⁶ <https://www.dearvr.com/products/dearvr-pro>

automaticky počítá útlum hlasitosti podle vzdálenosti zdroje od posluchače a disponuje dvěma druhy zobrazení (azimut/elevace a azimut/vzdálenost). Lze ho vhodně skombinovat s modulem Ambi Head, o kterém budu psát níže.¹⁷

4.5.2.6 AudioEase 360Pan

Společnost AudioEase známá především pro svůj Altiverb nabízí pro práci s 360° zvukem několik jednoduchých pluginů pod značkou 360Pan Suite. Spatializer 360Pan je umístovačem, který se ovládá přímo v náhledovém okně videa DAW. Nemá žádné jiné ovládací prvky a automatizaci tak lze pouze zapisovat prostřednictvím popotahování zdroje myši v reálném čase, nebo přímou editací automatizační křivky.¹⁸



Obrázek 13 - AudioEase 360pan

4.5.3 Zásuvné moduly pro práci s ambisonickými zdroji

Rozhodnul jsem se zahrnout do přehledu i nástroje pro práci s ambisonickými zdroji jednak z toho důvodu, že jsou při tvorbě zvukových stop 360° filmů hojně užívány a

¹⁷ <https://www.noisemakers.fr/ambi-pan/>

¹⁸ <https://www.audioease.com/360/>

jednak taky proto, že jejich pomocí můžeme manipulovat s ambisonickými zvukovými poli vytvořenými postprodukčně z různých zdrojů a použít je tedy mimo jiné i jako masteringové pluginy pro ambisonický mix. Zde jsou nejzajímavější vybrané moduly:

4.5.3.1 *Ambisonic Tool Kit (ATK)*

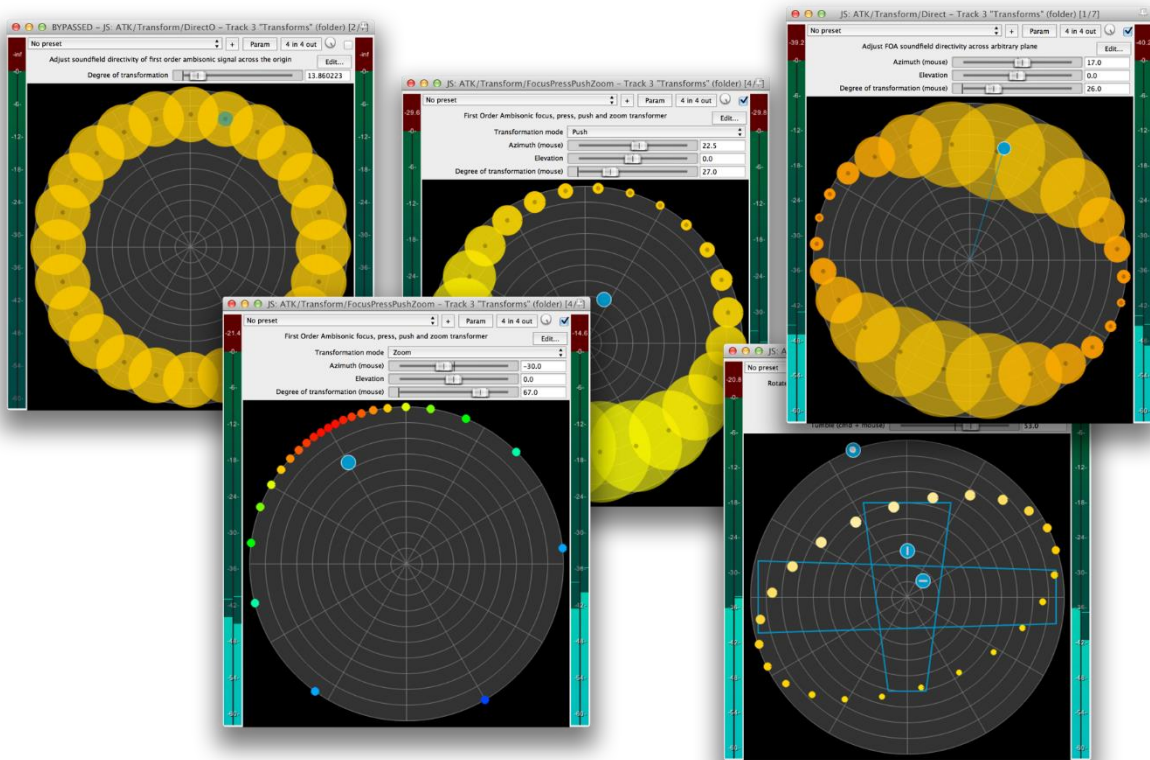
ATK je sada pluginů pro práci s ambisonickým zvukem 1. řádu, vytvořených exkluzivně pro Reaper a SuperCollider (je však použitelný se všemi DAW podporujícími VST pluginy). Obsahuje množství kodérů, které dokáží převést libovolný zvukový formát (mono, stereo atd.) do ambisonického B-formátu a tím je přetransformovat na sférické zvukové pole. Už během tohoto zakódování má uživatel možnost měnit různé parametry. U monofonického zvuku tak lze například nastavit šířku zdroje, jeho spektrální obraz, vytvořit z něj pomocí fázových posuvů difuzní pole, nebo z něj udělat planární vlnu přicházející z určitého směru.

Další skupinou pluginů jsou ty, jenž jsou určeny k transformaci zvukového pole ambisonických nahrávek v B-formátu. Tuto funkčnost si lze nejlépe představit jako množinu bodových zvukových zdrojů umístěných sféricky kolem středu (ať už reálného či virtuálního mikrofону). Všechny tyto zdroje pak lze zesilovat či zeslabovat, rozšiřovat či konkretizovat, měnit jejich vzájemnou polohu a pozici ve vztahu ke středu zvukového pole, zrcadlit, frekvenčně upravovat a podobně. Všechny tyto „transformační“ zásuvné moduly dávají uživateli nesmírně široké možnosti úpravy B-formát zvuků.

ATK uzavírá třetí skupina nástrojů, kterými jsou dekodéry, které dokáží transformovat B-formát zvuk do jiných standardů (virtuální mono nebo stereo mikrofón, UHJ stereo, binaurální stereo a spoustu dalších). Tyto pluginy mají k dispozici různé parametry, jako například vzájemná vzdálenost reproduktorů u stera nebo HRTF funkce u binaurálu.

ATK je obsáhlá sada pro práci s B-formát zvuky, kterou lze použít pro netradiční úpravy zvukového pole, jelikož její možnosti jsou téměř neomezené. Má však několik nevýhod, jako je její nekompatibilita s Pro Tools a hlavně skutečnost, že navzdory jejímu

zaměření výhradně na ambisonii nepodporuje vyšší, než první řád. Naopak velmi příjemná je pak její bezplatnost.¹⁹



Obrázek 14- Různé pluginy sady ATK (barevné kruhy představují jednotlivé virtuální zdroje)

4.5.3.2 O3A

Blue Ripple Audio vyvinulo velmi širokou škálu VST pluginů pro práci s ambisonií vyšších řádů. Konkrétně se, jak zkratka v názvech napovídá, zabývá třetím řádem ambisonie. Zdarma nabízí balík O3A Core, který obsahuje dohromady 22 zásuvných modulů sloužících k panoramování, konvertování, monitoringu, měření ambisonických zvuků, manipulaci s celou scénou a její nahrávání pomocí virtuálního mikrofону. Za různé obnosy pak lze zakoupit další obsáhlé balíky nástrojů. O3A Decoder je sada dekodérů pro absolutní většinu reprodukcí systémů (zdůraznil bych obsažený brickwall limiter pro ambisonické mixy). O3A Manipulator je zase balíkem různorodých pluginů od ekvalizérů, kompresoru, difuzéru, různých pannerů, prostředků k úpravě globálních parametrů v určité části zvukového pole a jeho prostorového zoomování až po O3A Screen resizer,

¹⁹ <http://www.ambisonictoolkit.net/>

který kompenzuje změnu velikosti či poměru stran obrazu. O3A Reverb dále přináší několik dozvukových procesorů různých typů – první odrazy, syntetický reverb, konvoluční a tvarovatelný konvoluční reverb a „shoebox model“ reverb. Nakonec Blue Ripple sound krom mnoha druhů upmixerů nabízí ještě trojici pluginů O3A View, která umožňuje především kódování zvukového proudu do binaurálního stera pro monitoring imerzivního mixu a také umožňuje podporu head trackingu. Nabídka Blue Ripple audio je svojí šíří nepřekonaná žádnou jinou společností. Kromě zmíněného O3A systému totiž vyvíjí ještě SDK Rapture 3D pro imerzivní zvuk videoher a další řešení týkající se prostorového zvuku.²⁰

4.5.3.3 Ambix

Ambix je sada pluginů a samostatných programů, vytvořená Mathiasem Kronlachnerem jako součást jeho magisterské práce na Institutu elektronické hudby a akustiky v Grazu. Veškeré součásti tohoto setu jsou zdarma. Jedná se však o VST/LV2 pluginy, takže může vzniknout problém s kompatibilitou například u široce využívaných Pro Tools. Ideálním DAW pro použití s Ambixem je Reaper. Všechny jeho součásti slouží především pro práci se zvukovým polem jako celkem. Dokáží ho otáčet, dékodovat, kódovat a konvertovat různé ambisonické formáty, ovládat hlasitost a spektrum v různých místech zvukového pole, zplošťovat ho, zrcadlit, různě panoramovat a nahrávat určitou část zvukového pole do zvukové stopy pomocí virtuálního mikrofону. Obsahuje také speciální možnost frekvenčně závislé rotace pole²¹. Velmi pozoruhodný je zajisté fakt, že Ambix podporuje dokonce ambisonii 7. řádu.²²

4.5.4 Monitorovací moduly

Krom již zmíněných G'audio Works, RS360 a O3A mají i další výrobci své pluginy sloužící k monitorování ambisonických mixů. FB360 Spatial Workstation obsahuje modul FB360 Converter, přes který jsou všechny zvuky zkonvertovány do binaurálního stera,

²⁰ <https://www.blueripplesound.com/products/o3a-core>

²¹ Kolektiv autorů: *Efficient Phantom Source Widening and Difuseness in Ambisonics*. Universitätsverlag Der TU Berlin, 2014

²² <http://www.matthiaskronlachner.com/?p=2015>

ambisonické stopy 1. řádu, nebo do speciálního osmikanálového formátu pro FB imerzivní audio. Funguje tedy zároveň jako exportovací modul. Vizualizace pak probíhá přímo ve spatializéru skrze FB360 Player – přehrávač, který Facebook využívá i na svém webu. Zároveň jsou jeho součástí pluginy na měření úrovně signálu ambisonického mixu, včetně loudness meteru.

Noise makers, jak jsem již naznačil, nabízí modul Ambi Head, který umožňuje manipulaci s ambisonickým zdrojem, kterým může být i výsledný mix, nebo master sběrnice. Jedná se vlastně o konverter ambisonického zvukového proudu na 3D binaurální stereo s možností head-trackingu a podporou HRTF. V rámci 360pan Suite nabízí AudioEase dva monitorovací pluginy 360monitor (pro náhled videa ve VR headsetu s podporou head-trackingu) a 360radar, což je velice praktický modul, který graficky znázorňuje, ze které oblasti ambisonického pole zrovna přichází zvuk, a to přímo v náhledovém okně videa. DearVR dává volně k dispozici plugin DearVR Micro, který je vlastně pokročilým virtuálním mikrofonom pro snímání ambisonického zvukového pole a podporuje head tracking. Je určen k propojení s DearVR Connect pro monitoring ambisonických zdrojů.

Co se týče monitorovacích pluginů ve smyslu zvukových metrů, tak kromě výše zmíněných modulů náležících k FB360 Spatial Workstation lze použít množství různých dalších ambisonických audio metrů různých typů z nabídky ATK, O3A, či Ambix. Je jenom nutné si dát pozor, aby vybrané pluginy podporovaly potřebný řád ambisonie.

4.5.5 Transkodéry a masteringové moduly

Všechny tyto balíky zásuvných modulů obsahují i různé transkodéry, pomocí kterých je možné převádět audio mezi veškerými použitelnými formáty. Není problém konvertovat ambisonickou nahrávku mezi A-formátem a B-formátem, standardy FuMa a AmbiX, různým způsobem upmixovat ambisonické nahrávky nižších řádů na vyšší a downmixovat z vyšších na nižší, vybraným způsobem extrahovat z ambisonického zvukového pole monofonní, stereofonní či surroundovou zvukovou stopu a zakódovat vytvořené zvukové pole do ambisonické matice. Tyto pluginy lze použít i pro finální export 360° mixu, je však zřejmě jednodušší použít nějaký modul, který je přímo určen k exportu do námi požadovaného formátu.

ATK nabízí množství pluginů, které se dají využít pro finální mastering mixu, pokud nám stačí 1. řád. Zdaleka nejobsáhlejší a nejdokonalejší nabídku pro mastering mixů až do 3. řádu pak nabízí O3A. Ambisonické limitery nabízí také AudioEase pod jmenovkou 360limiter a Noise Makers jako Ambi Limiter.

4.6 Zvukový processing v rámci 360° mixu

Spíš než popisovat, jakým způsobem jednotlivé druhy manipulace se zvukem v rámci ambisonie fungují technicky, bych se chtěl zaměřit na způsob jejich využití při tvorbě imerzivního zvukového mixu. Rád bych však zdůraznil, že v této disciplíně není nic absolutně správně a že se může stát, že v určitém případě může být nutné improvizovat a zkusit nové postupy. Předem bych měl upozornit, že použijeme-li na ambisonické stopě multi-mono plugin místo ambisonického (na čemž apriori není nic špatného), může se jednoduše stát, že zvukové pole, které tato stopa obsahuje, bude zdeformováno, nebo se i rozpadne úplně.

Když upravujeme běžné zvuky channel-based audia, pracujeme vždy s určitým počtem diskretních kanálů. Každou určitou manipulaci pak můžeme provést buď plošně, stejně ve všech kanálech, anebo pouze pro určitou množinu kanálů. Zvukové objekty se upravují stejně jako mono zdroje v rámci channel-based mixu. Při manipulaci s ambisonickým polem však stojíme před spojitým, plošným, sférickým zvukovým polem, které navíc často má i hloubku a stává se tak skutečně prostorovým (zvukové objekty mohou měnit svoje parametry v závislosti na vzdálenosti od středu pole a rovněž se mění paralaxa mezi jednotlivými ušima při binaurálním poslechu). Zvukové pole je možné upravovat jako celek a nebo pouze určitou jeho část.

Co se týče dynamických úprav zvukových objektů, je zásadní vědět, jakým způsobem funguje spatializér, který jsme si zvolili. Většina z nich totiž obsahuje nějaký algoritmus pro automatický útlum zvuku při jeho vzdalování či přibližování. Jinak samozřejmě není problém upravovat dynamickou obálku jednotlivých zvukových objektů běžnými kompresory či expandery přímo v insertu dané stopy, ještě před případnou spatializací. Můžeme také komprimovat a expandovat jednotlivé ambisonické zvuky, například pokud z ambisonicky zaznamenané atmosféry příliš vyčnívají nějaké konkrétní prvky, a to dokonce pouze v určité části zvukového pole. Není příliš vhodné používat noise

gate, jelikož vypínající se šum v pozadí na sebe v ambisonickém mixu hodně upozorňuje a může vytrhávat diváka z imerzivního prožitku.

Pro frekvenční úpravy vlastně platí v podstatě stejná pravidla jako pro úpravy dynamické. Některé spatializéry kromě dynamiky upravují automaticky se změnou vzdálenosti objektu od středu pole i jeho frekvenční charakteristiku. Frekvenční úpravu v pouhé části ambisonického zvukového pole využijeme pravděpodobně častěji než směrově závislé úpravy dynamické (část zvukového pole se například může nacházet za překážkou, nebo jí můžeme chtít „zastřít“ z dramaturgických důvodů)

Pro imerzi do virtuálního světa je důležité, aby měl virtuální prostor uvěřitelnou akustickou odezvu. Vytváření umělého dozvuku v rámci ambisonického mixu může být o něco složitější než channel-based práce s reverberací, existuje však velké množství SW nástrojů, které nám tento úkol ulehčí. Ideální je aplikovat reverberaci postupně v několika krocích. Chceme-li například sladit postsynchróny (ať už dialogové, nebo ruchové) s kontaktně nahraným zvukem, doporučoval bych nejprve na ně aplikovat takový dozvuk (a frekvenční korekci), aby se co nejvíc přiblížily charakteru kontaktního zvuku. Teprve potom bych navrhoval jejich umístění do zvukového pole a případné nastavení ambisonického reverbu na celou scénu.

Může být žádoucí, aby se se vzdalováním zvukového objektu zvyšoval poměr dozvuku k suchému signálu. To může být problém, chceme-li použít ambisonický reverb. Některé spatializéry (například ten od Oculu) však již obsahují reverberační modul, který je nastaven, aby tuto funkci prováděl automaticky. U jiných spatializérů je dokonce možné tento poměr ovládat. Další možností je vytvořit v DAW ambisonickou sběrnici s ambisonickým reverbem a do ní odesílat kopii výstupních signálů požadovaných zvukových polí.

Ambisonická zvuková pole lze stejně jako běžné zvukové zdroje transformovat pomocí impulzních odezev procesem zvaným konvoluce. Pro konvoluci ambisonických zdrojů existují zásuvné moduly Ambi Verb HD od Noise Makers, pluginy O3A reverb nebo 360Reverb od AudioEase. Pokud má být výsledek co nejdokonalejší, je třeba mít k dispozici impulzní odezvu daného prostoru (případně elektroakustického zařízení) v ambisonickém formátu co nejvyššího možného řádu (který však musí být stále

podporován daným pluginem). Všechny tyto nástroje již nějaké banky těchto odezev obsahují.

4.7 Mastering

Základním východiskem pro mastering zvukové stopy 360° filmu je znalost distribučního kanálu, pro který danou verzi masterujeme. Podrobné specifikace a předpisy pro jednotlivé distribuční platformy shrnuje tabulka 1 (s.29).

Pro masteringové úpravy ambisonické části masteru lze použít běžné nástroje pro práci s ambisonickými zvukovými poli (například pluginy O3A). Head-locked vrstva se masteruje jako běžný stereo mix. Jak jsem se již zmiňoval, stojí za zvážení zda výsledný head-locked master binauralizovat pomocí HRTF. Během finalizace celého mixu se všemi jeho vrstvami je důležité si uvědomit, že ho nejspíš budou poslouchat i uživatelé s nekvalitními sluchátky. Skontrolovat, jak master zní v levných sluchátkách, by tedy mělo být samozřejmostí.

4.8 Spolupráce s programátorem

V profesionálních podmínkách se může stát, že celé audiovizuální dílo (obraz a zvuk) dohromady komponují programátoři. Dle zkušeností zvukařů, se kterými jsem se o této práci bavil, se může stát, že tito programátoři, když na ně zvukový autor nedohlédne, nezachovají zvukový mix ve formě, v jaké ho převzali ze zvukové postprodukce. Mohou totiž cítit potřebu využít možnosti zvukového processingu videoherního enginu. Často však nemají dostatečný cit pro dramaturgický záměr a cílí pouze na efekt. Je tedy potřeba být i po dokončení mixu v kontaktu s lidmi, kteří ho dostanou do rukou pro finalizaci distribučního souboru, kontrolovat průběžně jejich práci a zasadit se o to, aby námi vytvořený mix nedošel úhoně.

5 Dramaturgie zvuku 360° filmů

Cinematická virtuální realita je úplně jiný druh zážitku než sledování projekce klasického filmu v kině. Liší se svou imerzivností, ale také jistou asociálností. Stejně tak, jak se technologicky liší běžný a 360° film, liší se i způsob práce s divákem. Zvuk v kině tvoří prostor, který divák nemůže vidět, ale pouze ho slyší kolem sebe. Octne-li se „uprostřed“ 360° filmu, situace se velmi změní. Náhle má možnost otáčet se za zdrojem zvuku. Přestane existovat zvuk „mimo obraz“ tak, jak ho známe. Existují pouze zvuky virtuálního světa a všechno ostatní je buď „zvuk uvnitř“, „zvuk zvenčí“ případně neviditelné, zato slyšitelné objekty.

5.1 360° zvuková scéna

Pro tvorbu zvukové scény je velmi žádoucí znát teorii *soundscapes*. Podle kanadského autora R. Murraye Shaffera, který tento pojem navrhnul, se jedná o akustické prostředí tvořené místo viděnými objekty slyšenými událostmi.²³ Do češtiny se dá přeložit jako *zvuková krajina*. Při tvorbě zvukové scény 360° filmu jde vlastně o umělou kompozici takové krajiny, doplněné o nediegetické zvuky.

Diegetická zvuková scéna se dá rozdělit na dvě složky. Jednak na zvukové zdroje, které může divák vidět kolem sebe, druhak na zdroje, jež spatřit nemůže, neboť jsou mimo jeho zorné pole. Do druhé kategorie patří zpravidla zvukové atmosféry a dialogy, ruchy či diegetická hudba v dálce nebo za neprůhlednou překážkou. Tyto zvukové prvky tvoří *soundscape*, který se dá rozdělit podle Shafera na tři složky. Jsou to *keynote sounds*, což je relativně homogenní zvukové pozadí tvořící základní kámen nebo také podklad dané scény, které silně ovlivňuje její náladu, protože výrazně působí na lidské podvědomí. Dále *soundmarks* (jako parafráze na anglické slovo *landmarks*), což jsou krajínotvorné zvuky fixované na určitý pevný bod v širém prostoru. A nakonec *signal sounds*, což jsou zvuky aktivující lidskou nervovou soustavu, nesoucí informaci (ať už sémantickou, nebo o

²³ *The Soundscape: Our sonic environment and the tuning of the world; 1977, s.7*

v určitých případech může být pro imerzi žádoucí Dopplerův jev přehnat, nebo doplnit dynamickým sound designem.

5.2 Vedení pozornosti diváka

Zvuk dostává v rámci 360° kinematografie důležitou roli. Je základním dramaturgickým prostředkem sloužícím k zaměření pozornosti diváka. Jestliže jsme z běžných filmů zvyklí, že se snažíme upoutat divákovu pozornost na určitý detail na plátně, zde má zvuk vůdčí slovo v tom, které pomyslné „plátno“ si divák pravděpodobně vybere. Nejjednodušším způsobem, jak divákovu pozornost směřovat, je samozřejmě popisně ozvučit důležité děje kolem diváka, případně je zdůraznit v mixu. Chceme-li, aby se divák podíval někam dříve, než se tam něco podstatného stane, můžeme použít zvukovou předzvěst onoho děje (blížící se kroky, zesilující se burácení atd.). Velice efektivní je samozřejmě mluvené slovo, dynamické ruchy, případně nerealistické a tedy v rámci dobře vystavěné imerze znepokojující zvuky.

Stane-li se scéna příliš přeplněná bezprostředními zvuky, začne být pro diváka chaotická a je pak pravděpodobnější, že se bude rychle rozhlížet kolem sebe. Další dramaturgickou možností je překvapit diváka náhlým zvukem z nečekané strany (je pak téměř stoprocentní šance, že se otočí). Jenom pozor – diváci často reagují na zvuky opožděně nebo si nejsou jistí, ze které strany zvuk přichází (což může být dáno i nekvalitními sluchátky či nízkým řádem ambisonické reprodukce). Proto se není radno vždy spoléhat pouze na zvuk a je potřeba dát divákovi dost času reagovat.

Pokud je naším záměrem, aby se divák ve scéně orientoval, může nám pomoci několik postupů. Nejjednodušší a často nejefektivnější je využít soundmarks. Může to být například zurčící potok, bzučící transformátor nebo kostelní zvon v krajině. Zkrátka zvukové zdroje se stabilní fixovanou pozicí v rámci zvukového pole. Druhou možností je využít toho, že zvuk může mít v různých směrech různou charakteristiku (například les před jeskyní/jeskyně). Stejně tak můžeme zdůraznit důležitost některého směru tím, že z ostatních stran bude zvuk znít jakoby zastřeně, nebo prostě tiššeji, což může souviset se subjektivizací (viz podkapitolu 5.7).

5.3 Zvuková stylizace a záměrný nesoulad

Že imerzivní scéna musí být uvěřitelná ještě neznamená, že musí být nutně realistická. Snaha o realističnost se naopak může často setkat s neúspěchem, protože pro vytržení diváka z imerzivního zážitku stačí, když si všimne malého detailu, který realitě neodpovídá. Stylizace obrazu i zvuku 360° filmu je samozřejmě možná. Aby míra imerze byla co nejvyšší, je potřeba, aby divák přistoupil na stylizaci daného díla, vžil se do způsobu fungování filmového světa a nic ho z tohoto stavu nevytrhlo (pokud to samozřejmě není záměrem). Tomu pomůže, když autoři určí pravidla, podle kterých se zvuk v rámci filmu chová, a když ze stylizace nevybočí, pokud to zrovna není žádoucí. Jednodušší je samozřejmě, pokud zvuková stylizace odpovídá stylizaci obrazové (například rozmlžený obraz a zahalený zvuk). To ale neznamená, že by se zvuk nedal použít kontrapunkticky či kontrastně.

Téměř jakýkoliv druh stylizace, který je možné použít při tvorbě klasických filmů, lze použít i v rámci zvukové stopy 360° děl. Jediný podstatný rozdíl je v tom, že v kině máme prostor kolem diváka, který je sice bezprostřední, avšak pouze auditivní (zvuk mimo obraz, surroundový kanál). Při sledování panoramatického filmu se však divák může otočit, a pokud slyší zvuk v bezprostřední blízkosti, měl by i spatřit jeho zdroj. Kvůli tomu sice přicházíme o určitou možnost budování filmového světa, zase nám to však dává potenciál použít „zvuk neviditelného zdroje“, protože pokud použijeme takový zvuk v běžném filmu a nedoplníme ho třeba subjektivním záběrem postavy, bude si divák myslet, že jde o diegetický zvuk mimo obraz. Při podobné situaci během sledování 360° filmu se však rozhlédne kolem a zjistí, že slyší zvuk něčeho, co se sice nachází v jeho blízkosti, ale není to vidět. Že jde o diegeticky neviditelný objekt. Díky tomu se dají i jednodušeji ztvárnit různé halucinace a psychedelické stavy. O tomto způsobu stylizace více v podkapitole o subjektivizaci zvuku.

Ve sférickém filmu se dá kreativně využít jeho směrovost. Můžeme jiným způsobem stylizovat různé části zvukového pole, pokud je to vhodné. Pro příklad si představme stylizovanou chůzi, kdy směr vpřed představuje budoucnost a naději a ze směru, od kterého se vzdalujeme, se ozývají děsivé vzpomínky. Tyto dvě hemisféry mohou znít každá úplně jinak.

5.4 Head-locked vrstva a zvuková dramaturgie

Možnost využití head-locked stereo stopy vytváří druhou rovinu k ambisonickému zvukovému poli. Něco podobného v rámci mixu pro kino neexistuje. Neobezřetné využití této vrstvy mixu může vytrhnout diváka z prožitku, je-li ovšem vystavěna správně, může pomoci dovést imerzi k dokonalosti. Rovněž díky ní můžeme vytvořit dvě imerzivní vrstvy mezi kterými lze přecházet. Jako příklad mohu uvést princip, kdy se postava, do které se divák „vtělil“, střídavě noří do svého vnitřního světa a vystupuje z něj zpět do okolního virtuálního prostředí.

Do Head-locked stopy lze umístit nediegetické mluvené slovo (voiceover) a hudbu, nebo ji využít pro diegetické zvuky u kterých nezáleží na směrovosti. Velmi praktická je také možnost ji použít pro diegetické zvuky, které mají přicházet ze směru vztaženého k hlavě diváka. Může to být třeba komár v uchu nebo diegetická hudba „ze sluchátek“. Head-locked vrstva nám rovněž umožňuje umístit do scény zvuk tak, abychom měli jistotu, že divák nebude mít možnost spatřit jeho zdroj. Stačí tento zvuk nechat zaznít v head-locked vrstvě za divákovou hlavou.

5.5 Nediegetické zvuky

Chtěl bych podotknout, že hranice mezi nediegetickým a diegetickým zvukem je ve virtuální realitě mnohem tenčí. Díky vysoké míře imerze může divák považovat veškeré zvuky za součást virtuálního světa. Na autorech každého konkrétního díla závisí, do jaké míry se bude diegetická a nediegetická rovina příběhu mísit.

Chceme-li, aby divák dokázal jasně oddělit nediegetické zvuky, je žádoucí je umístit do head-locked stopy a nechat je znít uvnitř jeho hlavy. Pokud je externalizujeme, případně zamícháme do ambisonické vrstvy mixu, mohou začít na diváka působit diegeticky. Všechny tyto principy lze mezi sebou kombinovat a najít tak nejfunkčnější způsob použití nediegetického zvuku pro každé dílo.

5.6 Subjektivizace

Subjektivizaci samozřejmě známe z běžných filmů. Vzpomeňme si na záběry infračerveného pohledu predátora, výhled z okna Jeffa Jeffriese v Hitchcockově Okně do dvora či slavný „záběr z kufru“ v Tarantinově Gaunerech. Ve všech těchto filmech se divák na chvíli dostává „do hlavy“ postav. V 360° filmu se však divák může postavou stát. Virtuální svět s ním může přímo interagovat a on se tak může stát součástí diegeze. Film ve VR dává tvůrcům možnost využít subjektivizace do krajnosti. Můžeme například využít head-locked stopy pro vnitřní hlasy či sound design představující specifický stav, který chceme v divákovi vyvolat (dunění, pískání, hukot...). Zároveň lze využít ambisonické stopy pro znázornění halucinací či představ.



Obrázek 16 - subjektivní pohled terminátora ve stejnojmenném filmu

5.7 Ohledy na diváka

Při tvorbě panoramatických filmů je potřeba vždy myslet na diváka. Zní to banálně – při tvorbě jakéhokoliv audiovizuálního díla přece myslíme hlavně na diváka. U 360° tvorby je však potřeba si uvědomit, že delší sledování filmu pomocí VR headsetu je nepohodlné a po čase může tento diskomfort začít diváka rušit. Rovněž je podstatné myslet na to, že vysoká míra imerze a neexistující možnost si „odskočit“ pohledem může při určité konstelaci audiovizuálních podnětů vyústit až v nevolnost diváka. Má-li být

nějaká sekvence velmi intenzivní, neměla by trvat příliš dlouho a divák by měl mít možnost si po ní na chvíli odpočinout.

6 Závěr - výhledy do budoucna

Pokaždé, když přišla nějaká technologická novinka do světa filmu, byla nejdřív zajímavostí a atrakcí používanou na efekt. Umělečtí filmaři k těmto novinkám byli většinou skeptičtí, než zjistili, že se dají využít k jejich záměrům. Některé se uchytily a staly se součástí toho, co znamená film, některé zmizely v propadlišti dějin a jiné neustále lákají diváky na efekt spektaklu. 360° kinematografie se nedá mezi tyto inovace úplně řadit, protože se jedná o úplně novou odnož audiovizuální tvorby. Její nástup se dá spíše přirovnat k nástupu televize. Zde taky hrál roli jiný způsob sledování, vytváření obsahu a zbrusu nová větev technologického vývoje. Stejně jako kdysi televize, začínají se dnes v domácnostech objevovat VR headsety v neustále rostoucím objemu. Během posledních let se staly dostupnými pro střední třídu a extrémní boom především videoherního obsahu pro tuto technologii slibuje další růst tohoto odvětví. Technika pro pořizování 360° videí se rovněž neustále zlepšuje, mnoho nadšenců pořizuje tyto záznamy a mnoho společností využívá jejich marketingový potenciál. Cinematická VR se však stále ještě rodí a jestli se stane relevantní uměleckou formou záleží především na tom, zda po ní bude poptávka ze strany uživatelů. Je jisté, že opravdoví umělci, kteří budou chtít využít její potenciál se najdou. Stane-li se masovou zábavou, si však netroufám odhadovat.

Žijeme době, kdy se díky rozkvětu virtuální reality, počítačových her a systému Dolby Atmos objevil nový fenomén, který se nazývá scene-based audio. Tento fenomén přinesl zájem o ambisonickou technologii, která dlouhou dobu stála na okraji. Podosavad převládající channel-based systém práce s filmovým zvukem trpí velkým hendikepem, kterým je neflexibilita na reprodukčním konci řetězce. U scene-based audia však tento problém odpadá. V současnosti, kdy jsou překotně vyvíjeny nové SDKs a pluginy do DAWs pro práci s prostorovým audiem, kdy vznikají nové kodeky pro ambisonické audio, kdy je tato technologie postupně implementována do všech přehrávačů videa a kdy si distributoři začínají uvědomovat tržní potenciál 360° videa a virtuální reality, je klidně možné, že scene-based audio nakonec převládne. Jisté však je, že se jedná o nové velké odvětví práce se zvukem, které je více než dostatečně životaschopné, aby se pro channel-based audio časem stalo rovnocenným partnerem.

Technologie je dnes na takové úrovni, že zvukovým mistrům dává v rámci 360° kinematografie obrovské možnosti, které by bylo škoda nezkusit využít. Doufám, že tento text pomůže komukoliv, koho zajímá sférická kinematografie či scene-based audio a poskytne mu základ znalostí nutných k promyšlené cestě za funkčním a technicky čistým masterem zvukové stopy sférického filmu. Pokud by tento text ještě navíc inspiroval ke kreativnímu využití technologií, o kterých se zmiňuje mimo sférickou kinematografii, byl by jeho účel naplněn po okraj.

Seznam obrázků:

Obrázek 1 - kategorie obsahu pro VR.....	11
Obrázek 2 - konfigurace FOA mikrofonu tvořeného čtyřmi mikrofony kardioidní charakteristiky v tetrahedrálním postavení.....	17
Obrázek 3 - jednotlivé složky ambisonického signálu až do 4. řádu	18
Obrázek 4 - řazení ambisonických komponent	18
Obrázek 5 - měření HRTF v bezdozvukové komoře	20
Obrázek 6 - Kamerový rig s ambisonickým mikrofonem a rekordérem	21
Obrázek 7 - 360° kamerový rig EYE	23
Obrázek 8 - ambisonické mikrofony (zleva: TetraMic, Zoom H2n, Eigenmike)	25
Obrázek 9 - Ukázka virtuálního pracovního prostředí DearVR Spatial Connect.....	36
Obrázek 10 - Pro Tools session s pluginem G'audio Works.....	38
Obrázek 11 - Oculus Spatializer	40
Obrázek 12 - FB360 Spatializer	41
Obrázek 13 - AudioEase 360pan	43
Obrázek 14- Různé pluginy sady ATK (barevné kruhy představují jednotlivé virtuální zdroje).....	45
Obrázek 15 - mapa zvukové krajiny.....	52
Obrázek 16 - subjektivní pohled terminátora ve stejnojmenném filmu	56

Odkazy na rozhovory:

Marek Musil - <https://soundcloud.com/infade/marek-musil-interview>

Petr Šoupa - <https://soundcloud.com/infade/petr-soupa-interview>

Soupis použitých zdrojů:

- Dave Malham: *The Early Years of Ambisonics at York*. 2019 AES International conference on immersive and interactive audio, Conference paper 59, 2019
- Adam McKeag, David S. McGrath: *Sound Field Format to Binaural Decoder with Head Tracking*. 6th Australian regional convention, AES, 1996
- Kolektiv autorů: *Recording and Mixing Techniques for Ambisonic Sound Production*. 2018 AES International Conference on Spatial Reproduction, Conference e-brief 59, 2018
- Klaus Diepold, Marko Durkovic, Florian Sagstetter: *HRTF Measurement with Recorded Reference Signal*. Convention paper 8270, AES, 2010
- Justin Paterson, Oliver Kadel: *Immersive Audio Post-Production for 360°: Workflow Case Studies*. 2019 AES International Conference on Immersive and Interactive Audio, 2019
- Ola Björling, Eric Thorsell: *Crafting Cinematic High End VR Audio for Etihad Airways*. 2016 AES International Conference on Audio for Virtual and Augmented Reality, 2016
- Kolektiv autorů: *Comparing Ambisonic Microphones - Part I*. 2016 AES International Conference on Sound Field Control, 2016
- Kolektiv autorů: *Comparing Ambisonic Microphones – Part II*. Convention paper 9730, AES, 2017
- Kolektiv autorů: *Immersive Audio for VR*. 2016 AES International Conference on Audio for Virtual and Augmented Reality, 2016
- Martin Neukom: *Ambisonic Panning*. Convention paper 7297, AES, 2007
- Kolektiv autorů: *Efficient Phantom Source Widening and Difuseness in Ambisonics*. Universitätsverlag Der TU Berlin, 2014
- Hassan Khadour, Michal Trzos: *Reprezentace zvukových polí pomocí Ambisonie*. Elektrorevue, svazek 12, číslo 3, 2010
- *Scene Based Audio: A Novel Paradigm for Immersive and Interactive Audio User Experience*. Qualcomm Technologies, 2015.

(<https://www.qualcomm.com/media/documents/files/scene-based-audio-for-mpeg-h-whitepaper.pdf>)

- F. Zotter, M. Frank: *Ambisonics: A Practical 3D Audio Theory for Recording, Studio Production, Sound Reinforcement, and Virtual Reality*. Springer Open, 2019
- R. Murray Shafer: *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*. Simon and Schuster, 1993
- Mathias Kronlacher: *Plug-in Suite for Mastering the Production and Playback in Surround Sound and Ambisonics*
- <https://hookeaudio.com/blog/binaural-3d-audio/the-history-of-binaural-audio-part-1/>
- <https://www.insta360.com/>
- <https://www.kandaovr.com/obsidian-s-r/>
- <https://www.creativefieldrecording.com/2017/03/30/ambisonic-field-recording-resources>
- <https://www.creativefieldrecording.com/2017/03/01/explorers-of-ambisonics-introduction/>
- <http://designingsound.org/2018/03/29/lets-test-3d-audio-spatialization-plugins/>
- https://www.audiokinetic.com/library/edge/?source=Help&id=ambisonics_channel_ordering
- <https://www.facebook.com/help/828417127257368>
- <https://www.audiomediainternational.com/2015/06/02/feature-the-rise-of-immersive-audio/>

