

**AKADEMIE MÚZICKÝCH UMĚNÍ V PRAZE  
FILMOVÁ A TELEVIZNÍ FAKULTA**

Filmové, televizní a fotografické umění a nová média  
Zvuková tvorba

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Využití procedurálního audia pro tvorbu zvukových atmosfér**

**Martin Michálek**

Vedoucí práce: MgA. Tomáš Oramus, Ph.D.

Přidělovaný akademický titul: BcA.

Praha, 2023

**THE ACADEMY OF PERFORMING ARTS IN PRAGUE  
FILM AND TELEVISION FACULTY**

Film, Television and Photographic Art and New Media  
Department of Sound

**BACHELOR'S THESIS**

**The Usability of Procedural Audio for Ambience Composition**

**Martin Michálek**

Thesis supervisor: MgA. Tomáš Oramus, Ph.D.

Academic title: BcA.

Prague, 2023

## **Poděkování**

Především bych chtěl moc ocenit přístup vedoucího práce, Tomáše Oramuse, který si na mě vždy našel čas a jehož poznámky a připomínky pomáhaly usměrnit divočinu v mé hlavě. Rád bych také poděkoval Kátě Matuškové za opravu chyb a uhlazení vět. A poslední díky patří mé ženě, Báře, za trpělivost.

## **Abstrakt**

Práce se věnuje teoretickému základu termínu *procedurální audio* a představuje, jaké výhody nám při vytváření atmosfér mohou přinést systémy, které využívají zpracování zvuku a zvukovou syntézu v reálném čase. V první části práce je popsána funkce zvukových atmosfér při tvoření charakteru reálných i nereálných prostředí. Je zde také popsáno schéma vrstevnatosti zvukových ambientů. Druhá kapitola se zaměřuje na vysvětlení termínu *procedurálního audia*, který vychází z definicí Andyho Farnella a ukazuje teoretické využití ve světě herního vývoje. Praktickým možnostem využití procedurálního audia se věnuje třetí část práce. Ta ve třech podkapitolách popisuje možnosti jednotlivých metod pro tvorbu zvukových atmosfér. Jedná se o tyto metody: procedurální zpracování zvuku, procedurální syntéza zvuku a generování ambientů z ruchových bank.

## **Abstract**

This thesis explores the theoretical basis of the term *procedural audio* and presents the benefits of systems that use real-time audio processing and audio synthesis can bring to the creation of atmospheres. The first part of the thesis describes the function of audio atmospheres in creating the character of real and non-real environments. A layering scheme for sound ambiences is also described. The second chapter focuses on explaining the term Procedural Audio, which is based on Andy Farnell's definitions and shows the theoretical application in the world of game development. Practical applications of Procedural Audio are discussed in the third part of the thesis. In three subsections, this part describes the possibilities of different methods for creating sound atmospheres. These methods are: procedural audio processing, procedural audio synthesis and the generation of soundscapes from sound banks.

# Obsah

Úvod .....	1
1 Zvukové atmosféry .....	3
1.1 Význam zvukových atmosfér v popisu prostředí.....	3
1.2 Vrstvy zvukových atmosfér .....	3
1.2.1 První vrstva .....	4
1.2.2 Druhá vrstva.....	4
1.2.3 Třetí vrstva .....	4
1.3 Tradiční model tvorby zvukových atmosfér a jeho limity.....	4
2 Procedurální audio .....	6
2.1 Úvod do termínu .....	6
2.2 Procedurální audio v herním designu .....	6
2.3 Výhody procedurálního audia pro tvorbu atmosfér .....	9
3 Metody vytváření zvukových atmosfér v reálném čase .....	10
3.1 Procedurální zpracování samplů .....	10
3.1.1 Middleware.....	10
3.2 Procedurální zvuková syntéza .....	11
3.2.1 Syntetické zvukové efekty.....	11
3.2.2 Druhy syntéz zvukových efektů .....	12
3.2.3 Současné softwary využívající syntézu v reálném čase .....	14
3.3 Systémy generující ambienty z ruchových bank.....	18
Závěr .....	20
Seznam použitých zdrojů .....	21
Seznam příloh .....	23

# Úvod

Mojí motivací při volbě tématu bakalářské práce byl velký zájem o oblast interaktivních médií. Pomocí rozšiřování pohledů na tvoření zvukových perspektiv se mi lépe hledá nové kreativní metody pro mé zvukové projekty. Principy *procedurálního audia* jsem znal okrajově a nemám velké zkušenosti s prací na videohrách, byl jsem ale nadšený z interakce, kterou softwary využívající *procedurální audio* umožňovaly a mým cílem bylo prozkoumat, jaké jsou možnosti této technologie pro tvoření zvukových atmosfér, které jsou mým denním chlebem.

Zvukové atmosféry jsou jedním ze základních elementů zvukové dramaturgie. Kromě důležité role ve zvukových kompozicích u filmů a videoher jsou velmi oblíbeným formátem i pro umělkyně a umělce, kteří se primárně nezabývají pouze zvukem, ale pomocí atmosfér rozšiřují a definují určitá prostředí. Nicméně množství ambientů, které musí zvukař/ka vyrábět, je často velké, a při takové práci mohou být některé úkony repetitivní. S rostoucím technologickým pokrokem roste i poptávka po komplexnějších a realističtějších audiovizuálních řešeních. Ve spojení s interaktivními formáty, jako jsou hry nebo umělecké performance, kde není jednotný rámec obrazu a situace a kde se i podoba prostředí odvíjí od chování hráčů, se objevuje problém v podobě složitosti modelování tak rozvinutých světů a zároveň v náročnosti výpočtu takových procesů. Současná metoda využívání zvukových samplů je velmi přívětivá k rychlému získání potřebného zvuku, ale je limitovaná časem a množstvím dat. Pokud bychom chtěli pro každou novou podobu atmosféry vytvořit nový zvukový soubor, začala by u složitějších světů být zvuková data příliš velká. Procedurální audio umožňuje vytvářet potřebné zvukové prvky v reálném čase a funguje jako nástroj, který dostává určité vstupní informace,<sup>1</sup> na základě nichž generuje specifické zvukové prostředí.

V této práci se snažím popsat, jak může procedurální audio být nápomocné při komponování zvukových atmosfér. Pokouším se odhalit jeho schopnost automatizovat některé jednoduché kroky a vytvářet originální, neslýchané zvukové prostředí.

O procedurálním audiu jako o nástroji k širšímu využití ve zvukové designu se začalo psát v nultých letech 21. století. Velká část odborných prací z té doby vyslovuje určitou naději do budoucna. Andy Farnell napsal: „Vzhledem k tomu, že technologie je stále ve vývoji, je důležité si uvědomit, že žádný audio software v současné době nenabízí všechny kousky skládačky potřebné pro dokonalý procedurální zvuk.“ (Farnell 2010, s. 323) Zabývám se tímto tématem skoro po 15 letech od tohoto tvrzení a sleduji, kam očekávaný technologický pokrok v procedurálním audiu došel.

Tato práce vychází primárně právě z knihy *Designing sound* od Andyho Farnella a sborníku článků<sup>2</sup> od Michaela Filimowicze. Teorie, které se zabývají využíváním generativního

---

<sup>1</sup> Např. chování hráče.

<sup>2</sup> *Foundations in sound design for interactive media*

audio obsahu pro tvorbu zvukových atmosfér a soundscapů, propojují se současnými technologiemi a možnostmi procedurálního audia. Pro pochopení současné zvukařské praxe v herním designu jsem čerpal z knihy *New Realities in Audio* od Stephana Schütze a Anny Irwin-Schütze.

Nejdříve popíšu roli atmosfér ve zvukovém designu a jejich schopnost rozšíření definice místa a prostředí. Atmosféry, které se dnes využívají, jsou často velmi podrobné a můžeme u nich sledovat určitou vrstevnatost. Nástrojem, který některé tyto vrstvy pomáhá naplnit, je zvuková syntéza, jejíž přínos v komponování zvukových efektů a ambientů v této práci zmiňuji často.

Ve druhé části práce se věnuji úvodu do termínu *procedurální audio*, kontextu jeho vzniku a potenciálu této techniky ve zvukové tvorbě. Zkoumám, jak syntéza a zpracování zvuku v reálném čase funguje, jaké využívá procesy a hledám výhody, které lze uplatnit pro tvorbu atmosfér.

Dále rozvádím jednotlivé metody procedurálního audia. Zabývám se tím, v jakých případech využíváme čistě syntetické zvuky, kdy se uchylujeme spíše ke zpracování samplů a co do této sféry přináší nově vznikající systémy, které využívají systematicky tříděné ruchové banky k vytváření soundscapes.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Soundscape je akustické prostředí vnímané člověkem v určitém kontextu.

# 1 Zvukové atmosféry

## 1.1 Význam zvukových atmosfér v popisu prostředí

Zvukové atmosféry jsou složkou zvukové dramaturgie, která je využívána napříč audiovizuálními i čistě zvukovými formami. Běžně se využívá ve filmech, audioknihách, performancích, videohrách, hudbě nebo v rámci uměleckých výstav. Hudební skladatel Ivo Bláha ji charakterizuje jako „formu zvuku vhodnou pro vytváření akustického okolí“. (Bláha 2014, s. 48) Taková forma zvuku, kromě toho, že často tvoří základ, nebo jakési tělo zvukové složky, má skvělou schopnost dokreslovat prostor dění a pomáhá charakterizovat prostředí, dobu či náladu, ve které se situace odehrává. Dává prostor prvkům a příběhům, které buď nevidíme nebo jsou obecně těžko vizuálně popsatelné.

Ve videohrách jsou prostředníkem, který nám pomáhá se do herního světa ponořit a lépe ho poznat, ve filmové tvorbě zase dokáže z městského bytu natáčeného v ateliéru udělat autentické, rušné prostředí a v audio formátech věrně načrtává charaktery krajin, míst a ovzduší, která ani nemusí být reálná.

## 1.2 Vrstvy zvukových atmosfér

Od dob, kdy se zvuk snímal na první mikrofony s velmi malou citlivostí a dominantní prvek vyplňující zvukové pozadí byl primárně šum z mikrofonu, se technické možnosti zlepšily na takovou míru, že jsme schopni jít do velkých detailů a rozlišovat detailní drobnosti v jeho charakteru. Ke zvukovým efektům a atmosférám (primárně ve stylizovaném nebo efektním prostředí) už se běžně přistupuje tak, že se nevyužívá pouze jedna nahrávka nahraného zdroje zvuku, ale vytváří se několik vrstev, kdy každá z nich podpoří výsledný zvuk v jeho určité vlastnosti (dynamice, barvě, dozvuku). Vrstvy se mohou frekvenčně a dynamicky doplňovat a vytvářet tak mnohem komplexnější prostředí.

Vzhledem k tomu, že se nesnažíme vždy zvukem stroze popsat realitu, ale naopak často vytváříme nový zvukový svět, který může být zcela nereálný, větší a detailnější, nebo zkrátka nějak stylizovaný, využíváme běžně jako jednu z těchto vrstev zvukovou syntézu. Tento proces je v rámci zbytku práce důležitý. V této kapitole zmíním potenciál využití zvukové syntézy v jednotlivých vrstvách, ale detailnějšímu postupu syntézy se budu věnovat až v kapitole „Syntetické zvukové efekty“.

Není samozřejmě předepsaný jednotný tvar, který by definoval podobu atmosfér, ale existují určitá schémata, které nám pomáhají atmosféry analyzovat a tvořit. Jedno z takových schémat popisuje Helmut Wittek pomocí tří základních vrstev, které definuje takto:



### 1.2.1 První vrstva

První vrstva obsahuje difuzní zvuky, u kterých nedokážeme odhadnout směr, ze kterého přichází. Jedná se většinou o dlouhotrvající, nedynamický zvuk, který spojuje prvky atmosféry dohromady a určuje charakter prostoru. Můžeme si zde představit například dozvuk místnosti, hučení spotřebičů, vítr či šumění lesa.

Šum lesa nebo vodopád mají zvukový charakter, který je pomocí zvukových syntéz lehce dosažitelný a zvuková syntéza se také pro tuto vrstvu často využívá.

### 1.2.2 Druhá vrstva

Ruchy v této vrstvě jsou diskrétní v tom smyslu, že vnímáme, že mají určitý směrový charakter (chvíli jsou slyšet z jedné strany, potom zase z druhé), ale hlasitost zvuku na obou stranách je vyrovnaná v poměru 1:1. Nejde nám tedy o jeden konkrétní směr, ze kterého zvuk přichází. Tyto zvuky se ideálně doplňují s první vrstvou. Jsou dynamické, různorodé a časový průběh jednotlivých úseků je mnohem kratší. Vytvářejí jakousi sonickou plochu a nejde tolik o jednotlivé úseky.

Příkladem je třeba zpěv ptáků, frekventovaná doprava nebo cvrkot cvrčků, u kterých si můžeme syntézou pomoci, dokonce zvýraznit nebo přizpůsobit dynamiku. Zvuky v druhé vrstvě nejsou natolik v popředí, abychom nepoznali jejich neplnost, která se u syntetických zvuků může objevovat.

### 1.2.3 Třetí vrstva

Do poslední vrstvy atmosfér bychom zařadili zvuky, které jsou konkrétnější, a směr, odkud přicházejí, je podstatný. Jsou to často ruchy, které jsou vytvářeny okolním prostředím (ne hlavními postavami) a dotvářejí tak nejdetailejší vrstvu. Například projíždějící auto, tikot hodin, varná konvice, telefonování nebo štěkání psa.

V této vrstvě již narážíme na limity zvukové syntézy. U prvních příkladů jako je auto, hodiny a konvice jsme schopni charakteru zvuku dosáhnout, ale u barevně rozmanitějších zvuků jako je štěkot psa a lidský hlas už bychom mohli mít problém s dosažením autenticity. (Wittek 2013, s. 2–4)

## 1.3 Tradiční model tvorby zvukových atmosfér a jeho limity

V současné době je dominantní postup tvorby zvukových efektů a atmosfér, ve kterém mistr či mistryně zvuku využívají pro jednotlivé vrstvy buď nahrané zvuky, nebo zvuky nalezené v bankách, které jsou plné i právě již zmíněných syntetických zvuků.

Chceme-li vytvořit ambient ze zvukových bank nebo nahrávek, musíme si určit kroky, které nás čekají:

1. Určit si kontext prostředí a najít charakteristické zvukové prvky, které nám pomůžou představit dané místo.
2. Vyhledat potřebné zvuky ve zvukové bance nebo je nahrát.
3. Zeditovat (vystříhat) výrazné a potřebné prvky z nahrávek a umístit je na časovou osu zvukového programu (DAW).
4. Zmixovat. Upravit hlasitosti, aplikovat filtry, dozvuky a jiné efekty.

Každý z těchto bodů vyžaduje určitou dovednost a k ovládnutí těchto postupů je potřebný dostatek času. Některé úkony se ale časem stanou repetitivní. Například vyhledávání v bankách a stříhání potřebných úseků. V interaktivních formátech, především ve videohrách, navíc narážíme i na problém, že není vždy možné na vše použít konkrétní zvuk z ruchové banky. (Filimowicz 2020, s. 259)

V následujících kapitolách se pokusím popsat, jak by se dala část tohoto procesu zautomatizovat pomocí procedurálního audia.

## 2 Procedurální audio

### 2.1 Úvod do termínu

Farnell definuje procedurální audio (PA) jako „nelineární, často syntetický zvuk, vytvářený v reálném čase podle souboru pravidel programu a živých vstupních informací“. Je to tedy proces, který vždy reaguje na určité dění, ať už je to počínání hlavního hrdiny ve videohře, pohyby performerů při živém vystoupení nebo poloha kurzoru ovládaného sound designerem v PA pluginu<sup>4</sup>. Tyto vstupní informace zpracovává a rovnou z nich vytváří uměle generovanou zvukovou linku, která buď nahrazuje zvukové smply, nebo vytváří nové zvukové prvky, které bychom nahrát nedokázali. PA má díky své možnosti pohotově reagovat na určité vstupní informace a díky své flexibilitě silný potenciál v interaktivních formátech. Místo toho, abychom předem hledali řešení všech možných situací, které mohou vzniknout během hry, necháváme toto rozhodnutí až na moment, kdy k nim doopravdy dojde.

PA nemusí být vnímáno pouze jako umělé generování zvuků, ale důležitým aspektem je také procedurální zpracování zvuku neboli **procedurální sound design**, který pracuje s nahranými zvuky a v reálném čase je moduluje a proměňuje podle vstupních informací. Někteří autoři tyto termíny oddělují. Stevens a Raybould ve své knize *Game audio implementation* tyto termíny probírají a poukazují na určitou propast mezi nimi. Na druhou stranu průkopník termínu Andy Farnell píše: „Abychom jej mohli dále definovat, vysvětlíme jej v termínech lineární, **nahráný**, interaktivní, adaptivní, sekvenční, syntetický, generativní a AI zvuk“ (Farnell 2007, s. 3) a zahrnuje tím do procedurálního audia i práci se smply.

Pro mou práci zahrnuji do pojmu PA jak syntézu zvuku, tak i jeho zpracování v reálném čase na základě vstupních informací. Může to být využívání zvukových pluginů, které generují syntetické atmosféry do videoher, randomizace a filtrace zvukových asetů (zvukových objektů ve videohrách), generování soundscaps s využitím umělé inteligence na základě hledání pomocí klíčových slov v bankách, ale i vytváření sounddesignu pro film pomocí takovýchto nástrojů.

### 2.2 Procedurální audio v herním designu

Prostředí videoher je ideální pro popis zvukových postupů v interaktivních formách, protože je to velmi komplexní médium, pro které se vyvíjí spousta technologií a postupů a ty pak můžeme různým způsobem aplikovat do ostatních interaktivní, ale i neinteraktivních médií.

První formy PA se objevily v hudbě spolu se syntezátory, u kterých hudebníci a hudebnice zadávali vstupní informace a dostávali často nepředvídatelné zvukové plochy. Později se jednoduché syntézy využívali v raných videohrách, kde určité situace spustily oscilátor a

---

<sup>4</sup> Doplnkové softwary do zvukových programů.

generovaly například jednoduché sinusovky o různých frekvencích, které vytvářely až roboticky znějící tóny bez výrazné barvy. Později se ale tento proces rozvinul.

Kromě toho, že herní průmysl začal produkovat hry s komplikovanými grafickými modely, které mají velký datový objem, bylo také potřeba zavádět do her určitý prvek náhody, protože bylo běžné, že uživatelé hráli opakovaně a stejné prostředí by je po chvíli omrzelo. V herním designu se tedy jednalo o procedurální video, které generovalo grafické prvky v herním světě. Pomocí generativního videa mohli vývojáři vytvářet vždy nějaký nový faktor, který hru osvěžil. V osmdesátých letech 20. století už například hra Rogue (1980, A.I. Design), ve které hrdina prochází jednotlivými stupni jeskyně, poráží monstra a sbírá peníze, disponovala procedurálním generováním levelů. Takže hráči mohli hrát stále dokola a jednotlivé úrovně se vždy částečně lišily. (G. Smith 2015, s. 3)

Zásadní věc, která odlišuje novější videohry od neinteraktivních audiovizuálních médií, jako je film, seriál nebo reklama, která mají zcela jednoznačné ohraničení obrazu tvořeného neměnným obsahem, je, že herní svět je komponován z jednotlivých objektů, které se skládají v komplexnější systémy a **rámec, kterým svět sledujeme, si určujeme sami**. Jeden ze základních objektů ve hře je většinou hráč/charakter, který kromě toho, že určuje prizma, skrze které hru pozorujeme, nám dává vstupní informace do herních procesů, jež na jeho chování reagují. Vstupní informace ale dostáváme i od ostatních objektů, které jsou řízeny samotnou hrou. Aby nemusel počítač neustále zpracovávat chování všech objektů v herním světě, vytvářejí se ve hrách jakési úrovně nebo lokace, které se aktivují (načtou) v momentě, kdy dojde k reakci s určitým herním aktérem. Kdybychom vzali v potaz velmi komplikovaný objekt, rozšířený herní svět, vždy z něj vidíme pouze část. Z postele vidíme interiér pokoje a výhled z okna, dokonce i z letadla nám náš výhled omezuje horizont, který nám zakrývá zbytek krajiny. Jednoduše se dá říct, že „existují pouze ty části světa, které vidíme.“ (Farnell 2010, s. 317) To naznačuje i potenciál PA. Nemusíme mít připravené zvukové stopy pro celý herní svět v jednu chvíli, ale stačí dobře definovaný systém, který reaguje na aktuální polohu a prostředí.

Zvukové pojetí videoherního světa je založené na **eventech**. Jednotlivým situacím ve hře je přiřazený zvukový event, který spouští určitý zvuk. Když vejde postava do lesa, spustí se šumění stromů, když otevřeme dveře, ozve se vrzání, po stlačení spouště se ozve rána střely, postava došlápne na podlahu, uslyšíme krok.

Po synthové éře, když přišlo CD a výrazně se zvětšila paměť úložiště, se začaly využívat zvukové samplý, které stále využíváme ve hrách jako hlavní zdroj. Mají samozřejmě výhodu ve své kvalitě, realistické barvě a často jednoduchému docílení potřebného zvuku, ale mají i značné limity.

Na začátku využívání zvukových samplů se často přiřazoval jednomu eventu jeden zvuk, ale později začalo být zvukové pokrytí těchto herních událostí mnohem sofistikovanější. Veterán zvukového průmyslu Brian Schmidt řekl: „Každý, kdo si myslí, že vztah mezi herní událostí a zvukovým wave souborem je jedna ku jedné, nerozumí hernímu audio.“ (Stevens a

Raybould 2015, s. 59) Potřebujeme-li, aby zvuk trval déle nebo se zopakoval, hráči si u takto jednoduchých řešení většinou po určité době všimnou repetice.

Chceme-li zároveň rozšířit parametry, na které zvuk reaguje, musíme přidat kombinatorické množství zvuků, protože potřebujeme verzi samplu, která reaguje na každý jednotlivý parametr s přidaným parametrem. Představme si, že chceme ozvučit oblečení při pohybu postavy. Jeden parametr tohoto zvuku bude, jaké oblečení má postava na sobě, druhý pak může být například, jaké je počasí, jestli padá déšť, fouká silný vítr atd. Místo toho, abychom pro všechny kombinace exportovali a uložili do paměti nový soubor, přiřazuje se herním událostem několik vrstev tzv. assetů (audio samplů), které se v reálném čase zpracovávají, aby se proměňovaly na základě okolních podmínek jako je čas, počasí nebo prostor (více v kapitole „Zpracování samplů v reálném čase“). Některé zvukové prvky se přímo syntetizují v reálném čase (více v kapitole „Syntetické zvukové efekty“) a nevyužívají samplů žádné.

Představme si například videohru, kde jedno z prostředí je vedení podzemní kanalizace, kterým postava prochází a plní určité úkoly. Může zde strávit desítky hodin, ale i několik minut. Pokud by se po pár minutách začala opakovat zvuková atmosféra prostředí nebo by vždy po deseti krocích začala stejná sekvence ruchů, ztratil by tento zážitek výrazně na autenticitě. Pokud ale naprogramujeme systém tak, aby se atmosféra neustále vyvíjela pomocí různých typů syntéz a kroky se filtrovaly a přizpůsobovaly povrchu a prostoru, dosáhneme mnohem lepšího efektu.

Typické jsou tedy velmi repetitivní, ale často přítomné zvuky jako kroky, kapky vody nebo střelba. Hráči už jsou zvyklí, že zvuk reaguje na polohu, povrch, blízké odrazné plochy, prostor, Dopplerův efekt atd. Pokrýt celou hru z několika samplů bez sofistikovaného procesingu není většinou dost věrohodné.

Díky procedurálnímu audio máme velkou možnost škálovat charaktery zvuků podle potřeby. Každý objekt má ve hře svou roli a s ní i danou relevanci, ta pak určuje způsob, jakým jsou herními enginey vykresleny. Důležitější z nich jsou určitými aktéry ve hře, a pokud je postava v jejich blízkosti, zvukový popis je o to komplexnější a výpočetní proces jim věnuje větší kapacitu.

Naopak když máme zdroje, které jsou v dálce, za zdí, nebo zkrátka mimo dohled, můžeme (často dokonce chceme, pro zvýšení realismu prostředí) zvuky výrazně zjednodušit a ořezat. V tuto chvíli přichází velká výhoda syntetických zvuků tvořených v reálném čase. Komplexita zvuku je přímo úměrná výpočetní náročnosti, která je proměnná podle toho, jak náročný zvuk zrovna představujeme. Místo toho, abychom přehráli zvukový sample, což bude vždy stejně náročné, protože zdrojový zvuk je stejný, a poté ho ještě filtrovali, aby zněl jednodušeji, můžeme si rovnou představit výsledný jednoduchý tvar zvuku a nechat ho vygenerovat.

Technika, která se zabývá hierarchií zvuků, na základě toho pracuje s jejich dynamikou a detailností, prolíná je a dává jí místo v prostředí místo, se jmenuje LOAD (level of audio detail) a je jedním z důležitých prvků, který snižuje výpočetní náročnost zvukové složky ve videohrách. (Farnell 2010, s. 316)

Představte si zvuk vodopádu. Při detailním pojetí se jedná o složitý a velmi rozmanitý zvuk, když ho ale posloucháme z dálky, stačí vytvořit jednoduchou modulaci šumu, která bude minimálně zatěžovat procesor počítače.

## 2.3 Výhody procedurálního audia pro tvorbu atmosféry

Pokud zvuk v reálném čase generujeme nebo upravujeme, získáváme několik zřetelných výhod, které zde shrnu:

- Omezení repetice
  - Zvuky, které se často opakují, můžeme osvěžit.
  - Jednoduché vytváření několika verzí podobného zvuku.
- Nekonečné plochy
  - Dokážeme vytvořit zcela originální zvukové plochy, které mohou trvat několik hodin a nikdy nedojde k opakování stejné sekvence.
- Objevení neexistujících zvuků a kompozic
  - Experimentováním s těmito nástroji můžeme jednoduše dosáhnout nerealistických efektních zvuků.
- Snížení výpočetní náročnosti
  - Zvuk se dá generovat i bez samplů, což pomáhá snížení procesní náročnosti.

### 3 Metody vytváření zvukových atmosfér v reálném čase

Zaměřím se na tři důležité metody vytváření zvukových atmosfér v reálném čase, na které jsem během svého výzkumu narazil. Jedná se o procedurální vytváření atmosfér pomocí zpracování samplů, zvukové syntézy a systémů generujících zvukové ambience z ruchových bank.

#### 3.1 Procedurální zpracování samplů

Zpracovávání zvukových samplů<sup>5</sup> v reálném čase je nejčastější metoda, která se využívá u videoher. (Schütze 2018, s. 207) Zvukař může využít kvality zvuku, kterou zvukové samplý disponují, a efektivně je přizpůsobit danému prostředí a daným situacím. Namísto toho, abychom do paměti počítače ukládali zvuk pro každou situaci, každou kombinaci elementů a herních prvků, využijeme jenom část zvukových samplů (v herním prostředí se jim říká *assets*), které mají dobrý základ pro tvorbu například kroků nebo šumění moře. Tyto *assets* pak na základě vstupních informací ze hry v reálném čase upravujeme, filtrujeme a dostáváme do tvaru, který je pro danou situaci v herním světě ideální.

Zásadní pro takovýto proces je **audio middleware**. To je software, který umožňuje zvukovým tvůrcům vytvářet zvukové eventy, propojit je s herním prostředím a provázat parametry ve hře s parametry zvukového eventu.

##### 3.1.1 Middleware

V middlewaru si vytvoříme nový event, do kterého můžeme importovat *assets* a vrstvit je přes sebe. Prostředí middlewaru nám zároveň nabízí automatizaci<sup>6</sup> parametrů jako je hlasitost, dozvuk, změna výšky atd. Dejme tomu, že máme tři elementy, které tvoří atmosféru. Vítr, hučící potok a ptáci. V middlewaru si můžeme nastavit parametr vzdálenosti, který bude reagovat na naši pozici ve hře vůči potoku, čím dál od potoka budeme, tím víc můžeme pomocí parametru nejen snižovat hlasitost, ale i například filtrovat spodní frekvence a přidat dozvuk. Obdobně můžeme parametr aplikovat na vzdálenost od stromů s ptáky či jestli jsme v závětrí, nebo na otevřené pláni. V parametrech daného eventu můžeme zrcadlit i další fyzikální vlastnosti prostředí a díky tomuto komplexnímu systému, tak vytvářet jedinečné a vždy originální atmosféry, které interagují s postavou a můžou trvat věčně, aniž by se opakovaly.

Definice těchto parametrů je pro míru výsledné interakce zvukové složky zásadní. Čím komplexnější tento systém bude, tím reálnější bude chování zvuku herním světem. Na druhou stranu je důležité, aby parametry byly srozumitelné a bylo možné jim posílat vstupní informace skrze herní kód. Dalšími důležitými parametry, kromě již zmíněné vzdálenosti, můžou být

---

<sup>5</sup> V prostředí videoher se jim říká *assets*.

<sup>6</sup> Automatizace ve zvuku označuje úpravu nějakého parametru v čase podle námi definované křivky.

například v jakém směru je instance eventu od hráče, zdali je pod ním, či nad ním, nebo jak rychle se k sobě přibližují.

Další důležitou možností middlewaru je randomizace. Její tradiční využití je především v případě repetitivních zvuků, které zazní několikrát, aniž by se změnil nějaký parametr. Nejčastěji se to týká kroků a střel. V tomto případě se v eventu nahraje pod sebe několik variant assetů a ty se pak náhodně spouští s každým dalším triggerem.<sup>7</sup>

Stále nepoužívanějšími softwary pro propojení zvukového a herního světa jsou FMOD (Firelight Technologies) a WWise (Audiokinetic), které lze jednoduše implementovat do herních engineů<sup>8</sup> a jsou standardem v herním průmyslu. Oba middlewary slouží k vytváření zvukových eventů a definování zvukových parametrů, které se ovládají skrze herní kód, ale jejich postupy se liší. Konkrétním rozhraním jednotlivých middlewarů se v této práci zabývat nebudu.

## 3.2 Procedurální zvuková syntéza

### 3.2.1 Syntetické zvukové efekty

Syntéza je ve slovníku Chambers 21st Century Dictionary definována jako sestavování; skládání dohromady; vytváření celku z částí. Vytváření **celku** je pro syntézu příznačný termín, protože poukazuje na kreativní záměr vytvoření nějakého hodnotného výsledku. Zvuková syntéza je proces produkování zvuku. Využívá již existující zvuky, nebo elektronicky či mechanicky generuje zvuky zcela nové. Možnosti syntézy jsou rozmanité. Využívá matematiku, fyziku, dokonce i biologii a vytváří propojení mezi technickými a hudebními znalostmi. Při pečlivém použití může vytvářet i pestrobarevné zvukové ambience a efekty. (Russ 2006, s. 3–4)

Pro zvukové efekty se zvuková syntéza typicky využívá z těchto tří důvodů (Filimowicz 2020, s. 273):

- pro usnadnění kontroly nad zvukem v rámci nějaké interakce nebo performance,
- jako pomocný nástroj sounddesignera/ky pro nalezení vhodného zvuku bez použití zvukových bank,
- pro vytvoření neexistujícího zvuku (sci-fi) nebo pro rekonstrukci poničených zvuků.

Z kapitoly „Procedurální audio v herním designu“ můžeme také shrnout, pro jaké typy zvuků se syntéza v reálném čase nejčastěji používá. Jsou to zvuky:

- repetitivní (kroky, rány, střely),
- dlouhotrvající (atmosféry),
- s několika úrovněmi kontroly/chování (motory, zvuky příšer),
- neexistující zvuky (sci-fi).

---

<sup>7</sup> Impulsem, který něco spouští.

<sup>8</sup> Softwarů pro vývoj.



Jednou z klíčových výhod syntetického zvuku je interakce. Možnost uživatele přinášet do syntezátoru nějaké vstupní podněty a dostávat na ně zvukovou odpověď. Taková interakce přináší výjimečný pocit realistického světa a je dnes nezbytnou součástí herního průmyslu. Podle Böttchera a Serafina (2009) v interaktivním prostředí 71 % uživatelů vnímá zvukové syntézy záživnějšími než pouze samplý.

V současné době je velkou součástí dramaturgie zvuku k filmu i hrám tzv. hyperrealismus. Zvuky jsou často větší, plnější, impresivnější. Vyvolávají velmi silný dojem a efekt, i když zcela neodpovídají realitě. Je pravděpodobné, že tato tendence, proměňovat charakter zvuků, jen tak nezmizí, ale naopak se bude rozšiřovat. Takové zvuky se většinou skládají v několika vrstvách a využití zvukové syntézy jako jedné z nich je dnes zcela běžné. I kdybychom využili původní nahrávku ruchu (nebo její obdobu ze zvukové banky) k zachycení základního charakteru ruchu. Syntezátory fungují jako skvělé nástroje k dodání barvy, velikosti, hyperreality. Například u výstřelu z pistole můžeme použít nahrávku výstřelu pro hezkou barvu, syntetický zvuk s rychlým atackem<sup>9</sup> a velkým tranzientem pro zdůraznění rány a umělý dozvuk pro rozšíření prostoru.

### 3.2.2 Druhy syntéz zvukových efektů

Druhů syntéz je obrovské množství a stejně tak i metod dělení těchto procesů. Stručně zde představím metody syntéz, které jsou pro PA důležité a využívají se v procesu generování zvukových efektů v reálném čase. Použiji kategorizaci syntéz podle J. O. Smithe, která artikuluje primárně technologii těchto metod. Nebudu rozebírat do hloubky, jak jednotlivé syntézy fungují, ale pokusím se spíš zmínit jejich výhody pro náš účel.

Obecně je můžeme rozřadit jako syntézy: samplovací, abstraktní; a modelování: signálové a fyzikální. (J. O. Smith 1991, s. 6)

---

<sup>9</sup> Parametr, který určuje rychlost nástupu zvuku.

<b>Processed Recording</b>	<b>Spectral Model</b>	<b>Physical Model</b>	<b>Abstract Algorithm</b>
----- Concrète Wavetable T Sampling Vector Granular Prin. Comp. T Wavelet T	----- Wavetable F Additive Phase Vocoder PARSHL Sines+Noise (Serra) Prin. Comp. F Chant VOSIM Risset FM Brass Chowning FM Voice Subtractive LPC Inverse FFT Xenakis Line Clusters	----- Ruiz Strings Karplus-Strong Ext. Waveguide Modal Cordis-Anima Mosaic	----- VCO,VCA,VCF Some Music V Original FM Feedback FM Waveshaping Phase Distortion Karplus-Strong

Obrázek 1 Kategorie metod syntézy podle J. O. Smithe

### 3.2.2.1 *Samplovací syntézy*

Syntézy na základně samplů využívají části nahraných zvuků pro jejich specifickou barvu, dynamiku nebo jiný důležitý prvek, pro vytvoření podobných nebo zcela nových zvuků.

Takovou syntézou je například granulární syntéza, která zanalyzuje nahraný vzorek a vystřihá z něj jemná zrna, velmi krátké fragmenty (cca 1–300 ms), které pak dává do jiného pořadí, filtruje je, frekvenčně či časově posouvá, a vytváří zcela jiný charakter výsledného zvuku (Filimowicz 2019, s. 266).

U granulárních syntezátorů si můžeme upravovat velikost zrna, vzdálenost zdroje každého dalšího zrna i rámeček v samplu, ze kterého zrna sbíráme. Můžeme tak vytvořit jak dynamický, pulsující zvuk, tak i dlouhé ambientní plochy, které mohou vycházet z charakteru původního zvuku, nebo vytvořit od zdroje nerozeznatelnou zvukovou podobu.

Syntéza využívající zrna je také skvělý nástroj, když potřebujeme vytvořit efekt nějakého menšího, hojného pohybu, jako třeba praskání, šustění, štěbetání nebo mrhnutí.

### 3.2.2.2 *Abstraktní syntézy*

Abstraktní syntézy jsou takové syntézy, ve kterých se využívají abstraktní metody a algoritmy pro vytvoření nového zvuku.

Typicky se jedná o frekvenční modulaci (FM) a amplitudovou modulaci (AM), ve kterých propojením dvou vln vzniká mnohem bohatší zvukový charakter, který byl základem několika tradičních videoher nebo osmdesátkových elektronických kláves. (Filimowicz 2019, s. 276)

Tyto syntézy nám umožňují upravit barvu periodických signálů, které se projevují, jako bezbarvé tóny, v komplexnější a pestřejší zvuky. Ty mají poté velké využití například pro

dobarvení silného úderu nebo gradujícího efektu. Často se také využívá basových zvuků, které dokážou FM syntezátory vyprodukovat. Ty mají silný efekt a těžko se tvoří akusticky.

### 3.2.2.3 Signálové modelování

Jedná se o syntézu, která analyzuje určitý zvuk a následně ho rekonstruuje. V první, analytické fázi audio rozdělí na tenké vrstvy, které mají předpoklad být jednoduše uměle vygenerovány.

Jednou z široce používaných metod je spektrálně modelující syntéza (SMS), která výsledný zvuk skládá primárně ze sinusových vln a šumu. Sčítáním a filtrací těchto prvků vytváří výsledný zvuk. SMS nejlépe funguje pro jednoduché harmonické zvuky. (Filimowicz 2019, s. 277)

Mezi běžné aplikace patří zpracování audio signálu hudby nebo lidské řeči. (Beauchamp 2007)

### 3.2.2.4 Fyzikální modelování

S tímto konceptem přišla Yamaha v devadesátých letech, když uvedla na trh syntezátory, které měly co nejvěrohodněji napodobit akustické nástroje.

Při syntéze pomocí fyzikálního modelování jsou zvuky generovány na základě modelování fyziky systému, který zvuk vytvořil. Čím více fyzikálního popisu je do systému začleněno, tím je model považován za kvalitnější. „U dechových nástrojů to může být například materiál, z něhož je nástroj vyroben, vlastnosti plátku, hubičky, tvar vzduchového sloupce uvnitř nástroje apod.“ (Hlavička 1997, online)

Využití této syntézy není tolik uživatelsky přívětivé, a tím pádem ani tolik rozšířené. Využívá se spíše v oblasti výzkumu.

## 3.2.3 Současné softwary využívající syntézu v reálném čase

Jedná se o systémy, které využívají různé typy syntéz a jsou navrhované primárně pro herní prostředí. Místo toho, abyste museli ke každému zdroji hledat assety v bankách, můžete využít jednotlivá nastavení těchto programů k vytváření vámi požadovaného zvuku. Pokud bychom například chtěli vytvořit atmosféru větru, mají tyto pluginy v sobě už předpřipravené nastavení syntezátorů tak, že výsledná syntéza zní jako foukání větru. Vy pak můžete například pomocí pohybu myši na osách<sup>10</sup> měnit prostor a dynamiku tohoto zvuku, nebo jiné parametry, a vytvořit tak požadovaný tvar zvuku. Velkou výhodou těchto systémů je právě jejich variabilita. Díky množství proměnlivých parametrů nabízí široké možnosti přizpůsobení průběhu zvuku

---

<sup>10</sup> Tsugi tento mód nazývá Sketch Pad.

pohybům v animacích. Poté můžete buď přímo navázat tyto proměnlivé parametry na vstupní informace z herního softwaru,<sup>11</sup> nebo zvuk vyexportovat do vašeho middlewaru.

U některých systémů se jedná přímo o pluginy, které můžete načíst ve svém DAW nebo middlewaru, jindy fungují jako samostatné softwary a některé fungují přímo jako middlewary, které se dají propojit s herními enginy.

Vybral jsem tři společnosti, které se vývojem takovýchto programů zabývají a jsou podle mého názoru nejvýraznější. Od každé této společnosti představím jeden software, který je určený na vytvoření přírodních atmosfér jako je zvuk deště, ohně, foukání větru atd.

### 3.2.3.1 Tsugi

Tsugi je firma sídlící v Japonsku, kterou v roce 2011 založil Nicolas Fournel. Fournel působí už přes 40 let v herním průmyslu a pracoval pro velké herní společnosti jako Sony, Konami nebo Electronic Arts. Je autorem mnohých článků na téma procedurálního audia a vlastní v této oblasti i několik patentů.<sup>12</sup>

Tsugi je v rámci této sféry nejaktivnější firmou, kromě toho, že neustále vytváří aktualizace pro své programy, vyvíjí stále nové podoby a možnosti, a dokonce letos, v roce 2023, oznámila vydání softwaru, který využívá procedurální syntézu zvuku filmovou postprodukci, což je u tohoto typu programů jedinečné.

Hlavním softwarem Tsugi je **Game Synth**, který má obrovské množství nastavení. Můžete si vybrat z několika modelů<sup>13</sup> a rozhraní, nás ale zajímá model „weather“ (počasí).

V tomto modelu, si můžete vybrat z pěti podmodelů: déšť, vítr, kroupy, bouřka a listí.<sup>14</sup> Každý tento podmodel má několik parametrů, kterým můžete měnit charakter daného „počasí“.

U bouřky můžeme vidět například parametry jako maximální hlasitost blesku a bouřky, zpoždění blesku, vzdálenost a další (viz. Obrázek).<sup>15</sup> U deště si můžeme dokonce vybrat materiál, na který chceme, aby déšť dopadal. Změny těchto hodnot ovládají integrovaný syntezátor, který pak přizpůsobí zvuk námi požadovaným parametrům. Pomáhá nám to tedy měnit složitá nastavení syntezátoru pomocí jednoduchých, srozumitelných parametrů. V modelu Weather můžeme zároveň jednotlivé podmodely dávat vedle sebe do prostředí *Sketch Pad* a prolínat mezi nimi<sup>16</sup>. (Fournel 2022)

---

<sup>11</sup> Game Synth od roku 2022 může integrovat do Unity, Fmod, Wwise, Reaper.

Více na: <http://tsugi-studio.com/blog/2022/03/29/gamesynth-2022-released/>

<sup>12</sup> Více na: <http://tsugi-studio.com/web/en/company.html>

<sup>13</sup> Tsugi jako modely označuje jednotlivé přednastavené sekce například pro zvuky přírodních živlů, motorů, kroků, zbraní atd.

<sup>14</sup> Orig.: Rain, wind, hail, thunder, leaves.

<sup>15</sup> Orig.: Lightning amplitude, thunder amplitude, thunder delay, distance.

<sup>16</sup> Viz příloha č. 1



Obrázek 2 Rozhraní Game Synth od Tsugi v podmodelu modelu Thunder

### 3.2.3.2 Nemisindo

Firma Nemisindo vznikla z týmu sounddesignerů při univerzitě Queen Mary University v Londýně. Vycházejí z učení Andyho Farnella a vyvíjejí procedurální audio pro herní engine Unreal. Jeden z jejich softwarů, který pomáhá generovat přírodní zvukové efekty a ambienty, se jmenuje Nemisindo Nature Pack.

Nemisindo Nature Pack je plug-in určený pouze pro herní software Unreal Engine. Podobně jako u Tsugi je v něm k dispozici pět modelů, a to kapky, oheň, déšť, voda a vlny.<sup>17</sup> Jednoduchá implementace tohoto softwaru do herního engine je výhodou, ale postrádá verzi standalone.<sup>18</sup> Pokud bych ji tedy chtěl využít mimo prostředí Unreal Engine, není to možné. Jednotlivé parametry jsou i omezenější než u Tsugi. Například u modelu deště zde máme jen tři parametry. Míra kapek dopadající na tvrdý povrch, na měkký povrch a hlasitost okolního prostředí. Ve videu v příloze<sup>19</sup> jsou všechny zvuky vytvořené pomocí tohoto pluginu. Dle mého názoru zde vygenerované zvuky fungují jako jednoduchý základ, ale chybí další, realističtější vrstvy.<sup>20</sup>

<sup>17</sup> Orig.: Droplets, fire, rain, water, waves.

<sup>18</sup> Takovou, která by se dala používat sama o sobě mimo herní software.

<sup>19</sup> Viz příloha 2

<sup>20</sup> Více na: <https://nemisindo.com>

### 3.2.3.3 Le Sound

„Le Sound vyvíjí zvukové nástroje nové generace pro sounddesignery/ky a vyvojáře/ky počítačových her.“ Firma sídlící ve Francii vytváří rovněž softwary pro procedurální audio a pro svou práci se zaměřím na plug-in vyvinutý pro generování zvuku větru.

AudioWind Pro skládá výsledný zvuk ze čtyř vrstev, které jsou pojmenované jako background, whistling, gusts, squalls.<sup>21</sup> V rámci těchto vrstev máte možnost výběru presetu, který chcete aplikovat, a dále můžete zvuk upravovat vybranými filtry. Dynamiku všech vrstev lze ještě upravovat LFO<sup>22</sup> filtrem. Je zde tedy větší možnost pracovat s běžnými zvukovými nástroji, jako je například highpass filter, a nespolehat se pouze na parametry, do kterých nevidíte.

Le Sound je také jedinou firmou, která vyrábí takovéto typy pluginů pro MacOS a několik z nich generuje zvuk dokonce rovnou do 5.1 formátu, včetně pluginu AudioWind pro, který je možné si stáhnout ve většině potřebných formátů.<sup>23</sup>

Na druhou stranu Le Sound nejvíce bojuje s přizpůsobením na nové operační systémy a nové verze DAW. Momentálně není dostupný skoro žádný z jejich produktů na nové verze MacOS a Pro tools.<sup>24</sup>



Obrázek 3 Rozhraní AudioWind Pro od Le Sound

<sup>21</sup> Překlad: pozadí, svištění, poryvy, bouře.

<sup>22</sup> Low frequency oscillator.

<sup>23</sup> AAX;VST;VST3;AU.

<sup>24</sup> Více na: <https://lesound.io/company/>

### 3.3 Systémy generující ambienty z ruchových bank

V této kapitole představím dva systémy, které vznikly v rámci výzkumů generování zvukových atmosfér. Běžným operátorem v těchto výzkumech je samostatnost vyvíjených systémů. Proto je potřeba stanovit termíny, které tuto nezávislost definují. Existují autonomní systémy, semiautonomní systémy a neautonomní systémy.

**Neautonomní** systém je plně kontrolovaný člověkem, který dělá veškeré úkony a rozhodnutí. To může být například DAW. Mnoho nástrojů dostupných s DAW značně zjednodušuje produkční úkoly. Systém však vykonává pouze pokyny podle zadání uživatele/ky.

**Semiautonomní** systémy vytvářejí určité úkony samy, na základě předchozí optimalizace, ale zbylá část je stále v rukou zvukařky nebo zvukaře. Počítač může například vybrat určité zvuky a zmixovat je. Člověk pak ale vybere, který z počítačem navržených zvuků se použije.

**Autonomní** systémy pak ovládá počítač na každé úrovni. Tyto systémy využívají multidisciplinární přístup k řešení široké škály úkolů, jako je formulace kontextu zvukové krajiny, analýza zvukových souborů a provádění kompozičních rozhodnutí. (srov. Filimowicz 2019, s. 263)

Cílem níže představených systémů je automatizovat určité repetitivní a nahraditelné úkony, které obvykle provádí zvukař nebo zvukařka při komponování zvukových atmosfér. Typickým přístupem těchto systémů je vytvoření banky zvuků, které jsou označené podle určitého protokolu na základě svých charakteristických vlastností. Systém pak dokáže z těchto bank automaticky vybírat zvuky na základě uživatelem zadaných hodnot. Jedná se především o semiautonomní systémy.

Pedro Cano a kol. v roce 2014 popisují semiautonomní systém, ve kterém využívají komerční zvukovou banku. Sampley z této banky důsledně označili pomocí sítě WordNet<sup>25</sup> a každému audiu přiřadili označení (tags) podle jeho charakteristik. Systém pak na základě zadání klíčových slov použije sampley se stejným profilem. Dlouhé zvuky považuje za ambienty a krátké za zvukové události. V momentě, kdy má ambientní zvuk méně energie, doplní ho zvukovou událostí. V oblastech, kde se zvuky frekvenčně překrývají, použije ekvalizaci a událost utlumí tak, aby byla 3 dB nad střední hodnotou ambientního zvuku. (Thorogood 2019, s. 265)

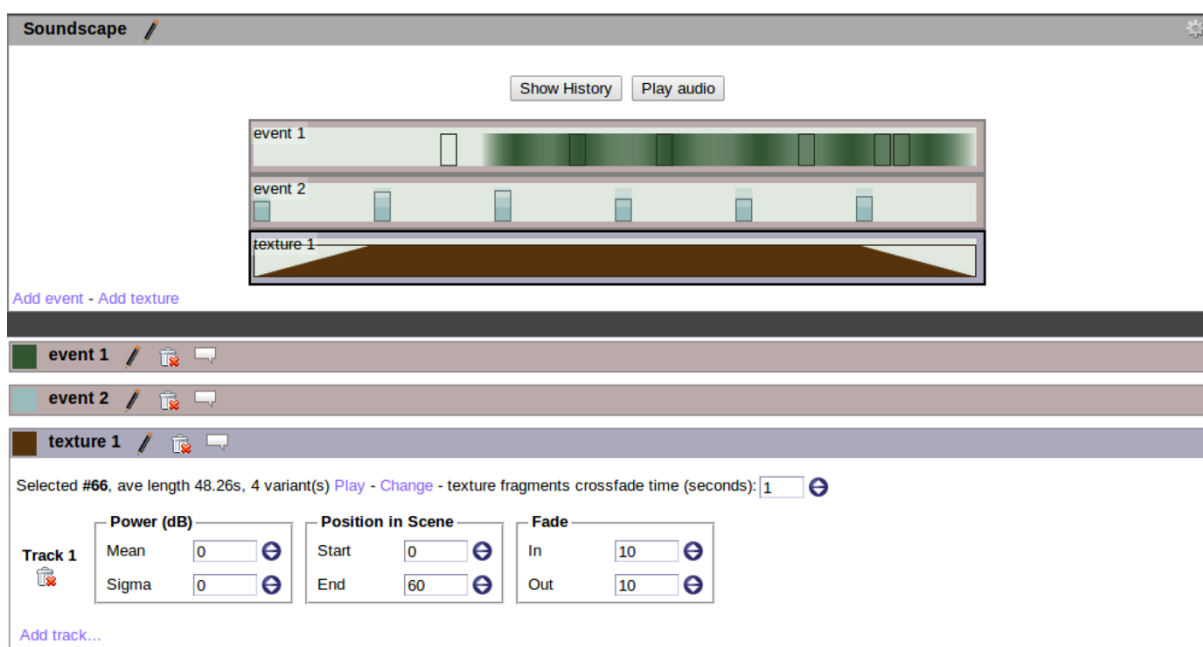
Rossignol a kol. ve stejném roce vytvářejí simulátor zvukových krajin (soundscapes) nazvaný SimScene, který je navržený jako „experimentální nástroj pro charakterizaci duševní reprezentace zvukového prostředí“.<sup>26</sup> Tento simulátor zvukové krajiny umožňuje vytvářet

---

<sup>25</sup> WordNet seskupuje slova do řad souznačných slov, poskytuje krátké obecné definice jejich významu a zachycuje různé sémantické vztahy, které mezi synsety existují. (zdroj: <https://cs.wikipedia.org/wiki/WordNet>)

<sup>26</sup> Orig. „experimental tool to characterize the mental representation of sound environments.“ (Rossignol, 2014).

kompletní zvukové prostředí editací a mícháním zvukových prvků a manipulací s jejich úrovní a polohou na časové ose. Základem tohoto modelu nejsou jednotlivé samplly ve zvukových bankách, ale zvuky jsou na základě sémantiky rozděleny do jednotlivých tříd, jako například projíždějící auto, nebo projíždějící skútr. SimScene se zaměřuje především na tvorbu městských prostředí a stejně jako předchozí model rozděluje použité zvukové stopy podle jejich délky, v tomto případě na eventy (události) a textures (textury, plochy). Rozhraní programu můžete vidět na obrázku. Když uživatel přidal nový zvukový event, rozprostřely se mu na časové ose zvukové eventy ze stejné třídy. Na spodní straně tohoto rozhraní jsou základní úpravy jednotlivých tracků. Pro zvýšení uživatelské dostupnosti byl tento simulátor vyvinut pomocí Java scriptu a bylo možné ho využívat na většině internetových prohlížečů. Dnes jsou data převedena do Matlabu a dají se stáhnout jako skript. (Rossignol 2014, s. 1)



Obrázek 4 Rozhraní simulátoru SimScene

Tyto systémy mají velký potenciál pro zjednodušení zvukového procesu vytváření zvukových atmosfér. Jsou ale stále uživatelsky velmi nepříznivé a jejich možnosti jsou velmi omezené. V desátých letech 21. století popisuje Thorogood ve svém článku *Soundscape Generation Systems* několik podobných výzkumů, žádný z nich se ale nevyvinul v komerčně využívaný software. (Thoregood 2019)



## Závěr

Před tím, než jsem začal toto téma zpracovávat, jsem neměl zcela jasnou představu, o jak široké téma se jedná. Tato práce může ve výsledku lépe sloužit jako shrnutí výchozích stanovisek a principů pro procedurální audio, spíše než jako příručka „jak vytvořit procedurální zvuk stručně a rychle“.

První kapitola se zabývá důležitými aspekty zvukových atmosfér pro tento výzkum. Nejsou zde široce rozvedeny všechny aspekty této formy, ale věnuji se především síle ambientů rozšiřovat charaktery prostředí a vrstevnatosti atmosfér, která nám pomáhá porozumět využití zvukové syntézy v této oblasti. V další části se pak snažím pojmut široký termín procedurálního audia a propojit definice a teorie Andyho Farnella se současnými možnostmi a tendencemi v oblasti interaktivních médií.

Když jsem začínal číst teoretické práce zabývající se procedurálním audiem, které jsou už skoro 15 let staré, a pouštěl jsem se do tohoto výzkumu, očekával jsem, že technologie využívající procedurální zvukové syntézy už budou mnohem rozšířenější. Stále se ale jedná o menší firmy, které sice dělají pokroky, ale velké množství energie jim zabírá vytváření aktualizací a udržení kompatibility s novými operačními systémy. Velkou naději vkládám do firmy Tsugi a jsem zvědavý, co bude pro filmovou zvukovou postprodukci znamenat jejich MovieSynth. I tak na poli atmosfér vnímám tyto nástroje jako velmi užitečné. Intuitivnost a srozumitelnost parametrů jednotlivých nástrojů může přispět tomu, že samotní herní vývojáři možná lépe porozumí procesům, které implementují. Zcela výjimečný mi přijde režim *Sketch Pad* u Game Synth, ve kterém můžete do dynamiky atmosfér zahrnout i vlastní pohyb a mohl by to být do budoucna silný nástroj v interaktivních formátech ve spojení s pohybovými senzory a kontrolery.

Mnohem větší praktické využití momentálně vnímám na poli procedurálního zpracování samplů, které už je nedílnou součástí procesu výroby velkých herních studií. Komponování atmosfér pomocí této metody si zachovává kvalitu a rozmanitou barvu zvuku díky samplům, zároveň je ale díky proměnlivým parametrům velmi flexibilní. Velké možnosti by tento postup mohl nabízet i v rámci výstav a performance, které trvají celé dny, a neustálý vývoj a originalita zvukového prostředí by mohly být přínosnými prvky. Tato část práce shrnuje pouze základní principy této metody, ale je zde ještě velký prostor pro popsání jednotlivých technologií a postupů. To by se mohlo stát tématem dalších výzkumů.

Generování zvukových ambientů, které popisují v závěru práce, nabízí zjednodušení v rámci zvukové produkce i postprodukce. Dokáže nahradit zdlouhavé a opakující se úkony, které musíme při tvoření atmosfér absolvovat. Velkou nevýhodou je ale pracné strukturování a označování ruchových bank, které jsou pro tyto systémy zásadní. Většina výzkumů v této oblasti se zdržela nebo pozastavila a nezaznamenal jsem větší pokrok v poslední letech.

# Seznam použitých zdrojů

## Odborná literatura

- BEAUCHAMP, James W. *Analysis, synthesis, and perception of musical sounds: the sound of music*. New York: Springer, 2007. ISBN 9780387324968.
- BÖHME, Gernot. *Atmospheric Architectures: The Aesthetics of Felt Spaces*. Londýn: Bloomsbury Academic, 2017.
- BLÁHA, Ivo. *Zvuková dramaturgie audiovizuálního díla*. 3., upr. vyd. Praha: Nakladatelství Akademie múzických umění, 2014. ISBN 9788073313036.
- BÖTTCHER, Niels a Stefania SERAFIN. Design and Evaluation of Physically Inspired Models of Sound Effects in Computer Games. Audio Engineering Society Conference: Audio for Games. Londýn, 2009.
- COLLINS, Karen. *Game Sound: An Introduction to the History, Theory, and Practice of Video Game Music and Sound Design*. The MIT Press, 2008. ISBN 9780262537773.
- COLLINS, Karen, Bill KAPRALOS a Holly TESSLER. *The Oxford Handbook of Interactive Audio*. New York: Oxford University Press, 2014.
- FARNELL, Andy. *Designing sound*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2010. ISBN 9780262014410.
- FARNELL, Andy. *An Introduction to Procedural Audio*, [online]. 2007. Dostupné z: [cs.au.dk/~dsound/DigitalAudio.dir/Papers/proceduralAudio.pdf](http://cs.au.dk/~dsound/DigitalAudio.dir/Papers/proceduralAudio.pdf)
- FILIMOWICZ, Michael. *Foundations in sound design for interactive media: a multidisciplinary approach*. New York: Routledge/Taylor & Francis Group, 2019. ISBN 9781351603867.
- FILIMOWICZ, Michael. *Foundations in sound design for linear media: a multidisciplinary approach*. New York: Routledge/Taylor & Francis Group, 2020. ISBN 9781138093966.
- FOURNEL, Nicolas. *Procedural Audio for Video Games*, [online]. CA: Sony Computer Entertainment Europe, Game Developers Conference. Dostupné z: <https://www.gdcvault.com/play/1012645/Procedural-Audio-for-Video-Games>
- FOURNEL, Nicolas. GameSynth 2022 Released!. *Tsugi-blog* [online]. 2022. Dostupné z: <http://tsugi-studio.com/blog/2022/03/29/gamesynth-2022-released/>
- HLAVIČKA, Miroslav. Virtuálně akustická syntéza, revoluce ve výrobě zvuku. *Natura* [online]. Intellectronics, 1997. Dostupné z: <http://natura.baf.cz/natura/1996/12/9612-3.html>

- MOORE, Adrian. *Sonic Art: An Introduction to Electroacoustic Music Composition*. New York: Routledge, 2016. ISBN 978113892501.
- OPIE, Timothy. *Sound in a nutshell: Granular Synthesis* [online]. La Trobe University, 1999. Dostupné z: <http://www.granularsynthesis.com/hthesis/hthesis.html>
- ROSSIGNOL, Mathias. *SimScene: a web-based acoustic scene simulator* [online]. Paříž, 2014. Dostupné z: <https://hal.science/hal-01078098v2>
- RUSS, Martin. *Sound synthesis and sampling*. Third Edition. Oxford: Focal Press, 2009. Music technology series. ISBN 0-240-51429-7.
- SCHÜTZE, Stephan a Anna IRWIN-SCHÜTZE. *New Realities in Audio: A Practical Guide for VR, AR, MR, and 360 Video*. New York: Taylor & Francis Group, 2018. ISBN 9781138740822.
- SMITH, Gillian. *An Analog History of Procedural Content Generation* [online]. Northeastern University, 2015, Playable Innovative Technologies Lab. Dostupné z: [http://www.fdg2015.org/papers/fdg2015\\_paper\\_19.pdf](http://www.fdg2015.org/papers/fdg2015_paper_19.pdf)
- SMITH, Julius Orion. *Viewpoints on the History of Digital Synthesis*. California: Center for Computer Research in Music and Acoustics (CCRMA), 2005.
- STEVENS, Richard a Dave RAYBOULD. *Game Audio Implementation: A Practical Guide Using the Unreal Engine*. Routledge, 2015. ISBN 9781138777248.
- THOROGOOD, Miles. Soundscape Generation Systems. In: FILIMOWICZ, Michael. *Foundations in sound design for interactive media: a multidisciplinary approach*. New York: Routledge, 2019, s. 259–273. ISBN 9781351603867.
- WITTEK, Helmut. *Microphone Techniques for 2.0 and 5.1 Ambience Recording*. Forum for Stereophonic Sound and Recording Techniques, 2013.

## Seznam příloh

1. *GameSynth Weather Model* [video online]. Tsugi Studio. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=GpRxV5vutAM>
2. *Nature Pack Demo!* [video online]. Nemisindo. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ohnBwgBqJic>