

Šablona  
BAKALÁŘSKÁ / DIPLOMOVÁ PRÁCE  
Verze 2021

Červené texty dále v šabloně přepište odpovídajícím textem nebo smažte.

DESKY

Namísto této stránky vložte stránku **desky** vygenerovanou v IS VUT.

# TITULNÍ LIST

Namísto této stránky vložte **titulní list** (s logem) vygenerovaný v IS VUT.

## ZADÁNÍ

Namísto této stránky vložte stránku **zadání FEKT** vygenerovanou v IS VUT.

## **Abstrakt**

Tato práce se věnuje vývoji VST plug-inu na bázi granulárního syntezátoru, jehož parametry (jako například mezní frekvence filtru typu horní, dolní nebo pásmové propusti, délka granul, a další) jsou ovládány pomocí vlnové délky světla přicházejícího na webkameru. Plug-in je ovladatelný pomocí jednoho či více MIDI kontrolérů, kdy každý z nich může ovládat další instanci syntezátoru. Je tedy dosaženo naprosté nezávislosti vstupních dat, přijímaných MIDI zpráv i parametrů nastavovaných jednotlivým instancím a tím tedy i zvukové zajímavosti výsledného signálového výstupu VST plug-inu.

## **Klíčová slova**

Syntezátor, granulární syntéza, plug-in, VST, JUCE, C++

## **Abstract**

This thesis addresses the development of a VST plug-in based on a granular synthesizer, whose parameters (such as the cutoff frequencies of high-pass, low-pass or band-pass filters, grain length, and others) are controlled by the wavelength of light captured by a web camera. The plug-in can be operated using one or more MIDI controllers, with each of them capable of controlling an additional instance of the synthesizer. This achieves complete independence of input data, received MIDI messages, and parameters set for individual instances, thus enhancing the sound richness of the resulting signal output of the VST plug-in.

## **Keywords**

Synthesizer, granular synthesis, plug-in, VST, JUCE, C++

## **Bibliografická citace**

KUCHAŘ, V. *Experimentální softwarový hudební nástroj nebo zvukový zdroj*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2023. 11 s., 3 s. příloh. Semestrální práce. Vedoucí práce: doc. Ing. MgA. Mgr. Dan Dlouhý PhD.

## PROHLÁŠENÍ

- do tištěné verze závěrečné práce vložte originál prohlášení s podpisem autora
- do elektronické verze vložte prohlášení bez podpisu

### Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	Vojtěch Kuchař
<b>VUT ID studenta:</b>	240173
<b>Typ práce:</b>	Semestrální práce
<b>Akademický rok:</b>	2023/2024
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Experimentální softwarový hudební nástroj nebo zvukový zdroj

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 18. prosince 2021

-----  
podpis autora

## Poděkování (nepovinné)

Můžete naformulovat vlastní poděkování těm, kteří vám s prací pomáhali (vedoucí práce, konzultant, kolega, ...). Do tištěné verze závěrečné práce vložte originál poděkování s podpisem autora, do elektronické verze vložte poděkování bez podpisu.

*Příklad:*

*Děkuji vedoucímu diplomové (bakalářské) práce Prof. Ing. Jiřímu Novotnému, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.*

V Brně dne: 18. prosince 2021

-----  
podpis autora

# Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	8
SEZNAM TABULEK.....	9
ÚVOD .....	10
<b>1. GRANULÁRNÍ SYNTÉZA.....</b>	<b>11</b>
1.1 PRINCIP A METODY GRANULÁRNÍ SYNTÉZY .....	11
1.1.1 Metoda mřížek (screens) .....	11
1.1.2 Metoda událostí (events).....	13
1.2 HISTORIE.....	14
<b>2. SROVNÁNÍ EXISTUJÍCÍCH ŘEŠENÍ.....</b>	<b>16</b>
2.1 RIBS .....	16
2.2 EMERGENCE.....	17
2.3 GRAIN STRAIN.....	18
2.4 ARGOTLUNAR .....	18
2.5 GGRAIN .....	19
<b>3. VÝVOJ VLASTNÍHO ŘEŠENÍ .....</b>	<b>20</b>
3.1 FRAMEWORK JUCE.....	20
3.2 GRANNY SYNTH.....	20
<b>4. ZÁVĚR.....</b>	<b>21</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>22</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>23</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>24</b>

*Pozn.: Obsah se v rámci této šablony generuje automaticky z nadpisů 1 až 3 úrovně. Pro jeho aktualizaci stačí kliknout pravým tlačítkem na vytvořený obsah a vybrat položku **Aktualizovat pole** → **Celá tabulka**.*



## SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Tabulka rozložení zrn podle jejich frekvence a intenzity. Symbol + označuje přítomnost zrna na této pozici, 0 značí prázdnou buňku tabulky. Zdroj: [3].....	12
1.2	Tabulka pravděpodobnosti přehrání jednotlivých buněk. Výsledná pravděpodobnost pro danou frekvenci je vždy rovna 100 %. Zdroj: [3] .....	12
1.3	Vizualizace několika oblaků (clouds) v čase. Jednotlivé body reprezentují zrna rozložená ve frekvenční a časové ose. Zdroj: [5] .....	13
2.1	Grafické rozhraní VST granulárního syntezátoru Ribs .....	17
2.2	Grafické rozhraní VST granulárního syntezátoru Emergence.....	18

*Pozn.: Seznam obrázků se generuje automaticky z vložených titulků. Pro jeho aktualizaci stačí kliknout pravým tlačítkem na vytvořený seznam a vybrat položku **Aktualizovat pole → Celá tabulka**. Všechny položky formátované zmíněným stylem se přidají do seznamu.*

*Pokud závěrečná práce neobsahuje obrázky, tuto stránku smažte.*

# SEZNAM TABULEK

2.1	V této šabloně jsou definované následující důležité styly .....	18
-----	---	----

*Pozn.: Seznam tabulek se generuje automaticky z vložených titulků. Pro jeho aktualizaci stačí kliknout pravým tlačítkem na vytvořený seznam a vybrat položku **Aktualizovat pole** → **Celá tabulka**. Všechny položky formátované zmíněným stylem se přidají do seznamu. Pokud závěrečná práce neobsahuje obrázky, tuto stránku smažte.*

# ÚVOD

Syntezátory jsou součástí hudebního světa již desítky let. První z nich byly sestrojeny před více než stoletím a připomínaly dnešní elektrické varhany [1]. Za základ dnešních syntezátorů je považován prototyp Roberta Mooga představený na sdružení Audio Engineering Society v roce 1964. Dnešní nástroje jsou schopny pokrýt obrovskou paletu zvuků a jejich barev a existuje jich nepřeberné množství. Technická vyspělost umožňuje přenesení jejich existence z fyzického světa do světa virtuálního a otevírá tím nové možnosti zvukovým tvůrcům. Stejně jako existuje obrovské množství syntezátorů, existuje i množství druhů syntézy, například aditivní, subtraktivní, modulační (AM a FM), granulární, sampling aj.

Granulární syntéza je způsob tvorby zvuku pomocí rozdělení vstupního signálu na spoustu drobných úseků a jejich následné skládání zpět za sebe. V praxi se používají úseky (jinak také granule neboli zrna) o délce přibližně 1–100 ms. Způsoby, kterými jsou jednotlivá zrna za sebe řazena, existují primárně dva – synchronní a asynchronní. Důležitým parametrem pro řízení syntézy je hustota zrn, tedy jejich počet na jednotku času. Dalšími parametry, které mohou obohatit výsledný zvuk, jsou například délka granulí, změny vzdálenosti mezi jednotlivými granulemi, jejich překrývání, rychlost přehrávání, přidávání různých typů obálek a spoustu dalších.

Tato práce se věnuje problematice vývoje softwarového granulárního syntezátoru ve vývojovém prostředí JUCE. Jejím hlavním cílem je vytvoření VST plug-inu schopného vstupní zvuková data jednak rozdělit na granule, zároveň na ně aplikovat výše zmíněné parametry. Neobvyklost řešení spočívá v možnosti ovládání syntezátoru pomocí vlnové délky světla – barev snímaných webkamerou.

Semestrální práce je členěna do X kapitol. V kapitole 1 je popsán princip a historie granulární syntézy, srovnání dalších veřejně dostupných řešení je obsaženo v kapitole 2. Vývojové prostředí JUCE je představeno v kapitole 3, kapitola 4 se věnuje vývoji samotného plug-inu. V kapitole 5 se nachází shrnutí a závěr semestrální práce.

# 1. GRANULÁRNÍ SYNTÉZA

Granulární syntéza je dnes již jednou ze zavedených, ale přesto velmi kreativních forem tvorby umělých zvuků. Její masová využitelnost přišla až s nástupem výkonnějších počítačů, které jsou schopny zpracovat i digitální zvukové soubory s větší bitovou hloubkou, avšak myšlenka tvorby zvuku podobným způsobem se objevila už mnohem dříve, dávno před vznikem počítačů. Tehdy bylo možné podobné pokusy provádět pouze stříháním a následným spojováním magnetofonových pásek. Tato kapitola se věnuje principu tohoto typu syntézy a popisuje některé druhy třídění grainů. Stručné historii granulární syntézy se věnuje kapitola 1.2.

## 1.1 Princip a metody granulární syntézy

Jak již bylo popsáno v úvodu, koncept granulární syntézy pracuje s krátkými zvukovými úseky v řádech jednotek až desítek milisekund. Tato délka zejména ovlivňuje charakter zvuku z hlediska vnímání tónu. Maďarsko-britský fyzik Dennis Gabor na základě výzkumu stanovil minimální dobu trvání potřebnou pro rozeznání tónu od šumu na 10 ms [2]. Můžeme tedy říct, že délka granulí kratší než tato hodnota vytvoří dojem perkusivního zvuku, zatímco delší granule budou mít spíše tónový charakter.

Důležitým parametrem je také hustota grainů ve výsledném zvuku. S menší hustotou vzniká dojem větší trhanosti, při větší hustotě, či dokonce překryvu zrněk vznikají nové harmonické složky a formantové oblasti v původním signálu neobsažené.

Pro samotný vznik umělého zvuku za pomoci granulární syntézy je nutné zvolit nové pořadí jednotlivých zrn. Kategorie řazení existují v zásadě dvě: synchronní a asynchronní. Synchronní metody spočívají v deterministicky daných mezerách mezi jednotlivými zrny. Může se jednat o konstantní hodnotu, matematický vztah či jiný předpis, podstatná je jeho předvídatelnost. Asynchronní metody takto dané rozestupy mezi granulemi nemají. Jejich zobrazení na osách frekvence a času připomíná oblaky – tyto struktury jsou detailněji rozebrány níže v kapitole 1.1.2.

V minulosti bylo velmi zajímavých výsledků dosaženo následujícími metodami, jež lze řadit mezi metody asynchronní:

### 1.1.1 Metoda mřížek (screens)

Tato metoda byla ve smyslu granulární syntézy – ačkoli ne v dnešním pojetí – použita v 50. letech 20. století Řekem Iannisem Xenakisem. Podrobně ji popisuje ve své knize *Formalized Music: Thought and Mathematics in Composition* [3]. Jednotlivá zrna jsou umístěna do mřížek podle jejich zjištěné frekvence a amplitudy. Každému oknu je následně přiřazena pravděpodobnost jeho přehrání tak, aby každý sloupec (frekvence) měl dohromady pravděpodobnost přehrání rovnu 100 %. V časové ose je pak zvoleno

pořadí frekvencí, na jehož základě jsou podle pravděpodobnosti přehrána jednotlivá okna či pouze určitý počet zrněk v nich. Samo pořadí frekvencí je určeno další pravděpodobnostní tabulkou, případně Gaussovým rozdělením, kdy za střední hodnotu je vybrána libovolná frekvence. Takto získaná data jsou pro Xenakise řídicími instrukcemi, jak pracovat při střihání a spojování magnetofonového pásu – nosiče vstupních zvukových dat pro granulární syntézu. Zde je patrný rozdíl mezi jeho a dnešním provedením. V 50. letech nebyla dostupná technologie pro digitalizaci zvukového záznamu a jeho další úpravy v této podobě, proto veškerá práce s analogovými nosiči vyžadovala trpělivost, preciznost a s nimi i velkou míru odhodlání. Zároveň i možnosti úprav parametrů jednotlivých zrn či celé syntézy byly oproti dnešnímu digitálnímu provedení velmi ztížené, ba dokonce nemožné.

$\downarrow$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$\dots$
$g_1$	+	0	+	0	0	0	+	
$g_2$	0	+	0	0	0	+	0	
$g_3$	0	0	0	+	+	0	0	
$\vdots$								

Obrázek 1.1 Tabulka rozložení zrn podle jejich frekvence a intenzity. Symbol + označuje přítomnost zrna na této pozici, 0 značí prázdnou buňku tabulky. Zdroj: [3]

$\downarrow$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$\dots$
$g_1$	0.5	0	0.2	0	$\dots$
$g_2$	0	0.3	0.3	1	$\dots$
$g_3$	0.5	0.7	0.5	0	$\dots$

Obrázek 1.2 Tabulka pravděpodobnosti přehrávání jednotlivých buněk. Výsledná

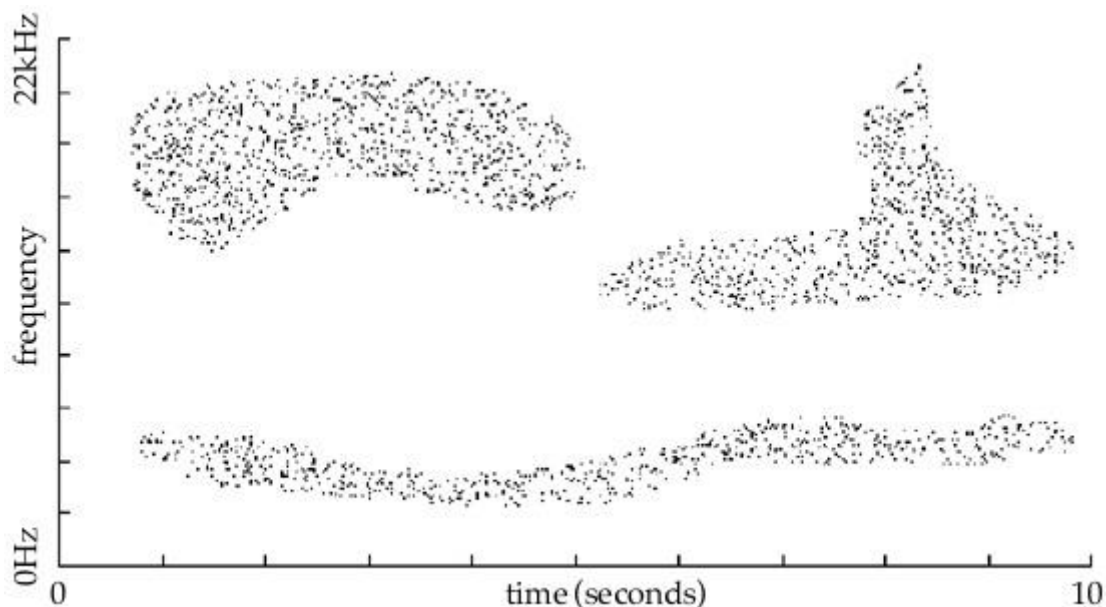
pravděpodobnost pro danou frekvenci je vždy rovna 100 %. Zdroj: [3]

Celá metoda, ačkoli její výsledek může působit značně nahodile a náhodně, je pevně předepsaná. Pro její konstrukci je využita teorie pravděpodobnosti, z ní vycházející užití Markovových řetězců a dalších stochastických jevů.

### 1.1.2 Metoda událostí (events)

Jejím autorem je americký hudební skladatel Curtis Roads [4]. Metoda rozděluje granule podle více – až dvanácti – parametrů převážně syntetických zvuků, jako jsou například počáteční tvar vlny, počáteční střední frekvence, šířka pásma a jeho strmost nebo počáteční amplituda. Útvary, do kterých se granule organizují, se nazývají událostmi (events). Výsledné textury dosažené mícháním různých událostí s rozličnými parametry se nazývají mraky (clouds) a přispívají k větší spektrální bohatosti vytvořeného zvuku.

Roads k tomuto tématu dodává, že vítaným rozšířením samotné syntézy by mohlo být vytvoření takzvaných složených granulárních zvuků vzniklých kombinací vln syntetických s vlnami pocházejících ze sampleů živých nástrojů. Dále popisuje princip podobný FM syntéze, systém analýzy/syntézy. Ten ze samplovaného živého nástroje generuje sadu „prováděcích funkcí“, které při následné syntéze ovlivňují tvar vlny k co nejvěrnějšímu napodobení původního zvuku.



Obrázek 1.3 Vizualizace několika oblaků (clouds) v čase. Jednotlivé body reprezentují zrna rozložená ve frekvenční a časové ose. Zdroj: [5]

Granulární syntezátory existují v zásadě ve dvou provedeních. Prvním z nich je tzv. granulizér, tedy svého druhu efekt, který pouze vstupní zvukový soubor rozdělí na jednotlivá zrnka, případně upraví jejich parametry podle dat zadaných uživatelem, a následně je podle zvoleného algoritmu skládá za sebe a vytváří tím umělý zvuk. Možnost ovládání výšky tónu je zde omezená a dá se provádět například změnou rychlosti přehrávání nebo změnou hustoty zrn. Druhým z nich je plnohodnotný granulární syntezátor, který zrna granulizérem vytvořená a seřazená dokáže přehrávat ve výšce určené uživatelem pomocí klaviatury.

## 1.2 Historie

Počátky myšlenky tvorby zvuku způsobem podobným granulární syntéze sahají do 17. století. Tehdy byla novověkým nizozemským atomistou Isaacem Beeckmanem do jeho deníku zapsána poznámka – teze o částicové podstatě zvuku. Podle této teze kmitající zdroj zvuku dělí okolní vzduch na zvukové částice, tzv. globuly, šířící se ve všech směrech od zdroje [6]. Jakkoliv tento způsob uvažování o šíření zvuku může dnes vyznívat bizarně, právě v této poznámce můžeme spatřovat pohled na zvuk ve velmi krátkých časových intervalech, což je ve větším měřítku doménou spíše fyziků minulého století.

První skutečné pokusy o zvukovou granulární syntézu se objevují v 50. letech 20. století u již zmiňovaného řeckého skladatele a architekta, jenž většinu tvůrčího života prožil ve Francii, Iannise Xenakise (1922–2001). Jeho architektonická práce na pavilonu firmy Phillips pro světovou výstavu v Bruselu se nesla v těsném spojení s hudebním uvažováním a jeho koncepcí meta-art, tedy myšlenky, že každé umění lze pomocí matematických operací převést na jinou formu [zdroj]. Ve své zralé tvůrčí fázi komponuje také pouze s využitím elektronických nástrojů a umělé (člověkem upravených) zvuků. Granulární syntézu obsahují například jeho skladby Bohor (1962) nebo Persepolis (1972). Jeho přístup ke granulární syntéze je popsán detailněji v kapitole 1.1.1.

Dalším průkopníkem v oblasti granulární syntézy se stal americký skladatel a programátor Curtis Roads (\*1951). Jeho skladatelské dílo se zejména specializuje na hudbu tvořenou s pomocí počítačů, granulární a pulsarovou syntézu. Ve své knize Microsound (2001) popisuje různé typy obálek aplikované na jednotlivá zrnka pro odstranění artefaktů vzniklých náhlými přechody úrovní hlasitostí mezi jednotlivými grains [7]. Z tohoto pohledu rozlišuje Gaussovu, kvazi-Gaussovu, lichoběžníkovou, trojúhelníkovou, sinus cardinalis a exponenciálně rostoucí nebo klesající obálku. Dále se zaměřuje na technologii generování zrn, jejich řazení a organizaci a tvorbu složitějších struktur, tzv. mraků (clouds).

Roadsovi patří i významné prvenství, po setkání s Iannisem Xenakisem počátkem 70. let 20. století zahájil své experimenty s prováděním granulární syntézy s využitím vstupního zvukového signálu v digitální formě [7]. Právě použitím počítače přiblížil

granulární syntézu o poznání blíže dnešní podobě. Jeho další přínos spočívá ve zkoumání, popisu, třídění, vytváření pojmů a vývoji dalšího software sloužícího k provádění granulární syntézy. Za důležitou lze také považovat jeho práci v rámci vzdělávání dalších výzkumníků microsoundu – tedy oboru, jenž se zabývá zvuky o délce mezi setinou až desetinou sekundy.

Významný posun v oboru granulární syntézy provedl také kanadský skladatel Barry Truax (\*1947). Jeho přínosem byl vývoj a implementace granulární syntézy v reálném čase (1986) [zdroj], což otevřelo možnosti vývoje směrem k dnešním VST plug-inům, které jsou schopny provádět tento typ syntézy téměř okamžitě, většinou na základě MIDI zpráv dodaných uživatelem. Truaxova implementace spočívala ve vytvoření programu GSX s využitím počítače pro digitální zpracování signálu DMX-1000. Při vytváření programu využil základ software PODX pro Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti přehrání zvukových událostí [zdroj].



## 2. SROVNÁNÍ EXISTUJÍCÍCH ŘEŠENÍ

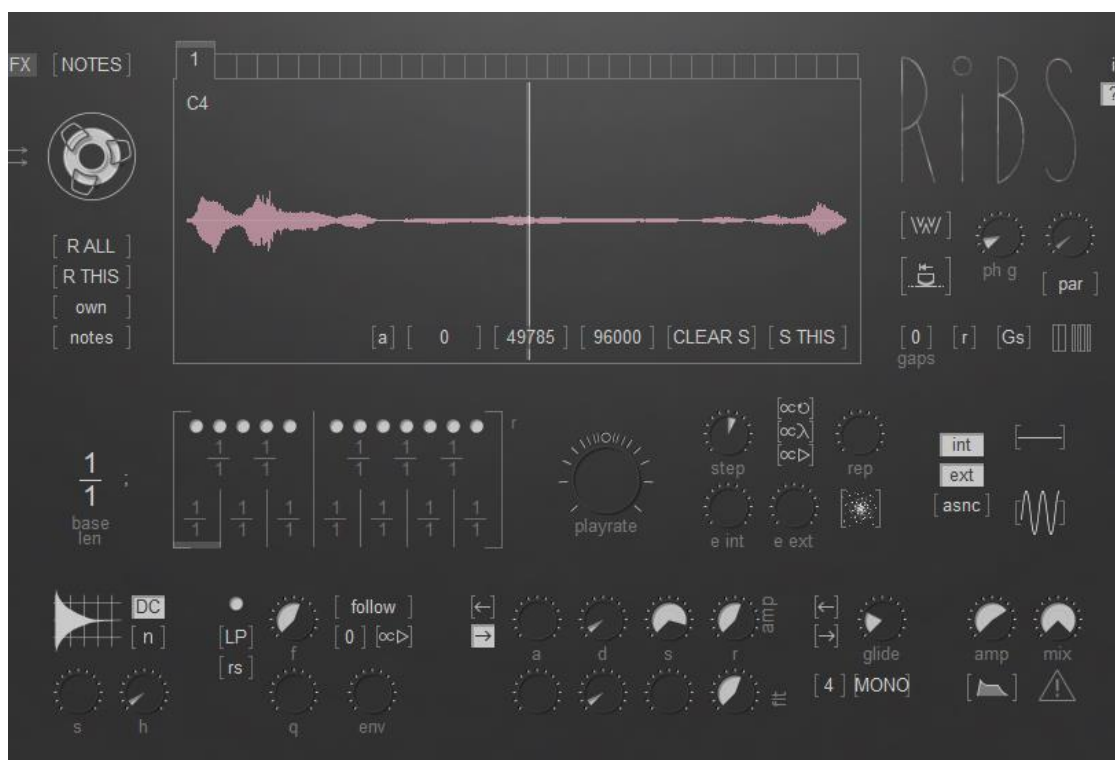
V následující kapitole jsou představena některá řešení softwarových granulárních syntezátorů na současném trhu, která spadají do podobné kategorie jako vyvíjený prototyp. Jedná se o projekty, které jsou dostupné zdarma a nabízejí podobné možnosti nastavení parametrů granulární syntézy.

### 2.1 Ribs

Jedná se o VST granulární syntezátor z vývojářské dílny Hvoja Audio. Je koncipován pro použití jako samostatná aplikace nebo jako DAW plug-in na operačních systémech Windows a MacOS. Ribs umožňuje použití až 32 samostatných bufferů o nastavitelné délce 6000–480000 vzorků. Vstupní signál je do plug-inu nahráván pomocí aktivování příkazu REFILL a následném přehrání zvukové stopy, ze které má být signál získán.

Syntezátor pracuje ve třech módech: SIMPLE, NOTES a BEAT. V režimu SIMPLE je pouze přehráván zachycený signál, nedochází ke granulizaci a nastavitelné jsou jen některé parametry, které ovlivňují celkový výstupní signál. V režimu NOTES je možné ovlivnit parametry probíhající granulární syntézy, jak globálně, tak i zvlášť pro jednotlivé MIDI noty. Režim BEAT slouží k nastavení délky zrn podle hostitelského DAW, konkrétně podle nastaveného tempa projektu, doladování těchto hodnot lze ale provádět i podobně jako v režimu NOTES.

Pro jednotlivá zrna lze nastavit parametry jako je jejich délka, rychlost přehrávání, překryv, typ aplikovaného okna (obálky), nastavení počáteční pozice pro přehrávání zrna o  $n$  vzorků, opakování (0–512krát) a nastavení přidaného šumu/chyb v signálu. Pro výstupní signál lze ovlivnit pravděpodobnost výskytu mezer, jejich distribuci (pravidelnou či náhodnou), vyplnění mezer původním signálem, nastavení výchylky rychlosti přehrávání, délky zrna, její tvar a frekvenci. Dále existuje možnost nastavit AGC (automatic gain control), jeho množství, rychlost nástupu, tvrdost, a možnost přidání nebo odebrání stejnosměrné složky signálu. Aplikovat lze také filtr typu dolní, pásmová, nebo horní propust, peak nebo pásmová zádrž s nastavitelnou střední, případně mezní frekvencí, šířkou pásma nebo úrovně přidání obálky. Zmíněnou ADSR obálku lze aplikovat jak na amplitudu výstupního signálu, tak i na filtry, v tomto případě jsou parametry amplitudové i filtrové obálky nezávislé. Poslední sekce ovládacích prvků se vztahuje k nastavení času pro glide, výběr mezi jednohlasem a vícehlasem s možností ovládat počet hlasů (1–32), nastavení zesílení a poměr mezi čistým a procesovaným signálem ve výstupu.



Obrázek 2.1 Grafické rozhraní VST granulárního syntezátoru Ribs

Poměrně specifická je možnost nastavit globální délku zrna, a zároveň ovlivnit délku zrna při vyslání MIDI zprávy o konkrétní notě. K tomuto účelu slouží panel s vyobrazenou klaviaturou, na níž jsou délky not vyjádřeny pomocí zlomku. Tato hodnota je následně vynásobena globální délkou zrna a aplikována.

Ribs umožňuje také vybrat konkrétní úsek v bufferu jako zdroj vzorků pro získávání grainů. Provádí se označením takového úseku myší na displeji zobrazovaného tvaru vlny. Obecně lze říci, že jde o plug-in velmi všestranný, nevyžadující dlouhý čas pro pochopení jeho ovládacích prvků a nabízející možnosti pro provádění granulární syntézy s velkým prostorem pro kreativní práci uživatele.

## 2.2 Emergence

Tento VST plug-in vytvořený vývojářem Daniele Gergelym funguje jako prostý granulizér, dává možnost vytvořit zrna a dále pracovat s jejich parametry. Načtení vstupního signálu probíhá podobně jako u zmíněného projektu Ribs, tedy přehráním požadované zvukové stopy a jejím nahráním do bufferu.



Obrázek 2.2 Grafické rozhraní VST granulárního syntezátoru Emergence

## 2.3 Grain Strain

## 2.4 Argotlunar

Tabulky mají obdobný význam jako obrázky, tj. jejich účelem je pomoci s pochopením popisované problematiky. **V žádném případě ne vkládejte tabulky jako bitmapy, nebo dokonce je neskenujte.** Pro tabulky rovněž platí, že se na ně musí v textu odkazovat. K tomu opět slouží popisek, který se ovšem, na rozdíl od obrázku, vkládá před samotnou tabulkou. Styl popisky je totožný jako v předešlé části, tj. **Popisek**. Rovněž postup vkládání je obdobný - zkopírujte popisku před tabulkou 2.1 (jde o jednořádkovou tabulku bez ohrazení) a v ní nahraďte popis.

Pro text uvnitř tabulky je použit styl **Tabulka**. Tabulka 2.1 obsahuje výčet všech definovaných stylů, které je možné použít k tvorbě semestrální / závěrečné práce.

Tabulka 2.1 V této šabloně jsou definované následující důležité styly

Název stylu	Použití	Příklad
-------------	---------	---------

<b>Nadpis 1</b>	Nadpis 1. úrovně	1. Nadpis 1
<b>Nadpis 2</b>	Nadpis 2. úrovně	1.1 Nadpis 2
<b>Nadpis 3</b>	Nadpis 3. úrovně	1.1.1 Nadpis 3
<b>Nadpis 1 - nečíslovaný</b>	Nečíslovaný nadpis	Nadpis nečíslovaný
<b>Nadpis mimo obsah</b>	Nadpis - neobjevuje se v obsahu	Nadpis mimo obsah
<b>Literatura</b>	Styl pro zápis použité literatury	[1] Literatura
<b>Příloha 1</b>	Nadpis přílohy	Příloha A
<b>Příloha 2</b>	Podnadpis přílohy	Příloha A.1
<b>Pokračování</b>	Psaní normálního textu první odstavec (neodsazený)	Normální text
<b>BP/DP normální</b>	Psaní normálního textu v odstavcích (odsazený)	Normální text
<b>Zdrojový text</b>	Pro výpis zdrojových textů	Zdrojový text
<b>Popisek</b>	Pro popisky obrázků a tabulek	Popisek
<b>Tabulka</b>	Pro texty v tabulkách	Tabulka

## 2.5 GGrain

K vytvoření rovnic můžeme použít integrovaný **Editor rovnic**. Rovnice se vkládají na samostatný řádek a jsou číslovány. Jejich číslo je udáváno v závorce (na pravém okraji stránky) a slouží ke snadným odkazům v textu. Vládání rovnice je nesnadnější tak, že zkopírujete celou tabulku s rovnicí (jde o jednořádkovou tabulku bez ohraničení) a v ní nahradíte rovnici. Následně doplňte k číslu závorky a zformátujte pomocí stylu **Rovnice**.

Každá rovnice je součástí věty, proto do ní musí být včleněna i včetně interpunkčních znamének, jak ukazuje následující příklad.

Jednorozměrná diskrétní kosinová transformace je definována vztahem

$$F(u) = \gamma(u) + \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \cos \frac{\pi u(2x+1)}{2N}, \quad (2.1)$$

kde  $f(x)$  představuje signál v časové oblasti,  $F(u)$  je jeho transformovaný obraz,  $\gamma(u)$  reprezentuje váhový koeficient, index  $u$  nabývá hodnot od 0 do  $N-1$  a konstanta  $N$  určuje počet bodů vstupního signálu.

Platí pravidlo, že proměnné veličiny v textu rovnice a samotném textu práce jsou vždy uvedeny kurzívou a konstantní veličiny vždy stojatým písmem. Indexy u všech veličin jsou také uvedeny stojatým písmem.

## 3. VÝVOJ VLASTNÍHO ŘEŠENÍ

V rámci vývoje vlastního VST plug-inu pro granulární syntézu byl využit JUCE – framework jazyka C++ pro vývoj zvukového software. Jako vývojové prostředí bylo zvoleno Visual Studio 2019. Následující kapitoly se věnují popisu zvoleného frameworku, segmentaci jednotlivých součástí vyvíjeného plug-inu a popisu navrhovaného řešení jeho experimentální složky – ovládání parametrů granulární syntézy pomocí barev.

### 3.1 Framework JUCE

JUCE je framework určený primárně pro vývoj audio software v jazyce C++. Jeho hlavním cílem je umožnit vytvoření zdrojového kódu kompilovatelného a spustitelného zároveň na operačních systémech Windows, MacOS, Linux a jejich mobilních derivátech Android a iOS. Název JUCE je zkratkou pro Jules’ Utility Class Extensions – zmíněným Julesem je Julian Storer, vývojář grafického a zvukového rozhraní pro DAW Tracktion Waveform, jenž tento framework vytvořil [\[zdroj\]](#). První verze JUCE vyšla v roce 2004 [\[zdroj\]](#), po deseti letech byl framework prodán londýnské společnosti specializující se na hudební hardware ROLI [\[zdroj\]](#). V dubnu 2020 byl opět prodán, novým a zároveň současným majitelem se tehdy stala společnost PACE Anti-Piracy Inc. specializující se na bezpečnost zvukového software [\[zdroj\]](#).

V rámci JUCE existuje možnost využití různých předdefinovaných grafických ovládacích prvků [\[zdroj\]](#), mezi něž patří různé posuvníky, tlačítka, potenciometry, ukazatele stavu načítání atd. Při vývoji vlastního řešení tedy odpadá nutnost designování vlastních prvků a zůstává na rozhodnutí vývojáře, zda bude jeho prototyp graficky odlišen od generického vzhledu JUCE prvků.

Velikou výhodou frameworku je také jeho dobře psaná a aktualizovaná dokumentace [\[zdroj\]](#) doplněná o ukázky a návody k použití objektů, tříd a jejich metod. Cenným zdrojem informací a rad ohledně řešení problémů spojených s vývojem zvukových aplikací je také JUCE Forum [\[zdroj\]](#), na kterém spolupracují vývojáři z celého světa a sdílejí své nápady, postřehy a další užitečné informace o práci s frameworkem JUCE.

### 3.2 Granny Synth

## 4. ZÁVĚR

(Kapitolu nahrad'te svým textem) Kapitola Závěr obsahuje stručné shrnutí, čeho bylo dosaženo. Doporučený rozsah je na jednu stranu. Čtenář by se měl dozvědět o všech výsledcích, ale také o bodech, které nebyly provedeny/změřeny. Závěr by měl obsahovat kritický rozbor dosažených výsledků a popis přínosu vlastní bakalářské nebo diplomové práce. V závěru lze také uvést shrnutí technických parametrů nebo konkrétních výsledků návrhu, realizace nebo simulace. Součástí závěrečné kapitoly rovněž může být návrh další práce v dané problematice (u semestrální práce je toto povinné).

## LITERATURA

- [1] *Syntezátor*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Syntez%C3%A1tor>. [cit. 2023-11-13].
- [2] GABOR, Dennis. Acoustical Quanta and the Theory of Hearing. *Nature*. 03 May 1947, roč. 1947, č. 159, s. 593.
- [3] XENAKIS, Iannis. *Formalized Music: Thoughts and Mathematics in Music*. Second, revised English edition, with additional material translated by Sharon Kanach. Pendragon Press, 2001. ISBN 1-57647-079-2.
- [4] ROADS, Curtis. Introduction to Granular Synthesis. *Computer Music Journal*. Summer, 1988, roč. 1988, č. 12, s. 11–13. ISSN 01489267.
- [5] BURK, Phil et al. *Music and Computers*. Online. In: Music and Computers: A Theoretical and Historical Approach. 2011. Dostupné z: [https://musicandcomputersbook.com/chapter4/04\\_08.php](https://musicandcomputersbook.com/chapter4/04_08.php). [cit. 2023-12-02].
- [6] ROADS, Curtis. *The Computer Music Tutorial*. The MIT Press, 27 February 1996. ISBN 978-0262680820.
- [7] ROADS, Curtis. *Microsound*. PAP/CDR edition. The MIT Press, 20 August 2004. ISBN 0-262-18215-7.
- [8] VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2017. *Směrnice č. 72/2017 - Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací*. Online. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/uredni-deska/vnitri-predpisy-a-dokumenty/smernice-72-2017-uprava-odevzdavani-a-zverejnovani-zaverecnych-praci-d161410>. [cit. 2023-10-03].
- [9] ČSN ISO 690:2022 (010197), *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*, 2022. [Praha]: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [10] ČSN ISO 7144 (010161), *Dokumentace - Formální úprava disertací a podobných dokumentů*, 1997. Praha: Český normalizační institut.
- [11] ČSN EN ISO 80000-2 (011300), *Veličiny a jednotky - Část 2: Matematika*, 2020. Praha: Česká agentura pro standardizaci.

*Pozn.: Pro vytváření citací ve formátu dle ČSN ISO 690:2022 je doporučeno využít webové stránky: <http://www.citace.com/> nebo lze přímo instalovat doplněk Citace PRO do MS Word (viz - <https://www.vut.cz/uk/navody/citacepro> )*

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

### Zkratky:

ADSR	Attack–Decay–Sustain–Release
AGC	Automatic gain control
DMX	Digital Multiplex
FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
GSX	Granular Synthesis
JUCE	Jules' Utility Class Extensions
MIDI	Musical Instrument Digital Interface
PODX	Poisson Distribution
VST	Virtual Studio Technology
VUT	Vysoké učení technické v Brně

### Symboly:

$U$	napětí	(V)
$I$	proud	(A)

*Pozn.: V této části by měly být uvedeny všechny zkratky použité v textu a všechny symboly použité v rovnicích.*



# SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	25
------------------------------------	----

*Samotná část příloh je tvořena dvěma částmi „Seznamem příloh“ a jednotlivými přílohami označenými „Příloha A“ až „Příloha X“. Do příloh se dávají např. manuály, zdrojové kódy, rozsáhlé tabulky s naměřenými hodnotami, grafy apod. V případě, že taková data nejsou součástí práce, není třeba přílohy uvádět vůbec.*

*Pokud je rozsah přílohy příliš velký (např. příliš velký počet tabulek, nebo mnoho stránek zdrojového kódu), do seznamu příloh lze uvést např. větu: „Příloha A – Zdrojový kód programu je uložen na přiloženém CD“. V takovém případě musí být závěrečná práce doplněna CD, na kterém jsou příslušná data uložena a jasně označena.*

## Příloha A - Naměřené hodnoty

### A.1 Tabulka naměřených hodnot

$R_z (\Omega)$	$I_z (A)$	$U_z (V)$	$P_i (W)$	$P_z (W)$	$P (W)$	$\eta$
10	4,000	40,00	320,00	160,00	480,00	33,33%
15	3,429	51,43	235,10	176,33	411,43	42,86%
20	3,000	60,00	180,00	180,00	360,00	50,00%
25	2,667	66,67	142,22	177,78	320,00	55,56%
40	2,000	80,00	80,00	160,00	240,00	66,67%

### A.2 Naměřené průběhy – grafy

