



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

EXPERIMENTÁLNÍ SOFTWAREVÝ SYNTÉZÁTOR ZAMĚŘENÝ NA TVORBU AMBIENTNÍCH MIKROINTERVALOVÝCH PLOCH

EXPERIMENTAL SYNTHESIZER SUITABLE FOR MICROTUNAL AMBIENT MUSIC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Mykhailo Pavlov

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MgA. Michal Indrák, Ph.D.

BRNO 2023

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Audio inženýrství**
specializace Zvuková produkce a nahrávání
Ústav telekomunikací

Student: Mykhailo Pavlov

ID: 195412

Ročník: 3

Akademický rok: 2022/23

NÁZEV TÉMATU:

Experimentální softwarový syntezátor zaměřený na tvorbu ambientních mikrointervalových ploch

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je funkční software, který bude schopen vytvářet ambientní plochy (drony) z mikrotonálně tvarovaných synteticky vytvořených zvukových zdrojů. Součástí nástroje bude pokročilá syntéza zvuku, jeho průběhu a detailní nastavení mikrotonálního ladění včetně presetů.

V rámci semestrální práce student nástroj kompletně navrhne a vytvoří ukázky programového řešení jednotlivých částí, v rámci navazující bakalářské práce pak realizuje plně funkční program.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] RUSS, Martin. Sound synthesis and sampling. Oxford: Focal Press, 1996. Music technology series. ISBN 0-240-51429-7.

[2] The Csound book: perspectives in software synthesis, sound design, signal processing, and programming. Editor Richard BOULANGER. Cambridge: MIT Press, c2000. ISBN 0262522616.

Termín zadání: 6.2.2023

Termín odevzdání: 26.5.2023

Vedoucí práce: MgA. Michal Indrák, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být 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.

ABSTRAKT

Táto bakalářská práce se věnuje experimentálnímu softwarovému nástroji, hlavní jednotkou kterého je sekvencer s možností mikrotónálního ladění a volby stupnic. Hlavním cílem této práce je návrh a implementace takového syntezátoru v prostředí Reaktor na základě znalostí a návrhů získaných v rámci semestrální práce. Práce je rozdělena do dvou částí, teoretické a praktické. Úkolem teoretické části je shrnutí teoretických znalostí potřebných k návrhu a následné implementaci nástroje. Tyto poznatky zahrnují krátkou historii, druhy syntézy, typické konstrukční zásady a zásady interakce s prostředím pro vývoj. Praktická část popisuje proces návrhu a implementace jednotlivých částí nástroje, jeho designu a následně se věnuje použití syntezátoru v praxi, jeho unikátním vlastnostem a teoretickému dalšímu vývoji.

KLÍČOVÁ SLOVA

Plugin, modulace, sekvencer, syntéza, syntezátor, Reaktor, VST.

ABSTRACT

This bachelor thesis is devoted to an experimental software instrument, the main component of which is a sequencer with the capability of microtonal tuning and scale selection. The main objective of this work is to design and implement such a synthesizer within the Reaktor environment based on knowledge and proposals acquired during the semester project. The work is divided into two parts: theoretical and practical. The task of the theoretical part is to summarize the theoretical knowledge necessary for the design and subsequent implementation of the instrument. These insights include a brief history, types of synthesis, typical design principles, and principles of interaction with the development environment. The practical part describes the process of designing and implementing individual components of the instrument, its design, and subsequently focuses on the practical use of the synthesizer, its unique features, and further theoretical development.

KEYWORDS

Plugin, modulation, sequencer, synthesis, synth, Reaktor, VST.

PAVLOV, Mykhailo. *Experimentální softwarový syntezátor zaměřený na tvorbu ambientních mikrointervalových ploch*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2023, 61 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Indrák

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Mykhailo Pavlov
VUT ID autora: 195412
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2022/23
Téma závěrečné práce: Experimentální softwarový syntezátor zaměřený na tvorbu ambientních mikrointervalových ploch

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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu MgA. Michalovi Indrákovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Také bych chtěl poděkovat Elizavetě Pronině za odborné rady v procesu vývoje designu nástroje.

Obsah

Úvod	10
1 Teoretická část	11
1.1 Syntéza zvuku	11
1.1.1 Historie syntézy	11
1.1.2 Druhy syntézy	12
1.1.3 Konstrukce syntezátoru	15
1.2 Microtuning	20
1.3 Reaktor	20
1.3.1 Použité moduly, popis	24
2 Praktická část	26
2.1 Navrh nástroje	26
2.1.1 Sekvencer	29
2.1.2 Oscilátory	38
2.1.3 Filtr	41
2.1.4 Modulace	42
2.1.5 Mixer	44
2.1.6 EG	46
2.1.7 Transponování	48
2.2 Design nástroje	49
2.2.1 Návrh v prostředí Figma	50
2.3 Oblast použití a praktické zkušenosti	54
2.3.1 Přehled funkce	55
2.3.2 Použití presetů	57
2.4 Dosažené výsledky	57
2.5 Další vývoj	58
Závěr	59
Literatura	60
Seznam symbolů a zkratk	61

Seznam obrázků

1.1	Ukázka additivní syntézy.	13
1.2	FM modulace.	14
1.3	Blokové schéma syntezátoru.	15
1.4	Ukázka základních průběhu vlny.	17
1.5	Ukázka generátoru obálky.	18
1.6	Různé typy filtrů.	19
1.7	Reaktor Start page.	22
1.8	Ukázka rozhraní prostředí Reaktor.	22
1.9	Možnosti vkládání modulů v prostředí Reaktor.	23
1.10	Propojení modulů v prostředí Reaktor.	24
2.1	Vizuální část syntezátoru verze aktuální na 12.12.2022.	26
2.2	Vizuální část syntezátoru finální verze před vývojem nového designu.	27
2.3	Vizuální část syntezátoru finální verze.	27
2.4	Technické provedení syntezátoru verze aktuální na 12.12.2022.	28
2.5	Konečné technické provedení syntezátoru aktuální verze.	28
2.6	Vzhled sekvenceru verze aktuální na 12.12.2022.	29
2.7	Vzhled sekvenceru finální verze.	30
2.8	Struktura a zapojení bloku Clock v Reaktoru.	31
2.9	Struktura sekvenceru pro synchronizaci tempa.	31
2.10	Seznam hodnot v modulu List.	32
2.11	Prvotní realizace modulu sekvenceru.	32
2.12	Zapojení sekvenceru uvnitř modulu "Macro".	33
2.13	Implementace modulu "Display".	34
2.14	Záložka "Function" pro důležité moduly sekvenceru. Ukázka nastavení pro mikrotónální ladění s dělením oktávy na 24 kroky.	35
2.15	Celkové finální zapojení jednoho presetu sekvenceru.	36
2.16	Celkové zapojení jednoho ze tří sekvenceru.	37
2.17	Vzhled a umístění řídicích prvků sekce oscilátorů.	38
2.18	Blokové schéma analogového oscilátoru.	38
2.19	Zapojení virtual analog oscilátoru.	39
2.20	Přepínač zdroje modulace LFO "Switch".	39
2.21	Zapojení "WaveTable" oscilátoru.	40
2.22	Zapojení oscilátoru využívajícího principu additivní syntézy.	40
2.23	Vzhled a umístění řídicích prvků sekce "VCF". Je stejný pro všechny tři filtry.	42
2.24	Zapojení filtru.	42

2.25	Vzhled a umístění řídicích prvků sekce "LFO". Je stejný pro všechny tři oscilátory.	43
2.26	Zapojení oscilátoru nízkých kmitočtů.	44
2.27	Vzhled sekce mixeru.	45
2.28	Zapojení bloku Mixer.	45
2.29	Vzhled sekcí generátoru obálky.	46
2.30	Technická část generátoru obálky.	47
2.31	První realizace spouštěče obálky pro sekvencer.	48
2.32	Elegantní řešení spouštěče obálky pro sekvencer.	48
2.33	Vzhled sekce transponování.	49
2.34	Struktura modulu pro transponování.	49
2.35	Ukázka záložky "View" pro nastavování vzhledu celého projektu a vybraných modulů v prostředí Reaktor.	50
2.36	Návrh designu v prostředí Figma.	51
2.37	Návrh designu ovládacích prvků v prostředí Figma.	51
2.38	Návrh designu pozadí v prostředí Figma.	52
2.39	Prostředí Knobman. Na obrázku nastavení parametrů stínu pro malý bílý potenciometr.	53
2.40	Finální vzhled syntezátoru.	54
2.41	Sekce Oscilátorů.	55
2.42	Sekce Oscilátorů.	56
2.43	Sekce LFO.	56
2.44	Sekce VCF.	56
2.45	Sekce mixeru.	57

Úvod

V současném světě existuje obrovské množství přístrojů pro syntézu zvuku, neboli syntezátorů, od malých a jednoduchých do velkých a složitých, stejně tak hardwarových a softwarových. V průběhu let se neustále vyvíjí moderní technologie, a tak tvorba a zkoumání hudby jsou stále přístupnější běžnému uživateli.

Využitím moderních nástrojů je možné implementovat systém, který by umožňoval syntézu v reálném čase s více nastavitelnými parametry, jako je počet aktivních generátorů, jejich výška tónu, zpracování efekty, routing signálu, použití sekvencí a mnoho dalších.

Táto práce se věnuje rozboru problematiky a tvorbě experimentálního syntezátoru zaměřeného na tvorbu ambientních tónů využitím mikrotónálních sekvencí. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V části teorie se krátce popisuje historie vynálezu a evoluce syntezátoru a následně se rozebírají druhy syntézy a důležité části moderního nástroje. Věnuje se i programovému prostředí ve kterém se provádí implementace. Dále následuje praktická část, ve které se hlavně zaměřuje na vývoj nástroje a rozbor problematiky. Na konec se diskutuje o možných oblastech použití tohoto nástroje a plánech dalšího vývoje. Přínosem této práce by se měl stát syntezátor s unikátními vlastnostmi, který dokáže získat uplatnění pro producenty a hudebníky ve více žánrech.

1 Teoretická část

1.1 Syntéza zvuku

Syntéza (z řec. syn-thesis, skládání) je označení pro spojování dvou nebo více věcí za účelem vytváření něčeho nového. [1] Syntézou se rozumí proces generování neboli vytváření zvuku pomocí elektrických nebo elektronických prvků syntetizátoru.

1.1.1 Historie syntézy

První pokusy syntézy zvuků se prováděly již na začátku 17. století, kdy se k hlavní píšťale varhan přidávaly další píšťaly s mírně změněným tónem, jejichž kombinací s hlavní píšťalou se získávala nová barva zvuku.

Historie syntezátorů v modernějším pojetí se začala v polovině 19. století. Německý vědec H. Helmholtz prováděl pokusy s kombinací zvuků ladiček a elektřiny, čímž dosáhl příjemnějšího, objemnějšího zvuku. Pak, na konci 19. století, američan E. Gray v roce 1876 vytvořil tzv. "hudební telegraf", který již tehdy napodoboval klaviru, navíc ke klávesnici, ale měl i reproduktor. Tento vynález, bohužel neměl žádnou praktickou hodnotu a nikdy nebyl uveden do výroby. Ruský vynálezce Lev Termen v roce 1920 vynalezl nový nástroj a pojmenoval ho po sobě Termenwox. Syntezátor neměl klávesnici, ovládal se pohybem rukou a prstů v citlivé zóně speciálních senzorů. Z hlediska citlivosti s Termenwoxem mohou soutěžit pouze housle. Termenwox byl po určitou dobu zapomenutý a málo známý, dnes je, ale znovu populární po celém světě a mnoho hudebníků ho používá ve své tvorbě. V praxi hrát na Termenwox je velmi obtížné, rovnou jak obsluhovat ho, je potřeba mít výjimečný sluch a schopnosti. V následujících letech došlo k velkému vývoji a vynálezu nových forem a variant nástroje. Nástroj vhodný pro masovou výrobu se objevil až v roce 1935. Hammondovy varhany, které vynalezl američan Lawrence Hammond z pohledu velikosti a váhy byly velmi skromné oproti svým předchůdcům, což přispělo k jejich velké oblibě. Hammondův vynález ve své podobě byl příbuzným aditivní syntéze, protože měl možnost přidávat k hlavnímu tónu další, čímž měnil barvu zvuku. Pozdější modely měly několik vestavěných efektů (reverb, vibrato, chorus a další) a možnost emulace více hudebních nástrojů. Tímto v polovině 30. let minulého století byl vynalezen jeden z prvních plnohodnotných analogových syntezátorů.

První digitální syntezátory se objevily v 80. letech a tím založili novou éru hudby a syntézy. Jedním z prvních vývojářů, kterému se to podařilo byl američan Ray Kurzweil, který v roce 1982 založil společnost Kurzweil Music Systems a během pár let vyvinul první digitální smplovací syntezátor Kurzweil 250. Přístroj obnášel kompletní počítač s vlastním softwarem. Aktualizace pro něj jsou vydávány dodnes.

John Chowning také významně přispěl k rozvoji digitálního zvuku a je považován za zakladatele digitálního zvuku, protože vynalezl možnost digitální syntézy jako takové a to již v roce 1974. Ve stejném roce japonská společnost Yamaha sestrojila první prototyp syntezátoru, který syntetizoval zvuky pomocí Chowningovy technologie, nikoliv pomocí nahraných samplů jako Kurzweilův model. O pouhých devět let později se však společnosti Yamaha podařilo vytvořit digitální hudební nástroj, který bylo možné uvést do sériové výroby a byl to Yamaha DX-7. Nástup doby digitálních syntezátorů však neznamená, že hudebníci přestali pracovat s analogovými hudebními nástroji. Mnoho lidí je dodnes používá při své práci, protože mají "teplejší" a "živější" zvuk. Využívá se také i principu analogového modelování, které bude zmíněno v následujících kapitolách. [2] [3] [4]

1.1.2 Druhy syntézy

Rozlišují hodně různých typů syntézy, které můžeme klasifikovat jako základní: subtraktivní syntéza, aditivní syntéza, AM syntéza, FM syntéza atd.; nebo pokročilejší jako jsou Wavetable syntéza, vektorová syntéza, granularní syntéza apod. Avšak v praxi ve většině softwarových a hardwarových realizací se často používají jejich kombinace.

Další klasifikací můžeme provést dle East Coast a West Coast "školy" neboli ideologie. Subtraktivní syntéza je také známá jako syntéza východního pobřeží (East Coast) díky Bobovi Moogovi, který ji vynalezl a žil v New Yorku. Don Buchla, který sídlil v Kalifornii na západním pobřeží (West Coast) se naopak věnoval experimentálnější syntéze. I přesto, že ne všechny dělení na východní a západní pobřeží přiznávají, je to užitečné rozdělení, protože konečný výsledek je odlišný: Západní pobřeží je ze své podstaty mnohem experimentálnější, zatímco syntéza na východním pobřeží klade důraz na tradiční harmonickou hudebnost. [5] Dále následuje podrobnější rozbor nejpoužívanějších a nejpoužívanějších druhů syntézy.

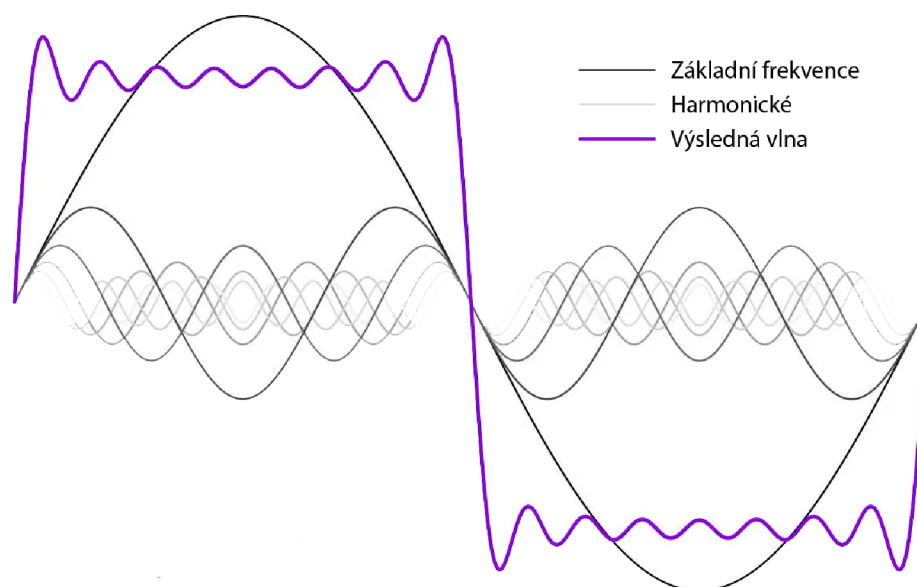
Subtraktivní syntéza

Tato metoda syntézy je založená na vzájemném odečítání prvků. Jestliže aditivní syntéza zvuku je založena na sčítání vln o různých frekvencích a amplitudách, pak subtraktivní syntéza zvuku je založena na vzájemném odečítání vln o různých frekvencích a amplitudách od spektrálně bohatého signálu. Spektrálně bohaté signály jsou šumové, obdélníkové, pilovité a trojúhelníkové průběhy. V syntezátorech určujícím prvkem subtraktivní syntézy je právě přítomnost filtrů. Filtr "vyřízne" ze zvuku část spektra a vytvoří tak požadovanou barvu zvuku. Běžně používané jsou frekvenční filtry typu HPF — High pass filtr, LPF — Low pass filtr, které

potlačují určité frekvence (a tím i harmonické), a vytvářejí tak novou barvu. Také hojně používané jsou i jiné typy filtrů, například Band Pass nebo Notch filter. Mezní frekvence se nastavuje parametrem Cutoff, zesílení této určité frekvence se nastavuje parametrem Resonance. Obálka ADSR (Attack, Decay, Sustain, Release) pak slouží ke změně tvaru vlny. [7]

Aditivní syntéza

Aditivní syntéza zvuku je jednou z prvních umělých metod syntézu zvuku, která se používala již v kostelních varhanách. Je založena na sčítání elementárních prvků (vln), převážně se používají sinusové vlny s odlišnými amplitudami a frekvencemi. V případě složitějších tvarů počátečních vln (např. trojúhelníkových nebo obdélníkových) se syntéza nazývá rejstříková. [6]



Obr. 1.1: Ukázka aditivní syntézy.

Tato zvuková syntéza je založena na Fourierově teorému: K popisu jakéhokoli periodického kmitání stačí sečíst potřebný počet sinusových vln. Každý periodický spojitý signál využitím Fourierovy řady může být rozložen na konečný počet funkcí \sin a \cos podle následujícího vzorku:

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(nx \frac{2\pi}{T}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(nx \frac{2\pi}{T}\right),$$

kde $f(x)$ je původní signál, T je perioda, a i b jsou koeficienty Fourierovy řady.

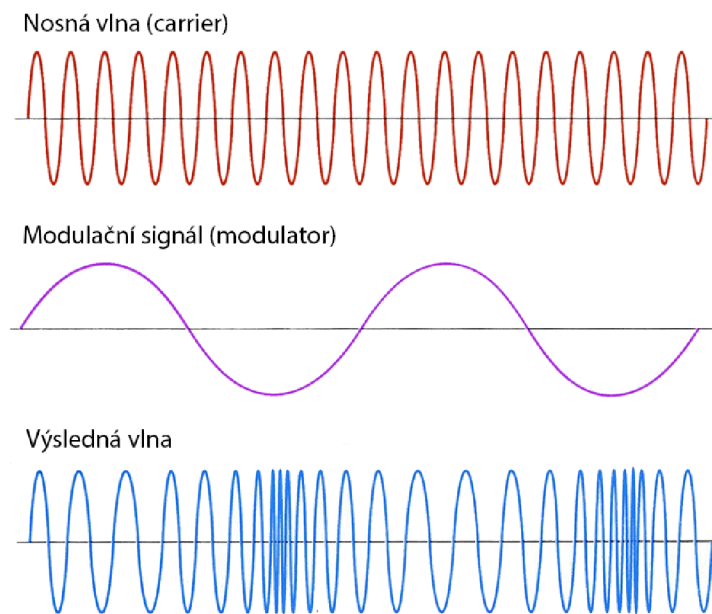
Zvuky syntetizované aditivní syntézou se nevyznačují složitostí barvy zvuku a bohužel vyžadují spoustu matematických operací, což je jedním z důvodů nepopularity dané metody, stejného výsledku lze dosáhnout mnohem snadněji jinými metodami syntézy zvuku. [7]

AM syntéza

AM syntéza vychází z AM modulace, jeden oscilátor je nosný, zatímco druhý oscilátor se použije jako modulátor, ten vystupuje jako LFO, nejde ho přímo slyšet, ale moduluje (mění) amplitudu neboli hlasitost prvního oscilátoru. Pokud signál modulátoru běží pomalu, například rychlostí LFO (obvykle do 20 Hz), pak amplituda se zeslabuje a zesiluje, tento jev se jmenuje tremolo. [8]

FM syntéza

FM syntéza je založena na principu frekvenční modulace. Základní myšlenkou tohoto druhu syntézy je, že i nejsložitější kmitání je ve své podstatě součtem nejednodušších sinusových vln. Zvuky podobné skutečným je tedy možné získat překrýváním signálů ze sinusových generátorů na sebe a změnou frekvence v těchto signálech. Výsledkem je komplexní zvuk, který připomíná zvonění zvonu.



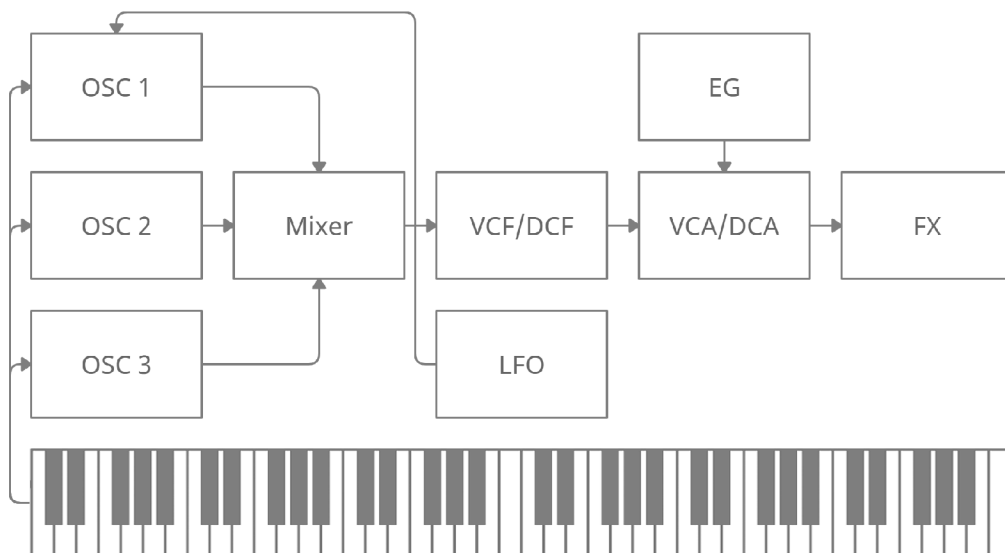
Obr. 1.2: FM modulace.

Hlavní rozdíl mezi FM syntézou a aditivní syntézou spočívá v tom, že místo kombinování sinusových vln se výstup jednoho operátoru posílá k modulaci nebo "oscilaci" dalšího. Druhý pak moduluje třetí a tak dále, dokud poslední oscilátor v řetězci, tzv. výstupní operátor, nevytvoří komplexní průběh. Oscilátory lze uspořádat do různých "vzorů", tzv. algoritmů, z nichž každý má jinou strukturu spojení. [7]

Analogové modelování

Analogové modelování je ve své podstatě simulace analogové syntézy v digitálním prostředí. Ve fyzických syntezátorech se realizuje pomocí specializovaného signálového procesoru DSP. Analogové modelovací syntezátory se také nazývají virtuální analogové nebo VA. Název pochází z latinského virtus, což znamená "pomyslný" nebo "imaginární". Tento princip přináší výhody použití analogových syntezátorů, takových jako hluboký masivní zvuk a velký frekvenční a dynamický rozsah. Ve virtuálních syntezátorech jsou procesy řízeny matematikou, a to vylučuje nejrůznější náhodné jevy, které dodávají více "živosti". Na druhou stranu tento princip nepřináší nevýhody analogové syntézy, jako například stabilita ladění, možnost ukládání presetů, pokročilé řízení pomocí MIDI a další. [9]

1.1.3 Konstrukce syntezátoru



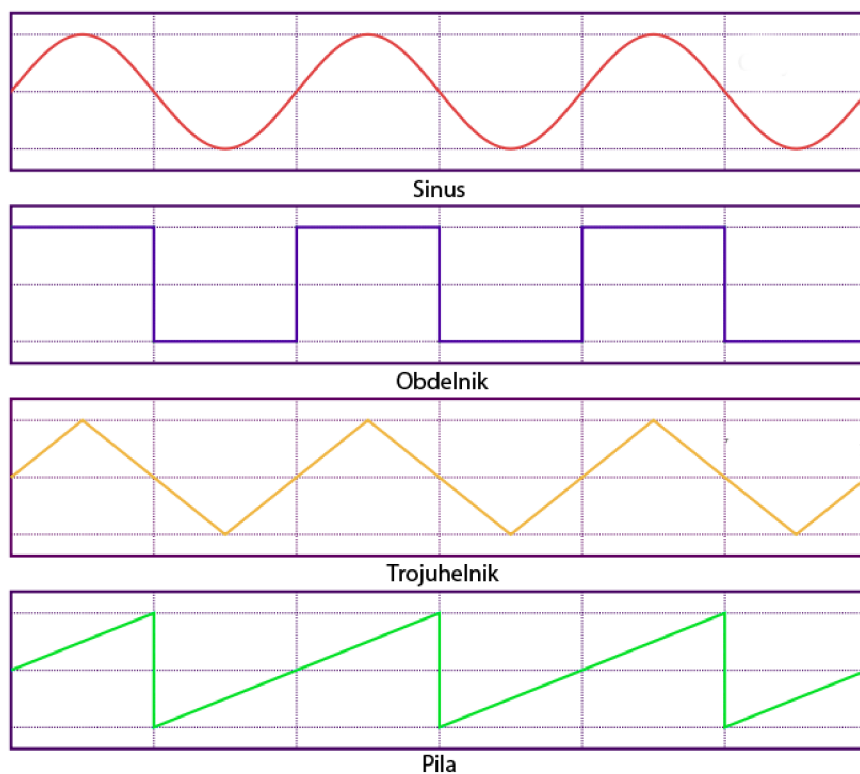
Obr. 1.3: Blokové schéma syntezátoru.

Oscilator

V syntezátoru je zvuk generován pomocí VCO — Voltage controlled oscillator, napětím řízeného oscilátoru. Jedná se o součástku, která nepřetržitě generuje periodické průběhy (oscilace) určitého tvaru. Nejběžnější z nich jsou:

- **SIN** — Jednoduché sinusové kmitání, z takového kmitání podle Fourierovy věty se jako z prvků sčítají všechny složitější druhy kmitání. Průběh je popsán funkcí $y = \sin(x)$, nebo $y = \cos(x)$. Jeho spektrální složení je velmi jednoduché — jedna frekvence. Takové oscilace se také nazývají harmonické oscilace;
- **SQR** — Vlna obdélníkového tvaru se obvykle označuje jako "prázdný", tyto barvy se často používají k imitaci basových zvuků a akustických dechových nástrojů. Spektrum takové vlny obsahuje pouze liché harmonické. Amplituda každé harmonické vzhledem k základnímu tónu je nepřímo úměrná její frekvenci;
- **TRI** — Stejně jako obdélníková vlna obsahuje trojúhelníková vlna pouze liché harmonické, ale sklon amplitudy harmonických je větší;
- **SAW** — Obvykle táto barva je příznakem smyčkových akustických nástrojů. Uvědomíme si, že struna vytváří četné harmonické. Výsledkem je oscilace, která má charakter pilovité vlny. Na rozdíl například od obdélníkové vlny obsahuje pilovitá vlna celé spektrum harmonických;
- **Pulse** — Pulzní vlna se od obdélníkové vlny liší nerovností kladné a záporné půlperiody. Tento typ kmitání je charakterizován poměrem periody kmitání T a kladné půlperiody t . V praxi dost často může být modulován nízkofrekvenčním signálem (LFO);
- **Noise** — Šum je poslední standardní průběh a je to v podstatě jen náhodný signál ve slyšitelném pásmu. Existuje několik druhů šumu, do nichž patří bílý šum, růžový šum a hnědý šum. Šum je v tomto seznamu průběhů jedinečný, protože ve skutečnosti nemá výšku tónu a má energii v širokém rozsahu frekvencí.

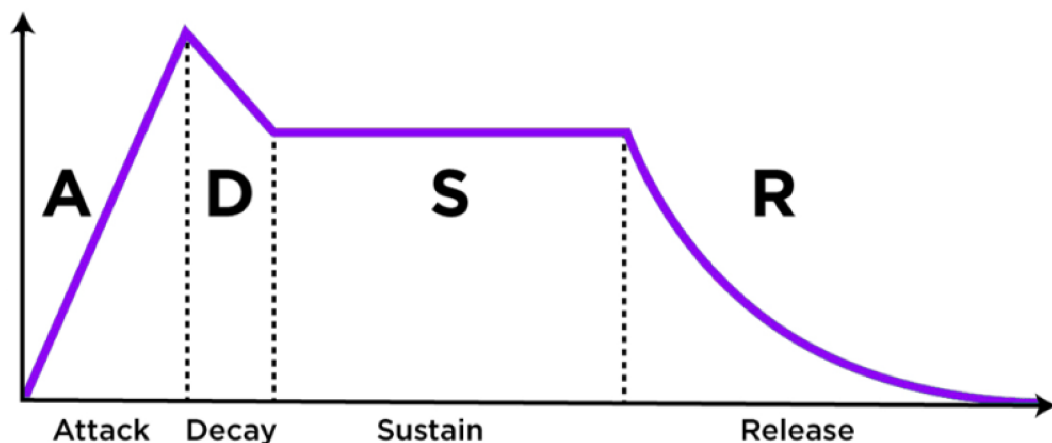
Rozlišují nejen VCO ale i DCO — Digital controlled oscillator, digitálně řízený oscilátor. [7]



Obr. 1.4: Ukázka základních průběhu vlny.

Generator/sledovač obálky

EG — Envelope generator, generator obálky. Generátor obálky (často zkracované na EG) používá GATE nebo jiný zdroj, který spouští signál a vytváří užitečný řídicí signál. Nejznámějším typem obálky je ADSR, který vypadá takto:



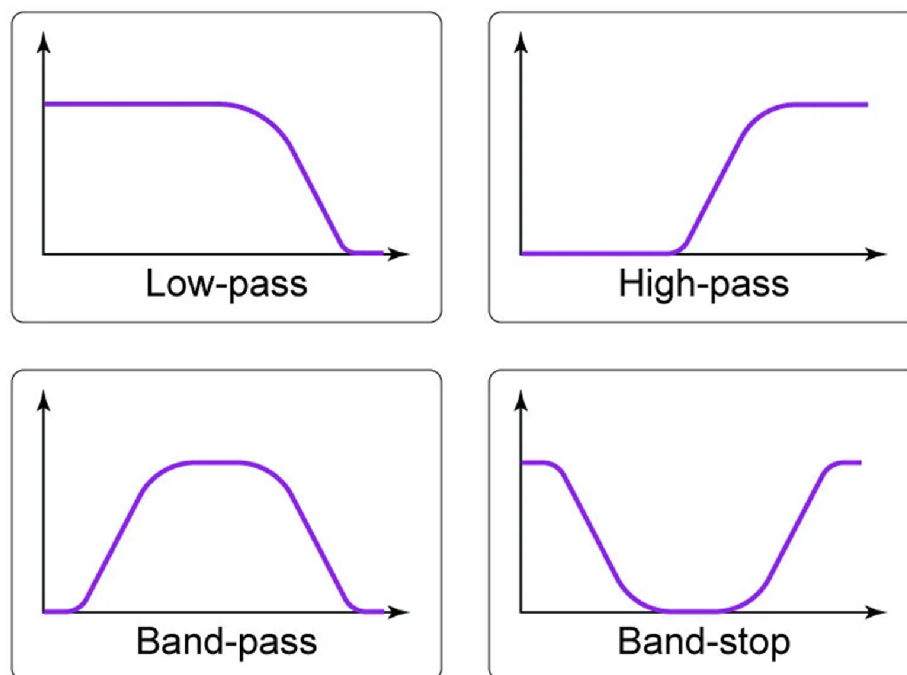
Obr. 1.5: Ukázka generátoru obálky.

EF — Envelope follower, sledovač obálky také generuje CV, ale funguje zcela odlišně. Oproti generátoru obálky přijímá zvukový vstup a vytváří řídicí signál na základě dynamických vlastností signálu. [7]

Filtr

Filtr, neboli VCF (Voltage controlled filter/Napětím řízený filtr) je elektronický filtr, jehož pracovní charakteristiky (především mezní frekvenci) lze nastavit vstupním řídicím napětím. Napětím řízené filtry se hojně používají v syntezátorech. Hlavní typy filtrů jsou:

- **HPF** — High pass filter, filtr horní propusti — propouští frekvence výhradně nad mezní frekvencí, čímž vyřízne ze spektra nízkofrekvenční složku čímž se zvuk stane "tenčím", "vysokým";
- **LPF** — Low pass filter, filtr dolní propusti — ořezává vyšší frekvence, subjektivně zjemňuje zvuk, dělá ho "temnějším" a hlubším;
- **BPF** — Band pass filter, filtr pásmové propusti — propouští frekvence určitého rozsahu a vyřezává zbytek spektra;
- **Notch-filtr** — vyřízne určité pásmo ze spektra a ponechá nižší a vyšší frekvence nedotčené;
- **Hřebenový filtr** — typ filtru, který vyřízne určitý rozsah frekvencí ve spektru a propouští frekvence mezi nimi; Při průchodu signálu hřebenovým filtrem se k samotnému signálu přidává určité zpoždění, což vede k vyrovnání fáze. Jeho spektrum má podobu hřebenu, odtud jeho název.



Obr. 1.6: Různé typy filtrů.

Hlavními parametry filtru jsou jeho mezní frekvence **Cutoff** a rezonance **Res**. Mezní frekvence je frekvence, nad kterou nebo pod kterou filtr začíná pracovat. Funkcí rezonance je zvýšit úroveň signálu na mezním kmitočtu. S rezonancí se zvuk stává ostřejším, drsnějším a agresivnějším.

Filtry lze také rozlišit podle jejich kvalitativního faktoru, který se u syntezátorů obvykle vyjadřuje počtem decibelů na oktávu. Syntezátory jsou nejčastěji vybaveny filtry 12 dB (2 pólové) nebo 24 dB (4 pólové), méně často 36 dB (6 pólové) nebo 48 dB (8 pólové). Například 12 decibelový horní propustný filtr ořízne všechny frekvence nad zadanou mezní frekvencí, takže frekvence o oktávu vyšší bude znít o 12 dB tišeji než zadaná mezní frekvence. [7]

V praxi, hlavně v případě subtraktivní syntézy parametry filtrů se často moduluje pomocí LFO nebo ENV — obálky.

Klávesnice

Interakce uživatele s hudebním nástrojem, stejně jak s jakýmkoliv zařízením nebo programem probíhá použitím vstupních rozhraní. V případě syntezátoru se použije zdroj MIDI signálu, nejběžnějším ze kterých je klávesnice.

Zesilovač

V hardwarových řešeních se používá VCA — Voltage Controlled Amplifier nebo DCA — Digital Controlled Amplifier. VCA je napětím řízený zesilovač, který umožňuje řídit množství procházejícího obvodem signálu. Čím vyšší je řídicí napětí, tím větší signál je propouštěn. Při určité úrovni napětí se propustí celý signál.

1.2 Microtuning

Převážná většina západní hudby je napsaná v tzv. temperovaném ladění, kde je 12 půltónů v oktávách. Temperované ladění vzniklo po stovkách let pokusů nejznámějších vědců v 18. století a bylo především důsledkem potřeby modulace na nástrojích s pevně naladěnými tóny. Mezi jednotlivými notami na klavíru je 100 centů, tedy 1200 centů na oktávu. Mikrotonální stupnice oproti tomu zkoumá kroky nejen mezi dvanáctitónovou stupnicí (ať už rovnoměrně temperovanou, nebo ne), ale i jinými stupnicemi, zejména pocházejících z nezápadních zemí. [10] Myšlenka mikrotonální hudby a ladění spočívá v odlišném rozdělení jednotlivých not v stupnicí. Jedním z přístupů, který je zejména využít u návrhu syntezátoru, kterému je věnována tato práce je rozdělení oktávy na jiný počet kroků. Například se zavedou čtvrttóny, oktáva se rozdělí ne na 12 not, ale 24. Stejně tak se oktávu dá rozdělit na jiný počet kroků, populární a používané jsou 13, 17, 22, 27 a 34-notové stupnice.

1.3 Reaktor

V rámci této práce byl použit **Reaktor**, který poskytuje potřebný výkon, disponuje velkým počtem nástrojů a je celkem postačující pro účely této práce.

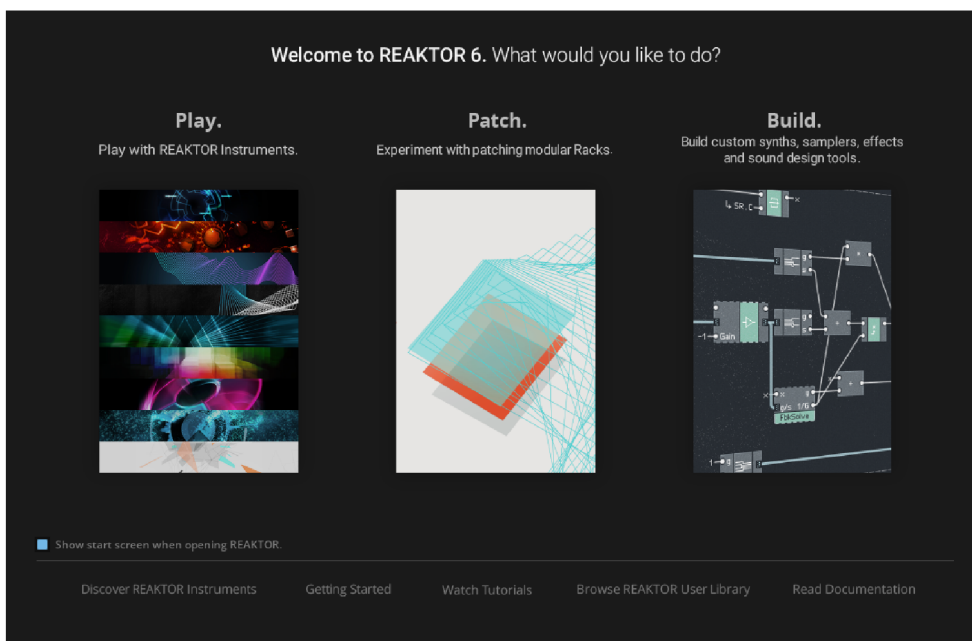
Reaktor je grafický modulární softwarový editor vyvinutý společností Native Instruments (NI). Umožňuje hudebníkům, sound designerům a zvukovým inženýrům navrhovat a vytvářet vlastní programy (pluginy), jako jsou syntezátory, efekty, samplery a jiné nástroje pro zvukový design a tvorbu hudby. **Reaktor** je nástroj, který účinně podporuje reverzní inženýrství. Dodává se s mnoha hotovými balíčky a efekty, od emulací klasických syntezátorů až po futuristické nástroje pro zvukový design. Všechny nástroje **Reaktor** lze libovolně zkoumat, upravovat nebo rozebírat. [11]

V rámci této práce se budou ale používat tzv. module, neboli stavební bloky, jako jsou generátory průběhu nebo obálky (OSC), filtry, multiplexory, matematické operace sčítání, násobení atd. Prostředí nabízí několik balíčků (nástrojů) pro implementaci hudebních nástrojů, a efektů. Dají se rozdělit na tři sady:

- **Blocks** — nástroje z této sady disponují moderním minimalistickým uživatelským rozhraním a jsou ve své podstatě hotovými nástroji nebo efekty. Interakce je obdobná modulární syntéze, hotové bloky se poskládají za sebou, propojí se patch kabely, připojí se na výstup a tím se získá nový efekt nebo syntezátor. Jsou vhodné pro začátečníky, které se chtějí prohloubit do modulární syntézy, nebo pro běžné účely sound designu.
- **Primary** — pokročilejší řešení, které umožňuje implementaci poměrně složitých struktur a nástrojů. Sada nabízí základní moduly a operace pro jejich následné využití v struktuře nástroje. Nabízí takové moduly jako Modulo, Step Filter, Accumulator, List(Array), matematické operace atd. Používá tzv. nodový systém, neboli princip vizuálního programování — jednotlivé moduly se umístí v pracovním prostředí, případně se nastaví požadované parametry a propojí se signálovými kabely, použijí se operace sčítání, násobení atd. Umožní to jednoduše sledovat cestu signálu. Z pohledu možností které nabízí, byla zvolena jako primární pro návrh a implementaci syntezátoru, kterému je věnována tato práce.
- **Core** — ještě pokročilejší sada nástrojů pro práci na systémové úrovni, která umožňuje realizaci nejnáročnějších projektů a jejich optimalizaci z pohledu výpočetní náročností. Interakce připomíná programování mikrokontrolérů s použitím Assembleru. Disponuje velkým počtem základních logických operací hradel atd. [12]

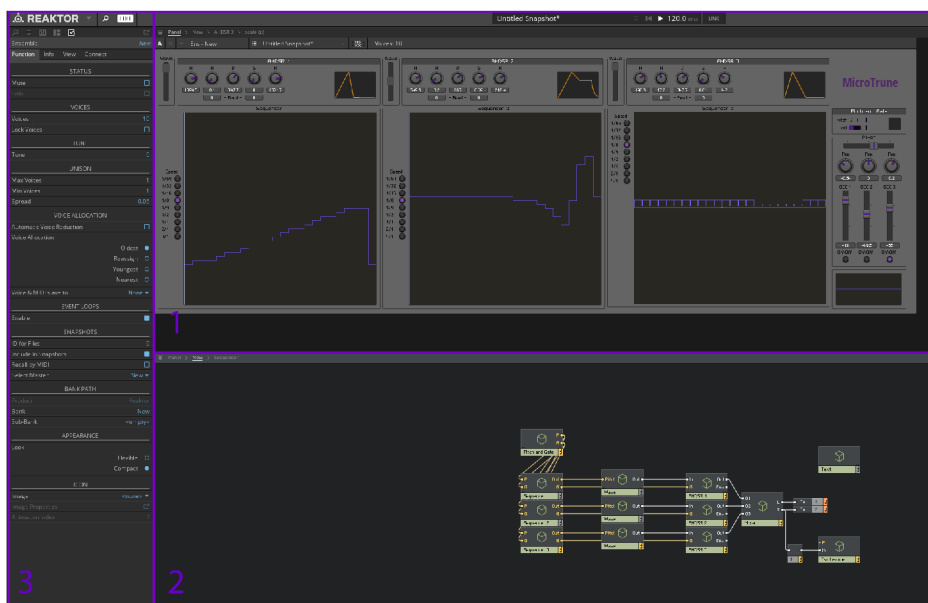
Reaktor podporuje formát **.ens**, **.ism** a **.ens**. **ENSemble** od angl. je soubor, těleso. **MoDuLe** od angl. je modul. **InStruMent** od angl. je nástroj, nářadí. Běžně používaný je formát **.ens**.

Interakce uživatele s prostředím probíhá v několika krocích. Při spouštění programu a výchozích nastaveních je potřeba buď otevřít jeden z existujících ensemble nebo zvolit jednu z nabízených možností znázorněných na 1.7:



Obr. 1.7: Reaktor Start page.

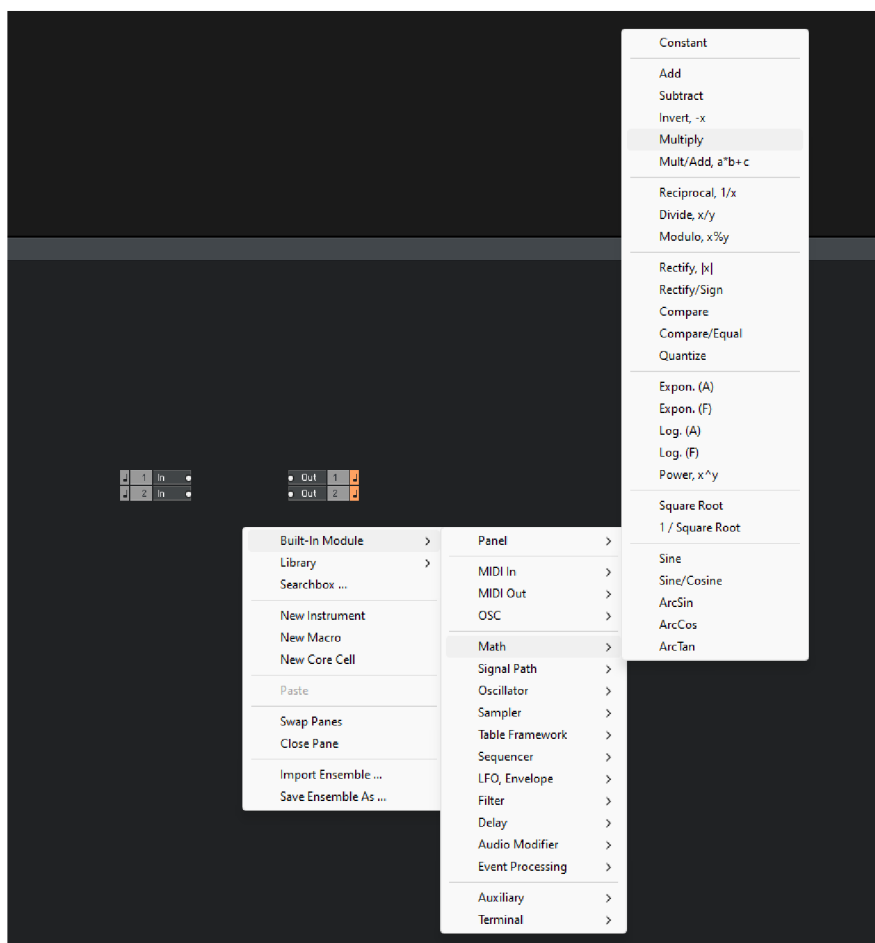
Zde jsou tři možnosti — spustit hotový plugin/nástroj, balíček **Blocks** nebo prostředí pro návrh nového nástroje. Dále v této práci se pracuje pouze v poslední zmíněné záložce. Prostředí disponuje výkonnými funkcemi a pohodlným rozhraním, které je rozděleno na několik částí:



Obr. 1.8: Ukázka rozhraní prostředí Reaktor.

- **Instrument panel** — rozhraní pro nastavení vizuální části nástroje, na obrázku 1.8 je uvedeno pod číslem 1;
- **Ensemble panel** — rozhraní návrh technické části nástroje, na obrázku 1.8 je uvedeno pod číslem 2;
- **Side Pane** — obsahuje Browser, Snapshot editor, Connection manager, parametry modulu a další nastavení, na obrázku 1.8 je uvedeno pod číslem 3.

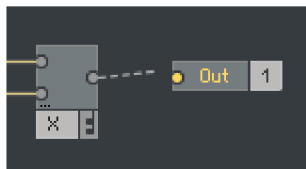
Stiskem pravého tlačítka myši se otevře vypadavající menu, kde se může vložit jeden z nabízených modulů:



Obr. 1.9: Možnosti vkládání modulů v prostředí Reaktor.

Každý modul je unikátní z pohledů použití, ale většina z nich disponuje takovými společnými rysy jako vstup a výstup, některé z nich mají přístup k systémovým datům a dokážou přijímat externí informace nebo naopak posílat ven, jako například speciální moduly "Gate" a "Note Pitch". Data jsou pak rozdělené podle jejich typů a vstupy nebo výstupy nejsou univerzální, tj. například nelze posílat MIDI data na vstup který přijímá hudební data.

Propojení vstupu a výstupu různých modulů se provede stiskem levého tlačítka myši na jednom z výstupu nebo vstupu, vytvoří se tak virtuální drát a následně po přemístění kurzoru na požadovanou destinaci se tlačítko pustí, vytvoří se tak spoj mezi moduly, viz 1.10.



Obr. 1.10: Propojení modulů v prostředí Reaktor.

1.3.1 Použité moduly, popis

V rámci této práce byly použité následující moduly:

- **In/Out port** — vstupní a výstupní piny pro propojení signálu mezi moduly;
- **Constant** — konstantní číslo;
- **Control** — otáčející potenciometr, má grafickou podobu pro zadávání hodnot uživatelem;
- **Macro** — obdoba složky pro umístění uvnitř modulů, potřebná pro přehlednost;
- **Stacked Macro** — modul potřebný k umístění několika Macro modulů uvnitř, používá se spolu s modulem Panel Index k zobrazení vybraného modulu pro koncového uživatele;
- **Panel Index** — určuje pořadové číslo Macro modulů uvnitř Stacked Macro;
- **List** — seznam hodnot, v grafické podobě umožňuje koncovému uživateli pomocí tlačítek nebo vypadávajícího seznamu volit potřebný parametr;
- **Pitch and Gate** — hotový modul ze standardní knihovny který na výstupu poskytuje signály Pitch a Gate přicházející, například z MIDI klávesnice. Na rozdíl od obyčejných portů se stejnými názvy má dodatečné indikátory;
- **Switch** — modul, který umožní uživateli pomocí tlačítek volit který vstup z několika se dostane na výstup;
- **Math modules** — operace sčítání, násobení, dělení atd.;
- **AHDSR** — hotový modul ze standardní knihovny se vstupy pro nastavení obálky přicházejícího audio signálu;
- **OSC** — různé druhy oscilátorů, například SIN, SQR, TRI atd.;
- **Scope** — hotový modul ze standardní knihovny, ukazuje průběh signálu přicházejícího na vstup In;
- **Stereo Mixer** — jednoduchý hotový modul ze standardní knihovny, který smícha signály přicházející na vstup do stereo signálu;

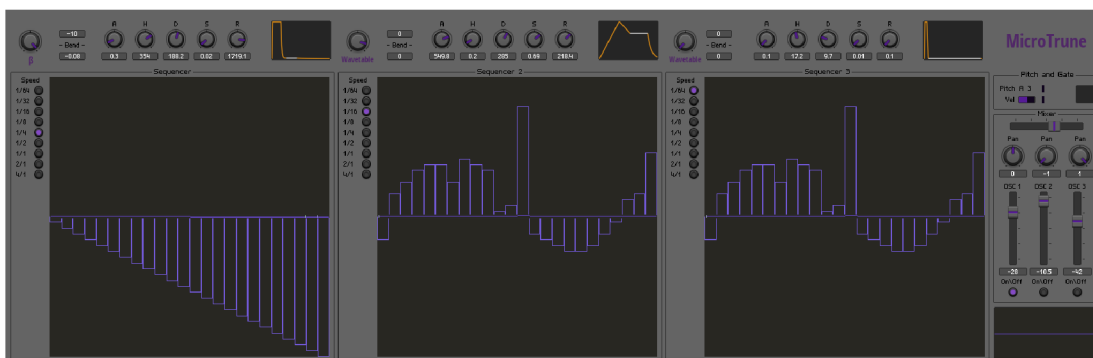
- **Modulo** — vydělí vstup A a B, poskytne na jednom výstupu zaokrouhlenou hodnotu a na druhém zbytek od dělení;
- **StpFlt** — modul, který přenesení signál na výstup pouze v případě že jeho hodnota je odlišná od předchozí +/- hodnota ze vstupu Tol;
- **Value** — modul, který disponuje dvěma vstupy, na vstup Trig se převede hodnota, která bude použita jako spouštěč, na výstup se dostane signál s hodnotou která je přivedena na druhý vstup;
- **Song Position** — zdroj pozice ve skladbě, spolu s modulem "Modulo" se používá k určení doby;
- **Quantize** — modul pro kvantizaci amplitudy vstupního signálu;
- **Snap Value []** — modul pro uložení snímků stavu jednotlivých modulů;
- **Merge** — modul pro spojení událostí, událost (Event) je jedním z typů dat používaných v prostředí Reaktor;
- **Event Table** — pole/matice s data a hodnoty událostí, které mohou být uloženy, přečtené nebo přepsané použitím příslušných vstupů a výstupů;
- **Multi Display** — modul pro zobrazení hodnot ze vstupu v závislosti na indexu;
- **Order** — modul, který se používá pro přenos signálů ve správném pořadí.

2 Praktická část

Hlavním cílem této práce je vytvoření experimentálního syntezátoru s možností mikrotonálního ladění, nezbytnou součástí kterého je mikrotonový krokový sekvencer. V rámci semestrální práce v prostředí **Reaktor** byl proveden kompletní návrh hlavní jednotky, tj. sekvenceru a také dalších nezbytných součástí syntezátoru s následujícím jejím rozvojem a zlepšením v navazující bakalářské práci. Proto styl psaní byl zvolen právě tak, aby byl patrný postup návrhu nástroje a taktéž jeho evoluce vůči semestrální práci.

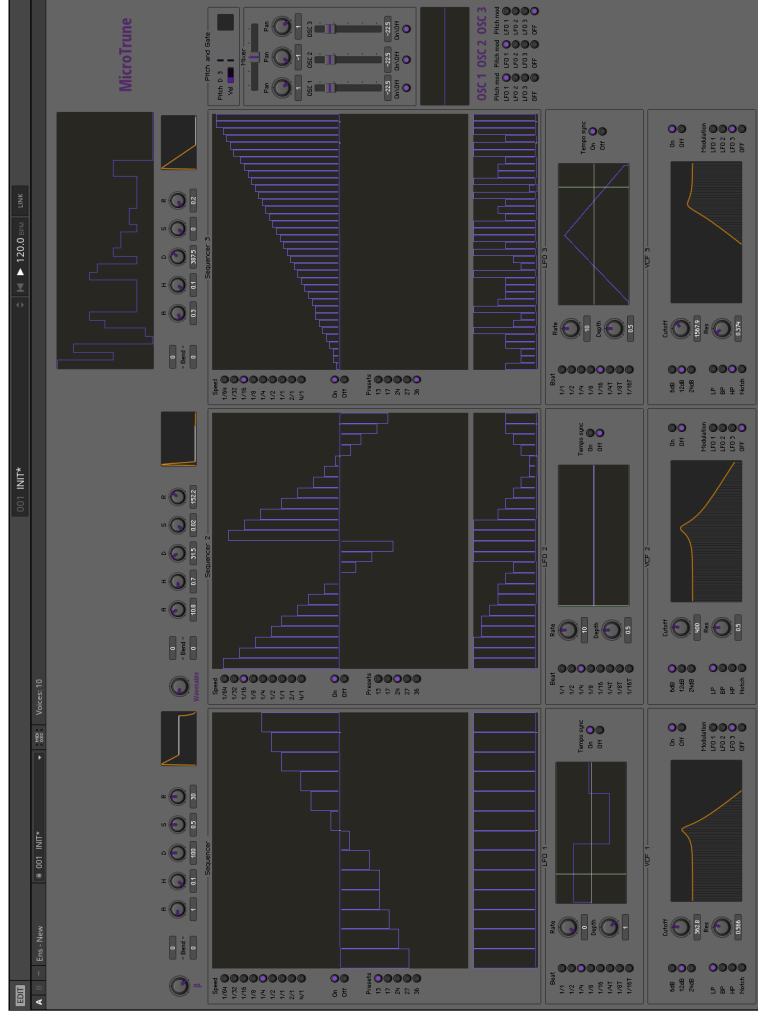
2.1 Navrh nástroje

Nástroj dostal název **MicroTrune** a to z důvodu jeho unikátních vlastností, které budou popsány dále v praktické části. Název se skládá z dvou anglických slov — **Microtuning** a **Three**. Také slovo Trune se dá přeložit jako opravdový. Základem tohoto syntezátoru jsou tři oscilátory, každý z nichž má svojí unikátní strukturu a výška tonu každého oscilátoru se moduluje nezávislým sekvencerem se svými parametry nezávislými na ostatních. Daná struktura umožňuje nastavení třech sekvencí, každá ze kterých hraje svůj unikátní tón (tembr) s nastavitelnou rychlostí, dobou trvání a výškou tónu pro každou notu posloupností — zde se právě využívá mikrotónového ladění.

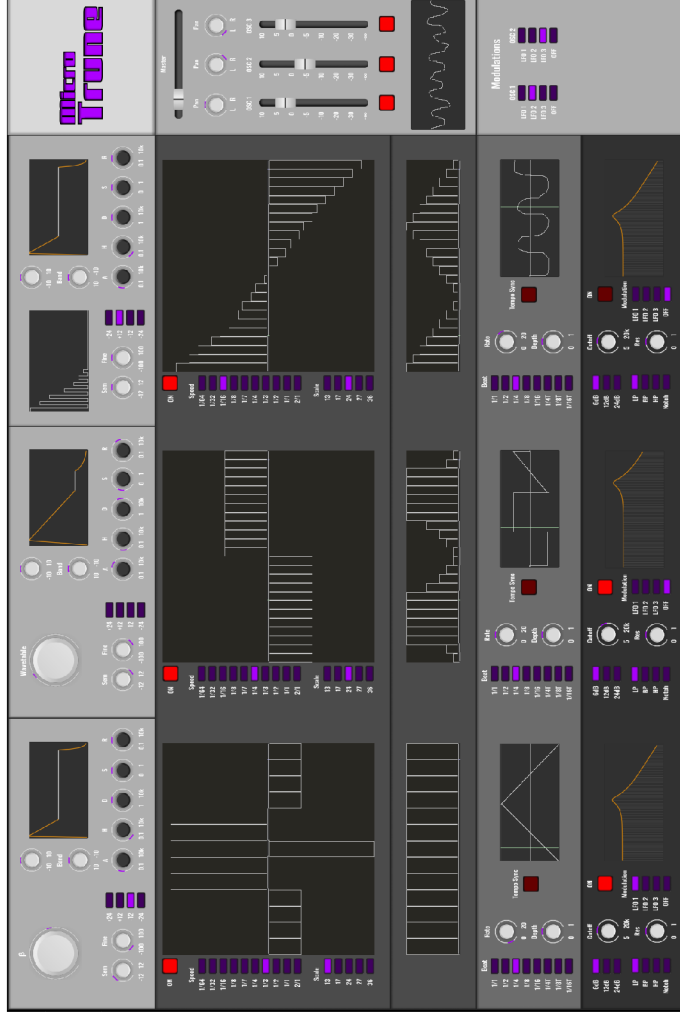


Obr. 2.1: Vizuální část syntezátoru verze aktuální na 12.12.2022.

Na následujících obrázcích 2.2 a 2.3 je znázorněn vzhled nástroje finální verze a jak se změnil po vývoji nového designu v prostředí Figma.

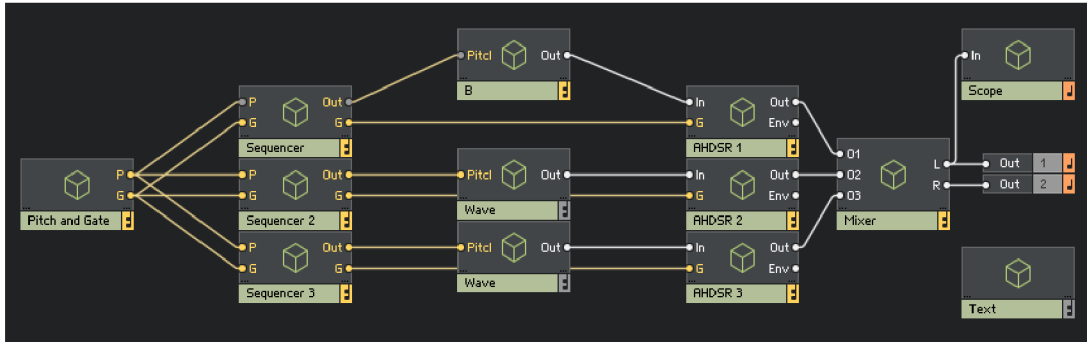


Obr. 2.2: Vizualní část syntezátoru finální verze před vývojem nového designu.

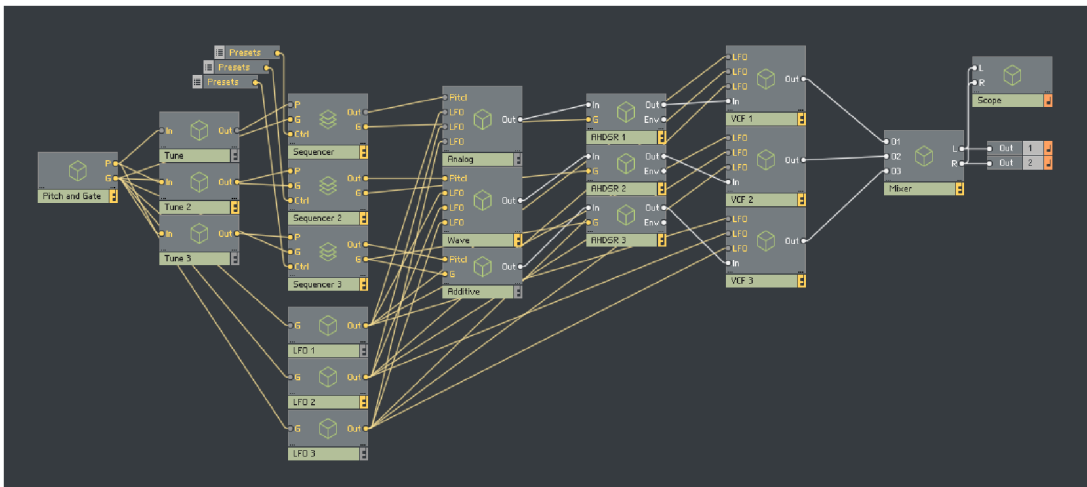


Obr. 2.3: Vizualní část syntezátoru finální verze.

Jak bylo uvedeno v předchozí části této práce, rozhraní **Reaktor** je rozděleno na grafickou neboli vzhledovou oblast, tj. tu, se kterou pracuje koncový uživatel a oblast technickou, kterou ve většině případů uživatel nevidí a ke které, hlavně v případě hotového pluginu nemá přístup. S ohledem na výše uvedené, je popis jednotlivých částí nástroje pro lepší přehlednost a pochopení také rozdělen. Dále následuje popis jednotlivých bloků syntezátoru v pořadí jejich návrhu.



Obr. 2.4: Technické provedení syntezátoru verze aktuální na 12.12.2022.



Obr. 2.5: Konečné technické provedení syntezátoru aktuální verze.

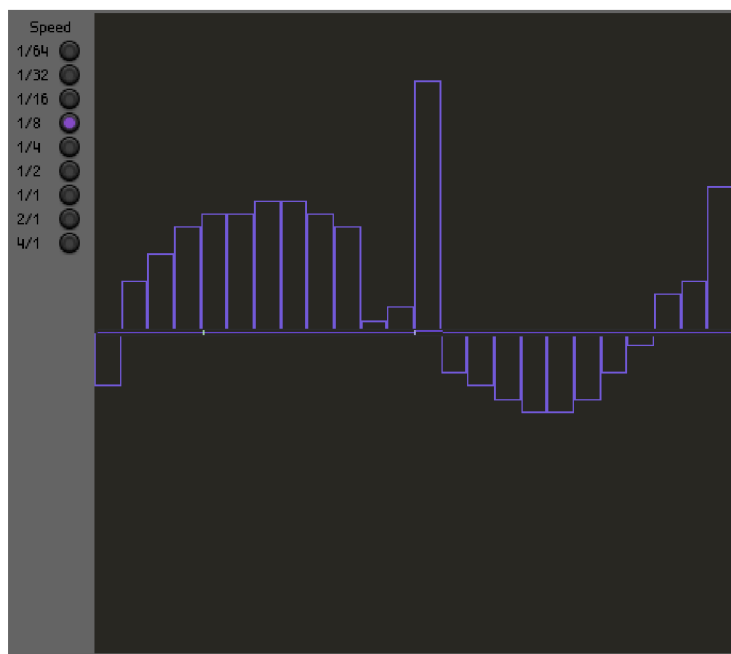
Na obrázku 2.5 je ukázáno finální zapojení Macro modulů nástroje. Nejprve se získají data z MIDI klávesnice, pak se rozdělí na tři větve a signál "Pitch" nesoucí informace o výšce tónu se pošle na moduly "Tune", určené pro případné transponování výšky tónu a signál "Gate" na moduly "LFO". Následně "Pitch" a "Gate" se pošlou na moduly sekvencerů a teprve potom na generátory průběhu, neboli "OSC". Výstup "Gate" sekvenceru se přivede na příslušný vstup modulu "AHDSR". Výstupy

každého ze tří oscilátorů se také pošlou na vstup generátoru obálky. Po přidání určitého tvaru vlny signál z každého ze tří oscilátorů se dostane na filtr "VCF" a na konci řetězce signály se smíchají do výsledného stereo signálu v modulu "Mixer", jehož výstup se kromě výstupu nástroje pošle na modul "Scope" sloužící pro zobrazení průběhu. Výstupy modulů "LFO" pak modulují filtry VCF a výšku tónu prvního a druhého oscilátoru. Moduly "List" s názvem "Presets" jsou určeny k volbě mikrotónální stupnice sekvencí. Maximální polyfonie nástroje je nastavena na 10 hlasů.

2.1.1 Sekvencer

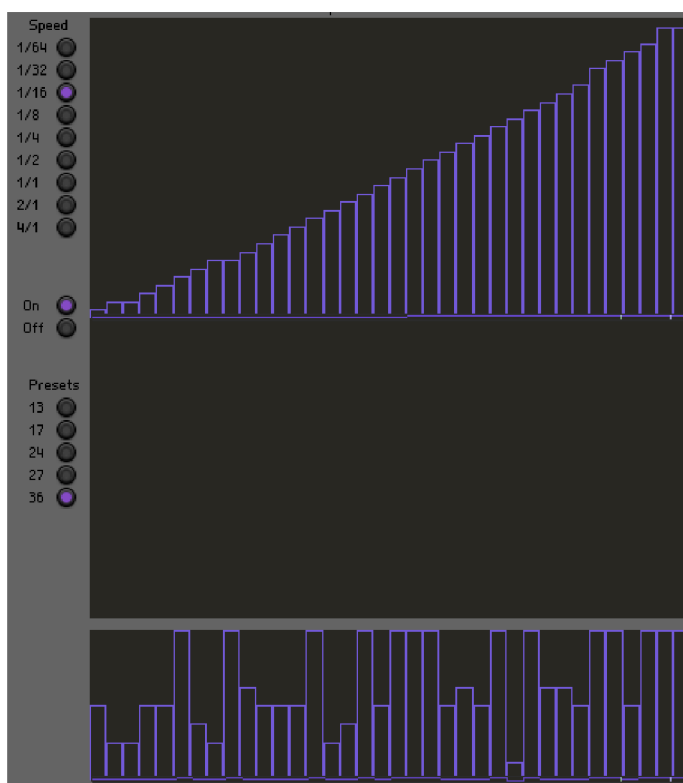
Rozhraní a vzhled

MicroTrune v 1. verzi nabízel tři nezávislé krokové sekvencery s možností nastavení výšky tónu pro každý z 24 kroků a to v rámci oktávy s krokem v čtvrt tónu. Zadávání sekvence je velmi intuitivní a je možné buď celkově pomocí počítačové myši, nebo šipkami dolů/nahoru pro přesnější nastavení v případě jednotlivých kroků. Další funkcí je nastavitelná rychlost přehrávání sekvence, od nejrychlejší "1/64" do nejpomalejší "4/1" (ve finální verzi "2/1") výběrem požadované varianty tlačítkem vlevo od displeje krokového sekvenceru. Malý sledující sekvenci kurzor ukazuje aktuální krok.



Obr. 2.6: Vzhled sekvenceru verze aktuální na 12.12.2022.

Následně jednotka sekvenceru byla vylepšená tak, že se přidala možnost zapínání/vypínání a nastavení hlasitostí každého jednotlivého kroků posloupností a to v 8 krocích, tj. od 0 do 8. Další přidanou funkcí se stála možnost volby presetu mikrotónového ladění. Momentálně jsou dostupné pět variant dělení oktávy: 13, 17, 24, 27 a 36. Přidání dalších presetů není obtížné, avšak vyžaduje změnu technické součástí nástroje, táto realizace vychází z implementace nástroje a je dána vnitřní strukturou Reaktoru. Postup přidání presetu je popsán v technické části sekvenceru. Užitečným v praxi je i nový přepínač On/Off, který zapne nebo vypne celou jednotku a umožní tak použití oscilátoru v "klasickém" režimu.

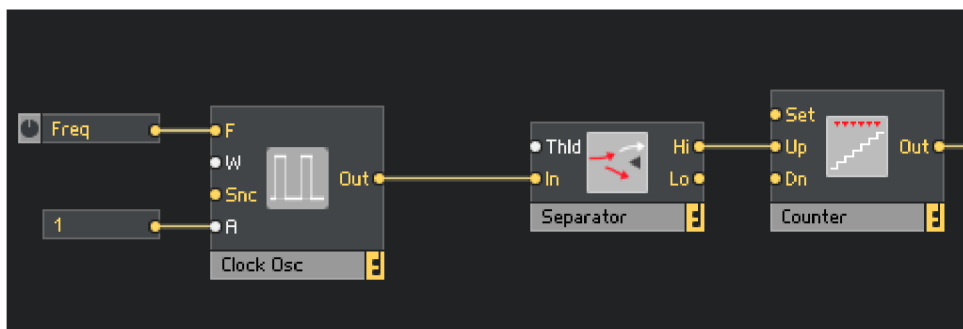


Obr. 2.7: Vzhled sekvenceru finální verze.

Technická část

Kostrou každého sekvenceru jsou hodinky (Clock), nastavitelná frekvence kterých umožňuje realizovat krokování. V prostředí **Reaktor** byl použit speciální oscilátor s názvem "Clock Osc". Na amplitudový vstup je potřeba poslat jedničku, protože na výstupu požadujeme impulzy "1" a "0". Posledním krokem je vytvořit regulátor pro nastavování frekvence, ten umožní přímo nastavovat rychlost běhu celého sekvenceru. Výstup této jednotky se posílá na další modul pojmenovaný "Separator", který rozdělí impuls a na výstup "Hi" přijdou jenom jednotlivé skoky "1",

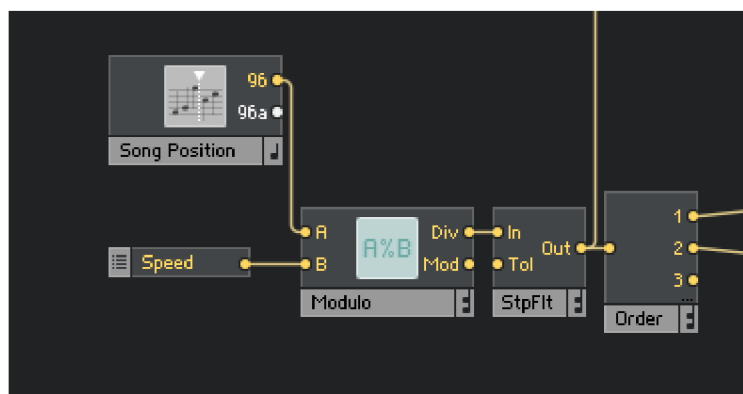
těmito skoky se řídí krokovač "Counter".



Obr. 2.8: Struktura a zapojení bloku Clock v Reaktoru.

Tenhle postup není jediný a **Reaktor** nabízí více možností realizace, proto pro účely dané práce po vyzkoušení bylo rozhodnuto předělat tuto část sekvenceru na komplexnější, která by umožňovala pohodlnější synchronizaci s tempem skladby a nastavování rychlostí ne v jednotkách Hz, ale v dobách — 4/1, 2/1, 1/1, 1/2, 1/4 atd.

Z toho důvodu místo hodinkového oscilátoru byl použit standardní modul "Song Position", který umožní synchronizaci s tempem projektu a to s přesností, respektive rychlostí 1/96 doby. Aby se stal fundamentem sekvenceru je potřeba tuto rychlost ovládat, což lze jednoduše dosáhnout použitím modulu "Modulo", kde se vstup "A" rozdělí na vstup "B". Na "A" se přivede výstup "Song Position" a na "B" data z modulu "List", kde se vypíše seznam hodnot a každé je přiřazen popisek, který uvidí a bude schopen zvolit koncový uživatel.



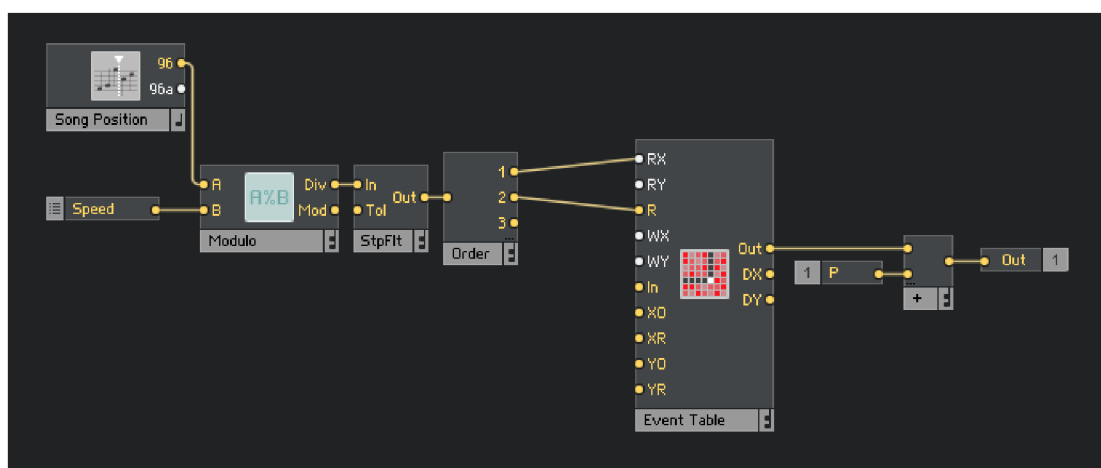
Obr. 2.9: Struktura sekvenceru pro synchronizaci tempa.

Do modulu "List" je potřeba vložit 9 hodnot, kterými se vydělí vstup "A": 24 pro 1/4, 12 pro 1/8, 6 pro 1/16 atd.

ENTRIES					
Number		9	APPEND	INSERT	🗑️
#	Label	Value			
1	1/64	1.500000			
2	1/32	3.000000			
3	1/16	6.000000			
4	1/8	12.000000			
5	1/4	24.000000			
6	1/2	48.000000			
7	1/1	96.000000			
8	2/1	192.000000			
9	4/1	384.000000			

Obr. 2.10: Seznam hodnot v modulu List.

Dále je použit "Step Filter", aby se určené hodnoty neposílaly na výstup mnohonásobně. Aby uživatel byl schopen zadávat sekvence, je potřeba vytvořit pohodlné rozhraní, což lze dosáhnout mnoha způsoby. Jedná z možností byla vytvořit řídicí jednotky pro každý krok sekvenceru s možností nastavení doby trvání a hodnotou nóty, ale z pohledu pohodlnějšího a hlavně rychlejšího ovládání bylo rozhodnuto zadávat sekvence počítačovou myší. Prvotní realizace byla dosažena pomocí modulu "Event Table" s následujícím vylepšením vzhledu a ovládání použitím pokročilejších struktur.



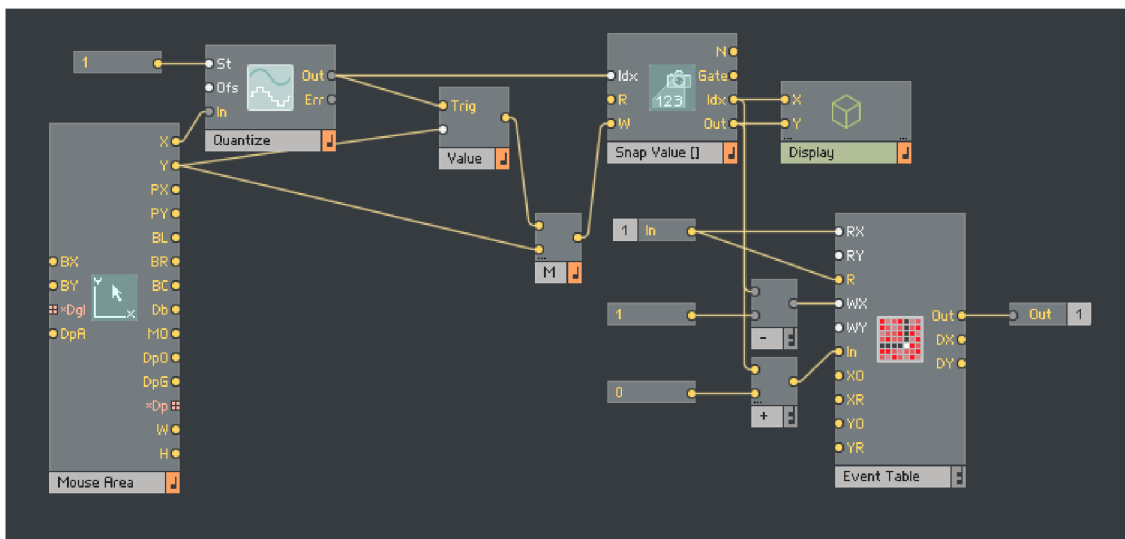
Obr. 2.11: Prvotní realizace modulu sekvenceru.

Nastavení modulu byly upravené tak, aby odpovídali požadovaným vlastnostem,

tzn. rozsah hodnot byl upraven na -12 až 12, aby výška tónu se modulovala v rámci jedné oktávy s krokem a celkovým počtem kroků odpovídajícím určité mikrotonální tónině. Například pro čtvrt tónové ladění — 48 kroků, velikost kroku — 0,5. Pro rozdělení oktávy na 17 stejných kroků — 34, kde velikost kroku je 0,705882353 atd. Realizace vyvolání presetu bude popsána dále v rámci navazující části. Výstup "Step Filter" je zapojen do modulu "Order" a ten následně do "Event Table" tak, aby zajistit, že hodnoty které zpracovává "Event Table" přicházely ve správném pořadí. Vstup "Read", který vyvolá změnu na výstupu by měl dostávat data až po tom, co se přečtou hodnoty pozice "X" ze vstupu "RX". Výstup celého sekvenceru se pak jednoduše sečte s data o výšce tonu, které přicházejí z MIDI klávesnice.

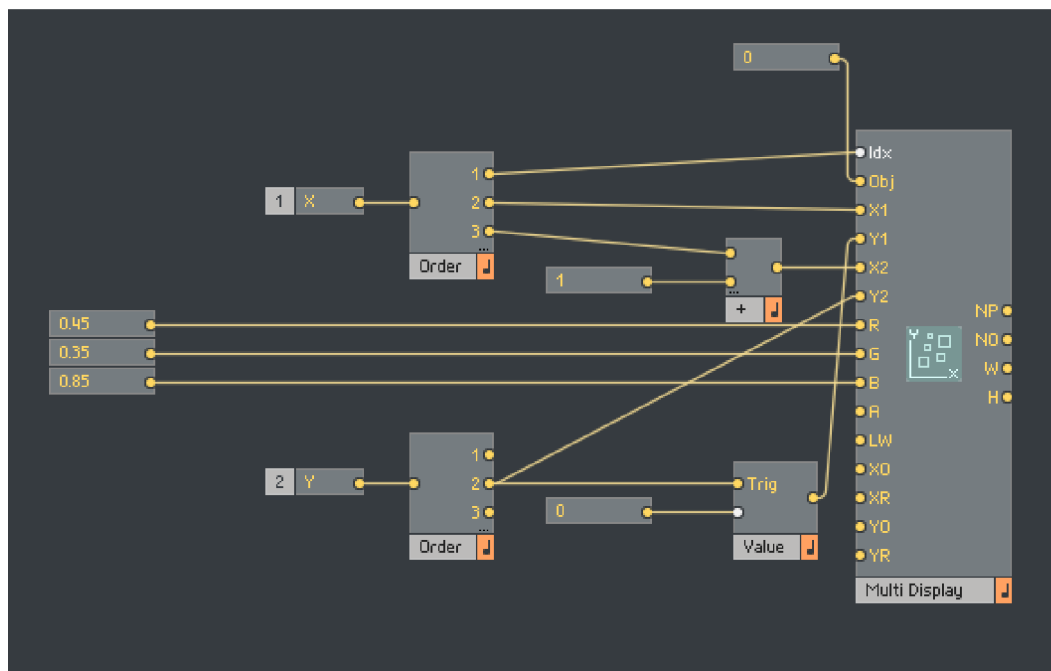
Výše uvedené zapojení postupem času bylo rozhodnuto předělat na komplexnější a to z několika důvodů. Prvním z nich je absence možností ukládání a vyvolání presetů, což by "vrátilo" uživatele do doby analogových nástrojů, kdy se presety ukládali stejně "analogově" použitím tužky a prázdného listu papíru. V dnešní době tenhle přístup je nepřipustný, jelikož výrazně komplikuje a razantně prodlužuje proces sound designu. Druhým důvodem je požadavek na možnost volby mikrotónového ladění. Třetí a poslední — možnost zapínání a vypínání celé jednotky, v tom případě signál prochází celým sekvencorem v režimu "BYPASS", tj. mimo obvod.

Řídicí zapojení sekvenceru zachovává skoro stejně, s tím rozdílem, že se vymaže modul "Order", protože teď není nutný k funkčnosti, jelikož následné zapojení zajistí správné pořadí signálů přicházejících do modulu "Event Table", který se přesune do nově vytvořeného modulu Macro a zapojí se dle níže uvedené struktury:



Obr. 2.12: Zapojení sekvenceru uvnitř modulu "Macro".

Zde se použije modul "Mouse Area" potřebný k zadávání informací myši, v tomto případě k nastavení výšky tónu pro konkrétní krok sekvenceru. Zde je potřeba určit jen X-ovou a Y-ovou složku, Kde X — krok a Y — výška tónu. Následně X-ová složka musí projít kvantizací, aby nedošlo k zpracování nesprávných hodnot, jinými slovy se použije střední hodnota pixelů kterou modul předá po interakci s uživatelem. Pak tento kvantizovaný signál, ale ne jeho hodnota, která je pak potřebná k určení indexu, se převede na spouštěč "Value". Výstup z modulu "Value" předá hodnotu Y-ové složky v okamžik, který určuje tento kvantizovaný signál přicházející z výstupu X-ové složky na modul "Merge", který tyto hodnoty (Y a Y v čase X) spojí a pošle na vstup "W" sloužící pro přepisování modulu "Snap Value Array". Toto zapojení je nezbytnou částí nástroje, nejprve potřebnou k uložení a vyvolání hodnot z "Event Table", tj. použití snímků, neboli presetů. Výstupy "Out" a "Idx" modulu "Snap Value Array" se pošlou na vstupy dalšího modulu "Macro Display", sloužícího pro zobrazení hodnot tabulky.

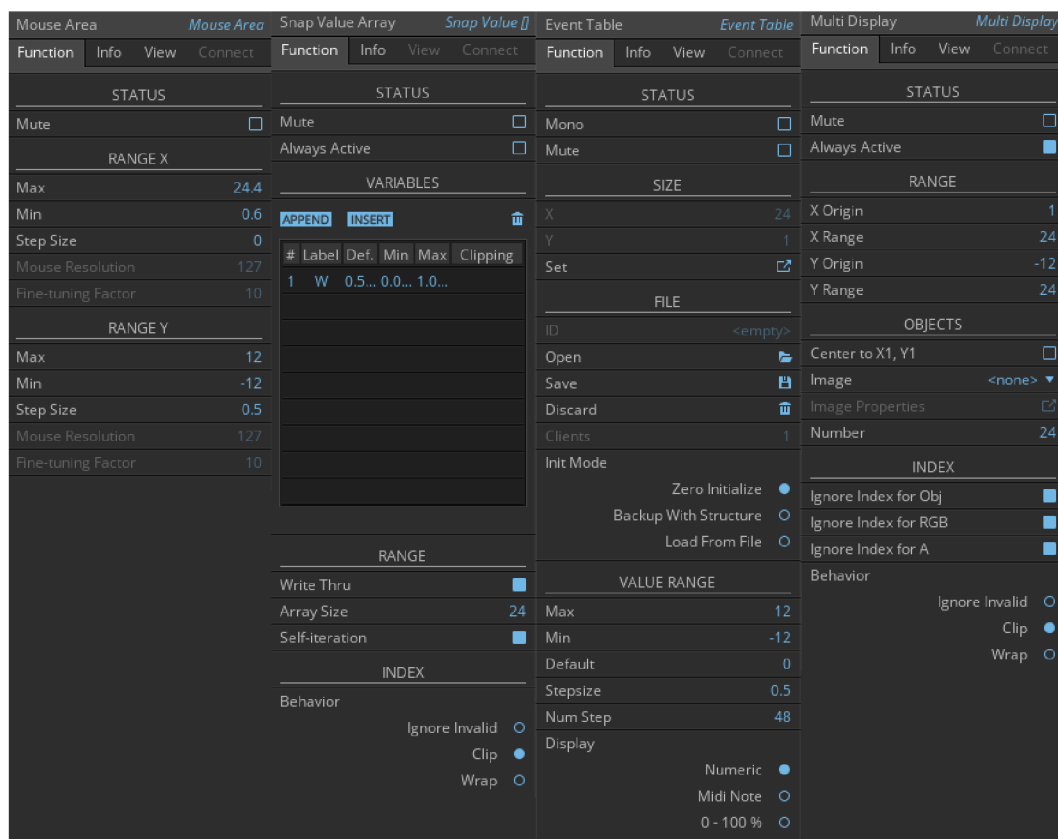


Obr. 2.13: Implementace modulu "Display".

Zde je potřeba zajistit, aby hodnoty ze vstupu "X" a "Y" došly na vstupy standardního modulu "Multi Display" ve správném formátu a pořadí. Nejprve je potřeba určit index, tj. první hodnotou, která by se měla dostat na vstup je signál Idx, ze vstupu "X". Dále se stejná hodnota předá na vstupy "X1" a "X2", důležité zde je, aby nejprve byl určen index a až poté X1 a X2. Výše uvedené zapojení zaručí, že po nastavení indexu objekt bude nakreslen mezi X1 a X2, ze stejného důvodu je k

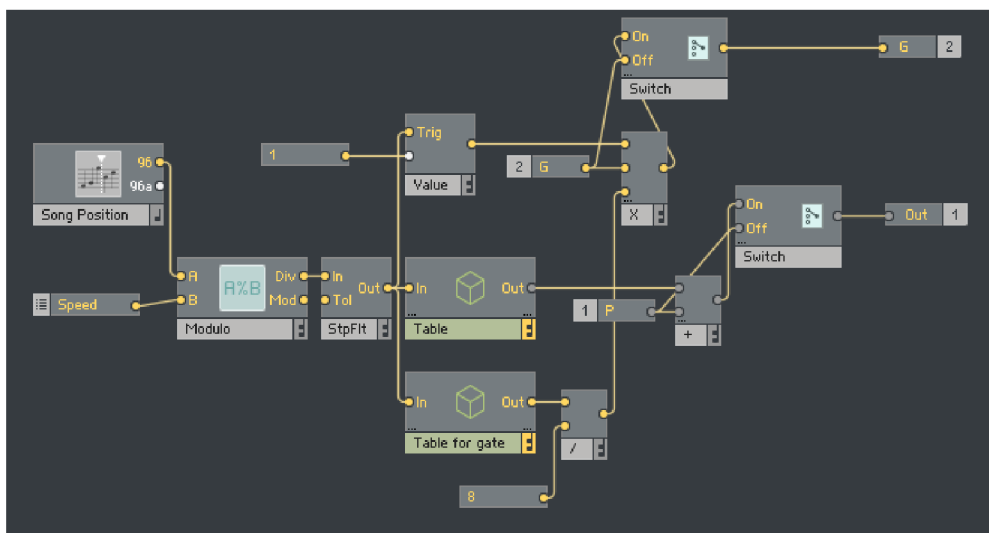
hodnotě X2 přidána konstanta 1. Pozice Y1 bude vždy odpovídat prostředku displeje, proto vždy musí být 0, Y2 určí výšku sloupce. Přivedením hodnot na vstupy "R", "G" a "B" se nastaví barvy displeje podle vkusu vývojáře nebo uživatele, jelikož není požadavek nastavovat tyto hodnoty dynamicky použitím regulátorů, jsou použité konstantní hodnoty (0,45; 0,35; 0,85), které nastaví barvu displeje na bledě fialovou, ve finální verzi barva byla změněna na světle šedou, aby odpovídala designu ostatních prvků. Design nástroje a jeho návrh bude popsán v příslušné kapitole dále.

Posledním krokem je zapojení "Snap Value Array" do tabulky "Event Table", viz obrázek 2.12 a nastavení rozsahu hodnot se kterým pracují moduly "Mouse Area" "Multi Display" a "Event Table". Při zapojení těchto modulů je potřeba přizpůsobit jejich indexy, důvodem toho je, že všechny tyto moduly jsou ve své podstatě tzv. "Array", nebolí pole a "Snap Value Array" a "Multi Display" počítají indexy od 1, když "Event Table" klasicky pro počítačové systémy od 0. Na první pohled zbytečná operace přidání 0 k hodnotám vystupujícím ze "Snap Value Array" zaručuje tzv. časovou konzistenci, tj. to, že hodnoty a indexy mezi "Snap Value Array" a "Event Table" budou stejné.



Obr. 2.14: Záložka "Function" pro důležité moduly sekvenceru. Ukázka nastavení pro mikrotónální ladění s dělením oktávy na 24 kroky.

Na obrázku 2.14 je přehled nastavení důležitých parametrů čtyř modulů uvnitř sekvenceru. Aby zajistit správnou funkčnost sekvenceru, je potřeba nejen provést jejich správné zapojení, ale i vyznačit meze polí. Na obrázku je znázorněno nastavení pro dělení oktávy na 24 stejných kroky. Je požadováno 24 kroky v ose X a 48 v ose Y (+24 a -24 kroky v rámci jedné oktávy). Pro modul Mouse Area jsou důležité nastavení "Range X" a "Range Y" (Rozsah). Pro "Range X" hodnota 24,4 je zvolená z důvodu automatického zaokrouhlování modulem, v případě že uživatel provede stisk myši uprostřed sloupce — modul to vyhodnotí jako 0,5 a změní tak hodnotu příštího sloupce. Takové chování není požadované a proto je potřeba kompenzovat tento vliv. Ze stejného důvodu minimální hodnota se nastaví na 0,6. Pro osu Y minimální a maximální hodnota zde určí rozsah jedné oktávy a "Step Size" krok 0,5 v případě dělení oktávy na 24 kroky nastaví krok na čtvrt tónu. Pro "Snap Value Array" je důležité nastavit velikost pole, proto se "Array Size" přiřadí hodnota 24. V modulu "Event Table" v ose X se nastaví počet prvků 24 a v ose Y — 1, "Value range" v rámci jedné oktávy -12 až 12, krok 0,5 a počet kroků 48. V modulu "Multi Display" počet objektů 24, rozsah X do 24, začátek od 1, rozsah Y 24, začátek -12, protože začátek osy musí být umístěn uprostřed. Dále v sekci "Behavior" je potřeba označit variantu "Clip" aby přemístění kurzoru myši za pravý okraj displeje při stisknutí klávese modul nehodnotil jako pokračování v zadávání hodnot. Pro presety jiných stupnic, například pro dělení oktávy na 17 nebo 36 kroků některé tyto nastavení se budou lišit, avšak rozsah by měl zůstat v rámci jedné oktávy.

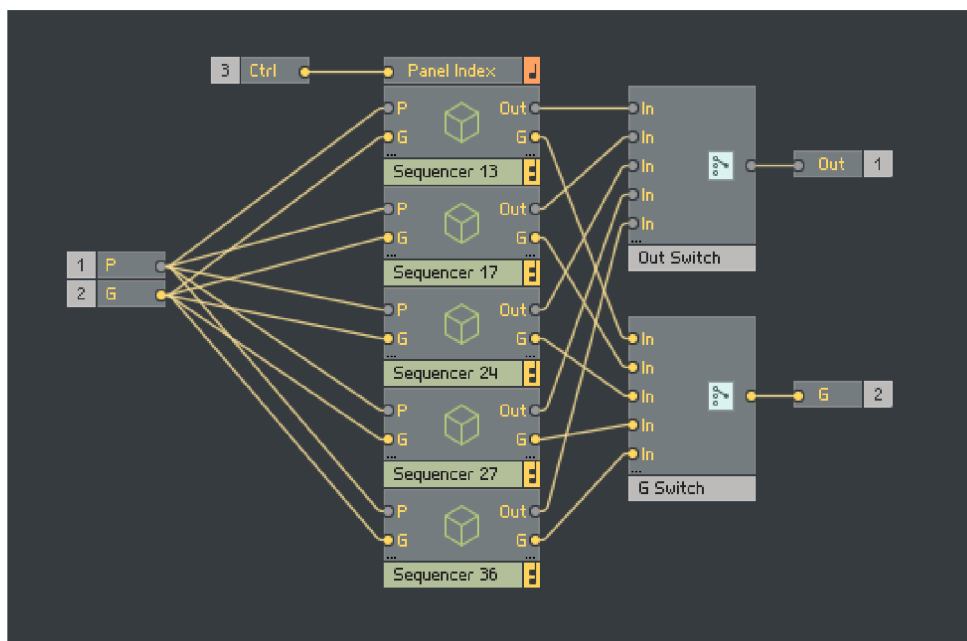


Obr. 2.15: Celkové finální zapojení jednoho presetu sekvenceru.

Na výše znázorněném obrázku 2.15 je ukázáno finální zapojení jednoho z pěti presetů. V této struktuře se přidalo ještě několik modulů. Prvním z nich je "Table

for Gate" který je technicky obdobný už probranému Macro "Table", s tím rozdílem, že se jeho výstup vynásobí se signálem "Gate", tím způsobem se realizuje možnost nastavení hlasitostí pro každý jednotlivý krok sekvence. Z pohledu nastavení se liší v rozsahu hodnot v ose Y, zde jsou postačující 8 úrovní hlasitostí pro každý krok. Ostatní parametry vždy odpovídají příslušnému presetu, tj. když je zvolen preset 27 kroků, na displeji se nachází přesně 27 sloupců. Hodnotu z modulu Table for Gate je navíc potřeba vydělit konstantou 8, aby nedošlo ke zvětšení úrovně signálu.

Přepínače "Switch" na obrázku umožňují zapnutí a vypnutí jednotky sekvenceru. V případě "Off" signál z informací o výšce tónu a "Gate" projde celým modulem sekvenceru v režimu "BYPASS" tj. stranou. Zde se využije záložky "Connect" modulu "Switch" aby nalinkovat oba přepínače mezi sebou tak, že přepínání jednoho vyvolá přepínání druhého, následně se jeden z nich skryje pro uživatele aby rozhraní bylo čitelnější.



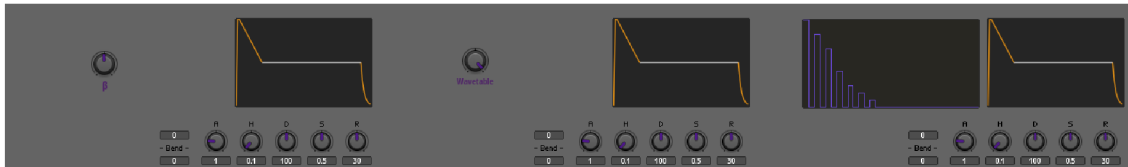
Obr. 2.16: Celkové zapojení jednoho ze tří sekvenceru.

Na obrázku 2.16 je celková struktura sekvenceru, kde jsou vidět jednotlivé presety pro různá mikrotónální ladění přepínače "Switch" které získávají informace o zvoleném presetu a přiřadí tak správný vstup výstupu. Oba přepínače jsou nalinkované na "List" Presets který je umístěn ze vnějšku. Celá struktura musí být umístěna uvnitř modulu "Stacked Macro" a modul "Panel Index" pak určuje správné pořadí a řídí se přes vstup "Ctrl", který je zapojen do modulu "List" se jménem Presets.

2.1.2 Oscilátory

Rozhraní a vzhled

Syntezátor disponuje třemi nezávislými oscilátory, každý z nich má vlastní unikátní strukturu, což přináší ještě větší prostor v oblasti sound designu. První a druhý oscilátory se ovládají použitím otáčejícího regulátoru, třetí zadáváním jednotlivých harmonických složek pomocí počítačové myši.

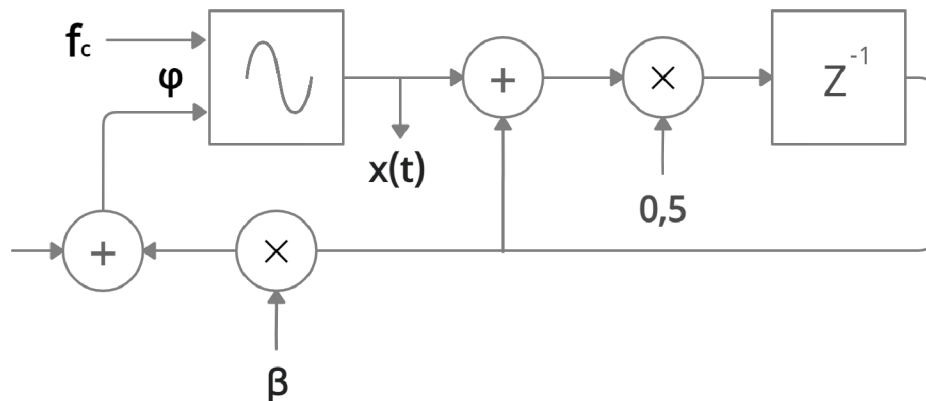


Obr. 2.17: Vzhled a umístění řídicích prvků sekce oscilátorů.

Technická část

OSC 1

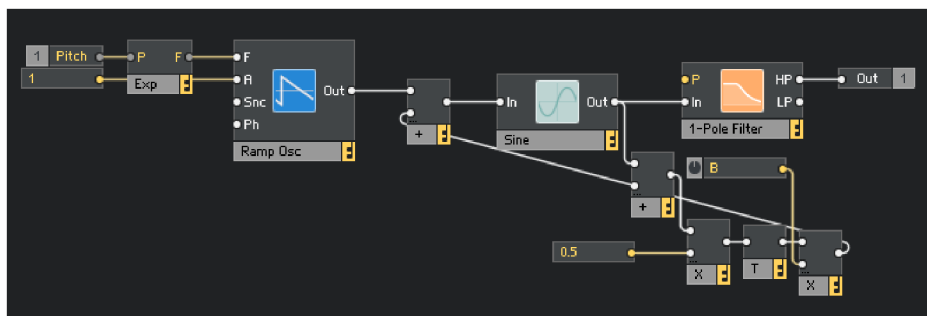
Struktura OSC 1 je inspirována principem analogového modelování a nabízí jednoduché ovládání, ale bohatší a "živější" zvuk. [13]



Obr. 2.18: Blokové schéma analogového oscilátoru.

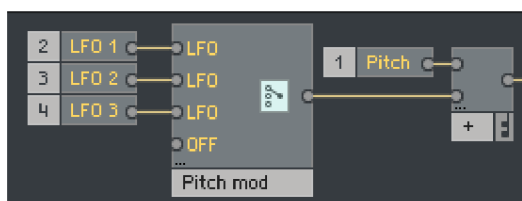
Implementace je znázorněna na obrázku 2.19. Získají se data o výšce tónu a prevedou se do exponenciálního tvaru, jelikož modul "Ramp Osc" pracuje ne přímo s výškou tónu, ale přijímá frekvenci. Amplituda je konstantní — 1. Dále tento oscilátor moduluje jednoduchý generátor sinusového průběhu. Dále je zapojen podlé

blokového schématu. Zpoždění se přidá použitím modulu "Unit Delay". Tvar a výsledně i tembr se nastavuje pomocí jediného koeficientů beta. Poslední krok je filtrace nežádoucích nízkofrekvenčních harmonických složek filtrem typu horní propustí.



Obr. 2.19: Zapojení virtual analog oscilátoru.

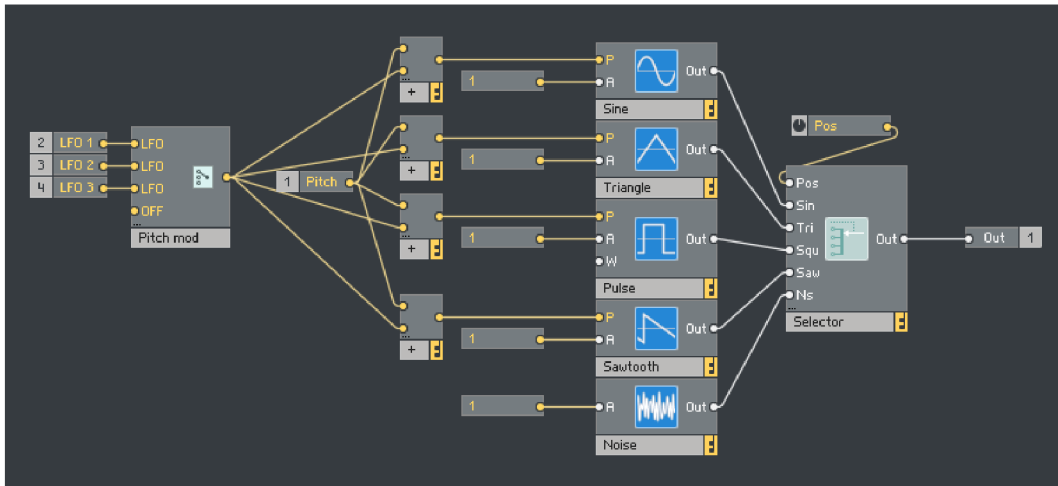
Následně k prvnímu oscilátoru byla přidána struktura uvedená níže na obrázku 2.20. Toto zapojení umožní modulaci výšky tónu oscilátoru. Pomocí tlačítek v sekci "Modulations" uživatel je schopen zvolit zdroj modulace mezi LFO 1 až 3 nebo v případě volby "OFF" nemodulovat výšku tónu oscilátoru. Princip je založen na sčítání originální výšky tónu a LFO použitím modulu "Add".



Obr. 2.20: Přepínač zdroje modulace LFO "Switch".

OSC 2

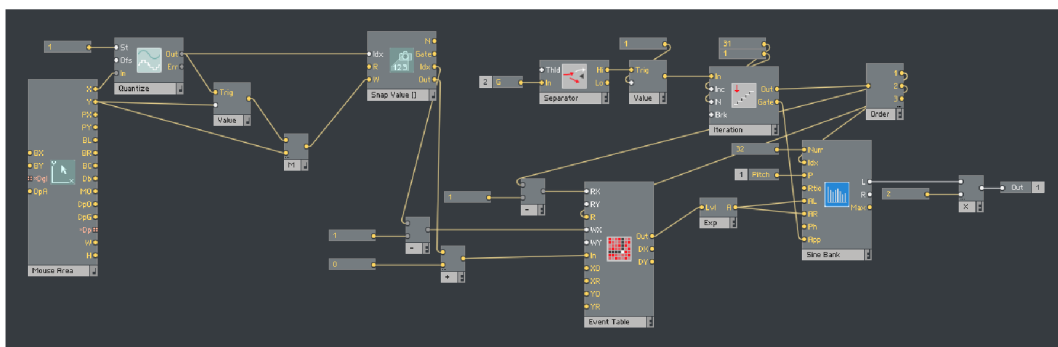
Druhý oscilátor syntezátoru je postaven na principu "WaveTable" syntézy, což bylo realizované tzv. "morphingem" (od angl. morphing — plynulý přechod z jednoho stavu do druhého). Zapojení je na obrázku 2.21. Oscilátor disponuje pěti různými průběhy — sinusový, trojúhelníkový, obdélníkový, pilový a šum. Amplituda je nastavena konstantní — 1. Informace o výšce tónu přichází z MIDI klávesnice po procházení sekvencí. Plynulé nastavení průběhu je realizováno použitím modulu "Selector". Stejně jako v druhém oscilátoru je přidán modul "Switch" pro volbu zdroje modulace. V případě volby "OFF" výška tónu se nemoduluje.



Obr. 2.21: Zapojení "WaveTable" oscilátoru.

OSC 3

Třetí oscilátor je z pohledu struktury nejsložitější, ale na druhou stranu pro uživatele umožní získat složité a zajímavé tóny a "textury" poměrně rychlým a jednoduchým způsobem — zadáváním pomocí kurzoru a tlačítka myši.



Obr. 2.22: Zapojení oscilátoru využívajícího principu additivní syntézy.

Myšlenka oscilátoru je založena na principu additivní syntézy. Řídící jednotkou v případě třetího oscilátoru oproti dvěma předchozím je displej, který disponuje rozlišením 32x12, kde vodorovná osa představuje počet sinusových složek a svislá — úroveň jednotlivých složek.

Implementace je v některém smyslu obdobná sekvenceru, kostkou ale je modul "Sine Bank", který je řízen modulem "Event Table". Pro "Sine Bank" nejprve je potřeba nastavit počet složek: konstanta 32 se přiřadí vstupu "Num". Aby oscilátor byl schopen reprodukovat určitou výšku tónu, ať už je to sekvence, která přichází ze

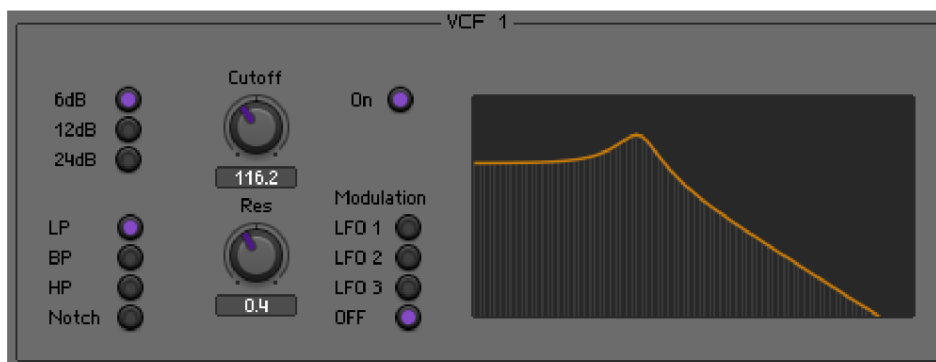
sekvenceru nebo v případě, že nebyl použit přímo nota určena stisknutím příslušné klávesy na MIDI klávesnici, je potřeba přiřadit modul "In Port", pro přehlednost struktury je pojmenován "Pitch". Následně je použit modul "Separator", který získá informaci o čase a síle stisku klávesy ze vstupu "G" (Gate). Všechny hodnoty, které jsou větší než nula se převedou na výstup "Hi", pak použitím modulu "Value" se zajistí, aby tyto signály na výstupu měly vždy hodnotu "1". Následně se signál převede na vstup modulu "Iteration" který je implementací funkce "For" v programovacích jazycích. Tento modul krokuje výstup v závislosti na vstupu "In" a parametrech "Inc" a "N", kde N — je počet kroků posloupnosti a Inc — hodnota která se přidává s každým cyklem. Modul má 32 sinusových oscilátory, proto počet kroku je nastaven na 32 (od 0 do 31). Posledním krokem je zajistit správné pořadí přicházejících hodnot použitím modulu "Order" a přizpůsobit indexy tabulce "Event Table" odečtením konstanty 1. Výstup modulu "Event Table" se převede na amplitudu použitím modulu "Exp".

Levá část struktury odpovídá za možnost ukládání presetů a její implementace byla náležitě vysvětlena v kapitole "Sekvencer", viz kapitola 2.1.1 a text pod obrázkem 2.12.

2.1.3 Filtr

Rozhraní a vzhled

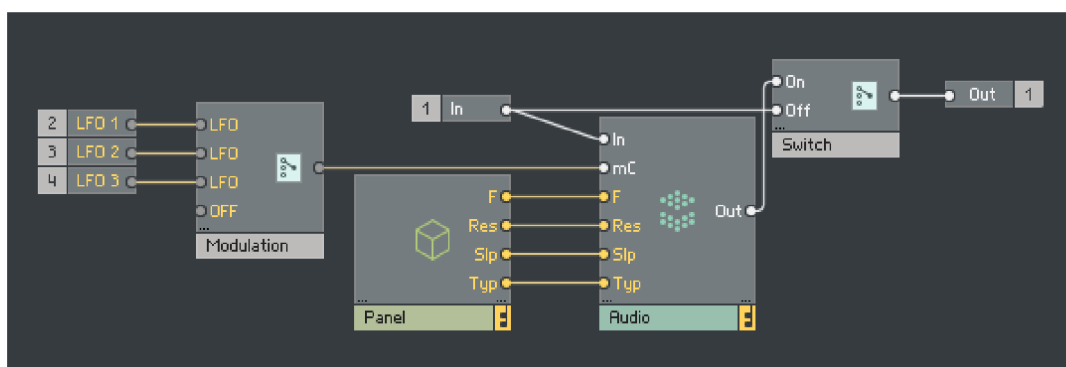
Z pohledu rozhraní sekce VCF nabízí možnost volby typu filtru (horní propust, pásmová propust, dolní propust, nebo notch filtr), rychlostí poklesu (6, 12, 24 dB/oktávu), nastavování mezní frekvence "Cutoff", rezonance, vypínání nebo zapínání a volbu zdroje modulace mezi LFO 1 až 3. Pro přehlednost v sekci filtru je umístěn displej, který ukazuje orientační průběh. Umístění a velikost ovládacích prvků byly změněny za účelem lepší přehlednosti a ovladatelností nastavením příslušných parametrů v sekci "View" jednotlivých modulu.



Obr. 2.23: Vzhled a umístění řídicích prvků sekce "VCF". Je stejný pro všechny tři filtry.

Technická část

Nástroj má k dispozici tři filtry, každý z nich je zapojen sériově s příslušným oscilátorem. Pro použití v rámci této práce byl zvolen jeden z modulů "Filter" standardní knihovny a doplněn moduly "Switch" pro možnost volby zdroje modulace a zapínání/vypínání. V případě volby "OFF" signál projde sekci filtru v režimu "BYPASS" v případě obou přepínače. Na obrázku 2.23 prvky LFO 1, LFO 2, LFO 3 jsou moduly "In port", na které je napojen signál z modulu "LFO", implementace je vysvětlena v následující kapitole.



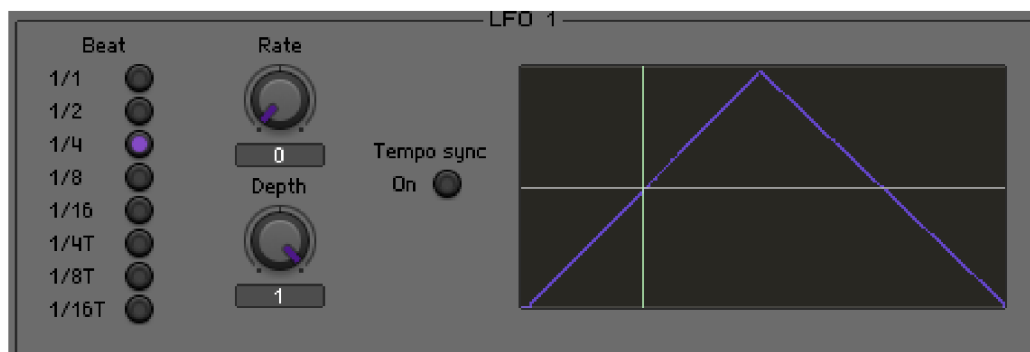
Obr. 2.24: Zapojení filtru.

2.1.4 Modulace

Rozhraní a vzhled

Pro modulace bylo rozhodnuto navrhnout modul "LFO", kde místo standardních průběhů jako je sinus, obdélík a pila uživatel bude schopen nakreslit svůj vlastní

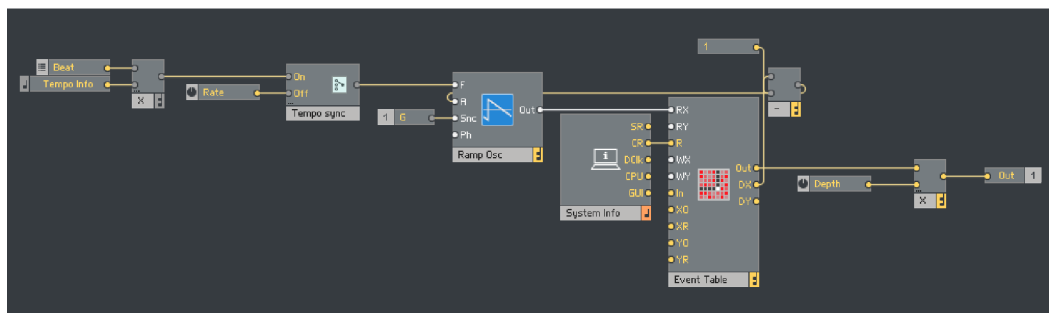
průběh a to myši na displeji. Dále pomocí otáčejících regulátorů je schopen nastavit frekvenci, neboli rychlost modulace od 0 do 20 Hz a taktěž její hloubku od 0 do 1. Další možností je synchronizovat průběh LFO s tempem skladby a to 1/1, 1/2, 1/4 atd, viz obrázek 2.25.



Obr. 2.25: Vzhled a umístění řídicích prvků sekce "LFO". Je stejný pro všechny tři oscilátory.

Technická část

Pro implementaci je použit modul "Event Table" a nastaven tak, aby rozlišení v ose X bylo 2048 kroků. Táto hodnota musí být poměrně velká, protože je požadovaná velká rozlišovací schopnost tabulky, aby kreslený průběh uživatel byl schopen měnit plynule. Zmíněná hodnota byla zvolená i z důvodu zmenšení výpočetní náročnosti pro počítač, protože je 11. mocninou čísla 2, i když v současné době výkonných počítačů to nemá patrný vliv. Rozsah hodnot je nastaven na -1 až 1, protože na výstupu je požadován periodický průběh. Aby zajistit synchronizaci "Gate" signálu přicházejícím z MIDI klávesnice s průběhem LFO, je použit modul "System Info", vstup "CR" (Control Rate) se přiřadí vstupu "R" (Reading) modulu "Event Table". Následně je použit modul "Ramp Osc", který je zdrojem oscilace pro oscilátor nízkých kmitočtů. Na vstup "Snc" se přivede signál "Gate" a amplitudový vstup po přizpůsobení indexu je řízen výstupem "DX" modulu "Event Table". Nastavování frekvence LFO pro uživatele potom probíhá pomocí regulátoru "Rate". Pro možnost volby tempa synchronizace se použije operace násobení hodnoty z modulu "List" a informace získané ze standardního modulu "Tempo Info". Přepínač "Tempo sync" slouží k volbě požadované funkčnosti. Nastavování hloubky modulace je realizována násobením výstupní hodnoty celé jednotky LFO s hodnotou zvolenou uživatelem v rozsahu od 0 do 1.



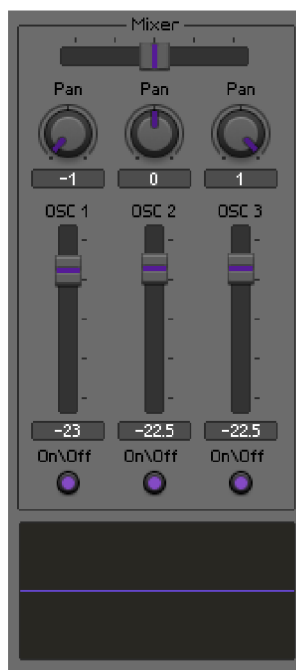
Obr. 2.26: Zapojení oscilátoru nízkých kmitočtů.

2.1.5 Mixer

Tento block smíchá monofonní signály z různých oscilátorů do stereo signálu s možností nastavení panoramy pro každý oscilátor.

Rozhraní a vzhled

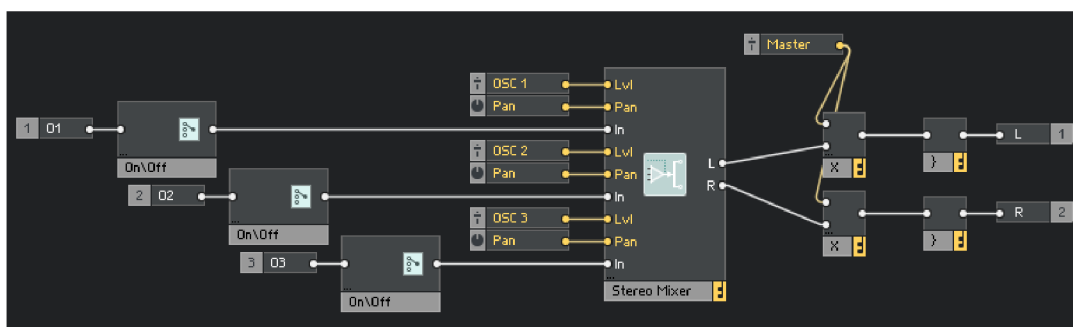
Umístění sekce mixeru je vybráno vpravo od ostatních, zaprvé, aby ji vizuálně oddělit a za druhé, protože fadery, které byly zvoleny pro nastavování úrovně oscilátoru jsou poměrně vysoké a vyžadují dostatek místa, jiné uspořádání by mohlo tak negativně ovlivnit celkový design nástroje. Nahoře je umístěn "Master" fader, který nastavuje celkovou výstupní úroveň. Dole pod ním jsou tři otáčejících regulátory pro nastavování panoramy jednotlivých oscilátorů. Dále jsou umístěné fadery pro nastavení úrovně oscilátorů a na končí jsou tři tlačítka pro zapínání nebo vypínání oscilátoru. V případě vypnutého oscilátoru signál je přerušen a zastaví se tak i příslušný sekvencer i přesto, že by byl zapnut, což graficky znázorní uživateli, že jednotka nefunguje a předejde tak zbytečným zmatkům.



Obr. 2.27: Vzhled sekce mixeru.

Technická část

Je použit modul "Stereo Mixer" ze standardní knihovny a následně vybaven ovládacími prvky a přepínači "Switch" pro možnost zapínání/vypínání jednotlivých oscilátorů. Pro nastavení panoramy jsou použité otáčející regulátory a pro nastavení úrovně — fadery. Pro nastavení panoramy pro každý oscilátor je zvolen rozsah od -100 do +100, což odpovídá úplně vlevo, resp. úplně vpravo. Pro nastavení úrovně rozsah od -100 do 0.



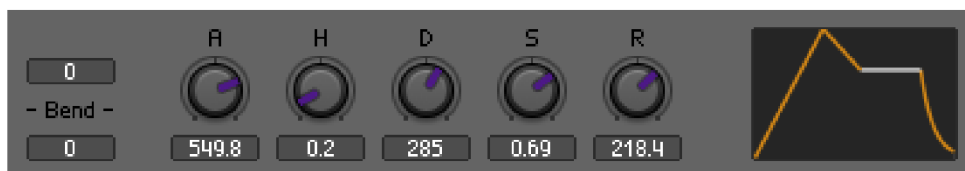
Obr. 2.28: Zapojení bloku Mixer.

2.1.6 EG

V rámci této práce byl použit a následně upraven generátor obálky typu AHDSR který je součástí standardní knihovny **Reaktor Primary** a nabízí několik dodatečných funkcí oproti běžnému ADSR, což je možnost nastavení ramena ohybu doby náběhu a přehledný displej.

Rozhraní a vzhled

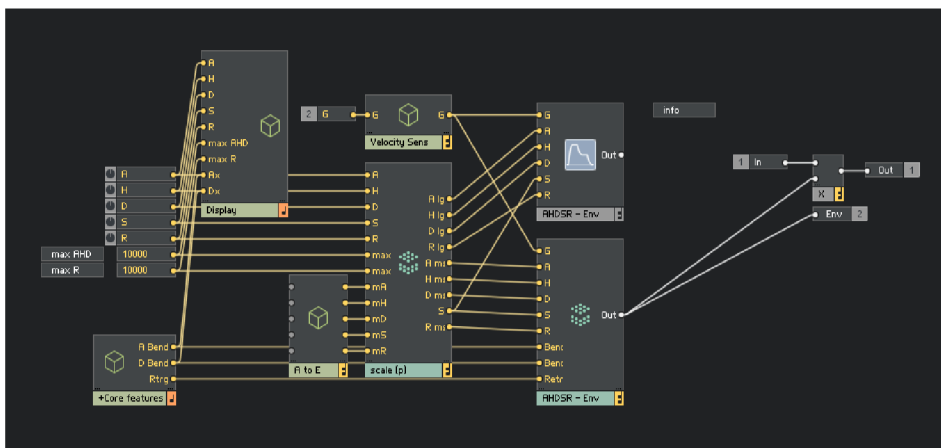
Po úpravě tento modul obsahuje 7 regulátorů, ze kterých 5 jsou "Attack", "Hold", "Decay", "Sustain", "Release" a dva "Bend" pro nastavení ramena ohybu "Attack". Pod každým z nich se ukazuje aktuální hodnota parametru. Vpravo od regulátorů je umístěn displej, který znázorňuje průběh obálky.



Obr. 2.29: Vzhled sekce generátoru obálky.

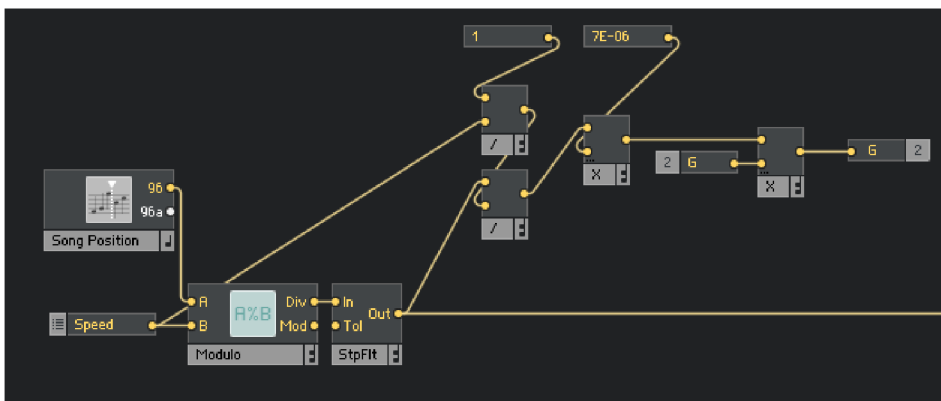
Technická část

Modul má poměrně složitou strukturu, která je zcela dána implementací funkčního displeje, modul AHDSR samotný je mnohem jednodušší pro návrh. Struktura byla navržena použitím pokročilejších knihoven a nástrojů **Reaktor Core Library**. Pro účely této práce se používá a je celkem postačující balíček a nástroje **Reaktor Primary**.



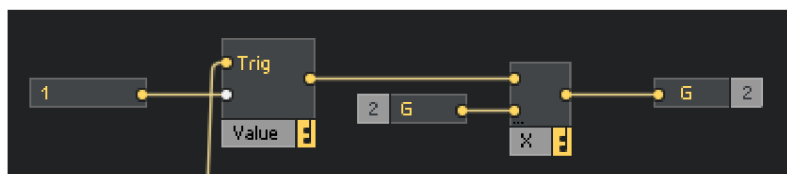
Obr. 2.30: Technická část generátoru obálky.

Ve většině realizací se v sekvenceru realizuje "Gate" pro nastavování hlasitosti každé nóty, účelem dané práce bylo navrhnout opravdu unikátní nástroj, proto se rozhodlo realizovat podporu sekvencerem nejen mikrotónálního ladění, ale i obálky pro každý krok. Zde došlo k problému, protože obálka má vliv na celý průběh, ne na každý krok zvlášť. Jinými slovy, generátor obálky se spustí v okamžik stisknutí klávesy na MIDI klávesnici, ale ne když se krokuje sekvence. V případě, že by sekvencer moduloval "Gate", nastavením Y-ové složky, měnila by se hlasitost každého kroku. Řešením bylo udělat odbočku ze signálu po filtraci kroků a přivést ji na vstup generátoru, tak lze dosáhnout spouštění obálky ve stejný okamžik, kdy dojde ke změně kroku. Avšak, kromě spouštění samotného dostanou se na vstup generátoru i velmi velké hodnoty, dojde k extrémnímu zkreslení a případnému poškození membrán reproduktorů. Dalším problémem bylo, že tyto hodnoty nejsou konstantní — mění se se změnou rychlostí běhu sekvence. Čím větší je rychlost — tím větší hodnota dojde na vstup generátoru. Experimentováním bylo nalezeno řešení, i když ne moc elegantní: Nejprve je potřeba udělat druhou odbočku ze signálu a to z výstupu modulu "List". Tím je zaručeno, že v okamžik, kdy se změní rychlost běhu sekvence, vždycky k dispozici bude tá aktuální hodnota. Následně jedničku je potřeba vydělit touto hodnotou — dostat obrácenou hodnotu. Dále výsledkem této operace vydělit hodnotu přicházející z modulu "Step Filter" a nakonec vynásobit konstantou $7 * 10^{-6}$. Táto hodnota byla určena experimentálně a byla zvolená tak, aby signál na výstupu generátoru obálky měl přijatelnou úroveň. Výsledná hodnota se pak vynásobí s "MIDI Gate" výstupem a pošle na vstup generátoru obálky.



Obr. 2.31: První realizace spouštěče obálky pro sekvencí.

Jak již bylo uvedeno, toto řešení není elegantní a proto v brzké době se našlo jiné: Stejně jako předtím se použije výstup "Step Filter", odtud se odbočí signál a přivede na modul "Value", kde se použije jako spouštěč. Posílat se, ale tentokrát bude konstanta s amplitudou "1" a bude k tomu docházet vždy v okamžik změny kroku sekvence. Řešení je ilustrované na obrázku 2.32.



Obr. 2.32: Elegantní řešení spouštěče obálky pro sekvencí.

2.1.7 Transponování

Závěrečným prvkem implementace nástroje se stala sekce "Tune", sloužící k transponování nebo rozladění oscilátorů vůči sobě, která přináší další možnosti pro tvorbu zajímavých tónů a ploch.

Rozhraní a vzhled

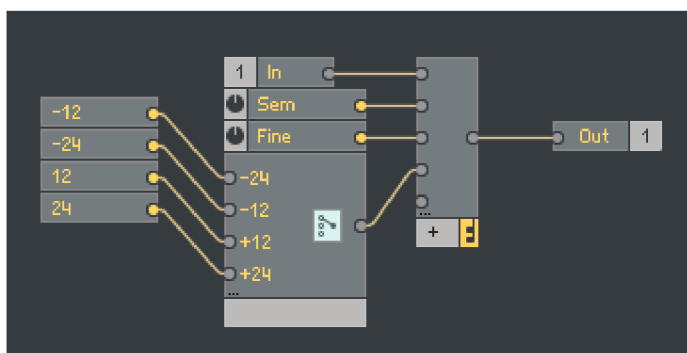
Modul nabízí jednoduché přepínače pro transponování v rozsahu dvou oktáv a dva potenciometry pro rozladění v rámci jedné oktávy, resp. jednoho půltónu.



Obr. 2.33: Vzhled sekce transponování.

Technická část

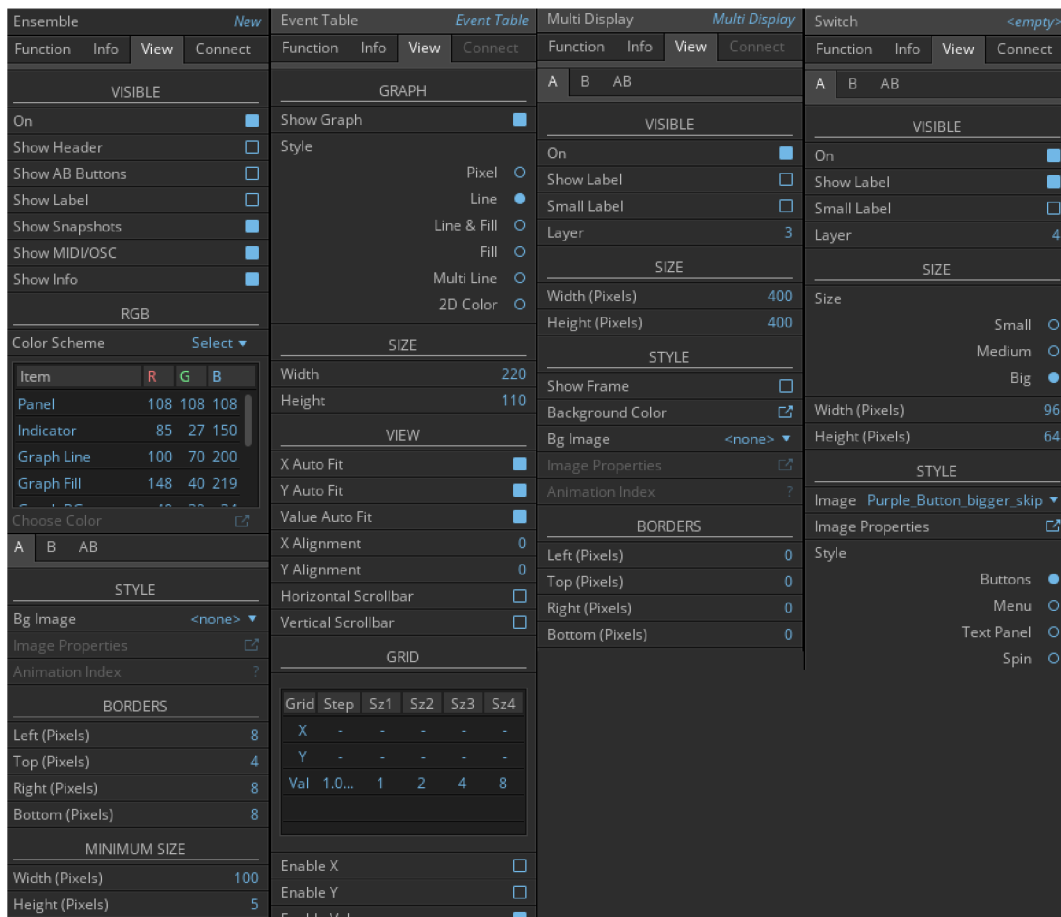
Pro implementaci se použije modul "Switch" a operace sčítání. Jednoduchým přidáním hodnot k signálu "Pitch" získanému z MIDI klávesnice, dojde ke změně výšky tónu na příslušnou hodnotu. Konstanty -12, -24, 12 a 24 sníží, resp. zvýší výslednou výšku tónu na oktávu nebo dvě. Otáčející regulátor "Sem" umožní nastavení výšky tónu v rámci jedné oktávy s krokem jeden půltón a "Fine" v rámci půltónu s krokem 1/100 půltónu, neboli cent. Výsledný signál s informací o výšce tónu se pošle na výstup a dál na vstup sekvenceru.



Obr. 2.34: Struktura modulu pro transponování.

2.2 Design nástroje

Reaktor disponuje velkým množstvím nastavení pro přizpůsobení vzhledu hoto-
vého nástroje vkusům vývojáře. Avšak tyto nastavení jsou omezené volbou předna-
stavených variant vzhledu jednotlivých prvků a jejich přemístěním, změnou barev
pro různé typy ovládacích prvků v paletě RGB a u displeje dodatečně výšku a šířku,
viz obrázek 2.35. S ohledem na výše uvedeně a záměrem navrhnout unikátní ná-
stroj nejen z pohledu vlastností a funkčnosti, ale i z pohledu interakce a ovládání,
přehledností bylo rozhodnuto navrhnout vlastní design.

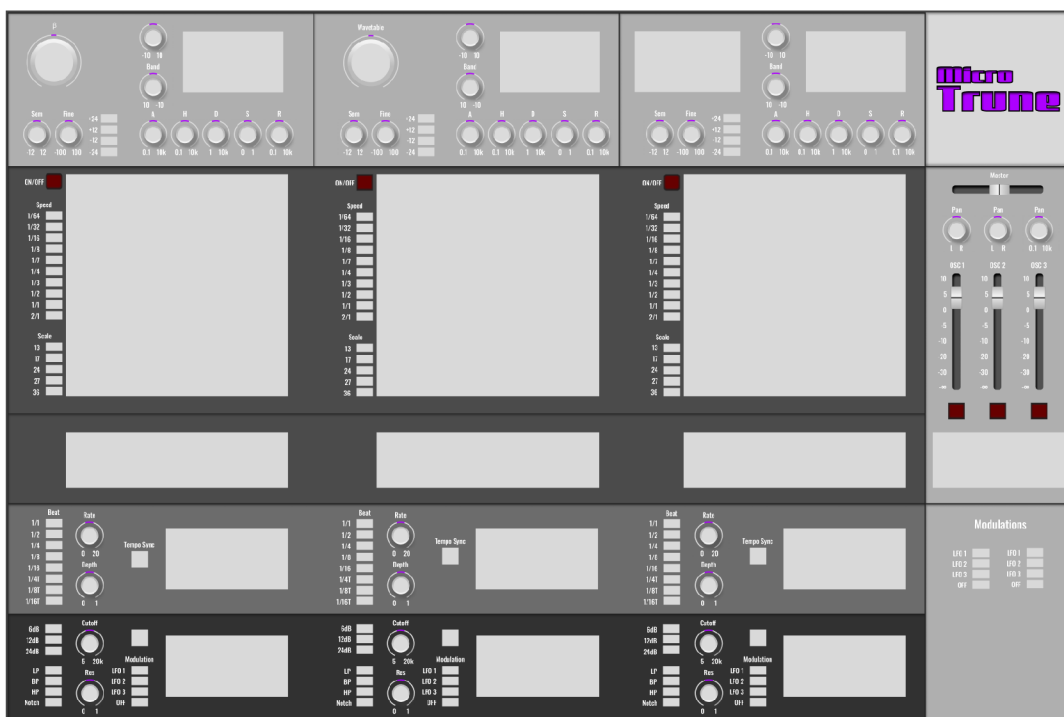


Obr. 2.35: Ukázka záložky "View" pro nastavování vzhledu celého projektu a vybraných modulů v prostředí Reaktor.

První myšlenkou bylo inspirovat se retro designem starších rackových nástrojů ve stylu Moog, ale po dokončení implementace tento nápad byl uznán za nevhodný, protože jednak by byl velmi náročný na návrh a vyžadoval schopností zkušeného designera a jednak by přidal ještě více vizuálních prvků na hotovém nástroji které by mohli působit na koncového uživatele jako matoucí a znepříjemnit jeho první dojem. Z těchto důvodů se rozhodlo navrhnout design ve stylu minimalismus. Pro návrh byly použité prostředí Figma, Adobe Photoshop a open source nástroj Knobman.

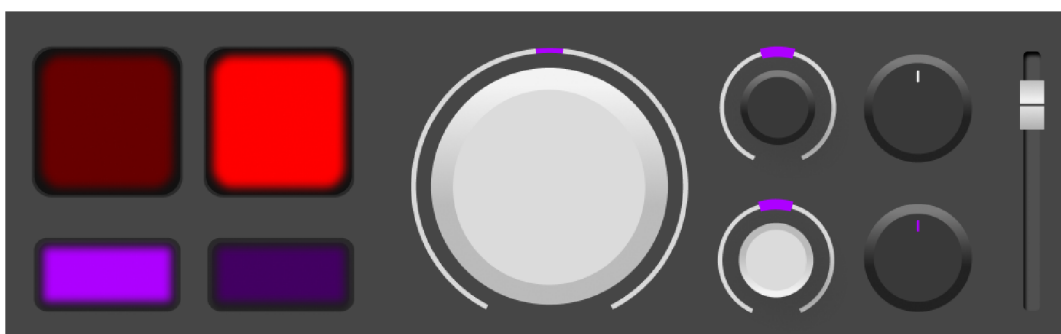
2.2.1 Návrh v prostředí Figma

Pro účely této práce se omezí na obecný popis důležitých prvků které byly navrženy a jejich přizpůsobení požadovanému formátu prostředí Reaktor.



Obr. 2.36: Návrh designu v prostředí Figma.

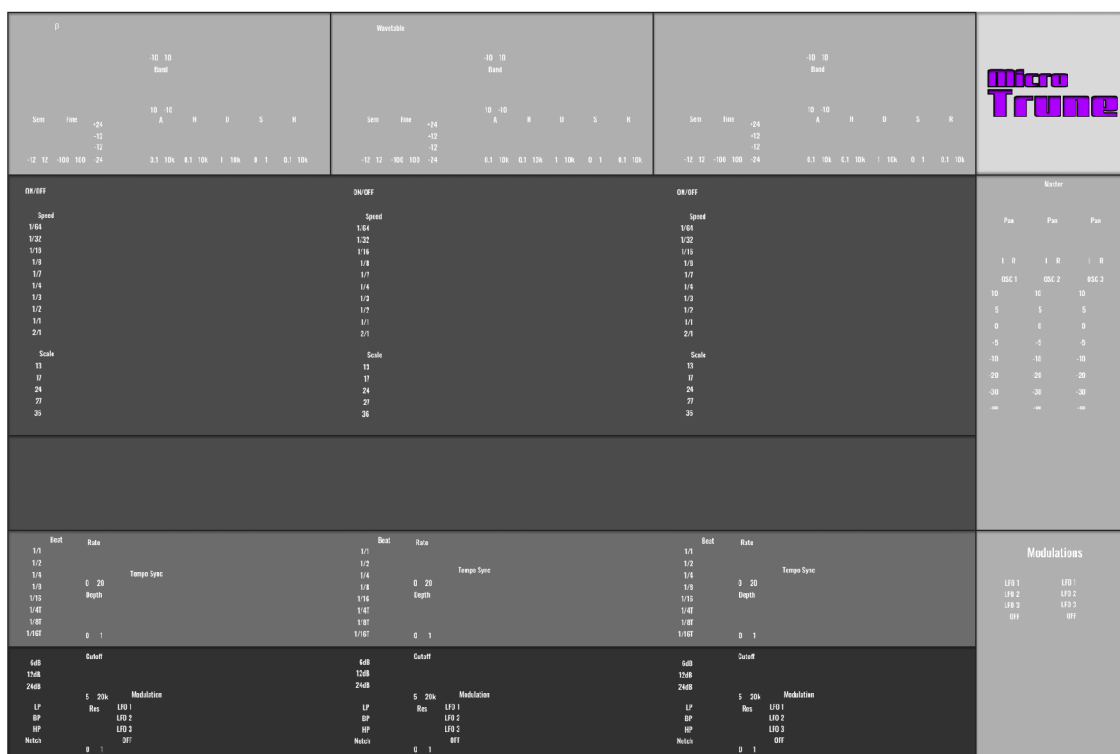
Technický v projektu jsou použité pouze čtyři typy ovladačích prvků: seznam "List", přepínač "Switch", regulátor "Control" a displej, který je grafickou představou modulů "Event Table" a "Multi Display". Každý z nich, s výjimkou displeje mají několik druhů představení. Modul "List" v grafické podobě může být představen jako seznam, vypadávající menu nebo posloupnost tlačítek, v daném projektu byla zvolena poslední možnost v případě každého použitého modulu. Výše uvedené stejně platí pro modul "Switch". "Control" může být představen jako potenciometr nebo fader, vodorovný nebo svislý.



Obr. 2.37: Návrh designu ovladačích prvků v prostředí Figma.

V prostředí Figma byly navrženy dva druhy tlačítek, z nichž každé má dva stavy — On/Off. Fialová se použili jako tlačítka pro přepínání parametrů, například rychlost běhu sekvence, transponování atd. a červená pro zapnutí a vypnutí jednotlivých sekcí. Následně byl navržen design faderu a několika druhů potenciometrů, velký pro ovládání oscilátoru, malý bílý pro různé parametry uvnitř sekcí a černý pro řízení parametrů obálky ADHSR, ukázka je znázorněna na obrázku 2.37.

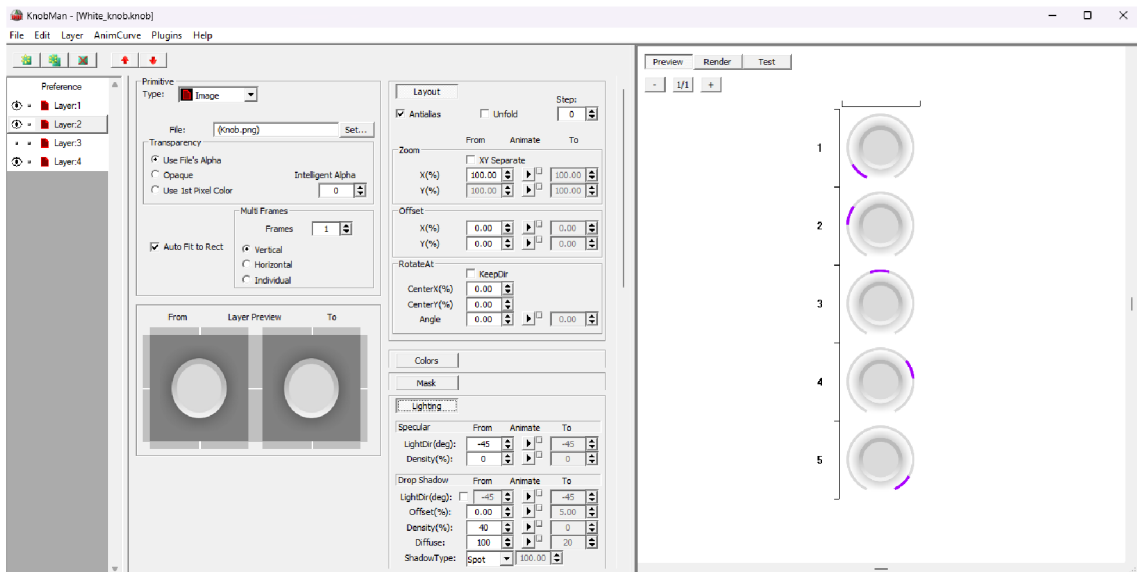
Pozadí je vizuálně rozděleno na několik sekcí zhora dolů: Oscilátory, sekvencery, LFO, filtry a vpravo sekce mixeru a modulace. I když nápad s retro designem nebyl zcela uplatněn, získal rozvoj ve smyslu rozdělení sekcí na imaginární rackové přístroje, dodatečně jsou oddělené bravami z jedné palety. Jelikož Reaktor nenabízí možnost nastavování velikostí a stylu písma ovládacích prvků, jediným možným řešením bylo předdefinovat je ještě na etapě návrhu designu pozadí. Tak bylo zvoleno minimalistické písmo "Oswald" a jeho velikost 12px, koncový vzhled pozadí je znázorněn na obrázku 2.38 níže.



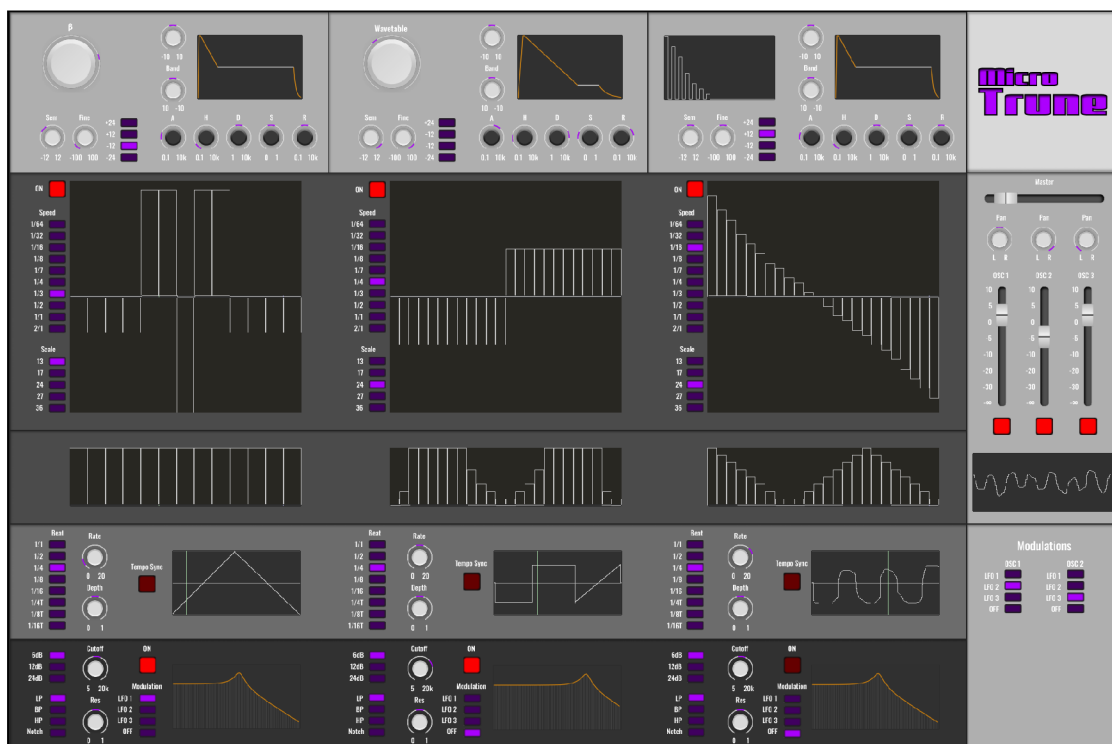
Obr. 2.38: Návrh designu pozadí v prostředí Figma.

Po návrhu následuje proces připravení souborů pro export. Ten zahrnuje vynesení všech potřebných prvků na vlastní vrstvu a výpočet požadovaných velikostí (rozlišení obrázků). Pro malé potenciometry bylo zvoleno rozlišení 50x50, pro velké 100x100, pro velké tlačítko 30x30 a pro menší — 30x20, tak aby zachovat odstupy.

Když soubory jsou vyexportované, je potřeba otevřít program Knobman, vytvořit potřebný počet vrstev a provést nastavení, které zahrnuje rozlišení výstupního souboru, počet snímků, stupeň oversamplingu a pro fialový indikátor v případě potenciometrů nastavit první a poslední snímek tak, aby při výsledném otáčení procházel cestou kružnice a nevycházel za hranice půlkruhu, průběžně snímky program vypočítá automaticky, obdobně je to pro fader. Nakonec se v speciální sekci přidají stíny, aby potenciometr měl "objemnější" vzhled. Pro tlačítka jsou požadované pouze dva stavy, resp. snímky — vypnuto a zapnuto.



Obr. 2.39: Prostředí Knobman. Na obrázku nastavení parametrů stínu pro malý bílý potenciometr.



Obr. 2.40: Finální vzhled syntezátoru.

2.3 Oblast použití a praktické zkušenosti

Pro spuštění a použití nástroje je nutné mít nainstalovaný program Reaktor, dostupný z oficiálních stránek výrobce Native Instruments. Na webu je také dostupná demo verze, která je omezená 30 minutami používání, poté je potřeba program restartovat a časovač se spustí znova. Program Reaktor je dostupný jako samostatná STANDALONE verze a VST plugin pro použití v DAW. Také existuje možnost spuštění syntezátoru nebo jiných nástrojů vyvinutých v prostředí Reaktor pomocí příbuzných programů a VST pluginů od společnosti Native Instruments, jako je Komplete a Maschine.

Po spuštění programu je potřeba otevřít soubor .ens nebo vybrat nástroj v seznamu dostupných nástrojů. Důležitým upozorněním je, že ke správné funkci je potřeba zapnout playback buď levým tlačítkem myši v horní části obrazovky nebo stiskem klávesy Space na klávesnici, bez toho jednotka sekvenceru není funkční.

Hlavní myšlenkou při návrhu bylo implementovat takový nástroj, který by nevyžadoval od uživatele dlouhého a náročného nastavení. Takhle ideologie se uplatnila nejen u návrhu oscilátorů a sekvenceru, ale i u každého modulu nástroje. Ideálně by uživatel měl rychle pootočit pár regulátorů u každého oscilátoru, rychle žádat myši

náhodnou sekvenci, zmáčknout notu nebo akord a okamžitě získat zajímavý tón. V případě, že by se uživatel chtěl vrhnout na pokročilejší sound design, bude mít k dispozici sekci ADHSR, která je součástí každé ze tří sekcí oscilátorů. Taktéž může využít sekce LFO pro modulace výšky tónu prvních dvou oscilátorů nebo filtru. Pro subtraktivní syntézu potom má k dispozici sekci VCF, kde může zvolit typ filtru, rychlost poklesu atd. Opravdu zajímavé tóny a textury lze získat v případě nastavení polyrytmických sekvencí a dodatečnému rozladění oscilátorů vůči sobě. Další výhodou je to, že se nástroj nemusí použít jako mikrotónální a jako sekvencer celkově, může to být užitečné v případě, že by uživatel chtěl vytvořit klasičtější patch, stačí jen vypnout jednotku sekvenceru. Přínosné je i to, že syntezátor se dá použít jako VST plugin a následně zpracovat efekty, například reverbem nebo delayem.

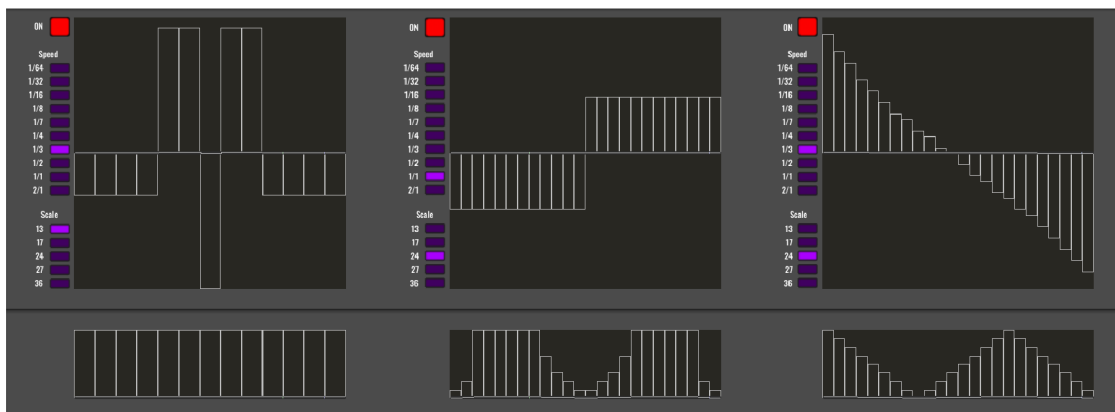
2.3.1 Přehled funkce

Veškerá interakce s syntezátorem je prováděna přemístěním kurzoru myši a stiskem levého tlačítka. Nahoře nástroje je umístěna sekce oscilátoru viz obrázek 2.41. Nastavení prvních dvou oscilátorů se provádí otočením potenciometrů s nadpisem "Beta" a "Wavetable". V prvním případě se mění stupeň zkreslení sinusové vlny a v druhém se plynulě nastavuje průběh od šumu do sinusové vlny. Třetí oscilátor je aditivní a mění svůj tón v závislosti na počtu a poměru harmonických složek, které se zadávají myši na displeji. Dole od oscilátorů jsou umístěné potenciometry pro rozladění a transponování v rozsahu \pm dvě oktávy. Vpravo — displej pro AHDSR a řídicí potenciometry.



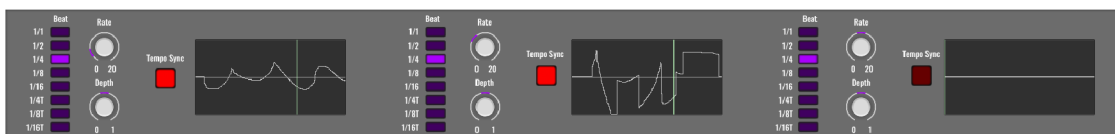
Obr. 2.41: Sekce Oscilátorů.

Níže je umístěna sekce sekvencí, kde uživatel může pozorovat tři displeje, každý patří oscilátoru umístěnému nad ním a ještě tři displeje níže pro nastavení úrovně jednotlivých kroků. Na displeji výška sloupce odpovídá výšce tónu v rámci jedné oktávy s mezí kroky určené zvolenou stupnicí. Číslo sloupce odpovídá kroku sekvence. Vlevo od hlavních displejů jednotku sekvenceru je možné vypnout a také nastavit rychlost sekvence a zvolit stupnici.



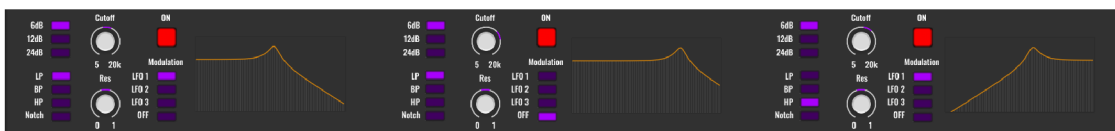
Obr. 2.42: Sekce Oscilátorů.

Dále následuje sekce LFO, kde je možné zvolit beat, v případě zapnutého parametru Tempo Sync anebo přímo nastavit frekvence LFO od 0 do 20 Hz a hloubku modulace od 0 do 1. Průběh se kreslí myši na displeji. Pro kreslení přímky je potřeba držet klávesu "Shift" a spojit dva body na obrazovce přemístěním myši, v případě, že je potřeba nakreslit obdélníkový tvar —stejným způsobem se dá použít klávesu "Ctrl".



Obr. 2.43: Sekce LFO.

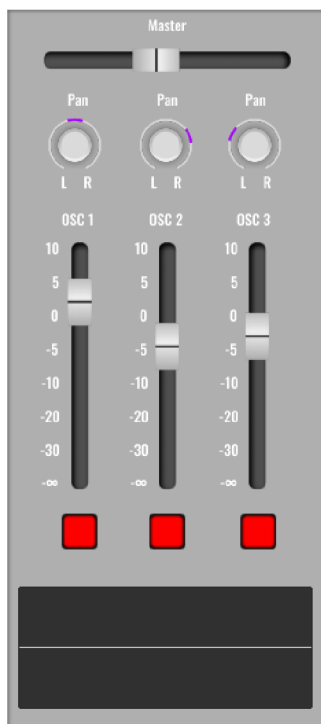
Dolu je umístěna sekce filtrů, kde je možné zvolit typ filtru, rychlost poklesu, mezní frekvenci, nastavit rezonance a případnou modulaci jedním z LFO. Ovládání je také možné pomocí myši přímo na displeji.



Obr. 2.44: Sekce VCF.

Poslední sekcí v řetězci je sekce mixeru, kde se všechny oscilátory smíchají do stereo signálu a uživatel je schopen nastavit úroveň a panoramu každého oscilátoru a výslednou úroveň, nebo vypnout jednotlivé oscilátory pomocí tlačítek. Níže je

umístěn displej který vždy ukazuje výstupní průběh signálu. Pod sekci mixeru jsou umístěné přepínače pro případnou modulaci výšky tónu prvních dvou oscilátorů.



Obr. 2.45: Sekce mixeru.

2.3.2 Použití presetů

Jednou z důležitých vlastností MicroTrune je možnost pohodlného ukládání a vyvolání presetů. V prostředí Reaktor presety mají název "Snapshots", neboli snímky. Po nastavení požadovaného patche nástroje musí uživatel zapnout režim editace stisknutím příslušné klávesy v levém horním rohu obrazovky. Ukládání se provede v záložce "Snapshots", ve stejném místě lze presety z paměti vyvolat, avšak lze tak učinit, aniž by uživatel musel režim editace vůbec zapínat, slouží k tomu speciální menu nahoře uprostřed obrazovky.

2.4 Dosažené výsledky

V rámci semestrální práce byl uveden následující seznam funkcí, které bylo v plánu realizovat v rámci navazující bakalářské práce:

- **Presety** — možnost ukládání/vyvolání presetů patche a presetů stupnic.
- **OSC 3** — třetí unikátní oscilátor s možností additivní syntézy;

- **Gate** — možnost nastavení hlasitosti pro každý krok sekvence;
- **ARP** — arpeggiator, který přinese další dimenzi pro sound design a umožní hrát ještě složitější textury;
- **Přepínače** — větší prostor pro nastavení routingu signálu pro koncového uživatele;
- **Filtry** — sekce filtrů, možnost poslat signál z oscilátoru na filtr;
- **Modulace** — možnosti modulace oscilátoru a filtru pomocí **LFO/ENV**;
- **Design** — použitím grafických editorů navrhnout "retro" design ve stylu analogových zařízení z minulého století.

Shrnutím této práce lze říct, že všechny naplánované funkce s výjimkou arpeggiátoru a retro designu byly realizované v plné míře. Modul arpeggiátoru bylo vyřešeno vynechat z důvodu zlepšení přehlednosti a pohodlí použití, částečně jeho funkci splňuje sekvencer a v případě použití obou modulu by mohlo dojít k neočekávanému chování syntezátoru a zbytečnému pocitu chaosu, náhodnosti. Představa o designu se změnila také kvůli snaze zlepšení vjemu uživatele, podrobnější popis v kapitole 2.2.

V praxi se syntezátor ukázal jako velmi zajímavý a intuitivní na ovládání. Z pohledu výstupního zvuku umožní získat velmi složité a hluboké zvuky jednoduchým způsobem. Při určitém nastavení může produkovat velmi komplexní podklady, tak, že jeden nebo dva oscilátory a sekvencery budou použité jako generátory bicích a zbývající pro texturu. Největší uplatnění daný nástroj by mohl získat v oblastí sound designu a takových žánrech elektronické hudby jako je Hip Hop LO-FI, EDM, Synthwave, Trap, Pop a dalších. Také by se nástroj mohl uplatnit při skládání hudby pro filmy, počítačové hry a komerční videa.

2.5 Další vývoj

V rámci této práce byly navržené a implementovány všechny podstatné části nástroje, ale syntezátor má potenciál pro budoucí vývoj a níže následuje seznam funkce které by mohli ještě silněji rozšířit možnosti uplatnění nástroje:

- **Sekce efektů** — možnost volby a nastavení takových efektů jako Reverb, Delay, Chorus, a dalších;
- **Složitější modulace** — více zdrojů modulace, více možných parametrů pro modulaci;
- **Uspořádání filtrů** — možnost volby uspořádání filtrů, sériově nebo paralelně, možnost použití jednoho filtru pro více oscilátorů;
- **Možnost vytvářet vlastní stupnice**;
- **Nastavení delky sekvence**.

Závěr

Záměrem této bakalářské práce je návrh a implementace hudebního syntezátoru s možností mikrotónálního ladění, ukládání a volby presetů. V rámci dané práce byly probrané teoretické poznatky potřebné k implementaci. Krátce byla zmíněná historie syntézy a syntezátorů, jelikož je důležitá pro pochopení problematiky a zásadních myšlenek při vývoji. Dále následoval popis jednotlivých složek a řídicích prvků syntezátoru důležitých pro jeho funkčnost, popis prostředí pro vývoj a zásady jeho fungování.

V rámci praktické části byl navržen plně funkční nástroj, který dostal název MicroTrune a realizované následující jeho jednotky: mikrotónální sekvencer s možností volby mikrotónální stupnice a nastavení úrovně každého kroku, tři unikátních oscilátory, součástí každého je obálka typu AHDSR, sekce filtrů, sekce nízkofrekvenčních oscilátorů pro modulace, sekce mixeru a přepínače pro zapnutí nebo vypnutí jednotlivých funkcí. V rámci práce byl také vyvinut minimalistický design nástroje tak, aby byl příjemný a pohodlný pro koncového uživatele a shodoval s moderními trendy syntezátorů. Následně byly popsány unikátní vlastnosti nástroje, způsob jeho použití, potřebný k tomu software a možné uplatnění. Nakonec byly prověřeny dosažené výsledky a určen směr možného následujícího vývoje nástroje a možnosti jeho vylepšení. V praxi se nástroj ukázal jako intuitivní a jednoduchý na ovládání, umožňuje získávat velmi složité mnohoúrovňové tóny za pouhé sekundy a v kombinaci s efekty jako je reverb nebo delay může se použít jako jediný za účelem tvorby podkladů pro hru, film nebo video.

Literatura

- [1] Simple Wikipedia. *Wikipedia* [online]. [cit. 2022-10-11]. Dostupné z: <https://simple.wikipedia.org/wiki/Synthesis>.
- [2] Yevhenii Elineckii. *Soundmaster* [online]. [cit. 2022-10-11]. Dostupné z: https://soundmaster.ua/blog/post/sintezator_chno_eto_blog.
- [3] Red Bull. *redbull.com* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://www.redbull.com/ru-ru/synth-history-1>.
- [4] Alexander Luchkov. *Dynatone* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <https://dynatone.ru/istoriya-sintezatorov>.
- [5] Adam Douglas. *reverb.com* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <https://reverb.com/news/10-types-of-synthesis>.
- [6] *Digital music academy* [online]. [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://digitalmusicacademy.ru/lesson-additive-synthesis>.
- [7] PUCKETTE, M. *Theory and Techniques of Electronic Music*. World Scientific, 2006. 337 s. ISBN 9789812700773. [online]. [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <http://msp.ucsd.edu/techniques/latest/book-html/>.
- [8] Raul Pena. *youtube.com* [online]. [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=-kyQV1CEpIQ>.
- [9] Aleksey Danilov. *synthmusic.ru* [online]. [cit. 2022-10-12]. Dostupné z: <http://synthmusic.ru/articles/synthesistypes/analogmodeling/>.
- [10] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. *San Francisco (CA): Wikimedia Foundation*. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Temperovan%C3%A9_lad%C4%9Bn%C3%AD.
- [11] Native Instruments. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. *San Francisco (CA): Wikimedia Foundation*. [cit. 2022-11-24]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Reaktor>.
- [12] Native Instruments. *Reaktor Manual* [online]. [cit. 2022-11-14]. Dostupné z: <https://www.native-instruments.com/en/products/komplete/synths/reaktor-6/downloads/>.
- [13] Electronics tutorials. *Electronics tutorials* [online]. [cit. 2022-12-5]. Dostupné z: <https://www.electronics-tutorials.ws/oscillator/oscillators.html>.

Seznam symbolů a zkratek

- ADHSR** obálka. A — attack, neboli doba náběhu, D — decay, doba útlumu, H — hold, doba po kterou se signál udrží, S — sustain, udává velikost signálu při držení klávesy, R — release, doba uvolnění po spuštění klávesy;
- OSC** oscilator, neboli generátor průběhu signálu;
- EG** envelope generator, generátor obálky;
- ENV** envelope, obálka;
- LFO** low frequency oscillator, oscilátor nízkých kmitočtů, obvyklé se nachází pod slyšitelným pásmem, tj. pod 20 Hz. Používá se jako zdroj modulace;
- SEQ** sekvencer;
- CLK** clock, hodiny. Zdroj oscilace, ve většině případů používaný pro synchronizaci zařízení/modulů;
- Preset** snímek aktuálního stavu, který lze v libovolný okamžik vyvolat z paměti přístroje nebo programu;
- DSP** Digital Signal Processor, specializovaný signálový procesor.
- DAW** Digital Audio Workstation, digitální hudební, nebo produkční software, počítačový program určený pro nahrávání a zpracování hudby