

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 18: Informatika

Modulace zvuků na analogovém syntezátoru a jejich využití při tvorbě

Autor: Kristian Major

Škola: Gymnázium Brno, Křenová, příspěvková organizace,
Křenová 304/36, 602 00 Brno

Kraj: Jihomoravský kraj

Vedoucí práce: Mgr. Zdeněk Kadeřábek, Ph.D.

Brno 2022

Anotace

Má práce se zabývá tvorbou zvuků pomocí syntezátoru a samotným pojmem syntezátor. Zkoumá barevnost zvuků, jejich vlastnosti a způsob využití při hudební tvorbě. Zahrnuje stručnou historii syntezátorů a také popis jejich stavby a fungování. Seznamuje nás s principem ovládání syntezátorů na konkrétním příkladu (Moog Subsequent 25). Poukazuje na znění zvukových vln na základě jejich vlastností a toho, jak jsou ovlivněny jednotlivými komponenty syntezátoru. Závěr práce tvoří praktický výstup ve formě krátké hudební nahrávky.

Klíčová slova

zvuk; syntezátor; zvuková syntéza; zvukové vlnění; Moog; hudba

Seznam použitých zkratek a pojmů

FM – Frekvenční modulace

VCO – Tónový generátor (Voltage Controlled Oscillator)

VCF – Filtr (Voltage Controlled Filter)

VCA – Řízený zesilovač (Voltage Controlled Amplifier)

EG – Obálkový generátor (Envelope Generator)

LFO – Pomaloběžný generátor (Low Frequency Oscillator)

overdrive a distortion – formy zpracování zvukového signálu, obvykle dávají zvuku „rozmazaný“, „vrčivý“, nebo „hrubý“ nádech

knob – otočný ovladač

MIDI – mezinárodní standard používaný v hudebním průmyslu jako elektronický komunikační protokol (Musical Instrument Digital Interface)

DAW – hudební software (Digital Audio Workstation)

patch – předvolba nastavení pro syntezátor

AMT – množství (amount)

sample and hold – procesor času, který pravidelně na chvíli „zmrazí“ vstupní úroveň, takže výstup je krokový

plug-in – rozšiřující software, který ke svému chodu potřebuje určitý mateřský software

BPM – údery za minutu (beats per minute)

fade-out – postupné ubírání hlasitosti skladby

Obsah

1. ÚVOD	6
2. TEORETICKÁ ČÁST	7
2.1 Co je to syntezátor?	7
2.2 Stručná historie	7
2.3 Zvuková syntéza	8
2.3.1 Součtová syntéza (aditivní)	8
2.3.2 Rozdílová syntéza (subtraktivní)	9
2.3.3 FM Syntéza (frekvenční modulace)	10
2.4 Stavba analogových syntezátorů	11
2.4.1 Klaviatura	12
2.4.2 Tónový generátor (oscilátor)	12
2.4.3 Filtr	14
2.4.4 Obálkový generátor	14
2.4.5 Pomaloběžný generátor	15
2.4.6 Řízený zesilovač	15
2.5 Moog Subsequent 25	16
2.5.1 Ovládání	16
3. PRAKTICKÁ ČÁST	22
3.1 Příprava	22
3.2 Modulace basového zvuku	24
3.2.1 Zvuk oscilátoru 1	24
3.2.2 Zvuk oscilátoru 2	24
3.2.3 Nahrávání jednotlivých složek zvuku a jejich charakteristika	25
3.2.4 Uložení presetu	30
3.3 Modulace zvuku o vyšší frekvenci s vlivem modulace	31
3.3.1 Zvuk oscilátoru 1	32
3.3.2 Zvuk oscilátoru 2	32
3.3.3 Modulační vlna	32
3.3.4 Nahrávání jednotlivých složek zvuku a jejich charakteristika	33
3.3.5 Uložení presetu	35
3.4 Modulace perkusových zvuků	36
3.4.1 Kopák	36
3.4.2 Virbl	37
3.5 Tvorba hudební nahrávky	38

3.5.1 Melodie basového zvuku	39
3.5.2 Melodie vyššího zvuku s vlivem modulace	40
3.5.3 Rytmus kopáku	41
3.5.4 Rytmus virblu	42
3.5.5 Sestavení výsledné kompozice	43
4. ZÁVĚR	45

1. ÚVOD

V dnešní době máme k dispozici nespočet hudebních skladeb, ať už se jedná o jakýkoliv žánr. Každému se líbí něco jiného a každému uchu lahodí něco jiného. Můžeme však bezesporu říct, že v hudební tvorbě ukazují umělci svou kreativitu ve všech možných ohledech. Mezi aspekty, které tvoří originalitu a poutavost skladby, bychom mohli zařadit i volby daných zvuků.

Hudební skladby dnes nemusí být vytvářeny jen za pomoci tradičních nástrojů, jako je například klavír, kytara, basa, či bubny. Ve většině současných skladeb nalezneme syntezátory. Právě touto tematikou se bude má práce zabývat. Budeme objevovat, co vše se dá na syntezátoru vymodelovat, objevovat různé barvy zvuků, zkoumat jejich vlastnosti a pozorovat vliv jednotlivých funkcí syntezátoru na výsledný zvuk. Cílem je si ukázat, jak tento hudební nástroj vlastně funguje a jak ho můžeme využít.

Práce je určena převážně pro začínající hudebníky, kteří určitým způsobem ovládají základní znalosti hudební produkce, a kteří mají alespoň nějakou zkušenost s hudebním softwarem. Převážně v praktické části jsou však jednotlivé postupy vysvětleny tak, že i člověk, který je tímto tématem zcela nepolíbený, by měl všemu porozumět a také by měl být schopen dojít ke stejnému výsledku bez ohledu na jeho dosavadní zkušenosti.

2. TEORETICKÁ ČÁST

V této části práce se seznámíme se samotným pojmem syntezátor. Stručně probereme historii tohoto nástroje, vysvětlíme si principy, na kterých funguje a z čeho se skládá. Později se také seznámíme s konkrétním příkladem, se kterým budeme pracovat v praktické části. Povíme si, jak s tímto nástrojem zacházet a to poslouží k následnému modulování a zkoumání zvuků.

2.1 Co je to syntezátor?

Jedná se o elektronický hudební nástroj, který generuje zvukové signály pomocí různých typů zvukové syntézy. Umožňuje nám tyto zvuky modelovat a tvarovat do různých podob. Na syntezátory se většinou hraje pomocí kláves, ale také mohou být ovládány sekvencem, softwarem, nebo jiným nástrojem. V dnešní době existují kromě fyzických (hardwarových) syntezátorů také softwarové, které jsou řízeny počítačem. [2]

2.2 Stručná historie

Počátky elektronických hudebních nástrojů sahají do začátku 20. století, kdy byla elektřina již celosvětově dostupná. Za úplně první předchůdce syntezátorů považujeme Telharmonium, Trautonium, Ondes Martenot a theremin. [4]

Na konci 30. let minulého století byl poté vynalezen nový nástroj z dílny Laurence Hammonda. Ten byl poháněn 72-mi řízenými zesilovači a 146-ti elektronkami. [4]

V roce 1957 přišel Harry Olson s nástrojem, který už se strukturou podobá dnešním modelům. RCA Mark II Sound Synthesizer byl první programovatelný elektronický syntezátor s filtry a modulátory. Mark II také přináší sekvencer umožňující hrát přesné rytmy, které se složitě interpretují na akustických nástrojích. Tím si získal zájem u spousty hudebníků. Bohužel byl však nedostupný pro veřejnost, kvůli své ceně 175 tisíc dolarů. [4]

O několik let později však tento problém řeší Robert Moog a přináší na trh svůj syntezátor s názvem Minimoog. Ten byl na trh uveden v roce 1970, stál pouhých 1500 dolarů a dodnes je považován za ikonický model. Ve své tvorbě ho používali například ABBA, Pink Floyd, Michael Jackson, Depeche Mode, Kraftwerk nebo The Prodigy. [2, 4]

Poté co se Minimoog, jako historicky první syntezátor, který obsadil regály obchodů s hudebními nástroji, začal prodávat, vznikaly nové firmy na výrobu syntezátorů (například ARP v USA, nebo EMS ve Velké Británii). Zpočátku byly syntezátory pouze monofonycké. S příchodem digitální revoluce v období 70. - 80. let však vznikala spousta nových polyfonických syntezátorů, jako je například Yamaha CS-80 (1976), Obreheim OB-X (1979), Prophet-5 (1978), Roland Jupiter 4 a Jupiter 8 (1978 a 1981). [4]

Výjimečnou roli sehrál syntezátor Yamaha DX7 (1983) navržený Johnem Cowningem. Ten jako první funguje na bázi frekvenční modulace. Do hudebního světa tak přinesl celou novou paletu zvuků a zaslouženě tedy sklidli velký komerční úspěch. [2]

2.3 Zvuková syntéza

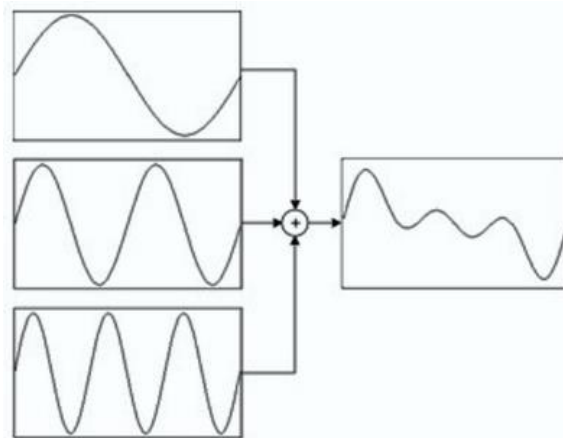
Jak již bylo řečeno, syntezátory generují zvuk prostřednictvím různých forem zvukové syntézy, která se zabývá řízeným vznikem zvuku. Tímto pojmem rozumíme libovolný proces vedoucí k vytvoření předvídatelného, ale i nepředvídatelného zvuku. Z tohoto tvrzení můžeme soudit, že existuje neomezené a snad i nesystematizovatelné množství způsobů, jak zvuk vytvořit, či generovat signál, který se jako zvuk dá interpretovat. Mimo syntézy, které jsou všem známé a jsou nejvíce rozšířené, existuje obrovský počet druhů syntéz. Ty jsou matematicky nebo myšlenkově zajímavé, ale nenašli své využití v praxi. Budeme se tedy zabývat pouze těmi, které efektivně naplňují záměr syntézy. [1, 2, 8]

2.3.1 Součtová syntéza (aditivní)

Tento typ syntézy patří k nejstarším a v minulosti také k nejužívanějším způsobům generování zvukového signálu. Zvukovou vlnu, stejně jako jakoukoliv jinou, můžeme rozložit na jednotlivé sinusové složky. Z toho plyne, že zpětným způsobem se dá ze sinů sestavit jakýkoliv zvuk. Nemusí se vždy jednat o sinusové vlny, ale většinou tomu tak je. Princip aditivní syntézy je tedy založen na součtu jednoduchých signálů, v nejběžnějším případě, sinusového průběhu. Vše se dá vyjádřit pomocí Fourierovy funkce, která nám vyjadřuje periodický průběh všech složených (sečtených) sinusových signálů. Pro tuto funkci platí

$$f(t) = \sum_{k=1}^N A_k \sin(\omega_k t + \varphi_k)$$

kde A_k představuje amplitudu, ω_k úhlovou frekvenci a φ_k fázi k -té složky tónu při počtu složek N . Aby se vystihla proměnlivost signálu, bylo by nutné vyjádřit všechny proměnné k -té složky jako funkci času. Sinusové složky syntézy nazýváme operátory a jejich počet není omezen. Příklad složek aditivní syntézy můžeme vidět na Obr. 1.

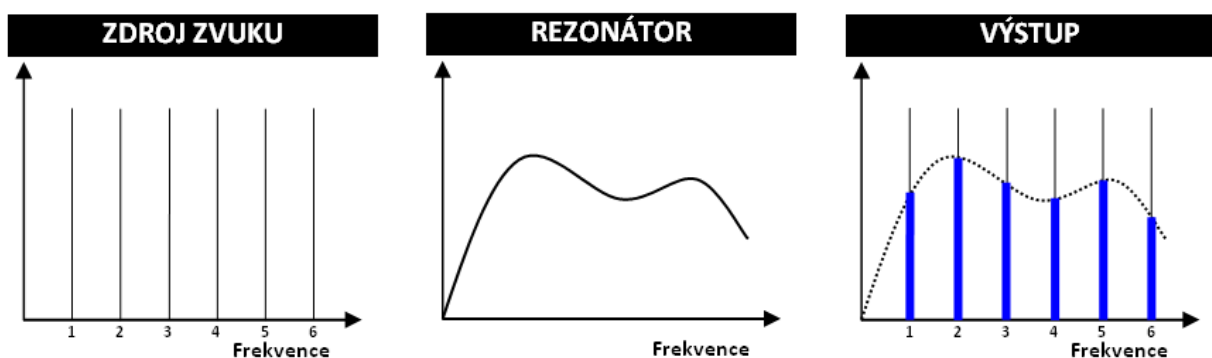


Obr. 1: Schéma součtové syntézy [3]

Ačkoliv je aditivní syntéza nejpreciznější typ, není dnes komerčně rozšířena. Hudebník při této metodě sice má neustálou kontrolu nad celým procesem, ale je třeba velké úsilí pro dosažení konkrétního cíle (potřebujeme velmi vysoký počet operátorů). Aditivní syntéza se používala hlavně v minulosti, například v Telharmoniu nebo Hammondových varhanách. V dnešní době nám tuto metodu usnadňují výpočetní techniky, ale přesto tento koncept nepřináší dostatečné hudební uspokojení. [1, 3]

2.3.2 Rozdílová syntéza (subtraktivní)

Rozdílová syntéza, někdy též označována jako analogová, je na rozdíl od předchozí metody jedna z neúspěšnějších a nejrozšířenějších. Svoji popularitu získala svou jednoduchostí a vysokou zvukovou účinností. Princip je založen na řízené filtraci signálu, to znamená, že nevznikají žádné nové složky signálu, ale ty stávající jsou pouze potlačeny nebo naopak zvýrazněny. Nejdříve vygenerujeme harmonicky bohatý signál, ze kterého pak pomocí filtrů odečteme určité frekvence. Tímto způsobem dostaneme požadovaný zvuk, viz Obr. 2.



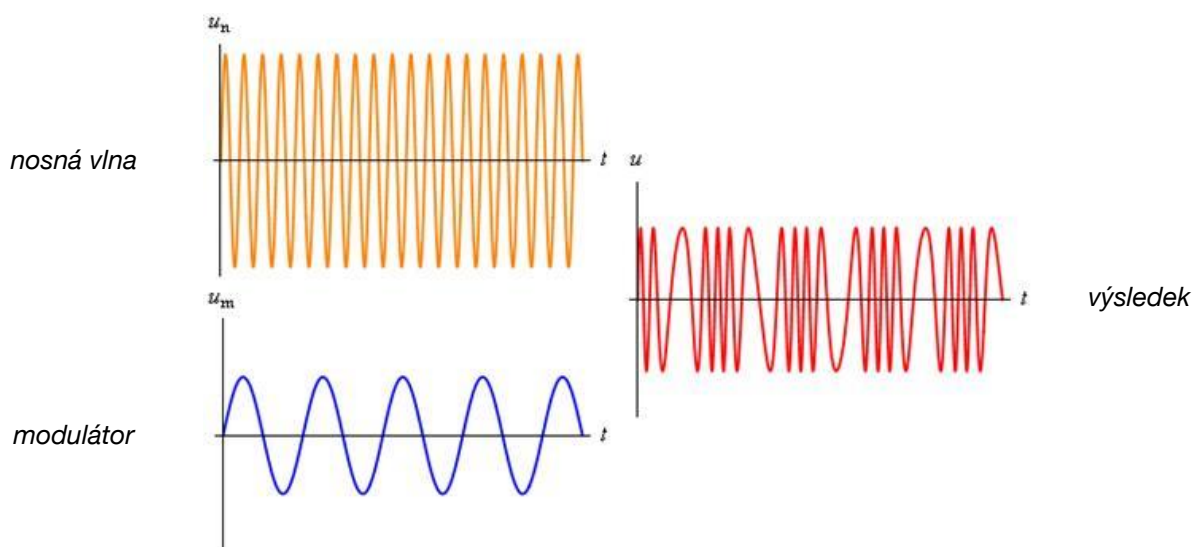
Obr. 2: Rozdílová syntéza [1]

Tento generovaný signál může mít obdélníkový, pilový nebo trojúhelníkový tvar. Použijeme-li generátor šumů, pak můžeme generovat bílý nebo růžový šum.

Jelikož má většina moderních nástrojů, které využívají rozdílovou syntézu, alespoň 2 oscilátory, můžeme tyto signály navzájem kombinovat a tím dostaneme širokou škálu zvukových barev. Vzhledem k principu filtrace nás však tato metoda omezuje v tvorbě úplné množiny zvuků, a tak bývá rozdílová syntéza kombinována s dalšími metodami, například s frekvenční nebo amplitudovou modulací. Na principu rozdílové syntézy dnes funguje drtivá většina syntezátorů dostupná na trhu. Patří mezi ně i model Moog Subsequent 25, který budeme využívat v praktické části. [1, 3]

2.3.3 FM Syntéza (frekvenční modulace)

K vytvoření FM syntézy jsou zapotřebí minimálně dva oscilátory, přičemž frekvencí jednoho signálu modulujeme druhý signál (jeho frekvenci). Schéma této syntézy můžeme vidět na Obr. 3. Obvykle používáme jednoduché, klasické druhy vln (sinus, obdélník, pila, trojúhelník). Během tohoto typu syntézy vznikají nové harmonické složky úměrné součtům a rozdílům přítomných frekvencí, které se přidávají k původnímu nosnému signálu.

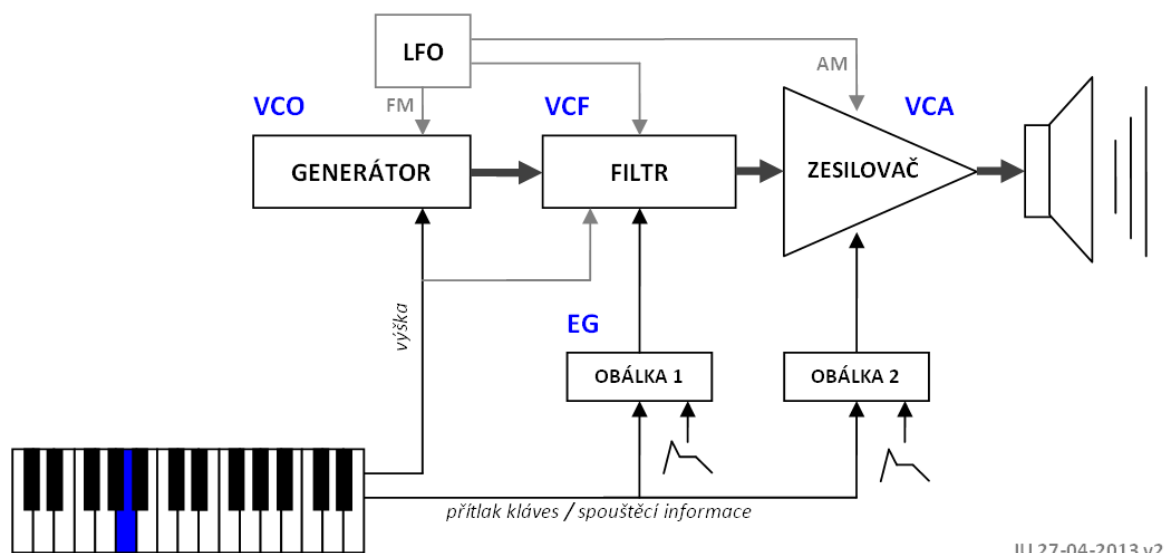


Obr. 3: Syntéza frekvenční modulací [3]

Další rozšíření získáme, budeme-li modulovat i modulátor. Ten může pomocí zpětné vazby modulovat i sám sebe. Oproti rozdílové syntéze není frekvenční syntéza omezena pevnou harmonickou strukturou. Syntezátor využívající tuto syntézu může obsahovat desítky oscilátorů, které lze libovolně propojit mezi sebou. Frekvenční modulace je vhodná pro různé efekty a ruchy, například zvuky zvonů. [1, 2, 3]

2.4 Stavba analogových syntezátorů

V této kapitole si obecně popíšeme, z jakých komponentů se skládají analogové syntezátory. To jsou ty, které fungují na bázi subtraktivní (rozdílové) syntézy. Pro lepší pochopení nejdříve popíšeme jednoduchý analogový syntezátor a poté aplikujeme své znalosti na konkrétní model - Moog Subsequent 25, se kterým budeme dále pracovat.



Obr. 4: Schéma blokového zapojení jednoduchého syntezátoru [1]

Na Obr. 4 je zobrazeno blokové schéma jednoduchého subtraktivního syntezátoru. I když se jedná o nejzákladnější zapojení, nedochází zde pouze k subtraktivní syntéze, proto je zde pojem subtraktivní syntezátor trochu nepřesný. Generátor může být složen z více nezávislých oscilátorů, což je princip aditivní syntézy. Nízkofrekvenční oscilátor LFO zde zase pracuje na principu FM syntézy. S čistou realizací pouze jedné metody zvukové syntézy se setkáme jen zřídka v demonstračních aplikacích, ne však u běžných komerčních nástrojů.

Na Obr. 4 vidíme, že syntezátor je v aktivním stavu a čeká na podnět z **kláves**. Zahrajeme-li na klávesách komorní A, jde ihned do **generátoru** informace o výšce, která nastaví základní kmitočet všech oscilátorů na danou úroveň, v našem případě 440 Hz. Řekněme, že z generátoru jde frekvenčně bohatý pilovitý signál o základním kmitočtu 440 Hz s jeho celočíselnými násobky na kmitočtech (880 Hz, 1320 Hz atd.). Po průchodu signálu **filtrem**, dojde k potlačení a naopak k zvýraznění některých frekvencí. Filtr může mít i časovou závislost nastavenou **obálkou**, takže při náběhu tónu může propouštět širší spektrum harmonických složek, než při jeho doznívání. Následný **řízený zesilovač** také respektuje navolenou obálku, ale v amplitudovém smyslu. Výsledný zvuk pak může mít rychlý nástup a pomalé doznívání do ztracena. Poté mohou následovat ještě i různé efekty jako je například reverb, echo, chorus, flanger a jiné. Výsledný zvuk je zesílen a může jít přímo do reproduktorů. Ve schématu je také zobrazen **nízkofrekvenční generátor** (LFO), který může modulovat parametry dalších funkčních bloků. [1]

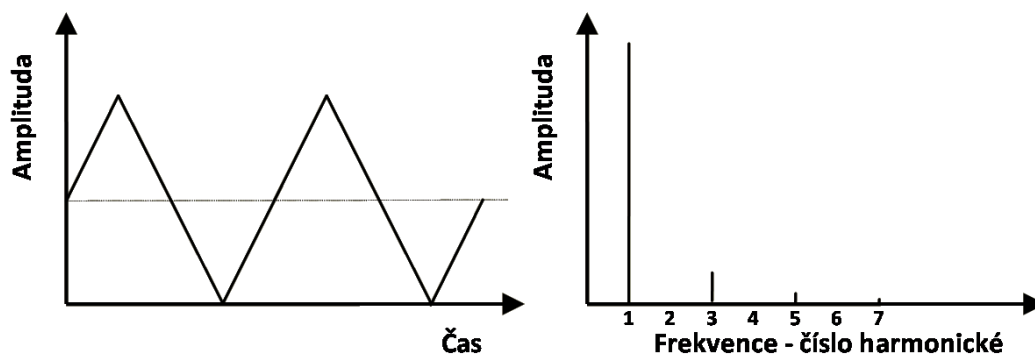
2.4.1 Klaviatura

Vstupním prvkem obvodu je klaviatura. Stisknutí určité klávesy obsahuje hned několik informací: výšku tónu (pitch) ovlivňující frekvenci generátoru, rychlost (velocity) ovlivňující hlasitost a také spouštěcí informace (trigger), která nastavuje, popřípadě resetuje některé funkce. [1]

2.4.2 Tónový generátor (oscilátor)

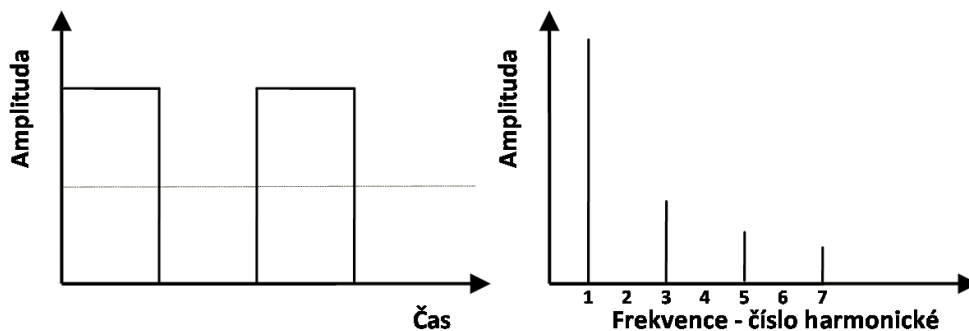
Tónový generátor, nebo také oscilátor, reaguje na stisknutou klávesu na klaviatuře a startuje cestu signálu. Typicky u oscilátoru můžeme upravovat frekvenci (po oktávách, po tónech nebo i přesněji), šířku pulsu, nebo synchronizaci několika oscilátorů vůči sobě. Obvykle používáme vlny obdelníkové, pilovité a trojúhelníkové. Každá z nich má odlišné a bohaté spektrum, tedy i sytý zvuk. [1]

Trojúhelníkový signál má jen liché harmonické složky s poměrně rázným poklesem. Jeho první harmonická složka je oproti ostatním natolik dominantní, že jeho zvuk připomíná prostý sinusový tón. Na Obr. 5 můžeme vidět jeho průběh a množství harmonických složek. [1]



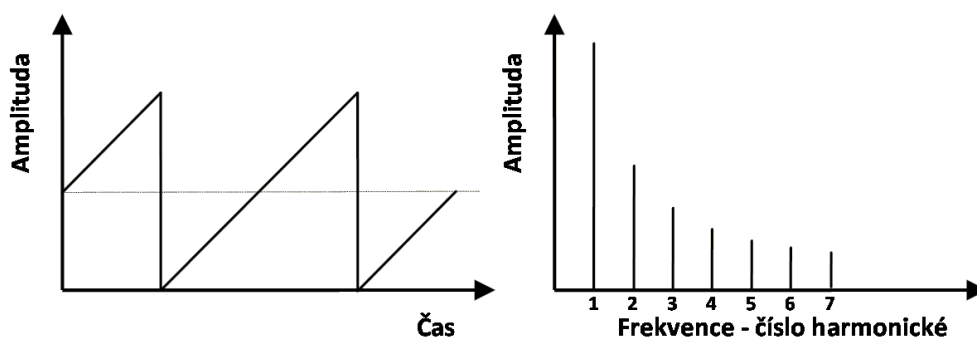
Obr. 5: Spektrum průběhu trojúhelníkového signálu [1 - upraveno]

Obdélníkový signál má také pouze liché harmonické složky a zní dutě až kovově. Tento zvuk je typický u saturačního zkreslení, kdy dochází k bezprostřednímu oříznutí amplitudy. Na Obr. 6 můžeme vidět jeho průběh a množství harmonických složek. [1]



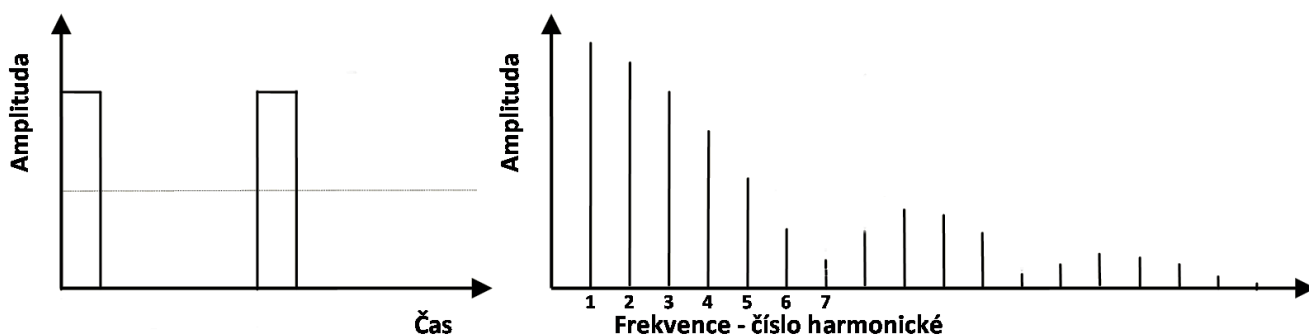
Obr. 6: Spektrum průběhu obdelníkového signálu [1 - upraveno]

Pilovitý signál je charakteristický ostrým, plným zvukem, který obsahuje všechny harmonické složky. Nové harmonické složky vzniknou, měníme-li střidu jmenovaných tvarových kmitů. Na Obr. 7 můžeme vidět jeho průběh a množství harmonických složek. [1]



Obr. 7: Spektrum průběhu pilovitého signálu [1 - upraveno]

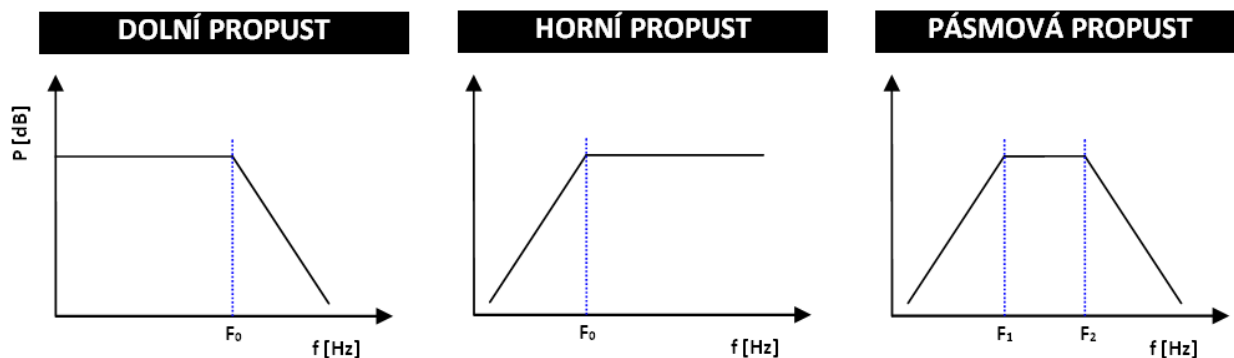
Pulzní signál má zajímavý průběh spektra. Vzniká změnou střidy obdelníkového průběhu a tímto způsobem získá signál novou kvalitu projevující se nejenom doplněním spektra sudými harmonickými složkami, ale také plnějším vyzněním. Pro svůj příjemný zvuk je také hojně používán. S jejich reálnou obdobou se můžeme setkat v lidských hlasivkách. Na Obr. 8 můžeme vidět jeho průběh a množství harmonických složek. [1]



Obr. 8: Spektrum průběhu pulzního signálu [1 - upraveno]

2.4.3 Filtr

Filtr zdůrazňuje nebo naopak potlačuje některé harmonické složky z celkového spektra vygenerovaných kmitů oscilátorem. Dosahuje tím tavráním a ořezáváním frekvence vstupního signálu. Vlastnost každého filtru je obvykle znázorňována přenosovou charakteristikou, která zobrazuje poměr výstupního a vstupního napětí v závislosti na kmitočtu signálu. Podle tvaru přenosové charakteristiky rozeznáváme tři základní typy filtrů, které jsou znázorněny na Obr. 9.

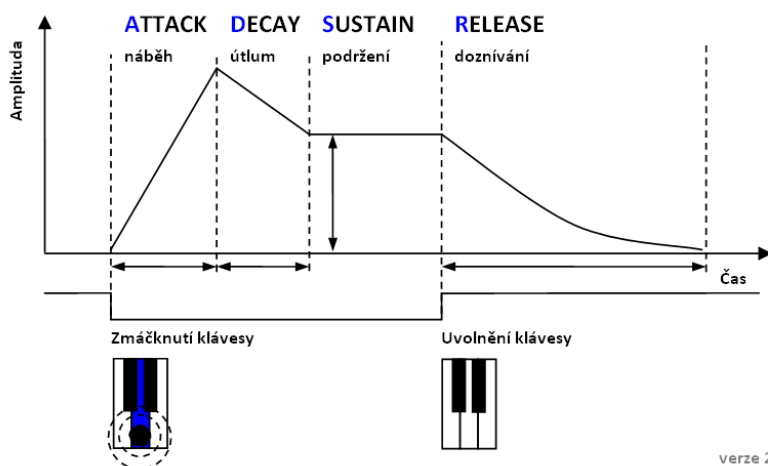


Obr. 9: Typy filtrů [1]

Jejich kombinací můžeme vytvořit téměř jakýkoliv frekvenční průběh. Tato možnost se využívá zejména v jednodušší podobě ve formě statické formantové syntézy, kde každý nástroj má svůj pevný filtr (rejstřík). Obvykle se však používá filtr pouze jeden, u kterého můžeme měnit některé jeho stavební parametry, kterými jsou: frekvence, jakost, strmost nebo šířka pásma. V některých elektronických hudebních žánrech se práce s filtrem v “přímém přenosu” ujala jako běžný efekt. [1, 2, 5]

2.4.4 Obálkový generátor

Obálky řídí průběh zvuků v určitém čase. Mohou ovládat amplitudu (hlasitost), filtr (frekvenci) nebo výšku tónu. Nejjednodušší a zároveň nejběžnější je obálka ADSR, viz Obr. 10.



Obr. 10: Obálka ADSR [1]

Obálka vzniká v generátoru obálek (EG) nastavením časových konstant definujících průběh čtyř stavebních částí, jak je patrné z Obr. 10:

- **Attack (náběh, nástup)** – udává, za jakou dobu se signál po stisknutí klávesy dostane na své maximum
- **Decay (útlum)** – doba, za kterou signál poklesne ze svého maxima na svou ustálenou hodnotu (sustain)
- **Sustain (podržení)** – udává úroveň signálu při stálém držení klávesy
- **Release (uvolnění, doznívání)** – doba do úplného doznění tónu po uvolnění klávesy [1, 2]

2.4.5 Pomaloběžný generátor

Pomaloběžný generátor slouží jako pomocný generátor ke tvorbě efektů. Většinou frekvenčně nebo amplitudově moduluje hlavní oscilátor, ale dost často se používá i k periodickému rozladování filtru. Zpravidla pracuje na nízkých kmitočtech v jednotkách hertzů. Umírněnou volbou hloubky modulace můžeme docílit rozechvělých efektů známé v hudební nauce jako tremolo a vibrato. Vhodnou kombinací zmiňované hloubky modulace a modulační frekvence vznikají zcela nové zvuky. [1]

2.4.6 Řízený zesilovač

Tento zesilovač řídí nejen hlasitost a zesílení zvukového signálu, ale hlavně jeho dynamiku. Řízený zesilovač upravuje amplitudu signálu a tím dotváří zvuk do živější a realističtější podoby. Jedná se spíše o předzesilovač zesilující signál, který posléze postupuje do externího nebo vestavěného zesilovače. Může být ovlivňován jinými komponenty (pomaloběžným generátorem, nebo obálkami). [1]

2.5 Moog Subsequent 25

Nyní víme, jak analogové (subtraktivní) syntezátory fungují. Seznámíme se tedy už s konkrétním modelem, se kterým poté budeme tvořit zvuky v praktické části. O značce Moog padlo už pár slov v kapitole týkající se historie syntezátorů a s jistotou můžeme říci, že nástroje tohoto původu mají opravdu co nabídnout.

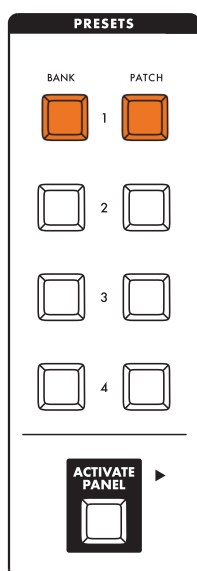


Obr. 11: Moog Subsequent 25 [https://www.thomann.de/cz/moog_subsequent_25.htm]

Subsequent 25, který vidíme na Obr. 11, je monofonní analogový syntezátor, jehož primární zdroj zvuku tvoří dva oscilátory. Ty mohou tvořit nezávislou dvojici za pomoci parafonického režimu (Duo Mode), který umožňuje každému ze dvou oscilátorů hrát různé výšky nezávisle na sobě. Dále je tvořen sub-oscilátorem s obdelníkovou vlnou, generátorem šumu, dvěma EG s ADSR obálky a lowpass Ladder filtrem (dolní propust), který je schopen samočinného kmitání. Další funkcí je MultiDrive, což je zabudovaný obvod, který poskytuje overdrive a distortion. Prakticky každá funkce Subsequentu 25 má svůj vyhrazený knob, pomocí kterých je ovládáme. Nemůžeme také opomenout klaviaturu, kterou tvoří 25 kláves. Syntezátor má také spoustu MIDI schopností, nám však bude stačit pouze informace, že lze syntezátor propojit s počítačem a následně s ním pracovat v DAW. [6, 7]

2.5.1 Ovládání

V této části si podrobněji popíšeme, jak můžeme se syntezátorem pracovat a co představují jednotlivé ovládací panely. K modulování zvuků je zapotřebí znát alespoň základní funkce, které syntezátor nabízí. Na Obr. 11 můžeme vidět, že ovládací panely jsou rozděleny do šedých rámečků. Nyní si je postupně rozebereme.

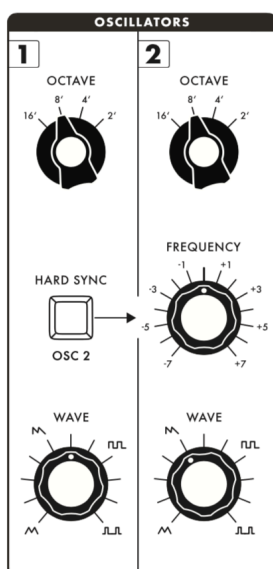


Obr. 12:

Panel předvolby
[6 - upraveno]

Panel předvoleb nám určuje základní možnosti znění zvuku v několika variantách. Ty představují 4 banky, z toho každá má 4 patche. Pro zvolení předvolby je nutné nejdříve zvolit banku. Po stisknutí začne zvolené tlačítko blikat a následně můžeme volit patche pro danou banku. Na Obr. 12 můžeme vidět, jak to bude vypadat, když bude zvolena banka č. 1 s patchem č. 1 (zvolené předvolby svítí oranžově). Na místo původních předvoleb z továrního nastavení je možné ukládat i vlastní vymodulované zvuky, se kterými bychom chtěli dále pracovat. Tato funkce však nezasahuje do rozsahu práce, protože v praktické části nebude úplně potřeba. [6]

Tlačítkem Activate Panel lze syntezátor nastavit do panelového módu, který kompletně ruší funkci patchů, tím pádem syntezátor pracuje přirozeněji. Ten však také nebudeme v praktické části potřebovat. [6]



Obr. 13: Panel oscilátory [6]

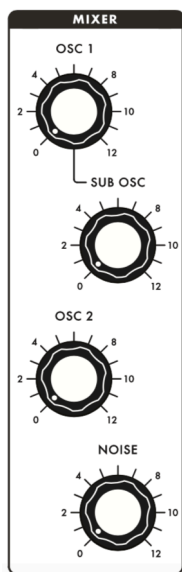
Jak již bylo zmíněno, syntezátor Subsequent 25 má dva oscilátory. Panel, který vidíme na Obr. 13, nám je umožňuje zvlášť kontrolovat a je rozdělen na dvě poloviny, kde každá ovládá právě jeden oscilátor. [6]

Pomocí horních knobů nastavujeme rozsah výšky tónu pro daný oscilátor, kde každé číslo představuje jednu oktávu. Nejnižší oktáva je 16' a nejvyšší 2'. Dolní knob se používají ke zvolení typu vlny. Nemusíme však používat jen čistě trojúhelníkovou, pilovitou, obdelníkovou, nebo pulzní vlnu. Knobů můžeme nastavovat i do poloh, které jsou na pomezí dvou vln. Jejich otáčením do různých poloh měníme harmonický obsah daného oscilátoru. [6]

Knob pro frekvenci, který se nachází na pravé straně, slouží k jemnému doladění výšky oscilátoru 2 v rámci zvoleného rozsahu. Je-li knob ve středové poloze, oscilátor 2 je naladěn na oscilátor 1. Když však polohu knobu změním, získáme efekt, při kterém posuneme výšku o 7 půltónů výše (ze středové polohy otáčím ve směru hodinových ručiček), nebo níže (ze středové polohy otáčím proti směru hodinových ručiček). [6]

Tlačítko Hard Sync Osc 2 slouží pro uzamčení fáze oscilátoru 2 na oscilátor 1, čímž eliminuje jakékoliv fázové rozdíly mezi nimi. Když jsou oba oscilátory synchronizované, tak pokaždé, kdy oscilátor 1 zahájí nový cyklus, přinutí oscilátor 2 zahájit svůj cyklus ve stejném okamžiku, bez ohledu na dokončení jeho předchozího cyklu. Tím, že je oscilátor 2 podmíněn oscilátorem 1, vzniká kombinovaný harmonický obsah, který závisí

na jejich poměru výšek a otevírá nám tak další možnosti pro tvorbu zvuku. Pro zapnutí této funkce, zmáčkeme knoflík a ten opět začne svítit oranžově. [6]

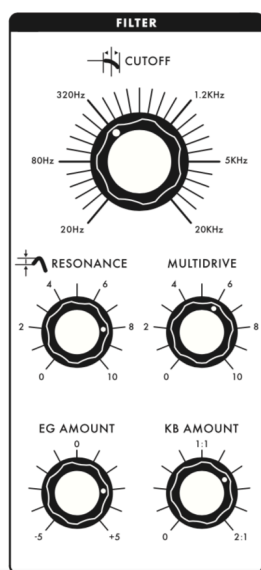


Obr. 14:
Panel - mixer [6]

Mixer umožňuje kombinovat audio signály z každého ze čtyř interních zdrojů Subsequentu 25. Jedná se tedy o oscilátor 1, oscilátor 2, sub-oscilátor a generátor šumu. Na Obr. 14 můžeme vidět, že každý z nich má vyhrazený knob pro ovládání jejich relativní úrovně. Otáčením knobů ve směru hodinových ručiček se úroveň zvyšuje z 0 do 12 (což je maximum). Otočíme-li knob na 6 a více, úroveň přebije filtr. To znamená, že můžeme určit, které zdroje jsou zkreslené a které filtrem projdou. [6]

Výška tónu sub-oscilátoru je vždy nastavena přesně o oktávu níž, než u oscilátoru 1. Sub-oscilátor vytváří obdelníkový signál, který je užitečný pro tvorbu výrazných basových zvuků. Generátor šumu je zase užitečný pro tvorbu perkusových zvuků. [6]

Zatímco oscilátor generuje zvuk s určitou výškou, šum je zdroj zvuku bez tónu. Stejně jako bílé světlo obsahuje všechny barvy vizuálního spektra ve stejném poměru, bílý šum obsahuje náhodné rozložení všech slyšitelných frekvencí. Každá frekvence má stejnou amplitudu a zvukem připomíná nenaladěnou televizi. Vzhledem k tomu, jak náš mozek reaguje na bílý šum, znějí vyšší frekvence výrazněji než ty nižší. Generátor šumu v Subsequentu 25 vytváří signál zvaný růžový šum. Růžový šum má stejnou amplitudu v každé oktávě, takže zní hlouběji než bílý šum – spíše jako zvuk vodopádu. Většina syntezátorů považuje růžový šum za užitečnější než bílý šum. [6]



Obr. 15: Panel - filtr [6]

Nyní si popíšeme panel, pomocí kterého se ovládá filtr. V našem případě se jedná o filtr typu dolní propust, což znamená, že propouští všechny frekvence až do bodu zvaného mezní frekvence (Cutoff). Na Obr. 15 můžeme vidět velký knob, kterým můžeme ovládat právě tuto mezní frekvenci. Otočíme-li ho do protisměru hodinových ručiček úplně dolů, filtr se uzavře a nic přes něj neprojde. Když ho ale naopak otáčíme na druhou stranu, postupně se otevírá až do maxima, kdy umožňuje průchod veškerého zvuku. Ze začátku slyšíme pouze nejnižší frekvence, ale poté začíná být barva zvuku jasnější. Obálka filtru, na kterou později navážeme, v kombinaci s nastavením knobu je primárním ovládacím zdrojem filtru. [6]

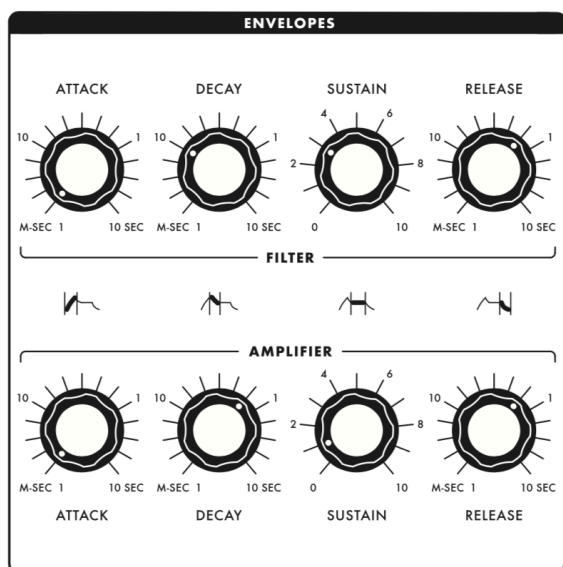
Další knob v rámci tohoto panelu je rezonance. Rezonance zvyšuje úroveň zvukových frekvencí, které jsou nejbliže mezní

frekvenci. Dochází k tomu tak, že filtr sníží frekvence méně postupně. Regeneruje tyto frekvence tím, že je vrací zpět do filtru. Zvýšením rezonance se zdůrazní harmonické nejbližší mezní frekvenci a zveličí jakékoli změny mezní frekvence. Otáčením knobu pro rezonanci se ovládá, kolik signálu je směřováno z výstupu filtru zpět na jeho vstup. Otočením ve směru hodinových ručiček zvýšíme rezonanci, což způsobí vrchol amplitudy na mezní frekvenci. Nastavení nad 7 způsobí samovolnou oscilaci filtru. [6]

Knob pro MultiDrive ovládá intenzitu efektů, které dokreslují zvuk. Čím vyšší je nastavení, tím agresivnější je ořezový efekt filtru. Různá množství MultiDrive mohou dát zvukům zřetelný tónový lem a také je učinit lépe reagujícími na změny v rezonanci filtru, tvaru vlny a úrovni oscilátoru. [6]

EG Amount knob (množství EG) určuje jak moc obálka filtru moduluje mezní frekvenci filtru. Jinými slovy, EG Amount řídí hloubku účinku generátoru obálek na filtr. Knob je bipolární, což znamená, že jeho kontrolní hodnota je kladná, když je otočena nahoru, a záporná, když je otočena dolů. Otočením ve směru hodinových ručiček od středu obálka zvýší mezní frekvenci z nastavení Cutoff knobu. Otočením proti směru hodinových ručiček ze středu způsobíme, že obálka sníží mezní frekvenci z nastavení knobu Cutoff. Hloubka efektu obálek na mezní frekvenci, také hodně závisí na knobu Cutoff. Pokud je nastavení velmi vysoké a upravíme EG Amount tak, abychom ho dále zvýšili, pak bude mít obálka malý účinek. Čím nižší je mezní frekvence, tím více ji bude obálka schopna modulovat. Na druhou stranu, pokud je nastavení velmi nízké a upravíme hodnotu EG Amount tak, abychom ji dále snížili, tak otočením knobu proti směru hodinových ručiček bude mít obálka nízký účinek. [6]

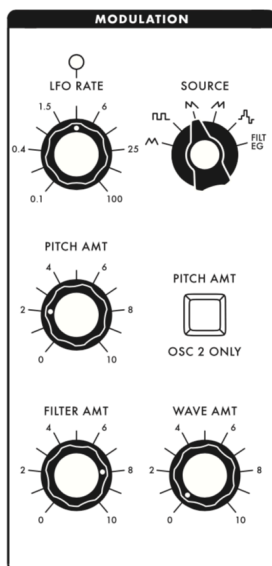
Otáčením knobu KB Amount určujeme, do jaké míry mezní frekvence filtru sleduje klaviaturu. To znamená, jak moc výška tónu zahráného na klaviatuře ovlivňuje frekvenci dolní propusti filtru. Když je knob otočen do poloviny, bude mezní frekvence filtru sledovat výšku klaviatury v poměru 1:1 se středem kolem noty C. Maximální možný poměr lze nastavit na 2:1. [6]



Obr. 16: Panel - obálky [6]

S principem obálek jsme se již setkali v kapitole 2.4. Náš syntezátor má 2 EG, kde jeden ovlivňuje filtr (zabarvení zvuku) a druhý zesilovač (amplitudu zvuku). Jak je patrné z Obr. 16, každá obálka má 4 vlastní knobů, které kontrolují attack, decay, sustain a release. Jednotky knobů pro attack, decay a release, jsou udávány v milisekundách a sekundách a jejich rozsah je od 1 do 10. Knobů pro sustain

udávají hodnotu v procentech, ale jsou zde označeny jako rozsah 0 až 10 pro lepší přehlednost. Knoby pro obálku filtru ovládají mezní frekvenci a pojí se s knobem EG Amount, jak již bylo řečeno. Knoby pro zesilovač určují parametry pro výstup z mixeru, tedy pro výsledný zvuk. [6]



Obr. 17:
Panel - modulace [6]

Ovládání modulace je důležitým aspektem pro práci se syntezátorem. Mluvíme-li o modulaci zvukového signálu, měníme způsob toho, jak zní. Když modulujeme řídicí signál, měníme jeho účinky na cokoli, co ovládá. Syntezátory směřují své řídicí signály ze zdrojů modulace do cílů modulace. Na Subsequentu 25 může měnit se řídicí signál modulovat výšku tónu, mezní frekvenci filtru a tvar vlny. Všechny tyto funkce opět vykonávají knoby zobrazené na Obr. 17. Intenzitu modulačního signálu ovládáme pomocí modulačního kolečka přímo nalevo od klávesnice (viz Obr. 11). [6]

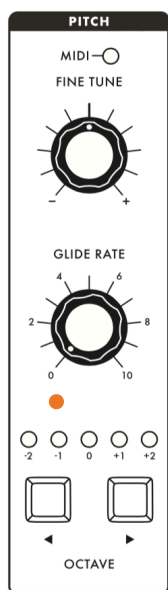
Všechny LFO generují opakující se křivky v sub-audio rozsahu. V našem případě má LFO rozšířený rozsah schopný generovat i zvukové frekvence. Při sub-audio rychlostech je LFO užitečný pro generování opakujících se efektů a při rychlosti zvuku přidává svému cíli harmonickou složitost. Knob LFO Rate slouží ke změnám modulační frekvence LFO od 0,1 Hz do 100 Hz. [6]

Když LFO moduluje frekvenci oscilátoru, výška oscilátoru sleduje tvar modulační vlny. Tu ovládáme pomocí knobu Source, který lze nastavit do šesti různých poloh. Nastavíme-li knob úplně napravo, modulační vlna bude mít trojúhelníkový průběh. Když ho posuneme o jedno políčko doprava, modulační vlna bude mít obdelníkový průběh, poté následuje pilovitý průběh a reverzní pilovitý průběh. Pátá pozice používá sample and hold jako zdroj modulace. Aniž bychom zacházeli do mnoha technických vysvětlování, představme si tuto modulační vlnu jako zdroj náhodných kontrolních signálů. Šestá pozice, označená jako Filter EG, vynechává LFO a směřuje obálku filtru do modulačních cílů, které jsou nastaveny knoby Pitch AMT, Filter AMT a Wave AMT. [6]

Knob Pitch AMT určuje intenzitu změny výšky tónu aplikovanou na oscilátory, když je modulační kolečko aktivní. Pokud je zdrojem modulace obálka filtru, můžeme změny výšky ovládat pomocí nastavení attack, decay, sustain a release na kontrolním panelu pro obálku. Pomocí tlačítka Pitch AMT Osc 2 Only, které se nachází vedle knobu Pitch AMT, můžeme aplikovat modulaci výšky tónu pouze na oscilátor 2, bez vlivu na oscilátor 1. Je-li zároveň zapnuto tlačítko Hard Sync Osc 2 (viz Obr. 13), které fázově uzamkne oscilátory, pak modulace frekvence oscilátoru 2 pomocí LFO nebo obálky změní harmonický obsah oscilátoru, ale ne jeho výšku. Tlačítko je po stisknutí aktivní a svítí opět oranžově. [6]

Filter AMT knob, určuje hloubku variace aplikovanou na mezní frekvenci filtru, když je modulační kolečko aktivní. Použití modulace LFO na filtr je užitečné pro generování pomalých rozmítání filtru, kolísání a opakujících se efektů. [6]

Wave AMT knob, určuje hloubku variace aplikovanou na tvar vlny obou oscilátorů, když je zapnuté modulační kolečko. Během toho, co je tvar vlny modulován, dynamicky se mění amplitudy, frekvence a fáze harmonických. Modulace tvaru vlny nemá žádný vliv na sub-oscilátor, který vždy generuje obdélníkovou vlnu. [6]



Poslední panel, který si představíme a jehož schéma vidíme na Obr. 18, kontroluje výšku tónu. Knob Fine Tune, slouží k upravování frekvence obou oscilátorů až o jeden půlton nahoru nebo dolů od jejich středové polohy. To nám umožňuje rychlé naladění Subsequentu 25 tak, aby výškově odpovídal jinému nástroji, nebo dříve nahrané stopě, která se od standardní výšky mírně odchyluje. [6]

Glide Rate knob, nebo také portamento či glissando, způsobuje plynulé změny výšek tónů mezi notami. Určuje, jak dlouho trvá přechod z jedné výšky na další, když hrajeme na klaviaturu. [6]

Pod Glide Rate knobem se nachází tlačítka, pro posun oktáv. Levé tlačítko slouží k posouvání oktáv dolů a pravé nahoru. Maximálně lze docílit posunutí o dvě oktávy nahoru i dolů. Rozsvícená LED nad tlačítky u daného čísla udává aktuální transpozici. Na Obr. 18 můžeme vidět, jak vypadá, když je oktáva posunuta o jednu dolů. [6]

Obr. 18:
Panel - výška tónu
[6 - upraveno]

S tímto panelem také souvisí kolečko Pitch, které se nachází nalevo od modulačního kolečka (viz Obr. 11). To slouží k plynulé ohýbání výšky během hraní. Ve výchozím nastavení transponuje výšku o dva půltony nahoru a o dva půltony dolů. [6]

Poslední aspekt tohoto panelu je LED kontrolka MIDI, která se nachází nad Fine Tune knobem. Ta se rozsvítí, kdykoli Subsequent 25 přijme MIDI data přes MIDI IN nebo USB PORT. [6]

3. PRAKTICKÁ ČÁST

Nyní už jsme seznámeni s pojmem syntezátor. Víme, jak tyto nástroje fungují, z čeho se skládají a umíme ovládat jeden konkrétní model - Moog Subsequent 25. Cílem praktické části bude vytvořit krátkou hudební nahrávku sestavenou z vymodelovaných zvuků na syntezátoru Subsequent 25. Budeme se zabývat pouze jednoduchou kompozicí bez masteringu a bez použití jiných nástrojů. Jde nám o to, ukázat si, jak můžeme syntezátory v tomto duchu využít.

Nejdříve si zkusíme vytvořit basovou linku, což bude zvuk o nízké frekvenci. Ten si popíšeme na základě jeho vlastností. Poté stejným způsobem navážeme na další zvuk s vyšší frekvencí a opět si ho popíšeme. Budeme vytvářet také perkusové zvuky, které nám budou simulovat zvuk bicí. Celý proces bychom mohli nazvat jako “kontrolovaná tvorba zvuků”, protože se budeme snažit mít přehled nad vším, co děláme. Někdy bývá syntezátor používán způsobem “pokus/omyl”, tomu se však vyhneme díky znalostem z teoretické části. Praktická část nám pomůže k tomu, abychom pochopili, co všechno nám vlastně syntezátor umožňuje.

Dané zvuky vždy nejříve vytvoříme na syntezátoru a poté je nahrajeme do jednotlivých stop. Zobrazení těchto stop v DAW poté poslouží k popisu daného zvuku. Z grafu budeme popisovat převážně podobu průběhu, ale také periodu, pomocí které pak vypočítáme frekvenci. K tomuto výpočtu je třeba znát vztah

$$f = \frac{1}{T}$$

kde f představuje frekvenci a T periodu zvukové vlny. Zkoumání podoby průběhu bude také zároveň sloužit k pozorování vlivů jednotlivých funkcí syntezátoru na výsledný průběh.

Jakmile budeme mít všechny zvuky nahrané a popíšeme si jejich charakteristiku, uložíme si jejich výslednou podobu pomocí plug-inu. Následně se zaměříme na jednoduchou kompozici, kterou zhotovíme do finální audio stopy, což bude výsledkem práce.

3.1 Příprava

Na začátek si řekneme, co vše si musíme k praktické části připravit. Kromě samotného syntezátoru bude potřeba:

- počítač, který má k dispozici aspoň 2 USB porty
- nainstalované DAW (já používám Logic Pro X, ale dá se použít i jiný software)

- nainstalovaný plug-in Subsequent 25 Editor
- zvuková karta s napájecím USB kabelem (já využívám Focusrite Scarlett 2i2)
- kabel jack samec/samec 6,3 mm
- kabel USB A-B
- napájecí kabel k syntezátoru
- reproduktory nebo sluchátka s 6,3 mm jack zakončením

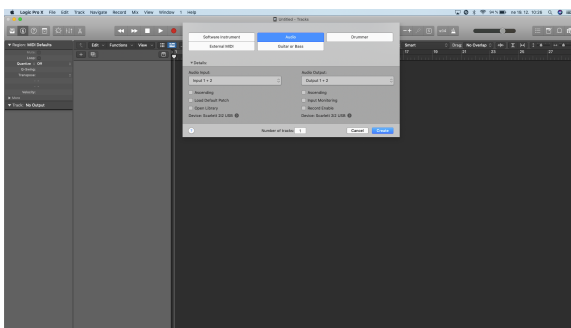
Nejdříve si připravíme všechny položky na pracovní plochu. Poté zapojíme syntezátor do napájení, do vstupu AUDIO OUT zapojíme kabel jack a do vstupu pro MIDI (USB) zapojíme kabel s USB B konektorem (viz Obr. 19). Do vstupu č. 1 zvukové karty dále zapojíme druhý konec jack kabelu, který vede ze syntezátoru a do sluchátkového výstupu zapojíme reproduktory nebo sluchátka (viz Obr. 20). Zvukovou kartu poté propojíme s počítačem USB napájecím kabelem a nastavíme ji do mono režimu. Druhý konec kabelu USB A-B také propojíme s počítačem. Po nachystání všech hardwarových položek si otevřeme DAW s novým prázdným projektem a zvolíme příkaz pro vytvoření audio stopy. Dejme si pozor na to, abychom zvolili správný vstup a výstup. Ty by měly být navoleny na zvukovou kartu (viz Obr. 21). Po vytvoření audio stopy musíme nastavit také vstupní zdroj dané audio stopy na mono a také musí být aktivní tlačítko pro monitorování vstupu (viz Obr. 22).



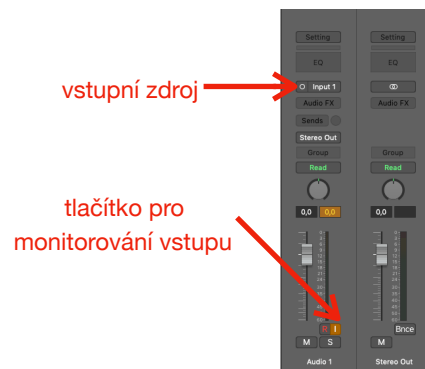
Obr. 19: Zapojení - syntezátor



Obr. 20: Zapojení - zvuková karta



Obr. 21: Příprava DAW



Obr. 22: Nastavení parametrů pro audio stopy v DAW (Logic Pro X)

Nyní máme vše nachystané a jsme připraveni začít práci se syntezátorem.

3.2 Modulace basového zvuku

V této části se budeme zabývat vytvářením zvuku, který budeme posléze využívat jako basovou linku. Zvuk tohoto typu má většinou nízkou frekvenci, ale aspektů, které ovlivňují jeho znění, je víc. Výsledné znění budeme ovlivňovat otáčením knobů na různých panelech syntezátoru. Po vytvoření samotného zvuku provedeme jeho nahrání do DAW přes zvukovou kartu. Audio stopy nám poslouží jako grafy, pomocí kterých rozebereme vlastnosti jednotlivých složek zvuku a výsledný zvuk potom uložíme pomocí plug-inu. Stejný postup budeme aplikovat i v dalších částech praktické části.

Náš první zkoumaný zvuk bude vycházet z předvolby banka 1, patch 1. Nejdříve zvolíme tyto předvolby a následně otočíme modulační kolečko na minimum, čímž deaktivujeme panel pro modulaci. Oktávu nastavíme na -2, Fine Tune necháme ve středové poloze a Glide Rate nastavíme na hodnotu 6.

Na panelu pro filtr nastavíme Cutoff knob zatím do středové polohy (filtr bude polootevřený). Rezonanci, MultiDrive a EG Amount prozatím nastavíme na nulu a KB Amount na hodnotu 1:1. Obálku pro výsledný zvuk nastavíme tak, aby attack a decay byly na hodnotě 10 milisekund a sustain a release ve středové poloze.

Nyní se přesuneme k nastavení oscilátorů.

3.2.1 Zvuk oscilátoru 1

Pro lepší přehlednost budeme vždy pracovat zvlášť se zvukem pocházejícím z oscilátoru 1 a z oscilátoru 2. Nyní pojďme nastavit oscilátor 1.

Nejdříve na panelu Mixer, ztlumíme knoby pro oscilátor 2, sub-oscilátor a generátor šumu. Poslouží nám to k tomu, slyšet pouze zvuk z oscilátoru 1. Poté na panelu pro oscilátory nastavíme typ vlny u oscilátoru 1 na trojúhelníkovou a posun oktáv na 8'.

Po stisknutí klávesy uslyšíme výsledný zvuk, kterého jsme chtěli u oscilátoru 1 dosáhnout.

3.2.2 Zvuk oscilátoru 2

Nyní máme nastaven oscilátor 1 a je důležité, abychom parametry pro něj dále neměnili. Pro nastavení oscilátoru 2 se nejdříve přesuneme zpět na panel Mixer a tentokrát ztlumíme všechny knoby kromě toho pro oscilátor 2.

U oscilátoru 2 nastavíme opět na panelu pro oscilátory tvar vlny na čtvercovou a posun oktáv nastavíme na 4'. Pro vylepšující efekt výsledného zvuku použijeme knob Frequency a nastavíme ho na hodnotu +7, čímž nám doladí výšku tónu z tohoto oscilátoru o 7 půltónů výše.

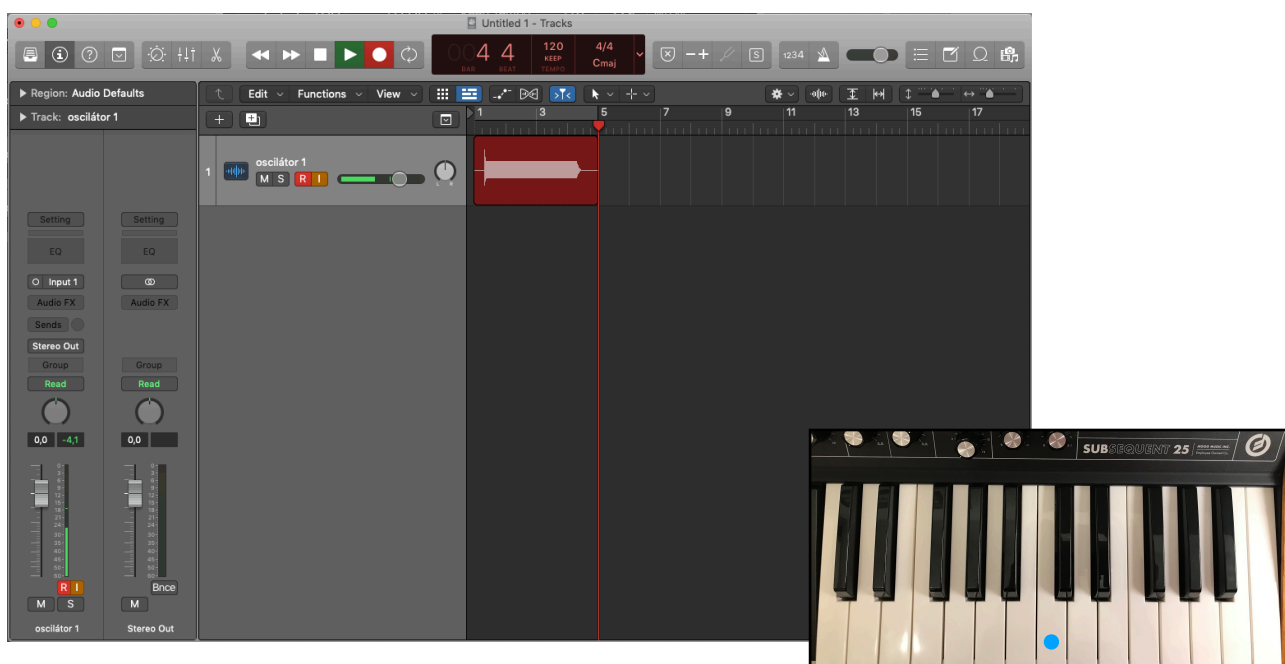
Po stisknutí klávesy bychom nyní měli slyšet výsledný zvuk oscilátoru 2, který je frekvenčně vyšší než u předchozího oscilátoru.

Po nastavení obou oscilátorů nastavíme v Mixeru jejich úrovně na hodnotu 8. Pro efekt zesílíme také sub-oscilátor na hodnotu 2 a na panelu pro filtr přidáme MultiDrive o hodnotě 1. Po stisknutí klávesy, bychom v tomto okamžiku měli slyšet finální basový zvuk.

3.2.3 Nahrávání jednotlivých složek zvuku a jejich charakteristika

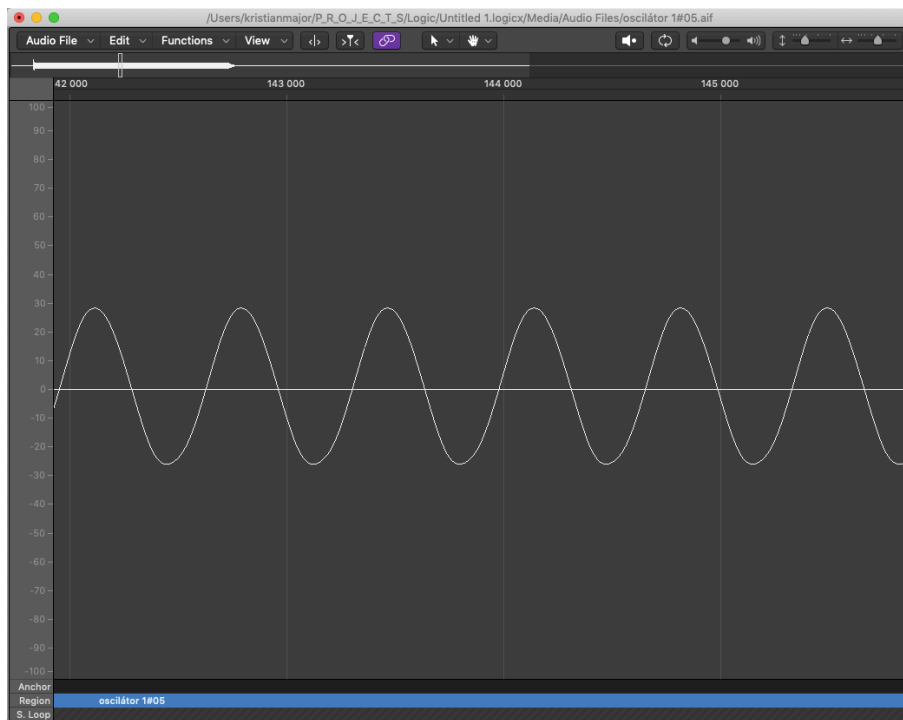
Modulace zvuku, kterého jsme chtěli dosáhnout, je nyní dokončena a můžeme začít s nahráváním do DAW pomocí zvukové karty. Pro přehlednější zkoumání vlastností vytvořeného zvuku si jeho složky rozdělíme opět podle oscilátorů a budeme nahrávat tyto zvuky zvlášť.

Začneme s nahráváním zvuku z oscilátoru 1. Pro tento úkon je opět nutné nastavit na syntezátoru Mixer tak, aby zněl jen oscilátor 1. Audio stopu, kterou již máme v DAW vytvořenou a do níž budeme nahrávat, doporučuji pojmenovat například „oscilátor 1“ pro lepší přehlednost. Nyní spustíme tlačítko pro nahrávání, stiskneme klávesu C2 na syntezátoru, chvíli ji držíme a potom ji pustíme, viz Obr. 23.



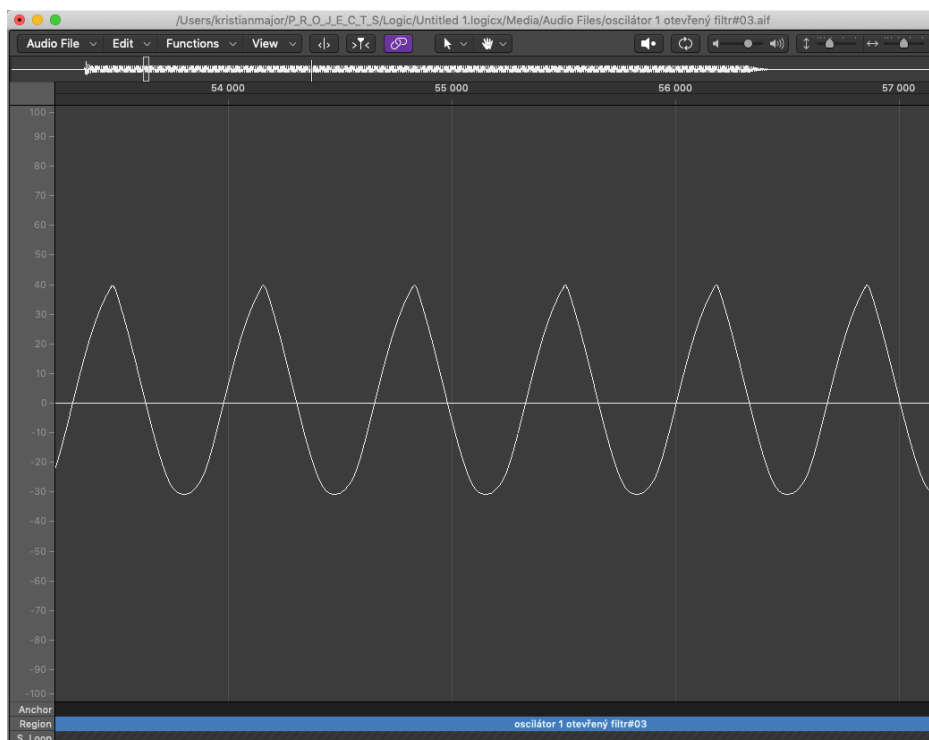
Obr. 23: Nahrávání

Po přerušení nahrávání, by se nám audio stopa měla zbarvit do modré barvy. Nyní si stopu označíme a otevřeme ji v okně pro editaci zvukového souboru (zkratka cmd+6). Po přiblížení zjistíme, že nahraný zvuk má sinusový průběh, viz Obr. 24.



Obr. 24: Průběh zvuku oscilátoru 1

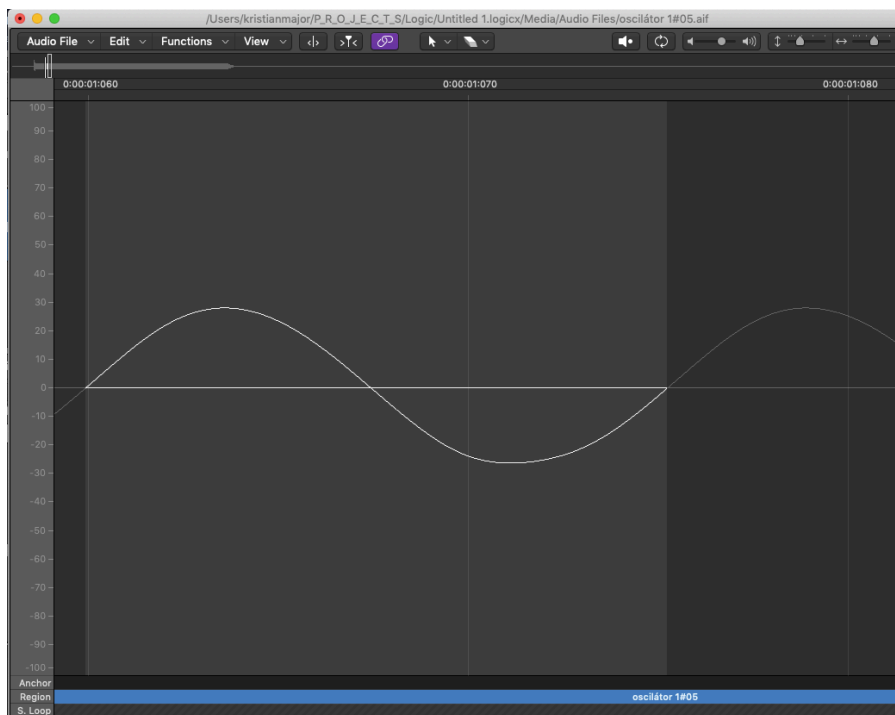
Sinusový průběh je zapříčiněn činností filtru, který ořezává mezní frekvence. Otevřeme-li filtr do úplného maxima, zvuk opět nahrajeme a zobrazíme, stane se následující (viz Obr. 25)



Obr. 25: Průběh zvuku oscilátoru 1 po úplném otevření filtru

Nyní se činnost filtru neprojevuje a výsledný signál má trojúhelníkový průběh, což je ten typ, co jsme pro oscilátor 1 zvolili.

Vraťme se ke grafu, který nám zobrazuje zvuk, kterého jsme u oscilátoru 1 chtěli docílit. Když tento graf ještě o něco přiblížíme a označíme jednu periodu, zjistíme, že její hodnota je přibližně rovna 15 milisekund, viz Obr. 26.



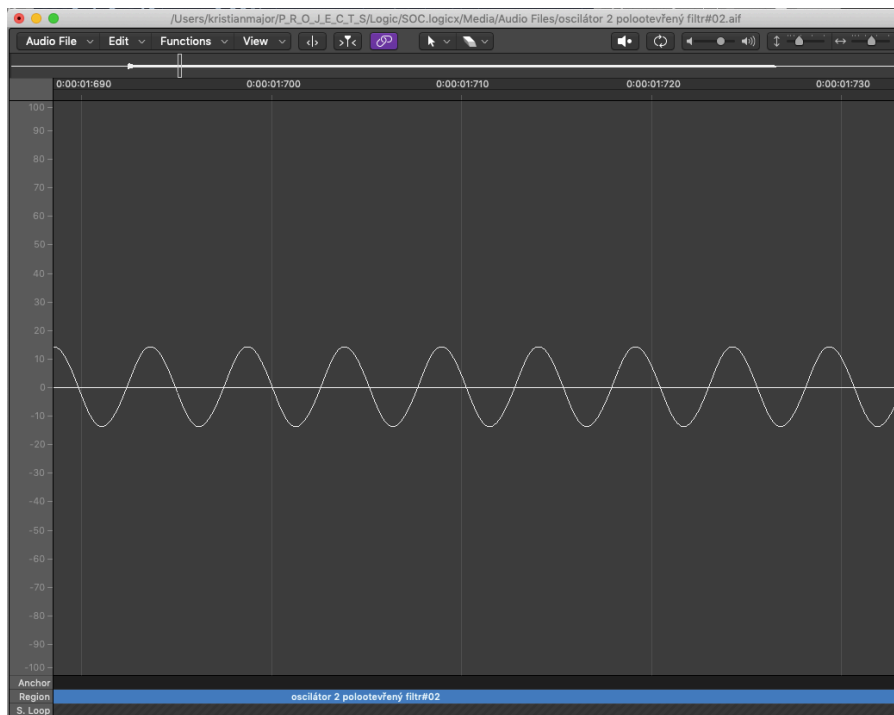
Obr. 26: Perioda zvuku oscilátoru 1

Využijeme-li vzorce pro výpočet frekvence a hodnoty periody, vyjde nám zaokrouhlená hodnota frekvence 67 Hz.

Z grafu bychom mohli vyčíst také hodnotu amplitudy v procentuálních jednotkách. Ta je v tomto případě rovna zhruba 29%. Hodnota amplitudy je však irelevantní kvůli tomu, že závisí na úhazu klávesy, který nejde přesně ovlivnit. Je tedy dobré vědět, že z grafu se dá vyčíst, ale dále se jejími číselnými hodnotami nebudeme zabývat.

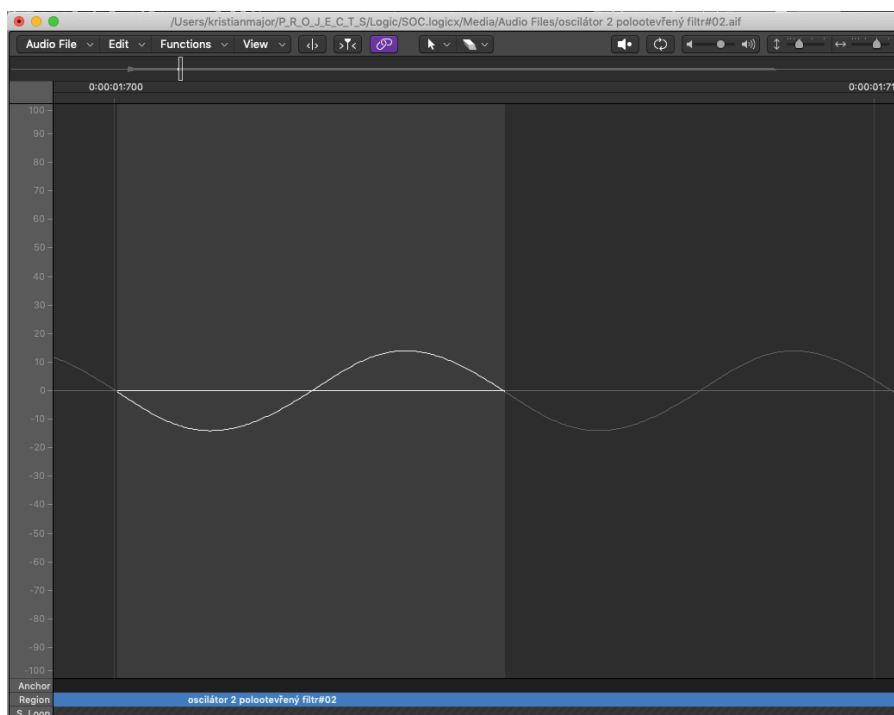
Postup pro nahrávání zvuku z oscilátoru 2 je stejný jako u předchozího nahrávání. Vytvoříme novou audio stopu a proces opakujeme. Nejprve však musíme na Mixeru zesílit knob pro oscilátor 2 a zbylé knoby tohoto panelu opět stáhnout na minimum. Nezapomeňme, že nastavení syntezátoru by mělo splňovat stejné podmínky, jako na začátku kapitoly 3.2 a na konci kapitoly 3.2.2.

Nyní opakujeme proces nahrávání, po kterém by výsledný graf zvuku z oscilátoru 2 měl vypadat stejně, jako na Obr. 27.



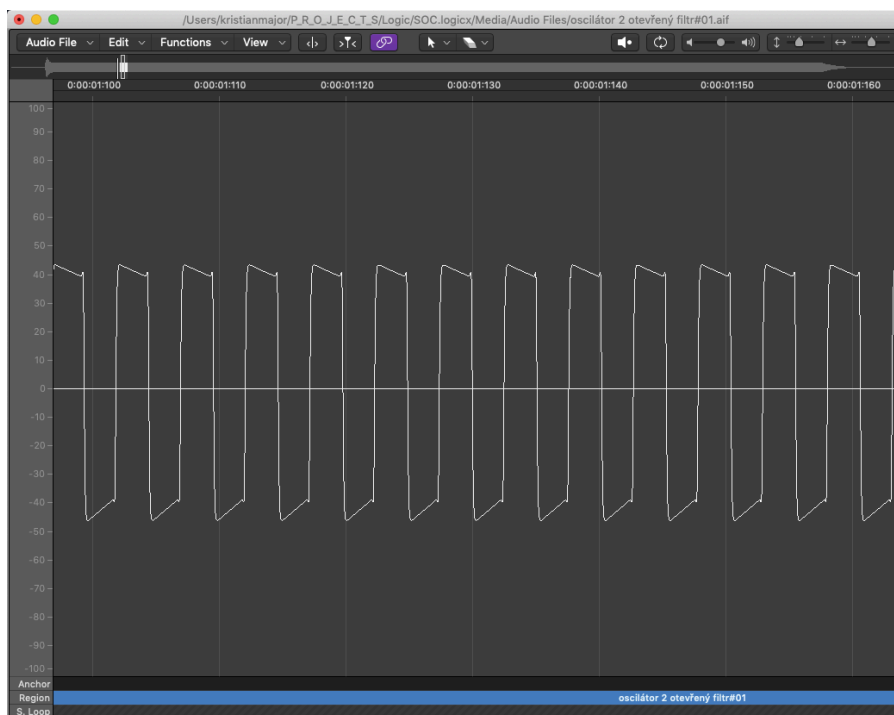
Obr. 27: Průběh zvuku oscilátoru 2

Zvuk má opět vlivem filtru tvar sinusoidy. Jeho perioda je však značně nižší než u zvuku z oscilátoru 1. Její hodnota činí zhruba 5 milisekund, viz Obr. 28. Když opět použijeme vzorec pro výpočet frekvence, vyjde nám zaokrouhlená hodnota 200 Hz.



Obr. 28: Perioda zvuku oscilátoru 2

Nahrajeme-li zvuk znovu, ale s plně otevřeným filtrem, opět se nám projeví zvolený tvar zvukové vlny pro oscilátor 2, viz Obr. 29.

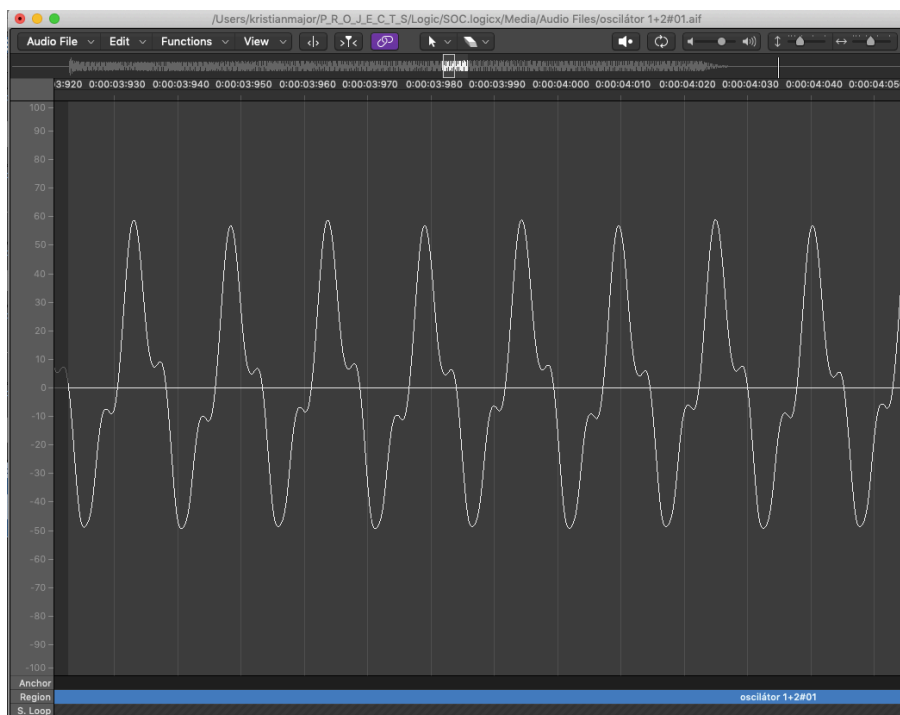


Obr. 29: Průběh zvuku oscilátoru 2 po úplném otevření filtru

Všimněme si, že amplituda nám po úplném otevření filtru značně vzrostla. U zvuku trojúhelníkového typu tato změna nebyla tak výrazná, ale v tomto případě ano, protože polootevřený filtr zamezil většímu množství harmonických složek, které se po otevření projeví.

Nyní už víme, jaké zvuky nám vytváří oscilátor 1 a 2 v provedeném nastavení. Pojdme si nyní na Mixeru zvýšit úroveň obou oscilátorů na hodnotu 8. Nezapomeňme zkontrolovat nastavení sub-oscilátoru a MultiDrive, které musí být nastaveny dle parametrů uvedených na konci kapitoly 3.2.2.

Poté zopakujme stejný proces nahrávání, který jsme aplikovali u oscilátoru 1 a 2. Výsledný graf bude zobrazovat signál vytvořený po zahrání klávesy C2. Graf výsledného zvuku, na kterém má podíl oscilátor 1, oscilátor 2 a sub-oscilátor, nalezneme na Obr. 30.



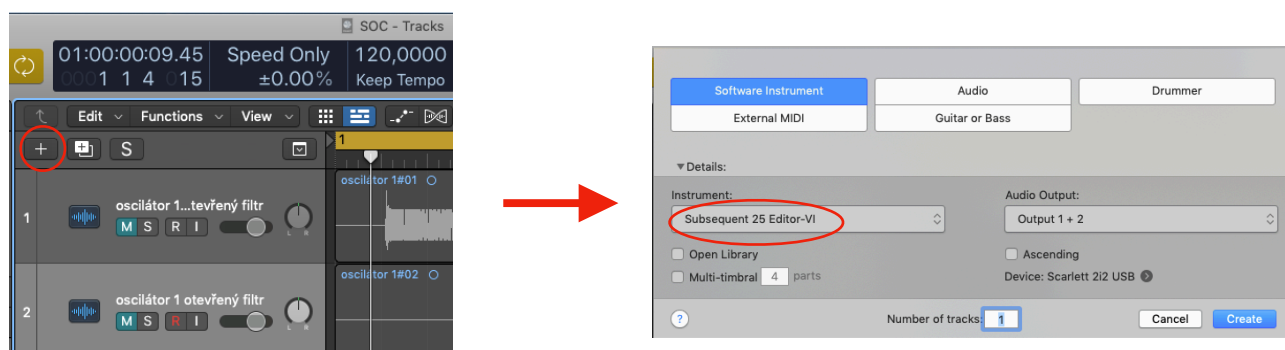
Obr. 30: Průběh výsledného basového zvuku

Zde si můžeme všimnout toho, že subtraktivní syntezátory nefungují jen čistě na bázi subtraktivní syntézy. To, co jsme zmiňovali v kapitole 2.4, je zde názorně ukázáno. Projevuje se zde princip aditivní syntézy.

3.2.4 Uložení presetu

Abychom se mohli k vytvořenému zvuku snadno vrátit, je dobré ho uložit pomocí Editor plug-inu. Poslouží nám to k tomu, abychom u výsledné kompozice nemuseli opakovat celý proces modelování.

V našem DAW vytvoříme novou stopu, která tentokrát nebude audio, ale softwarový nástroj. Z nabídky plug-inů zvolíme Subsequent 25 Editor, viz Obr. 31.



Obr. 31: Vytvoření stopy pro plug-in

Po vytvoření stopy otevřeme plug-in a uložíme preset výsledného basového zvuku, viz Obr. 32. Doporučuji si ho také nějak logicky pojmenovat, například “basa”.



Obr. 32: Ukládání presetů

3.3 Modulace zvuku o vyšší frekvenci s vlivem modulace

V této kapitole budeme postupovat stejným způsobem jako v kapitole 3.2. Tentokrát budeme pracovat i s panelem pro modulaci, takže budeme nastavovat i parametry pro modulační vlnu. Pro lepší orientaci doporučuji předchozí projekt v DAW pro basový zvuk s nahranými zvuky uložit a vytvořit nový pro tuto kapitolu.

Nyní budeme vycházet z předvolby banka 3, patch 3. Nastavení pro modulaci provedeme až později, proto prozatím nastavíme modulační kolečko na minimum. Glide Rate nastavme na hodnotu 2 a oktávy do středové úrovně - hodnota 0. Fine Tune opět ponecháme ve středové poloze.

Knoby pro filtr zatím nastavíme stejně, jako na začátku kapitoly 3.2. Obálku nastavíme tak, aby knob pro attack byl ve středové poloze, pro decay na hodnotě 10 milisekund, sustain na hodnotě 8 a release na hodnotě 10 milisekund.

Pojďme nyní opět nastavit parametry pro jednotlivé oscilátory a poté pro modulační vlnu.

3.3.1 Zvuk oscilátoru 1

Opět nastavíme mixer tak, abychom slyšeli pouze zvuk oscilátoru 1. Na panelu pro oscilátory nastavíme typ vlny na pulzní a posun oktáv na 8'.

Po zahrání klávesy uslyšíme zvuk, kterého jsme nyní chtěli dosáhnout u oscilátoru 1.

3.3.2 Zvuk oscilátoru 2

Parametry pro oscilátor 1 máme nastavené a dále je neměníme. Přesuneme se tedy ke druhému oscilátoru. Tentokrát nastavujeme mixer tak, abychom slyšeli pouze zvuk oscilátoru 2. Pro oscilátor 2 nastavíme knob pro typ vlny tak, aby byl v poloze přesně mezi trojúhelníkovou a pilovitou vlnou a posun oktáv nastavíme na 4'. Dále nastavíme knob Frequency na hodnotu -7 a poté zmáčkneme tlačítko Hard Sync Osc 2. To nám poslouží k eliminaci fázových rozdílů mezi oběma oscilátory a výsledný zvuk tak bude v tomto případě znít lépe.

Po zahrání klávesy uslyšíme výsledný zvuk oscilátoru 2.

3.3.3 Modulační vlna

Nyní si na mixeru nastavíme oba oscilátory tak, aby zněly. Oscilátor 1 nastavíme na hodnotu 9 a oscilátor 2 na hodnotu 7. Následně k nim přidáme také sub-oscilátor, který nastavíme na hodnotu 3. Generátor šumu necháme ztlumený.

Po nastavení mixeru můžeme otočit modulační kolečko do maxima. Na panelu pro modulaci poté nastavíme zdroj vlny na reverzní pilovitou a LFO Rate na hodnotu 6. Pitch AMT nechme vypnutý, Filter AMT nastavme na hodnotu 4 a Wave AMT na hodnotu 2.

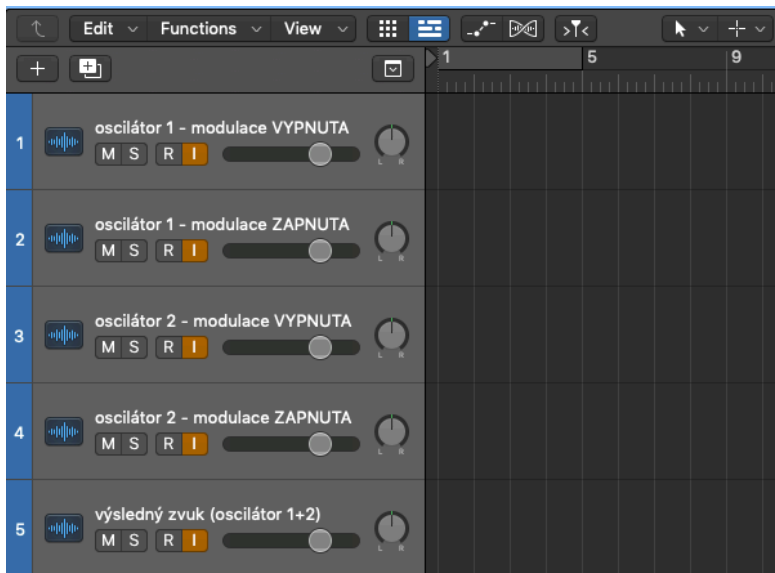
Po zahrání klávesy, bychom měli slyšet zvuk, který tentokrát není jednodušší, ale má „kmitající“ charakter.

Nyní provedeme ještě pár úprav v nastavení pro filtr. Cutoff necháme ve středové poloze, rezonanci nastavíme na hodnotu 4, MultiDrive na hodnotu 2, KB Amount necháme na hodnotě 1:1 a EG Amount nastavíme na hodnotu +3. Nastavením pro EG Amount jsme aktivovali vliv obálek filtru na celkový zvuk. Knoby pro obálku filtru nastavíme následovně: attack a decay na 1 sekundu, sustain knob do středové polohy a release na 10 milisekund.

Po zahrání klávesy uslyšíme výsledný zvuk, kterého jsme chtěli dosáhnout.

3.3.4 Nahrávání jednotlivých složek zvuku a jejich charakteristika

Proces nahrávání bude probíhat stejně jako u basových zvuků. Tentokrát však doporučuji vytvořit dvě audio stopy pro oba oscilátory. První poslouží ke zkoumání zvuku s deaktivovanou modulací a druhá zase ke zkoumání zvuku s aktivovanou modulací. Připravené audio stopy, by tedy měly vypadat stejně, jako na Obr. 33.



Obr. 33: Příprava audio stop

Pojďme se nyní přesunout do první stopy, kam budeme nahrávat zvuk prvního oscilátoru bez vlivu modulační vlny. Nastavení syntezátoru zanecháváme, pouze modulační kolečko nastavíme na minimum a také opět optimalizujeme mixer tak, aby zněl pouze oscilátor 1. Po nahrání zvuku získáme graf, který je na Obr. 34.



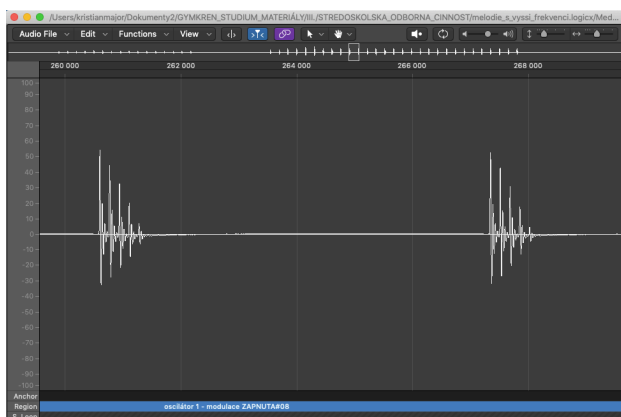
Obr. 34: Průběh zvuku oscilátoru 1 s vlivem rezonance



Obr. 35: Průběh zvuku oscilátoru 1 bez vlivu rezonance

Z kapitoly 3.2 už víme, že filtr nám ořezává vlnu, a proto nám graf nezobrazuje vlnu čistě pulzního typu, nýbrž má i sinusový charakter. Můžeme však také pozorovat to, že hodnota amplitudy se periodicky zmenšuje a zvětšuje. To je zapříčiněno rezonancí, kterou jsme u filtru nastavili. Po nastavení rezonance na hodnotu 0 a opětném nahrání zvuku, dostaneme graf, jehož podobu zobrazuje Obr. 35.

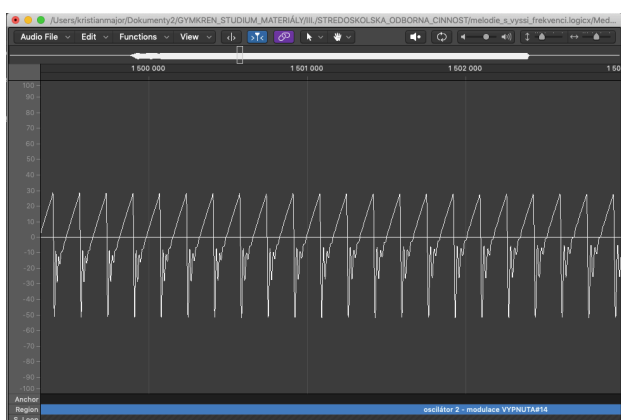
Nyní se přesuneme do druhé audio stopy, ve které budeme nahrávat zvuk oscilátoru 1, který už ale bude ovlivněný modulační vlnou. Vraťme tedy rezonanci do původního stavu, aktivujeme modulační kolečko a provedeme nahrávání. Výsledný graf by měl být stejný, jako na Obr. 36.



Obr. 36: Průběh zvuku oscilátoru 1 při aktivní modulaci

Všimějme si působení LFO. Modulační vlna prozatím není vizuálně rozpoznatelná, ale lze vidět působení navolené hodnoty modulační frekvence, která přerušuje původní signál. To je způsobeno tím, že modulační vlna působí právě na signál pulzního tvaru.

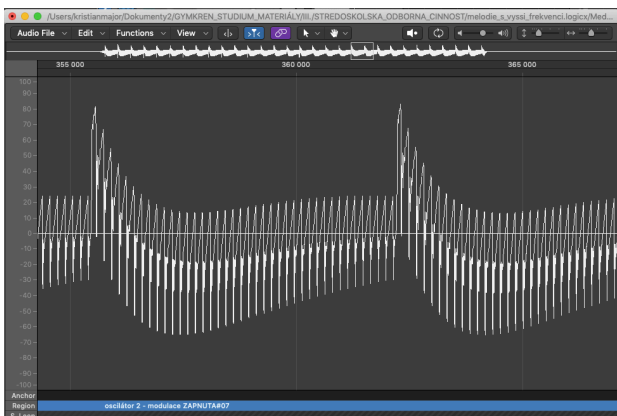
Přesuňme se nyní ke druhému oscilátoru a zvolme třetí vytvořenou audio stopu. Modulační kolečko vypneme a mixer optimalizujeme pro oscilátor 2. Nyní opět provedeme nahrávání, jehož výsledný graf je uveden na Obr. 37.



Obr. 37: Průběh zvuku oscilátoru 2

Můžeme pozorovat, že rezonance filtru se opět projevuje. Jeho ořezová činnost vzhledem k tvaru vlny však nikoliv.

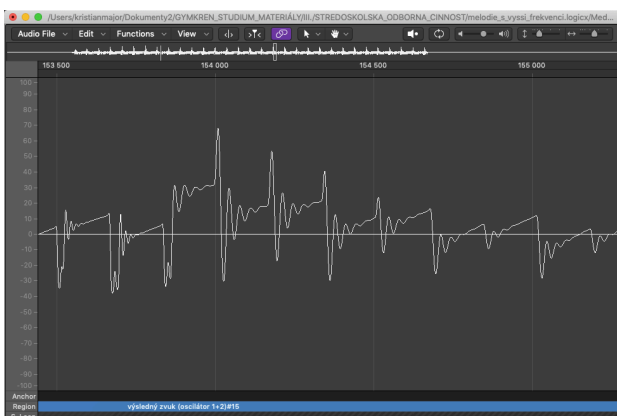
Do čtvrté audio stopy nyní opět nahrajeme zvuk z oscilátoru 2, ale už s aktivní modulací. Výsledný graf by měl vypadat stejně, jako na Obr. 38.



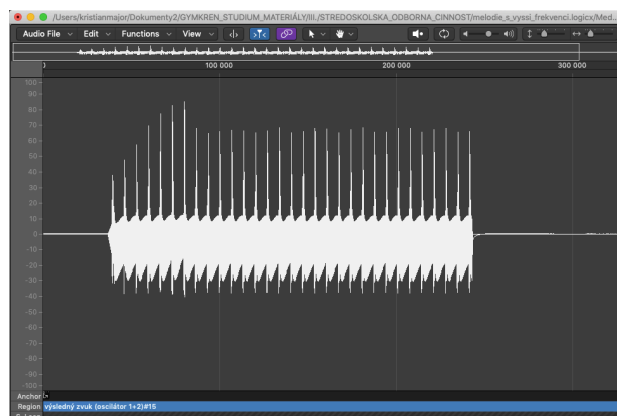
Obr. 38: Průběh zvuku oscilátoru 2 při aktivní modulaci

Nyní už můžeme pozorovat náznak tvaru modulační vlny. LFO tentokrát původní signál nepřerušuje, protože jsme zvolili trojúhelníkovo-pilovitý typ.

Tímto máme probranou charakteristiku jednotlivých zvuků a můžeme se přesunout do páté audio stopy, kam budeme nahrávat výsledný zvuk z obou oscilátorů. Mixer nastavíme stejným způsobem, jak když jsme vytvářeli modulační vlnu (začátek kapitoly 3.3.3). Jakmile máme mixer nastavený, provedeme nahrávání. Graf výsledného zvuku je zobrazen na Obr. 39, kde opět vidíme projevující se aditivní zvukovou syntézu.



Obr. 39: Průběh výsledného zvuku



Obr. 40: Oddálený průběh výsledného zvuku

Na Obr. 40 vidíme graf po oddálení, kde si můžeme všimnout, že se projevuje obálka filtru. Je viditelné, jak nám navolené hodnoty pro ADSR u filtrové obálky ovlivňují ořez filtru.

3.3.5 Uložení presetu

Opět vytvoříme stopu pro softwarový nástroj, z nabídky plug-inů zvolíme Subsequent 25 Editor a finální nastavení pro vytvořený zvuk uložíme pod vhodným názvem.

3.4 Modulace perkusových zvuků

Tato modulace bude poslední, kterou si ukážeme a posléze navážeme na jednoduchou kompozici všech vytvořených zvuků. Opět doporučuji předchozí projekt uložit a pro tuto kapitolu vytvořit nový. V DAW budeme pracovat podobným způsobem, jako v předchozích dvou kapitolách. Tentokrát však budeme potřebovat pouze dvě audio stopy, protože budeme modulovat zvuk basového bubnu (kopáku) a malého bubnu (virblu). Převolby pro zvuk kopáku a virblu najdeme v bance 4. Každý má však svůj patch, proto si je nyní rozdělíme zvlášť do jednotlivých podkapitol.

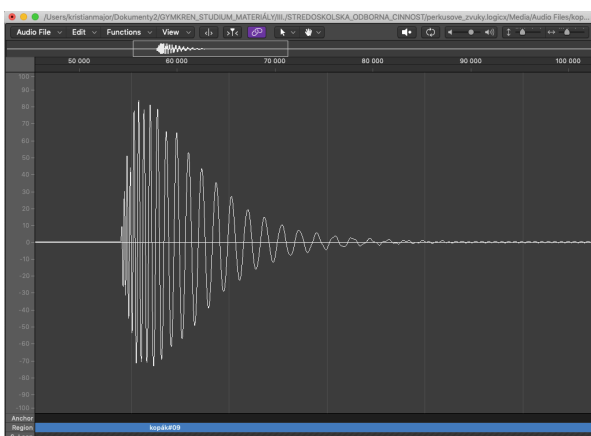
3.4.1 Kopák

Výchozí předvolbu pro zvuk simulující basový buben nalezneme pod patchem 1. Kolečko pro modulaci by mělo být vypnuté, Glide Rate i oktávy nastavíme na hodnotu 0. Obálku pro celkový zvuk nastavíme následovně: attack a decay na 10 milisekund, sustain na 7 a knob pro release do středové polohy.

Ztlumíme-li na mixeru všechny oscilátory a stiskneme libovolnou klávesu, i tak uslyšíme zvuk. To způsobuje rezonance filtru, která je přednastavena v dané předvolbě na maximum. Z teoretické části (kapitola 2.5.1) víme, že když rezonance překročí hodnotu 7, tak způsobí samovolnou oscilaci filtru, tudíž vytváří zvuk. Teprve když rezonanci stáhneme na minimum, neuslyšíme žádný zvuk.

Filtr by měl propouštět pouze nejnižší frekvence, takže knob pro cutoff by měl být nastaven na minimum. Rezonanci vrátíme na hodnotu 10, MultiDrive nastavíme na hodnotu 2, KB Amount na hodnotu 1:1 a EG Amount na +2. Hodnoty pro obálku filtru nastavíme následovně: attack na 10 milisekund, decay na 0.9 sekund, sustain na hodnotu 0 a release do středové polohy.

Výsledný zvuk po zahrání klávesy je příliš slabý, proto ho posílíme o sub-oscilátor, který nastavíme na hodnotu 4.



Obr. 41: Průběh výsledného zvuku kopáku

Po nahrání vytvořeného zvuku dostaneme graf, který je na Obr. 41.

Výsledný zvuk je tlumený, což je způsobeno tím, že jsme zvolili nulový sustain u EG pro filtr. Projevují se pouze attack a decay. Vidíme, že attack odpovídá 10 milisekundám (je krátký). Decay je naopak o něco delší, což také odpovídá nastavené hodnotě (téměř 1 sekunda). Release se neprojevuje, protože sustain je nulový.

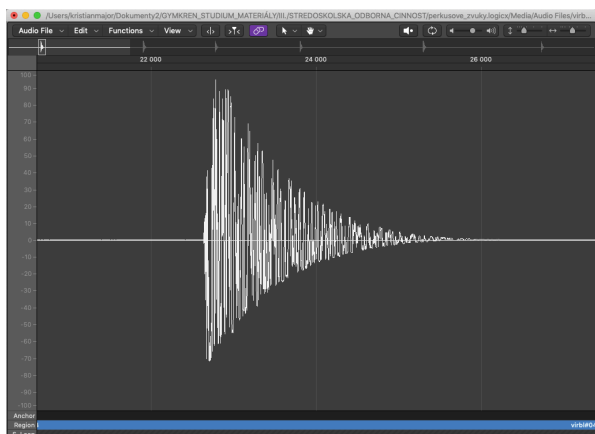
Nyní uložíme výsledné nastavení pro zvuk kopáku pomocí Editor plug-inu. Opět tedy vytvoříme stopu pro tento plug-in a pod vhodným názvem preset uložíme.

3.4.2 Virbl

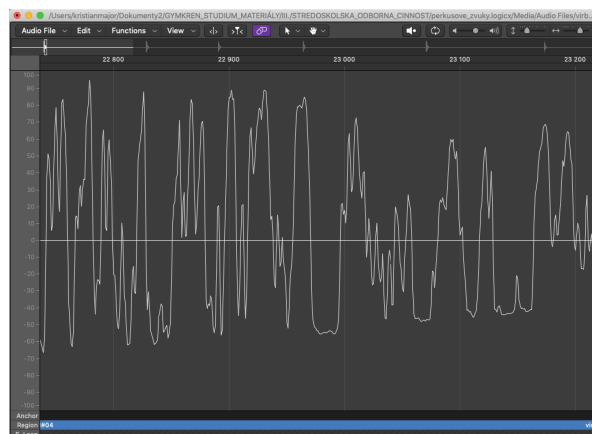
Přesuňme se nyní do druhé audio stopy, kam posléze nahrajeme vymodulovaný zvuk virblu. Zůstáváme v bance 4, ale tentokrát zvolíme patch 2. V této části budeme pracovat pouze s generátorem šumu, proto nemusíme specificky nastavovat panel pro výšku tónu a oscilátory. S modulací také nebudeme pracovat, proto nastavíme modulační kolečko na minimum. Na mixeru nastavíme knoby tak, abychom slyšeli pouze generátor šumu. Výslednou obálku nastavíme tak, aby attack byl na hodnotě 1 milisekunda, decay ve středové poloze a sustain opět na nule. Release nastavovat nemusíme, protože nulový sustain opět ruší jeho vliv.

Filtr plně otevřeme, rezonanci i vliv filtrových obálek nastavíme na nulu. KB Amount necháme na hodnotě 1:1 a přidáme MultiDrive o hodnotě 3.

Po zahrání klávesy uslyšíme vymodulovaný virbl, jehož graf je zobrazen na Obr. 42.



Obr. 42: Průběh výsledného zvuku virblu



Obr. 43: Přiblížený průběh výsledného zvuku virblu

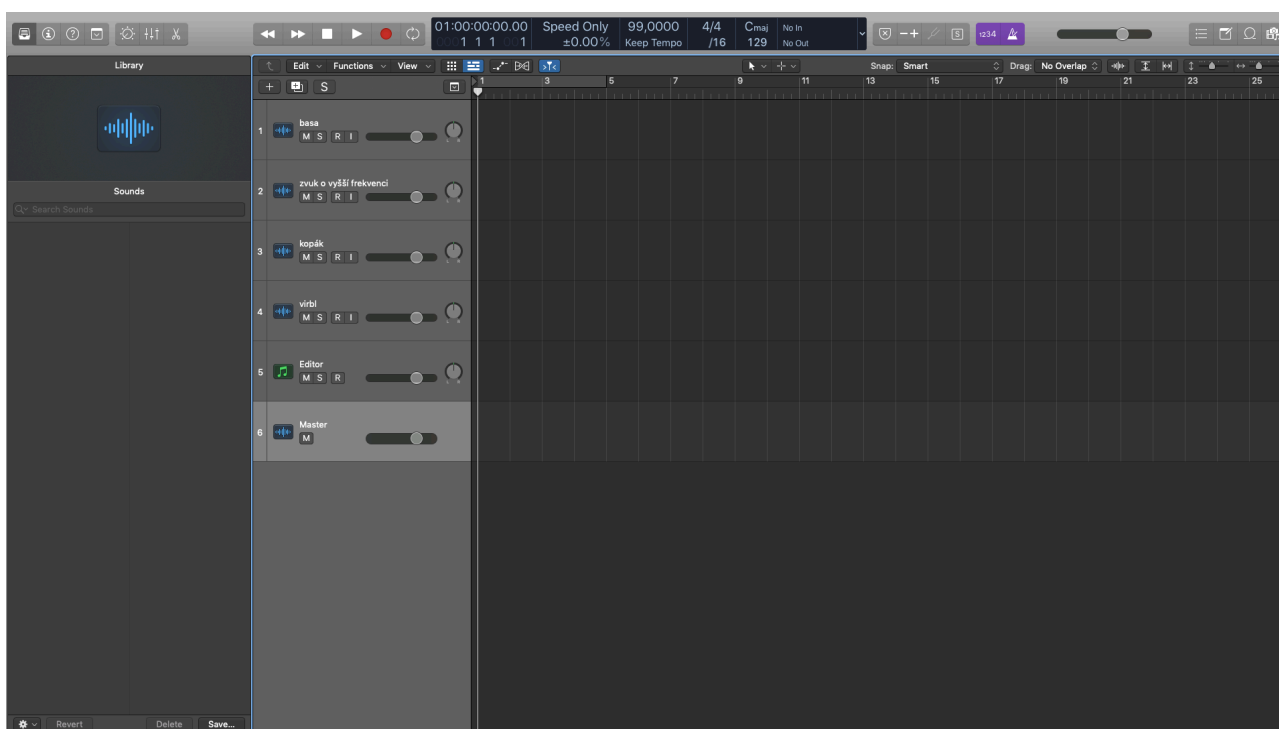
Když graf přiblížíme, můžeme spatřit průběh signálu, který vytváří generátor šumu. V teoretické části jsme si pověděli, že tento generátor vytváří tzv. růžový šum. Na Obr. 43 vidíme, že šum je opravdu složen z náhodných slyšitelných frekvencí, jejichž amplitudy jsou stejné.

Na uložení presetu pro virbl použijeme již vytvořenou stopu s Editorem, pomocí které jsme uložili preset pro kopák. Opět zvolíme vhodný název a uložíme.

3.5 Tvorba hudební nahrávky

Tímto jsme dokončili proces vytváření a následného zkoumání zvuků z analogového syntezátoru Moog Subsequent 25. Nyní máme všechny zvuky vytvořené a připravené k tomu, abychom je mohli použít. V této kapitole se budeme zabývat jednoduchou hudební kompozicí, která nám vymodulované zvuky spojí v jeden celek - krátkou hudební nahrávku.

Na začátek si opět vytvoříme nový projekt s tím, že ten předchozí pro modulaci perkusových zvuků opět uložíme. Závěrečný projekt bude tvořen čtyřmi audio stopami, jednou softwarovou stopou pro Editor plug-in a stopou pro master. Každý zvuk, který jsme vytvořili v jednotlivých kapitolách bude mít svou vlastní audio stopu, proto doporučuji tyto stopy opět vhodně pojmenovat. Stopa pro master nám poslouží k zakončení výsledné skladby do fade-outu. Tempo projektu nastavíme v horní liště na 99 BPM. DAW připravené ke kompozici by mělo vypadat stejně, jako na Obr. 44.



Obr. 44: Připravené DAW ke kompozici

Otevřeme-li Editor plug-in a klikneme na nabídku uložených presetů, měly by se nám ukázat všechny uložené presety pro námi vytvořené zvuky v předchozích kapitolách. Nabídka by měla vypadat stejně, jako na Obr. 45.

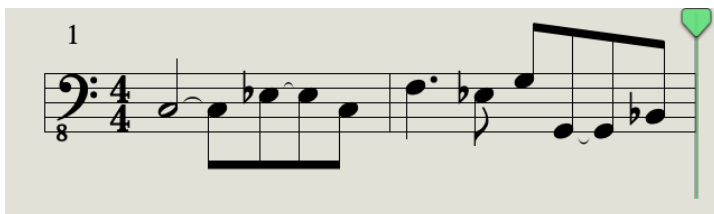


Obr. 45: Uložené presety z předchozích kapitol

Nyní se přesuneme ke tvorbě melodií (basa a vyšší zvuk s vlivem modulace) a rytmů (kopák a virbl).

3.5.1 Melodie basového zvuku

Začneme námi prvním vymodulovaným zvukem – basou. Opět budeme provádět nahrávání stejným způsobem jako v předchozích kapitolách praktické části. Tentokrát se však budeme řídit notovým zápisem jednoduché melodie, kterou jsem vymyslel, a je uvedena na Obr. 46 a 47.



Nahrajeme-li správně zahranou melodii podle not do tempa 99 BPM (tempo projektu), tak by měl mít výsledný zvuk stejnou podobu, jako na Obr. 48.



Obr. 48: Nahraná melodie basového zvuku

Vidíme, že zvuk zasahuje i do třetího taktu. Pro další práci s basou je proto nutné stříhnout zvuk tak, aby končil přesně s druhým taktom, jak je uvedeno v notovém zápisu. Po této drobné úpravě už můžeme dát melodii do smyčky. Jedno opakování melodie by tedy mělo vyplnit vždy 2 takty, jak můžeme vidět na Obr. 49.

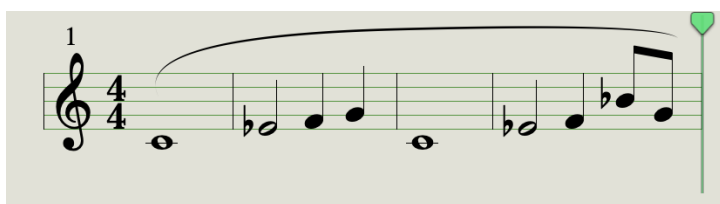


Obr. 49: Nahraná melodie basového zvuku ve smyčce

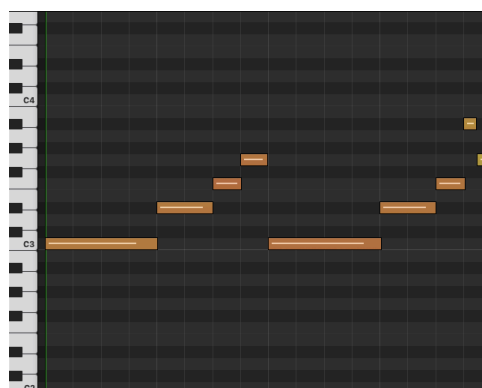
Tvorba melodie basy je tímto hotová. Ztlumme tedy tuto audio stopu a přesuňme se k další melodii.

3.5.2 Melodie vyššího zvuku s vlivem modulace

Zvolme druhou audio stopu a v Editor plug-inu nastavme preset pro zvuk, který jsme vymodelovali v kapitole 3.3. Opět nahrajme melodii podle notového zápisu na Obr. 50 a 51.

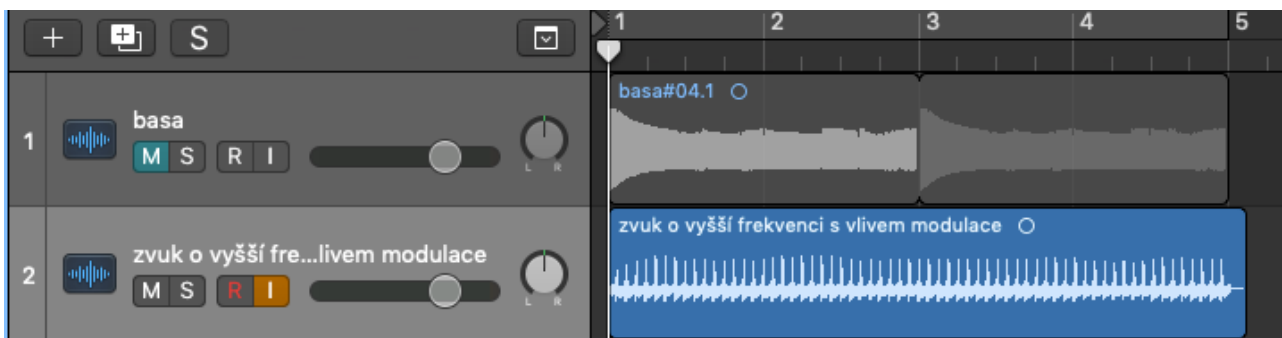


Obr. 50: Notový zápis melodie pro vyšší zvuk



Obr. 51: MIDI zápis melodie pro vyšší zvuk

Dodržíme-li notový zápis a tempo metronomu, měl by výsledný nahraný zvuk vypadat stejně, jako na Obr. 52.



Obr. 52: Nahraná melodie vyššího zvuku s vlivem modulace

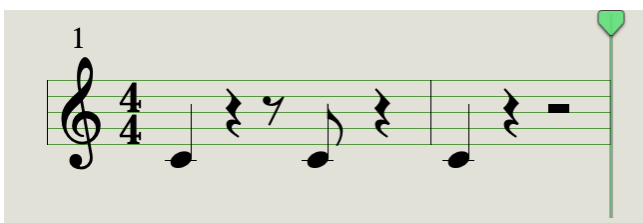
Tentokrát výsledný zvuk zabírá 4 takty a zasahuje do pátého. Provedeme tedy znovu stejnou úpravu střihu. Tentokrát zvuk stříhneme přesně na pomezí 4. a 5. taktu. Po úpravě můžeme vytvořit smyčku, která by měla mít stejnou podobu, jako na Obr. 53.



Obr. 53: Nahraná melodie vyššího zvuku s vlivem modulace ve smyčce

3.5.3 Rytmus kopáku

Pro vytvoření rytmu kopáku se nejdříve přesuneme do třetí audio stopy a ztlumíme audio stopu druhou. Znovu otevřeme Editor a nastavíme preset na kopák. Dle notového zápisu na Obr. 54 a 55 nahrajeme zvuk opět dle tempa projektu.

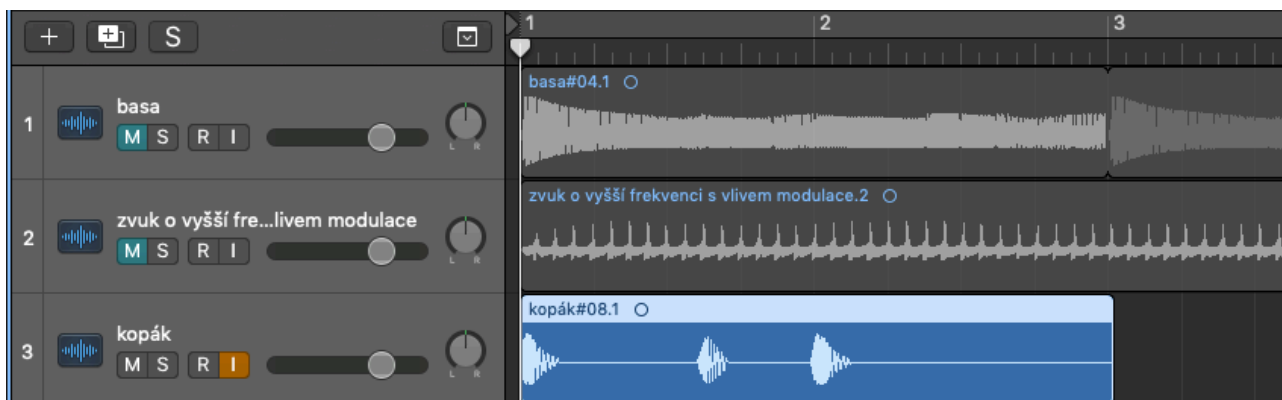


Obr. 54: Notový zápis rytmu pro kopák



Obr. 55: MIDI zápis rytmu pro kopák

Nahraný zvuk je zobrazený na Obr. 56.



Obr. 56: Nahraný rytmus zvuku kopáku

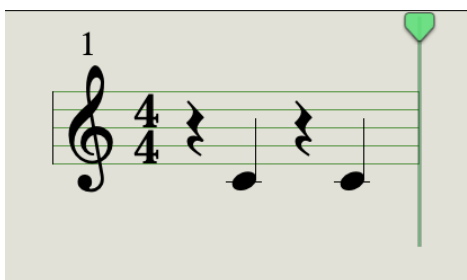
Rytmus je napsán do dvou taktů, proto tedy zvuk stříhneme na pomezí 3. a 4. taktu. Po úpravě můžeme opět vytvořit smyčku. Výsledek je zobrazen na Obr. 57.



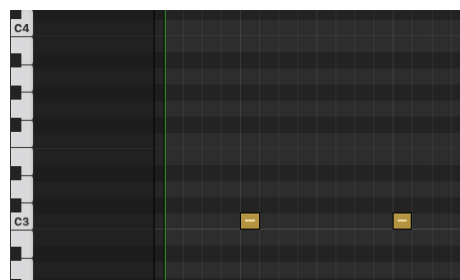
Obr. 57: Nahraný rytmus zvuku kopáku ve smyčce

3.5.4 Rytmus virblu

Nyní naposledy zopakujeme celý proces. Ztlumíme třetí audio stopu a přesuneme se do čtvrté. Editor nastavíme tak, aby byl aktivní preset pro virbl. Znovu nahrajeme zvuk podle nového notového zápisu, který je uveden na Obr. 58 a 59.

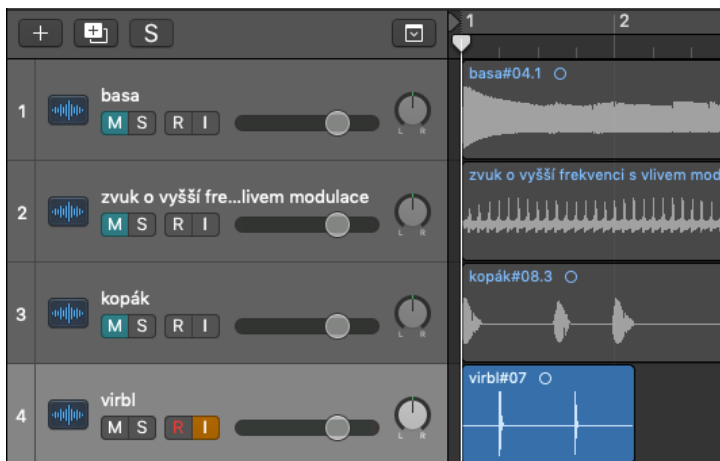


Obr. 58: Notový zápis rytmu pro virbl



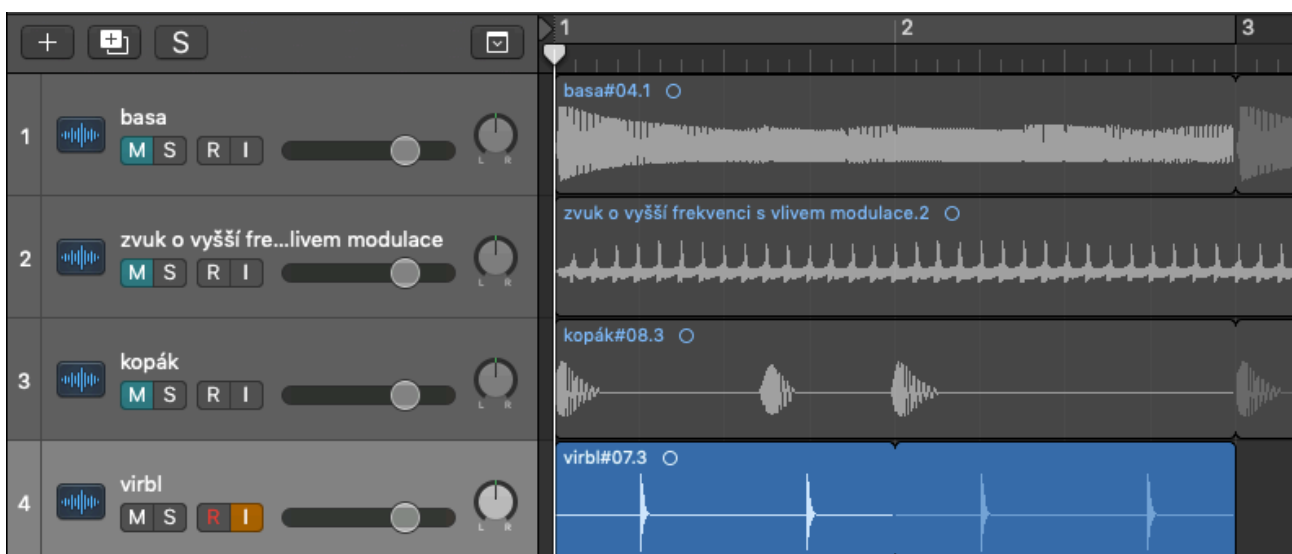
Obr. 59: MIDI zápis rytmu pro virbl

Po nahrání správně zahráného zápisu dle tempa by měl výsledný záznam vypadat stejně, jako na Obr. 60.



Obr. 60: Nahraný rytmus zvuku virblu

Tentokrát je rytmus napsán pouze v jednom taktě. Zvuk tedy opět stříhneme tak, aby seděl přesně do jednoho taktu. Posléze můžeme vytvořit smyčku, jejíž podobu vidíme na Obr. 61.

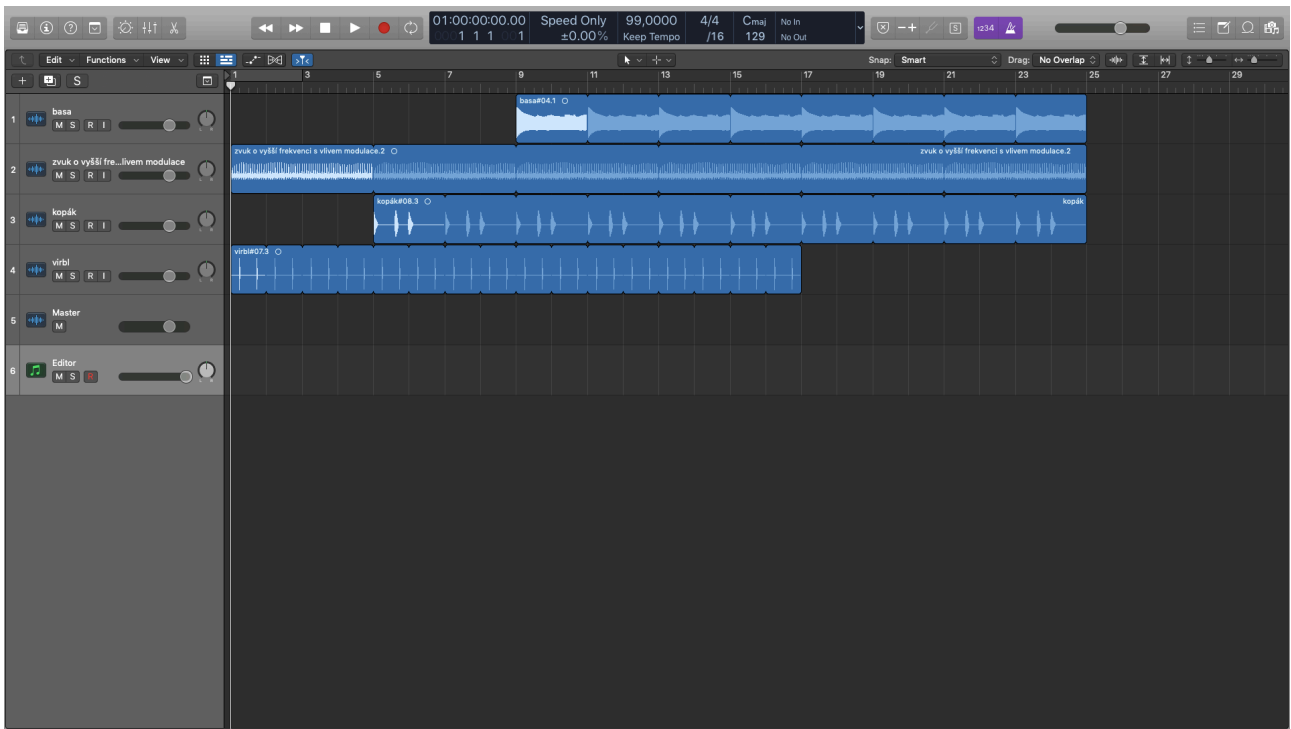


Obr. 61: Nahraný rytmus zvuku virblu ve smyčce

Tímto máme všechny melodie a rytmy vytvořeny a připraveny k sestavení skladby.

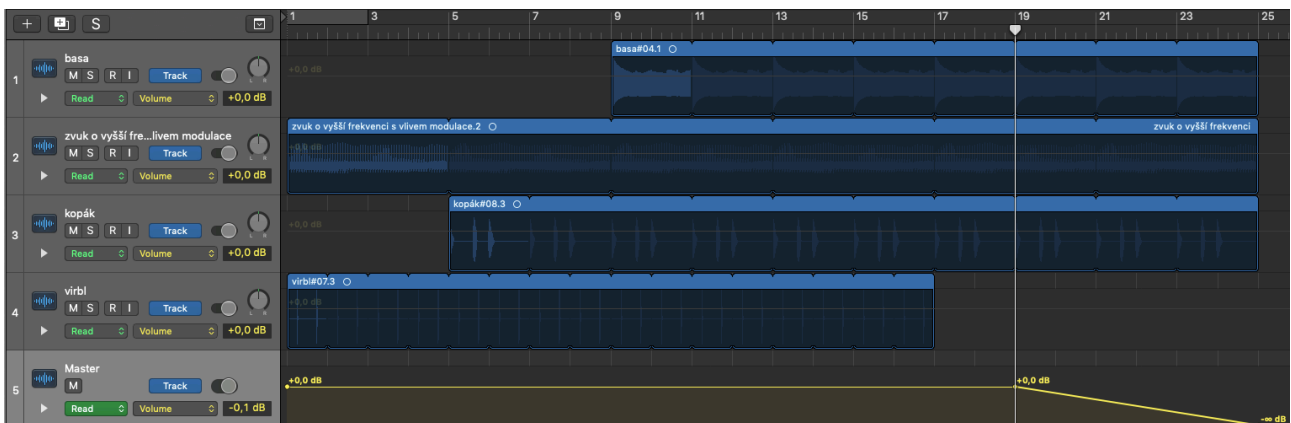
3.5.5 Sestavení výsledné kompozice

Z jednotlivých smyček nyní sestavíme jednoduché aranžmá. První čtyři takty naší skladby vyplníme pouze smyčkami z audio stop 2 a 4 („kmitavý” zvuk o vyšší frekvenci a virbl). Na pátý takt se přidá kopák (přidáme tedy smyčku z audio stopy třetí). Audio stopy 2, 3 a 4 necháme hrát ve smyčce další čtyři takty a nakonec se v devátém taktě přidá i basa (smyčka první audio stopy). Kompletní sestavu nástrojů (zvuků) necháme hrát ve smyčce dalších osm taktů. Po uplynulých osmi taktech již smyčku virblu dále neprodlužujeme a necháme hrát pouze basu, zvuk o vyšší frekvenci s vlivem modulace a kopák. Touto sestavou vyplníme závěrečných osm taktů. Výsledná podoba seskládaných smyček tvoří jednoduchou hudební kompozici, která je zobrazena na Obr. 62.



Obr. 62: Výsledné aranžmá

Pro zakončení skladby použijeme jednoduchý efekt - fade-out. Ten vytvoříme pomocí stopy pro master. Po kliknutí na ni, otevřeme nastavení pro úpravu hlasitosti a provedeme fade-out od 19. taktu, stejně jako na Obr. 63.



Obr. 63: Fade-Out

Jakmile máme závěrečný efekt hotový, můžeme si výsledek poslechnout. Když opomeneme finalizaci a mastering, tak jsme tímto dosáhli vytvoření krátké hudební nahrávky. Její výslednou podobu nalezneme také na: <https://youtu.be/K8MsP73A1kw>

4. ZÁVĚR

Cílem naší práce bylo poznat podstatu syntezátoru jako nástroje, který nám dává nespočet možností ke tvorbě zvuku. Pojem syntezátor jsme v teoretické části probrali od historie přes principy zvukových syntéz až k jeho samotné stavbě. Ukázali jsme si, jak se pracuje se syntezátorem Moog Subsequent 25, a také to, jaké zvuky dokáže vytvářet. Tato práce nám však zároveň dává základ k pochopení dalších jiných syntezátorů a to jak hardwarových, tak i softwarových, které jsou v dnešní době dostupnější a zároveň možná i používanější.

Tím, že se má práce zabývá jen zlomkem velmi širokého tématu, je mnoho možností, jak na ni navázat. Dala by se vytvořit práce týkající se syntezátorů jiného typu, například modulárních. Dala by se zpracovat problematika již zmíněných softwarových syntezátorů, nebo také předchůdců syntezátorů, kteří jsou zmíněny v kapitole o historii.

Díky znalostem, které jsme získali v teoretické části, jsme byli schopni dosáhnout cíle naší práce. Vytvořili jsme krátkou hudební nahrávku, která je tvořena pouze zvuky vymodelovanými na syntezátoru, jejichž znění jsme si odůvodnili a měli tak kontrolu nad vším, co děláme. Výsledná hudební nahrávka dokazuje to, k čemu syntezátory doopravdy slouží.

Výsledek mé práce je dostupný na: <https://youtu.be/K8MsP73A1kw>

Literatura

[1] Teletone. Old School Electronic Music. Teletone.cz [Online]. <http://elektronicka-hudba.telotone.cz/sluzby/prehled-clanku>

[2] LIUDKEVICH Denis. Bakalářská práce. Syntezátory pro elektronické hudební nástroje [Online]. https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68526/F3-BP-2017-Liudkevich-Denis-BP_Liudkevich_Denis_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[3] MAJER Jakub. Bakalářská práce. Přehled analogových syntezátorů [Online]. <https://adoc.pub/zapadoeska-univerzita-v-plzni-fakulta-elektrotechnicka-kated264e70d23ae9bc4a52b6c84dae77c26191588.html>

[4] WIKIPEDIA: THE FREE ENCYCLOPEDIA. Synthesizers - Wikipedia [Online]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Synthesizer>

[5] WIKIPEDIA: THE FREE ENCYCLOPEDIA. Voltage-controlled filter - Wikipedia [Online]. https://en.wikipedia.org/wiki/Voltage-controlled_filter

[6] MOOG MUSIC INC. Subsequent 25 Manual.

[7] Leon. Frontman. Analogový synth Moog Subsequent 25 [Online]. <https://www.frontman.cz/analogovy-synth-moog-subsequent-25>

[8] REICHL Jaroslav. Encyklopedie fyziky. Zvukové vlnění [Online]. <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/152-zvukove-vlneni>