

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta pedagogická

Bakalářská práce

2014

Tomáš Votava

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA PEDAGOGICKÁ

KATEDRA HUDEBNÍ KULTURY

Využití multimédií ve výuce HV

Sazba not, digitalizace a jejich možné využití ve školní praxi

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tomáš Votava

Specializace v pedagogice

Hudba se zaměřením na vzdělávání

Vedoucí práce: doc. MgA. Jiří Bezděk, Ph.D.

Plzeň, 2014

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

Plzeň, 30. června 2014

.....

vlastnoruční podpis

Obsah

Obsah	1
1 Úvod	3
2 Sazba not	4
2.1 MIDI	5
2.1.1 Historie MIDI.....	5
2.1.2 Standard MIDI 2.0	5
2.1.3 Stavové zprávy MIDI	8
2.1.4 Notace a software	9
2.2 Skenování not	12
2.2.1 OCR	12
2.2.2 OMR.....	13
3 Digitalizace zvuku	15
3.1 Zvuk jako mechanické kmitání (akustický zvuk)	16
3.2 Analogový zvuk	17
3.2.1 Mikrofon.....	17
3.2.2 Elektromagnetický snímač.....	20
3.3 Digitální zvuk	20
3.3.1 Procesy během digitalizace	20
3.3.2 Kódování	24
3.3.3 Syntetický zvuk.....	28
4 Školní praxe	35
4.1 Základní a střední školy	35
4.2 ZUŠ a umělecké školy	37
4.3 Využitelné multimediální prostředky	38
4.3.1 SMART Board – interaktivní tabule	38
4.3.2 Vlastní software.....	39
5 Závěr	43
6 Résumé	44
7 Seznam použitých zdrojů	45

7.1	Literární zdroje	45
7.2	Internetové zdroje.....	45
8	Seznam obrázků	48
9	Seznam příloh	49

1 Úvod

V současné době, kdy svět žije technikou, se elektronické vymoženosti dostávají postupně do všech odvětví lidského života. Ráno vstáváme s naší oblíbenou písní, hrající z mobilního telefonu, který je nám zároveň budíkem, a který nám rovnou i oznámí, kam máme zrovna jít, co tam budeme dělat, a někdy dokonce i jak se tam dostaneme. Zasedneme k počítači a kontaktujeme své přátele, získáváme informace, a zatímco se nám v elektronickém kávovaru připravuje ranní cappuccino, zapínáme tablet, abychom zkontrolovali, jestli nám dnes vystačí baterie na dohrání té nové hry, co jsme včera nainstalovali.

V práci nebo ve škole na nás čekají další a další stroje. Na co se ale velmi často zapomíná, je fakt, odkud se nám v mobilu vzala ta hudba, co nás ráno budila? Elektronický kávovar nadšeně zapípal, když byla naše káva hotová a koneckonců i výtah nebo třeba autobus, kterým jsme jeli domů, na nás mluvil.

Kde se bere hudba ve strojích? K čemu ta hudba je? Je možno pomocí strojů učinit výuku hudby přístupnější? To jsou otázky, kterým bych se rád věnoval v mé bakalářské práci.

Tato bakalářská práce je záměrně psána mírně odlehčenou formou, neboť jde-li o zpřístupnění a přiblížení se studentům, je podle mého názoru občasné vybočení z přísně odborného stylu na místě.

2 Sazba not

Význam moderní technologie nezdědka bývá spojován s ulehčováním úkonů, které jinak mohou být pro člověka časově či energeticky náročné nebo nepohodlné. Například světový rekord v psaní na klávesnici je kolem 900 úhozů za jednu minutu.¹ Jedná se však o extrém. Člověk, který netráví příliš času u počítače, většinou zvládne kolem šedesáti znaků za minutu.² To je ale druhý extrém. Vzato kolem a kolem se zkrátka jedná o výrazné ulehčení oproti psaní rukou. S psaním not je to už komplikovanější. Existuje spousta počítačových programů, které se snaží sazbu not usnadnit, ale – přinejmenším podle mé vlastní osobní zkušenosti – žádný z nich³ zatím nenabízí takové pohodlí a rychlost jako tužka a notový papír. I přes své ne příliš intuitivní ovládání ale tyto programy nabízejí velkou spoustu výhod. Patří mezi ně například přenosnost (velké množství formátů, ve kterých lze noty uložit), hromadná úprava (transpozice, změna klíče, kopírování jednotlivých částí, ...) a skladnost. Například partitura k opeře Čertova Stěna od B. Smetany má 699 stran⁴, což jí propůjčuje tloušťku kolem 10 cm. Rozměry papíru o formátu A5 činí 14,8 a 21 cm.⁵ Objem takové partitury je 3108 cm³. V elektronické podobě – nejčastěji užívaným formátem je PDF – velikost sedmisetstránkového dokumentu nepřesáhne 100 MB. Paměťová karta typu mikro SDHC o kapacitě 16GB má objem 165 mm³.⁶ Na kartu se Smetanova partitura vejde 163 krát. Takže karta o velikosti nehtu pojme tolik partitur jako například jedna z větších vířivek.

Počítače samozřejmě nerozumí notám tím lidským způsobem, mají svůj svět jedniček a nul, takže i k notám přistupují pouze jako k číslům. Aby pak stroj věděl, jak tato čísla překládat pro člověka, musí existovat různé specifikace. Těch je obrovská spousta, ale celosvětově rozšířeným a oblíbeným standardem se stala norma MIDI.

¹ Nejrychleji na světě "datluje" absolventka VŠE. ČESALOVÁ, Tereza. *IList.CZ: Informační a zpravodajský server studentů Vysoké školy ekonomické v Praze* [online]. 2005 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z:

<http://www.ilist.cz/clanky/nejrychleji-na-svete-datluje-absolventka-vse>

² Žáci opavské základní školy jsou nejrychlejší na světě v psaní na klávesnici. *Česká televize* [online]. 2013 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/zpravodajstvi-ostava/zpravy/235920-zaci-opavske-zakladni-skoly-jsou-nejrychlejsi-na-svete-v-psani-na-klavesnici/>

³ Pro srovnání jsem vyzkoušel software MuseScore, Guitar Pro, Cubase, Avid Pro Tools, Sibelius.

⁴ Uvedeno v katalogu Studijní a vědecké knihovny plzeňského kraje

⁵ Rozměry papíru formátu A4, A5, A6, A3, ... In: *Rozměry-velikosti.cz: Rozměry, velikosti, velikostní tabulky* [online]. 2014 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: <http://www.rozmary-velikosti.cz/papir-a4-a5.htm>

⁶ Secure Digital. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital

2.1 MIDI

Název je zkratkou anglických slov Musical Instruments Digital Interface (digitální rozhraní pro hudební nástroje). Jedná se o komunikační standard, který umožňuje dorozumívání se mezi dvěma přístroji, jakýsi jazyk určující způsob doručení informace mezi komunikanty. Komunikantem pak mohou být například elektronické klávesy, syntezátor, počítač nebo dokonce herní ovladač. Protokolů jako MIDI existuje celá řada – můžeme znát například USB, LPT, TCP, PS/2 a velkou spoustu dalších. Abychom pochopili důvod vzniku specifikace MIDI, bude nutné nejdříve uvést několik obecných informací z historie hudební techniky.

2.1.1 Historie MIDI

V pozdních 70. letech byly představeny první syntetizátory – monofonní elektronické přístroje, které se pomocí kabelů připojovaly k modulům, díky nimž vydávaly zvuky. Později se z monofonních syntetizátorů staly polyfonní a z nich se nakonec vyvinuly syntetizátory programovatelné. Prvním z nich byl *Prophet 5*, který se na trhu objevil v roce 1979 a jako první nabízel polyfonii a programovatelnost. Jeho výrobcem byla firma *Sequential Circuits*. Velkou nevýhodou těchto syntetizátorů bylo, že právě kabely, kterými se zařízení propojovala, byly u každé firmy různé. Každá společnost si své moduly dělala po svém, takže když jste měli syntetizátor od *Sequential Circuits*, a rádi byste využili zvuků modulu od jiné firmy, bylo více než pravděpodobné, že to zkrátka nepůjde.⁷

Zařízení spojovaly jiné kabely, používala různé protokoly, zkrátka mluvila každá jiným jazykem. A právě proto vznikla roku 1983⁷ specifikace MIDI, univerzální standard elektronických zvukových zařízení.

2.1.2 Standard MIDI 2.0

Současná verze MIDI podporuje přenos dat po 16 kanálech souběžně. Skrze každý kanál probíhají stavové zprávy. Každá tato zpráva má velikost jednoho bajtu + 2 bity jako záloha, ze které je možné obnovit porušená data. Dohromady tedy 10 bitů na jednu zprávu. Tyto informace proudí kabelem MIDI rychlostí 3 kB/s. Ve srovnání s nekomprimovanými

⁷ GUÉRIN, Robert. *Velká kniha MIDI: standardy, hardware, software*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2004, 340 s. ISBN 80-722-6985-2.

zvukovými daty, která jsou z CD čtena rychlostí asi 172 kB/s, je MIDI šnek. Avšak MIDI si to může dovolit právě díky tomu, že skrze něj neprochází zvuková data, ale spíše informace o tom, jak má zvuk znít. Zatímco na CD je přímo zaznamenán zvuk, stavové informace MIDI pouze říkají, jaká nota má začít hrát a kdy, jaký nástroj ji má přehrát, a kdy má tato nota skončit. O převedení těchto požadavků do zvukové podoby se stará syntetizátor.⁷

MIDI zprávy jsou vždy zahájeny jednobajtovou položkou (číslem), která se nazývá status a určuje typ zprávy. Protože MIDI původně bylo určeno výhradně pro klávesové nástroje, vychází z jejich názvosloví a stejně je to s typy zpráv. Od dob počátků tohoto protokolu ale uběhla spousta let a za tu dobu se vyvinulo velké množství dalších typů hardware a software, které pro komunikaci mezi sebou používají MIDI, a proto se může stát, že některé z názvů neodpovídají skutečnosti, jednotlivá zařízení je vykládají podle vůle výrobce a ti mnohdy původní názvosloví nerespektují.⁸

Stavový bajt je následován až třemi možnými dodatečnými datovými bajty (číslly), určujícími informace potenciálně nutné pro správnou interpretaci stavového bajtu⁷. Některé ze zpráv však nevyžadují žádné z těchto informací, případně jen některé z nich. Pro kompletní přehled všech stavů a jejich datových bajtů si můžete prohlédnout přehledné tabulky na stránkách Midi Manufacturers Association, držitelů standardu MIDI. Tyto tabulky naleznete na webových stránkách <http://www.midi.org/techspecs/midimessages.php>, společně s dodatečnými informacemi pro správnou interpretaci.

Příkladem datových bajtů může být číslo tónu. MIDI zná celkem 128 not, jejichž čísla jsou od nejhlubšího po nejvyšší číslována od nuly. Za základní notu považuje standard MIDI C1, kterému bylo přiřazeno číslo 60.⁹ Notě C#1 pak odpovídá číslo 61, notě D1 62, a tak dále. Protože se vše v počítačích pohybuje v číslech, nezná standard MIDI označení oktáv tak, jak ho známe my. Bohužel se interpretace oktáv v různých zdrojích dost liší, z vlastní zkušenosti s různými softwarovými i hardwarovými zařízeními vím, že skutečné znějící C1 většinou bývá označeno jako MIDI C3. Nejnižší C, které MIDI zná (tedy tón s číslem nula) je pak C-2. Když odpočteme, že MIDI C-2 je od C3 (tedy našeho

⁸ MIDI Messages. MIDI MANUFACTURERS ASSOCIATION INCORPORATED. *MIDI Manufacturers Association* [online]. 2014 [cit. 2014-06-23]. Dostupné z: <http://www.midi.org/techspecs/midimessages.php>

⁹ MIDI Note Numbers for Different Octaves. SCARFF, Thomas. *Dublin Institute of Technology: School of Electronics and Communications Engineering* [online]. 2014 [cit. 2014-06-23]. Dostupné z: http://www.electronics.dit.ie/staff/tscarff/Music_technology/midi/midi_note_numbers_for_octaves.htm

C1) vzdálené 5 oktáv, zjistíme, že teoretický tón nula je pro lidské ucho neslyšitelný – leží oktávu pod subkontra C, který je s kmitočtem 16,4 Hz¹⁰ posledním obecně slyšitelným tónem. Nabízí se tedy otázka, proč nezačít nejnižším slyšitelným tónem a nerozšířit tak škálu MIDI not o celou jednu oktávu směrem nahoru. Získali bychom totiž namísto současného nejvyššího znějícího G5 vysoké G6, které v hudbě nenajde prakticky žádné využití. Teď lze argumentovat slovy, že neslyšitelná oktáva hluboko dole v hudbě také nenalezne využití. Hardwarová zařízení i softwarové programy od samých počátků podporují tzv. MIDI učení. To spočívá v přiřazování MIDI signálů k různým akcím. Ať už se jedná například o změnu transpozice, nástroje, programu či čehokoliv jiného, co dané zařízení podporuje. Lze tak například dosáhnout toho, že nota C-2 (z názvosloví MIDI) snižuje transpozici o jeden půltón a nota C#-2 naopak o jeden půltón zvyšuje. Hráč pak nemusí během hraní složitě měnit nastavení, stačí stisknout jedinou klávesu. A proč je tedy pro tyto funkce rezervována nejnižší oktáva a ne ta nejvyšší? Jak už bylo řečeno, názvosloví MIDI vychází z klávesových nástrojů, a protože většina klávesistů je zvyklá pravou rukou hrát a levou měnit nastavení, byla rezervace níže položených kláves tou pravou volbou.⁷

Po krátkém hledání na Google.com dojdeme k závěru, že sehnat klávesy s klaviaturou disponující sto osmadvaceti klapkami je nemožné. Síla MIDI je právě ve schopnosti téměř donekonečna propojovat téměř nekonečné množství zařízení. Dvě klaviatury s osmaosmdesáti klapkami už totiž tvoří velmi dobrý základ nejen pro živé hraní. Z toho jedna celá klaviatura může sloužit jako tzv. MIDI kontroler⁷, pomocí něhož můžeme ovládat software nebo hardware, který jsme naučili (viz výše), jak reagovat na jednotlivé z dostupných kláves. Druhá klaviatura pak slouží k posílání not do syntetizátoru, ať už v podobě drahého hardware nebo v podobě výkonného počítače se softwarovým syntetizátorem.

Poslední z výhod MIDI, kterou zde ještě uvedu, je právě skutečnost, že se jedná o malé množství silně a působivě rozvržených digitálních informací. Nízký datový tok popsaný výše a s ním související nízká latence (zpoždění) mezi stisknutím klapky a zpracováním MIDI signálu v cílovém zařízení jsou jen jedny z mnoha vlastností, které činí práci s MIDI tak efektivní. Pokud jsme zmínili transpozici, pak je dobré zmínit, že v případě digitálního zvuku se jedná o přepočítávání velkého množství vzorků (více níže

¹⁰ Oktáva (hudba). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-23]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Okt%C3%A1va_\(hudba\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Okt%C3%A1va_(hudba))

v kapitole Vzorkování). Vezmeme-li v úvahu, že MIDI zná noty pouze jako jednoduchá čísla a ne jako zvuky, transpozice je v tomto případě velmi snadná – stačí přičíst (resp. odečíst) dané množství půltónů od čísla noty. Pokud hrajeme tón C1 (nota č. 60) v transpozici -2 půltóny, pak MIDI zařízení zkrátka nepřijme číslo noty 60 ale 58. Díky tomu, že transpozice MIDI probíhá ještě předtím, než je vytvořen daný zvuk, nedochází touto cestou k deformaci zvuku jeho posunováním.

2.1.3 Stavové zprávy MIDI

Robert Guérin ve své publikaci Velká kniha MIDI z roku 2004 rozděluje stavové zprávy do pěti kategorií – Channel Voice, Channel Mode, System Common, System Real Time a System Exclusive. Nejčastěji se v praxi setkáme s prvními dvěma, ostatní tedy nebudu podrobněji popisovat.

Zprávy kategorie Channel Voice jsou vůbec nejčastěji přenášenými MIDI daty. Jedná se totiž o informace o notách. Patří sem dva nejdůležitější stavy – Note on a Note off, označující stisknutí a opuštění noty (resp. klávesy). Dalšími užívanými zprávami jsou data označující tzv. aftertouch, což je funkce, která u dynamicky citlivých klaviatur sleduje, zda po stisknutí klávesy nebyla tato klávesa ještě více domáčknuta. Informace o aftertouch bývá syntetizátorem většinou zpracovávána jako vibrato. V neposlední řadě sem spadají funkce pro změnu programu (nástroje) a tzv. pitch bending – změna výšky tónu. Pro pitch bending jsou využity oba dva dodatečné datové bajty, každý o celkovém počtu možností 128 hodnot, což kombinatoricky tvoří $2^7 \times 2^7 = 2^{14} = 16\,384$ hodnot – tedy více než šestnáct tisíc poloh otočného kolečka nebo joysticku na klávesách. Informace o poloze těchto ovladačů jsou přenášeny právě jako MIDI informace. O tom, jak budou zpracovány, rozhoduje cílové MIDI zařízení. Většinou však bývá využita polovina poloh pro posun o jeden tón směrem dolů a druhá polovina směrem nahoru.⁷

Zprávy typu Channel Mode určují způsob, jakým bude cílové MIDI zařízení nakládat s příchozími a odchozími zprávami. Mezi základní nastavení patří módy Omni, Poly a Mono. Pokud je režim Omni aktivován, znamená to, že zařízení přijímá zprávy na všech šestnácti kanálech, pokud ne, zařízení je nastaveno na specifické příchozí kanály (nebo jen jeden). Módy Poly a Mono označují, zda má zařízení přehrávat více tónů naráz (Poly) nebo pouze jeden (Mono). Tyto módy se dají navzájem kombinovat, ze zjevných důvodů je z tohoto vyňata kombinace Poly + Mono.⁷ Opět z mé zkušenosti především se

softwarovými syntetizátory vyplývá, že v případě módu Mono je též možno určit, zda má zařízení zpracovávat pouze notu nejvyšší, nejnižší nebo poslední stisknutou.

Příklady zásadních MIDI zpráv společně s jejich datovými bajty uvádím v tabulce na Obr. 1.

Zpráva status		1. datový bajt		2. datový bajt	
Číslo	Význam	Rozsah	Význam	Rozsah	význam
128	Note Off, kanál 1	0-127	číslo noty	0-127	hlasitost*
129	Note Off, kanál 2	0-127	číslo noty	0-127	hlasitost*
130 - 143	Note Off, kanál 3 - 16	0-127	číslo noty	0-127	hlasitost*
144 - 159	Note On, kanál 1 - 16	0-127	číslo noty	0-127	hlasitost
192 - 207	Program change, kanál 1 - 16	0-127	číslo nástroje	-	-

* u zprávy Note Off nehraje hlasitost roli, u některých zařízení se místo Note Off odesílá Note On s hlasitostí 0

Obr. 1 – příklady MIDI zpráv (zdroj: autor)

Syntetizátory často neinterpretují hlasitost (původně angl. velocity = rychlost) jako sílu tónu, ale spíše jako jeho artikulaci.⁷ Setkáme se tak například s tím, že noty zahrané s hlasitostí vyšší jsou artikulovány více staccato než ty, které jsou stisknuty jemněji.

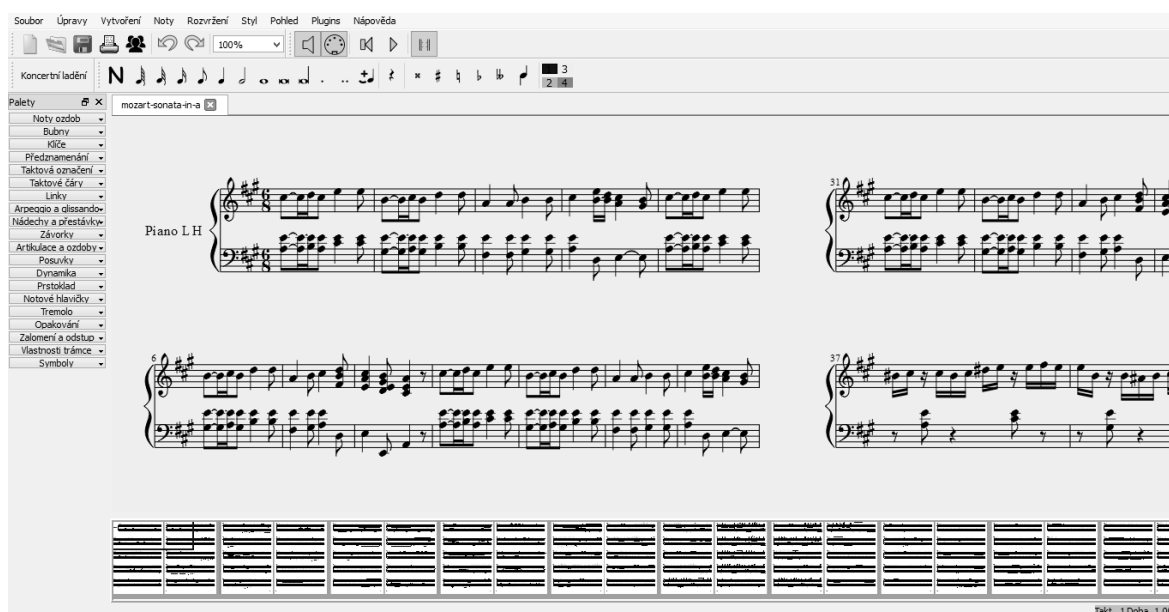
2.1.4 Notace a software

V následující kapitole se pokusím popsat, jak na mě působily některé notační programy. Za možnost ozkoušení těch placených bych rád poděkoval příteli, který si zde nepřál být jmenován.

2.1.4.1 MuseScore

Na přednáškách doktora Jiřího Vyšaty na Západočeské univerzitě v Plzni jsme měli možnost vyzkoušet si práci s notačním softwarem MuseScore, který je zdarma dostupný ke stažení na oficiálních stránkách produktu (musescore.org). Jeho možnosti jsou velmi pokročilé – umožňuje standardní notaci rukou, připojení MIDI zařízení a zápis hraných not, kopírování, transpozici, akordy a akordové značky, má spoustu svých nástrojů, ale jak už bylo zmíněno výše, jeho ovládání není dostatečně intuitivní. Pokud zvolíme délku noty, zbytek taktu je automaticky vyplněn počtem pomlček o délce stejné, jako je nota. Takže pokud je první notou, kterou vkládáme, šestnáctinová nota, MuseScore jakoby automaticky předpokládal, že šestnáctkové budou všechny. To samozřejmě není velký problém, ale takt v tu chvíli vypadá chaoticky. MuseScore se za každou cenu snaží, aby každý takt, ať už byl uživatelem navštíven a vyplněn nebo ne, byl vyplněn zcela, aby žádná nota nechyběla. To

může vyvrcholit v jistou „hádku“ s programem, kdy v taktu zbývá sedm šestnáctinových pomlk, a já nemohu nastavit délku noty na čtvrt'ovou, protože to by pochopitelně vyústilo v takt, přeplněný o celou jednu osminu s tečkou. Řešením by mohlo být smazat ty automatické pomlky, to se mi ale nepodařilo. Navíc při druhém pokusu o stejnou činnost v novém souboru vše proběhlo v pořádku, zdá se tedy, že si vzájemně nerozumíme. MuseScore je možná silný, rozvinutý a především zdarma, ale na to, aby se člověk stal mistrem v jeho ovládnání, si program žádá až příliš času. Na Obr. 2 můžete vidět MuseScore.



Obr. 2 - základní zobrazení notačního softwaru MuseScore (zdroj: autor)

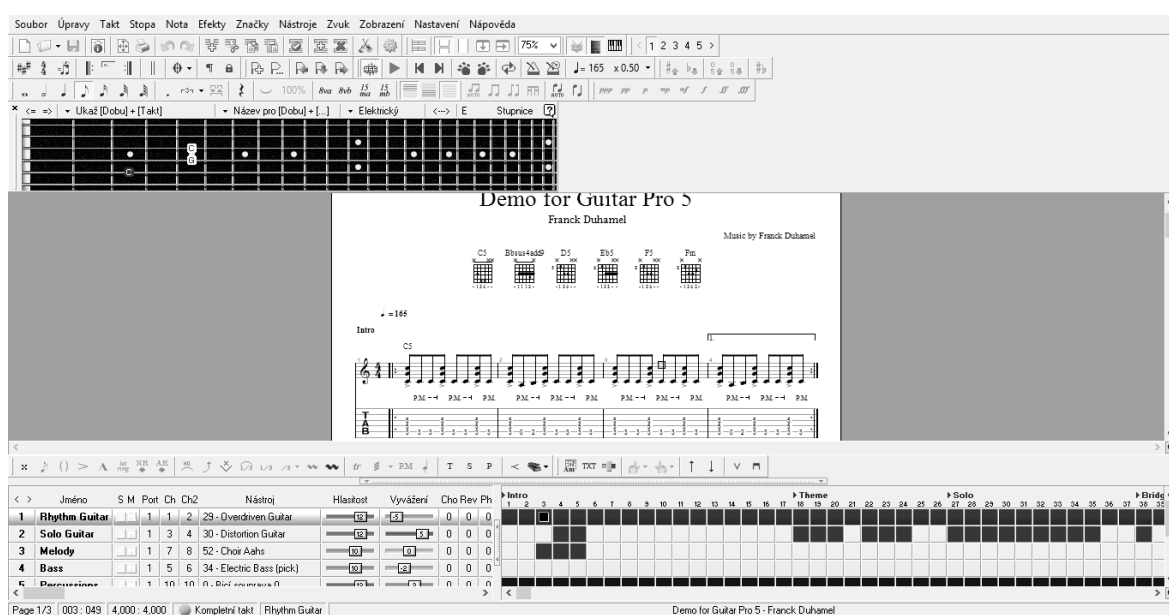
2.1.4.2 Guitar Pro 5

Naproti tomu komerční software Guitar Pro, který jsem zatím testoval ve verzi číslo 5, má k ucházející intuitivnosti ovládnání velmi blízko. Současná verze 6 prý navíc nabízí mnohem lepší zvuky a je též dostupný pro mobilní zařízení. Toho můžou využít především muzikanti v praxi, kteří nechtějí přenášet velké množství notových zápisů, pokud ovšem jejich chytré mobilní telefony mají dostatečně velký display pro čtení not při performanci.

Jak už název napovídá, jedná se o nástroj původně určený pro kytaristy, to dokazuje i úvodní znělka, a úvodní rozložení programu, které si můžete prohlédnout na Obr. 3. Nápadným je zcela jistě kytarový krk v horní části obrazovky a též kytarová tabulatura pod notovou osnovou. Z přímo do notové osnovy nebo přímo do tabulatury, přičemž každá

z těchto dvou řádek může být vypnuta či skryta. Dále je možné noty „naklikávat“ právě pomocí krku kytary, který může být nahrazen buď kompletní klaviaturou, disponující sedmi oktávami, nebo případně zcela skryt, pokud si přejete noty zapisovat s pomocí klávesnice přímo do notové osnovy/tabulatury nebo nahrávat noty prostřednictvím MIDI.

Může to znít podivně, ale mou výhradou ke Guitar Pro je právě jeho přílišná orientace na kytarovou hudbu. Byl by to velice silný nástroj, kdyby bylo možné zapisovat i noty nižší než jsou ty, které lze zahrát na basové kytáře (omezení se nevztahuje směrem nahoru) a kdyby nebylo nutné pokaždé vypínat ty otravné tabulatury. Guitar Pro je šikovný program, který je svižný a práce s ním je na pár výjimek pohodlná, ale z mnoha stran je na něm vidět, že nebyl stvořen primárně pro lidi, kteří znají noty.



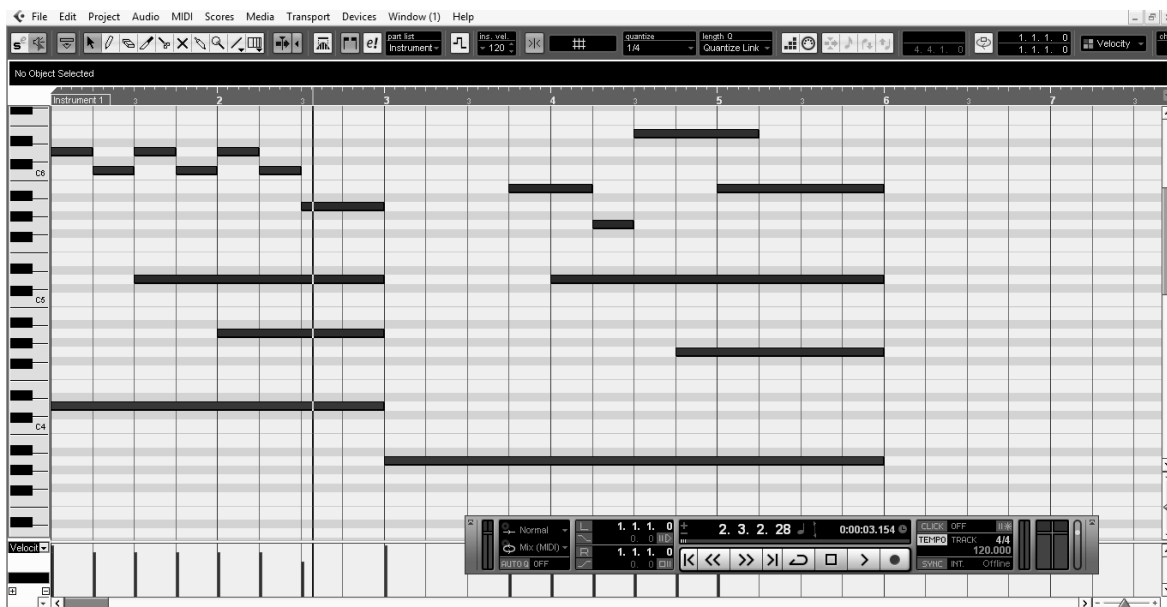
Obr. 3 - prostředí softwaru Guitar Pro 5 (zdroj: autor)

2.1.4.3 Steinberg Cubase 5

Přestože se primárně nejedná o notační software ale DAW¹¹, je z hlediska intuitivnosti ovládání podle mých měřítek na prvním místě. A to paradoxně možná proto, že nepodporuje notaci přímo, ale pomocí tzv. key editoru. Ten spočívá v zakreslování tónů do mřížky podle jejich výšky a délky. Key editor Cubase 5 můžete vidět na Obr. 4. Současnou verzi Cubase 7.5 můžete na českém trhu zakoupit za zhruba 15.000 Kč. Není tedy divu, že se jedná o kvalitní softwarovou sadu, firma Steinberg má za léta na trhu vybudovanou slušnou základnu. Cubase implicitně nepodporuje notaci, ale stopy zapsané

¹¹ Digital Audio Workstation

v key editoru je možné následně zobrazit jako noty a do určité míry i upravit. Notový výstup z key editoru je na Obr. 5.



Obr. 4 - Cubase 5 a key editor (zdroj: autor)



Obr. 5 - noty a Cubase (zdroj: autor)

2.2 Skenování not

2.2.1 OCR

Zkratka Optical Character Recognition (optické rozpoznávání znaků) pod sebou přináší metodu, která slouží pro převádění naskenovaného textu (kterému počítač rozumí jako obrázku) do počítačem srozumitelné textové podoby. Přesnost převodu se

pochopitelně odvíjí od kvality původního naskenovaného obrázku, a to ať už mluvíme o DPI¹² nebo o kvalitě psaného textu.¹³

Například rozpoznání ručně psaného textu může být velmi komplikované a v cílové podobě nepřesné, protože OCR funguje na bázi hledání shod.¹⁴ Takový software tedy musí obsahovat co nejrozšířenější databázi všech znaků, které hodlá rozpoznávat. Pokud bych se rozhodl nechat rozpoznat svůj ručně psaný text, je více než pravděpodobné, že tvůrci OCR softwaru neměli k dispozici dostatečně podobně píšícího člověka, a jejich databáze tedy zcela jistě neobsahuje veškeré křivosti a kličky, které by se v psané podobě objevily. Naštěstí OCR software často bývá vybaven i psacím editorem pro případné úpravy nesprávně rozeznaného textu.

Může se zdát, že OCR byla odbočka od počítačové sazby not, ale uvedl jsem jej zde, protože přímo souvisí s OMR, které už je zcela na místě.

2.2.2 OMR

Pod zkratkou OMR se skrývá Optical Mark Recognition (optické rozeznávání značek). Jeho původní význam spočíval v digitalizaci formulářů a anket, protože i v případě jejich naskenování – v době před existencí OMR – bylo nutné všechna data procházet ručně.¹⁵

OMR tedy funguje prakticky stejně jako OCR, ale jeho implementace je o mnoho složitější, protože kromě převádění naskenovaného textu do digitálního textu je nejprve nutné text na stránce najít. Velkým ulehčením pro počítač může být výrazné označení místa, kde se kýžený text nachází. Formulářové rámečky na odpověď tedy nemusí být jen proto, aby člověk věděl, kam odpověď napsat, ale dost možná i proto, aby počítač věděl, kde ji má hledat.

Nás pochopitelně bude zajímat OMR z hlediska digitalizace not. Měl jsem tu čest vyzkoušet jen PhotoScore, který mohou znát uživatelé notačního software Sibelius, jehož

¹² Dots Per Inch (bodů na palec) – rozlišení obrázku

¹³ OCR. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-26]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/OCR>

¹⁴ Simple Digit Recognition OCR in OpenCV-Python. In: *StackOverflow* [online]. 2013 [cit. 2014-06-26]. Dostupné z: <http://stackoverflow.com/questions/9413216/simple-digit-recognition-ocr-in-opencv-python>

¹⁵ Optical mark recognition. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-26]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_mark_recognition

je součástí. Společnost Neuratron nabízí PhotoScore zdarma ve verzi „Lite“. Toto označení s sebou zpravidla nese ochuzení o některé funkce. Jak vychází ze srovnání verzí Lite a Ultimate na oficiálních stránkách výrobce (www.sibelius.com), je rozdílů mezi nimi velká spousta. Lite verze například nepodporuje tisk, funkci „najít a nahradit“, která najde uplatnění například u opakující se chyby. Dále odlehčená verze umožňuje rozpoznání skupinek not pouze v rámci triol, nejkratší nota, kterou je pak vůbec schopna rozeznat, je šestnáctina. Ultimate verze navíc dokáže číst kytarové tabulatury a na rozdíl od Lite verze, která zná pouze dva klíče (houslový a basový), plná verze jich zná osm. Aby Neuratron uživatele skutečně přiměl zakoupit jejich software, neexistuje z digitalizovaných not prakticky žádná možnost přímého výstupu. Jak už bylo uvedeno, noty nelze vytisknout, nelze je ale ani vyexportovat ve formátu MIDI nebo WAVE, což placená verze podporuje.

Průběh digitalizace not v PhotoScore je celkem svižný a, pokud nejde o ručně psané noty, docela i přesný. Předtím, než digitalizace započne, zjistí program, zda nebyl notový list vložen do skeneru obráceně nebo nakřivo, a případné chyby vyrovná. Následně lokalizuje notové osnovy a určí jejich předznamenání. Nalezení not a posuvek je poslední akcí. V případě chyb v digitalizaci¹⁶ je možné přímo v programu tyto chyby opravit a do notové záznamu dopisovat. Dále je možné zápis přehrát (implicitním nástrojem je klavír). Na přiloženém CD najdete ve složce „sazba not“ zdrojový naskenovaný dokument ve formátu PDF a zvukový soubor, který je výstupem v PhotoScore zcela bez úprav. Ten jsem musel získat menší oklikou přímým nahráváním při přehrávání not v programu, protože, jak už jsem zmínil, Lite verze export nepodporuje. Ve většině z případů dokonce PhotoScore podporuje změnu temp, při přehrávání simuluje koruny a dynamika je samozřejmostí.

OMR je v mnoha ohledech nejrychlejším způsobem digitalizace not, přestože mají počítače ještě co dohánět, aby lidem skutečně rozuměli. Stejně je to ale i naopak.

¹⁶ V mých pokusech průměrně 3 závažnější chyby na stránku

3 Digitalizace zvuku

Digitalizace je proces převodu analogového signálu na signál digitální. Toho dosahujeme užitím specializovaných převodníků. A protože z níže uvedených důvodů není možné zachovat původní vzorek beze změn a ztrát, kvalitativním měřítkem digitalizace je *věrnost digitálního záznamu*.¹⁷

Když trochu předběhneme a budeme zkrátka brát na vědomí, že existují určité ztráty na věrnosti a tedy rozdíly od původního signálu, můžeme si pokládat otázku, k čemu je vlastně digitalizace zvuku (a digitalizace obecně) dobrá. S rozvojem výpočetní techniky se spousta úkonů stala jednoduššími pro řešení na softwarové úrovni. Manipulace s digitálními daty prostřednictvím počítače je mnohem jednodušší než jejich úprava na úrovni elektronické, natož pak ruční. Toto tvrzení si lze dokázat na jednoduchém příkladu.

Mějme za úkol napsat dvacet totožných stran o stovce znaků. Zhostíme-li se tohoto úkolu pouze rukama a tužkou, budeme těchto dvacet stran psát na papír, bude to práce nepochybně zdoluhavá a nepříjemná. Pokud bychom si na pomoc vzali psací stroj, tedy nástroj čistě mechanický, ušetřili bychom si práci se psaním, nikoliv však s dvacetinásobným opisováním jedné a též stránky. Na počítači je to práce na pět minut. Psaním na počítači vlastně *digitalizujeme* text. Jeho digitální podobu pak můžeme snadno ukládat, kopírovat, stříhat, stylizovat, formátovat a provádět spousty dalších činností. Dalo by se takřka říci, že naše možnosti jsou neomezené.

Z uvedeného příkladu je zřejmé, že zpracování a úprava digitálních vzorků je jistě mnohem jednodušší a většinou i rychlejší než úprava těch nedigitálních.

Další výhodou je nestárnutí digitalizovaných informací. Informace v digitálním světě jsou tvořeny obrovským množstvím jedniček a nul a ty jsou ve stále neměnné formě. Pokud si poslechneme nějakou skladbu z našeho osobního počítače, bude znít pokaždé stejně a i když si ji poslechnete za třicet let, bude znít také stejně. Zkuste ale vyhrabat po třiceti letech starou magnetovou kazetu a přehrát ji na kazeťáku. Není to ono, ta hudba se z magnetických pásek ztrácí.

Někdo by mohl argumentovat tím, že i harddisk či CD může za deset let být nefunkční, ale to nás přivádí k další výhodě digitalizace. Díky dnešním přenosovým rychlostem a obrovským úložným prostorům lze data kopírovat a zálohovat téměř

neomezeně, takže těch za třicet let alespoň jedna ze sta vašich kopií bude zkrátka ve svém původním stavu.

Pro lepší pochopení principů a důvodů digitalizace zvuku je nutné uvědomit si, co je to vlastně zvuk, protože ten může být chápan z různých hledisek.

3.1 Zvuk jako mechanické kmitání (akustický zvuk)

Z fyzikální definice je zvuk mechanické chvění, které se šíří hmotným prostředím. Tak například lžice upuštěná na zem začíná okamžité kmitat a frekvence jejího kmitu (která určuje jeho výšku) je přenášena podlahou a vzduchem až k našemu uchu, kde je zesilována a vnímána jako zvuk. Z výše popsaného jevu lze usoudit, že v prostředí bez hmoty je šíření zvuku nemožné. Naproti tomu hustší prostředí vede zvuk o mnoho lépe. Příkladem může být letní koupání v rybníku; voda vede zvuk mnohem lépe než vzduch, protože má větší hustotu částic, a proto jsme schopni zaslechnout i šepot z druhého břehu.

Z biologického hlediska je sluchovým orgánem člověka ucho a kromě svých nedokonalostí (frekvenční či hlasitostní omezení; více v popisu psychoakustického modelu u MP3 níže) má i několik „vychytávek“, kterými může překvapit. Jednou z nich je skutečnost, že uši máme dvě. To není jen proto, abychom neohluchli v případě ztráty jednoho z nich, ale hlavně kvůli směrovému vnímání zvuku. To je umožněno právě počtem, tvarem a rozmístěním sluchových orgánů. K rozeznání směru původu zvuku je využíváno zpoždění (fáze), ke kterému dochází díky vzdálenosti uší. Pokud do pravého ucha přijde zvuk později než do levého, mozek pochopí, že zvuk přichází zleva. Dalším způsobem je snížení intenzity zvuku přicházejícího do ucha z nepřímého směru díky tvaru ušního boltce, který tyto zvuky eliminuje. Nutno ještě dodat, že schopnost rozlišit zdroj zvuku se učíme během našeho života, nerodíme se s ní.¹⁷

Aby bylo možné zvuk zaznamenat, je nutné ho nejprve převést na elektrické impulzy. Pokusy o zaznamenání zvuků sahají až do 19. století. V té době šlo převážně o pokusy uchovat záznam lidského hlasu. Prvním skutečně úspěšným přístrojem byl fonograf Thomase Edisona, patentovaný roku 1878, posléze nahrazený gramofonem, vyvinutým roku 1888 berlínským hercem Emile Berlinerem.¹⁸ U fonografu byl záznam

¹⁷ ZOUHAR, Tomáš, Ondřej JIRÁSEK a Martin JURICA. *Nahráváme a upravujeme hudbu na počítači*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2001, xviii, 263 s. Hry. ISBN 80-722-6579-2.

¹⁸ Fonograf. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Fonograf>

uchován na válečku, u gramofonu to byla plochá deska. V polovině 30. století pak německá firma IG Farben vynalezla první magnetickou pásku a později magnetofon.¹⁹

3.2 Analogový zvuk

Analogovým zvukem rozumíme zvuk převedený na elektrické impulzy. V předchozí kapitole bylo řečeno, že zvuk se v prostoru šíří jako kmitání. Toho se využívá při jeho převodu na analogový.

Převodu lze docílit několika způsoby, nejužívanějším je princip vycházející z fyzikálního jevu, ke kterému vzniká při změně magnetického pole kolem cívky – indukce elektrického napětí. Tento poznatek vedle ke vzniku dynamického mikrofonu a snímačů elektrické kytary. Dalším z užívaných fyzikálních principů je změna kapacity kondenzátoru v závislosti na vzdálenosti jeho elektrod. I s touto metodou se nejčastěji setkáme u mikrofonů, tentokrát u kondenzátorových.²⁰

Třetím způsobem je využití vzniku elektrického napětí pod vlivem ohýbání či stlačování určitých minerálů. Toho využívá tzv. piezoelektrický mikrofon, ten se však spíše neužívá, protože u něj dochází k velkému zkreslení.²¹

3.2.1 Mikrofon

Existuje několik typů mikrofonů. Téměř všechny fungují tak, že akustický zvuk rozkmitává jejich membránu z vodivého materiálu, ta mění svým pohybem parametry klíčové elektronické součástky, jejíhož principu daný typ mikrofonu využívá, a na základě toho dochází k indukci elektrického napětí přesně o té frekvenci, která membránu rozkmitává. Pak už je na nás, zda chceme tento proud nějakým způsobem upravit (např. zesílit) a poté opět převést na zvuk akustický, nebo zvuk zaznamenat na magnetické záznamové médium, jakým je třeba klasická pásková kazeta.

3.2.1.1 Kondenzátorový a elektretový mikrofon

¹⁹ Historie záznamu zvuku. KADLEC, Lukáš. *Hudební nástroje: Pár osobních zkušeností* [online]. 2011 [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://test-nastroju.webnode.cz/nahravani/historie-zaznamu-zvuku/>

²⁰ Mikrofon. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Mikrofon>

²¹ Zvukový hardware. PASTYŘÍK, Milan. *Zvuk a počítač: Kurz online* [online]. 2012 [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: <http://hucak.osu.cz/zvukapocitac/2.html>

Jak už název napovídá, součástka, kterou tyto mikrofony využívají, je kondenzátor. Pro kapacitu kondenzátoru existuje jednoduchý fyzikální vztah:²²

$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d}$$

Obr. 6 - vztah pro kapacitu kondenzátoru (zdroj: autor)

Z rovnice na Obr. 6 je zřejmé, že kapacita je přímo úměrná permitivitě prostředí (ε) a obsahu desek (S), nepřímo úměrná pak vzdálenosti elektrod (d). Membrána kondenzátorových a elektretových mikrofonů při svém kmitání pohybuje jednou z desek (elektrod) a tím mění jejich vzdálenost a tedy kapacitu kondenzátoru. Při tom však nedochází k indukci napětí, které musí kondenzátorem procházet, a proto kondenzátorový mikrofon musí být připojen k externímu (tzv. *fantomovému*) zdroji napájení. Elektretový mikrofon takový zdroj obsahuje přímo uvnitř – elektret. Jedná se o nevodivou hmotu s permanentním nábojem²³. Konstrukčně nenáročné a často miniaturní elektretové mikrofony se hojně využívají například v mobilních telefonech.

3.2.1.2 Dynamický mikrofon

Nejčastěji užívaným typem mikrofonu je dynamický mikrofon. S využitím fyzikálního zákona o elektromagnetické indukci, kdy změnou magnetického pole kolem cívky vzniká elektrický proud, dochází k rozkmitání membrány mikrofonu, která je v tomto případě tvořena permanentním magnetem, a tím dochází k indukci proudu o požadované frekvenci. Citlivost dynamického mikrofonu je znatelně nižší než u kondenzátorového. Toho se využívá např. v případě silného zpěvu či křiku; dynamické mikrofony obecně lépe obstojí u hlasitých zdrojů zvuku.

3.2.1.3 Páskový mikrofon

Z konstrukčního hlediska se jedná o zvláštní případ, neboť je jeho membránou kovový pásek (nejčastěji proužek tenké hliníkové fólie²⁰) umístěný v magnetickém poli. Vzhledem ke své konstrukci je náchylný na mechanické poškození, a proto je užíván

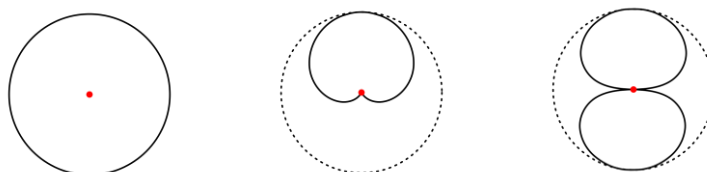
²² LEPIL, Oldřich a Přemysl ŠEDIVÝ. *Fyzika pro gymnázia: Elektřina a magnetismus*. 6. vyd., dotisk. Praha: Prometheus, 2011, 342 s. ISBN 978-807-1963-851.

²³ WIRSUM, Siegfried. *Abeceda NF Techniky*. Praha: BEN, 1998. ISBN 37-723-5162-X.

výhradně ve studiových podmínkách. Kvůli nízkému napětí bývá navíc vybaven transformátorem.

3.2.1.4 Obecné vlastnosti mikrofonů

V závislosti na velikosti a konstrukci jsou mikrofony schopné přijímat zvuk z různých směrů v různé intenzitě. Tuto vlastnost nazýváme směrovou charakteristikou mikrofonu. V případě, kdy je tvar mikrofonu blízký kouli (nejčastěji u drobných elektretových mikrofonů), dochází ke snímání ze všech směrů. Takovou směrovou charakteristiku nazýváme všesměrová (omnidirekcionální, kulová). U dynamických mikrofonů – mikrofonů nejčastěji užívaných zpěváky – je typickou kardioidní směrová charakteristika. Tvar mikrofonu znemožňuje příjem zvuku zezadu a tím potlačuje **zpětnou vazbu**. Osmičková (bidirekcionální) směrová charakteristika umožňuje snímání právě ze dvou směrů (zepředu a zezadu). Toho lze využít u **stereofonního** snímání zvuku. Grafická znázornění výše popsaných a nejčastěji užívaných směrových charakteristik si můžete prohlédnout na Obr. 7.



Obr. 7 - schéma kulové, kardioidové a bidirekciální směrové charakteristiky (zdroj: wikipedia.org)

Další z důležitých vlastností mikrofonů určujících jejich využití je tzv. frekvenční charakteristika. Ne všechny frekvence jsou totiž zachyceny se stejnou intenzitou. Pokrýt i jen alespoň člověkem slyšitelné spektrum (15 Hz – 16 kHz) je velice náročné. Z této nevýhody však výrobci mikrofonů udělali přednost a místo, aby se snažili dosáhnout vyvážené frekvenční charakteristiky, specializují mikrofony pro cílové využití. Například mohou být schválně některé frekvence u mikrofonu potlačeny tak, aby došlo k minimalizaci šumu v hlučném prostředí. Dalším příkladem je frekvenční rozdíl mezi mluveným slovem, zpěvem nebo třeba hudebním nástrojem. Proto rozlišujeme nástrojové mikrofony a mikrofony na zpěv, u kterých je opět patrný rozdíl ve frekvenční charakteristice. Zpěváci také mohou využít tzv. proximity efektu, kdy přibližováním se k mikrofonu dosahují intenzivnějšího zachycení nižších frekvencí, takže hlas i ve vyšších polohách zní silně a plně.²⁰

3.2.2 Elektromagnetický snímač

Dalším způsobem převodu akustického signálu na elektrický je použití elektromagnetického snímače. Ten se hojně využívá u strunných hudebních nástrojů. Využívá se oscilace strun nebo jiných částí nástroje a jejich pohybem v elektromagnetickém poli cívky dochází k indukci elektrického napětí.²⁴ Jejich princip je tedy dosti podobný mikrofonům (konkrétně dynamickým), jen kmitání membrány je nahrazeno kmitem struny.

3.3 Digitální zvuk

Jak už jsem zmínil v úvodu k této kapitole, digitální informace je tvořena jedničkami a nulami. A digitalizace je právě proces převodu elektrického (analogového) signálu na jedničky a nuly. Probíhá ve specializovaných převodnících. Je nasnadě, že se nejedná o jednoduchý průběh a využívá velkou spoustu fyzikálních a matematických předpokladů, jejichž přesné znění a vysvětlení by bylo, dle mého názoru, na tomto místě zbytečné. Pokusím se tedy vše vysvětlit jednoduše a srozumitelně a zároveň nevynechat žádnou podstatnou informaci.

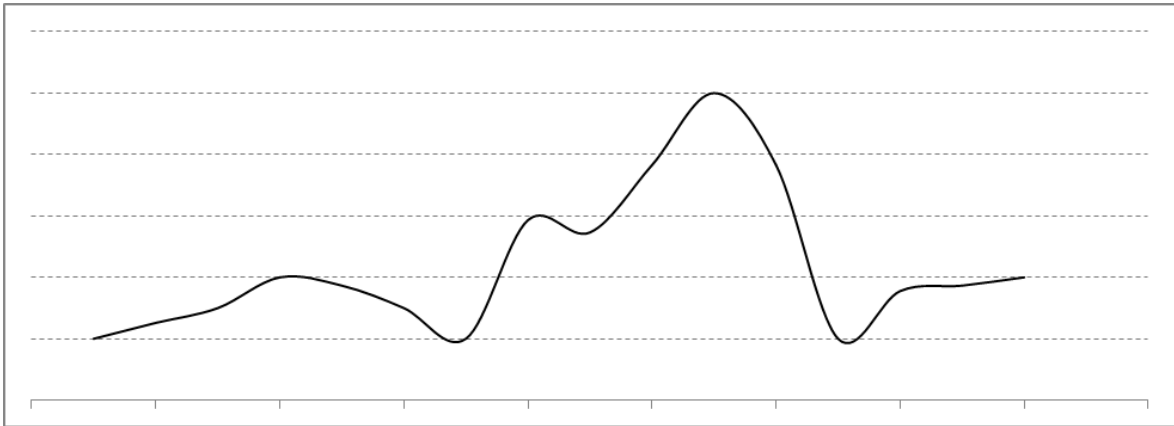
Již předem je dobré vědět, že existuje rozdíl mezi původním signálem a digitalizovaným signálem. O tom jsem psal už na začátku kapitoly Digitalizace, když jsem jako kvalitativní měřítko určil věrnost záznamu. Než si ale popíšeme změny, ke kterým v signálu dochází při jeho digitalizaci, provedu vás jednotlivými procesy, které při digitalizaci probíhají.

3.3.1 Procesy během digitalizace

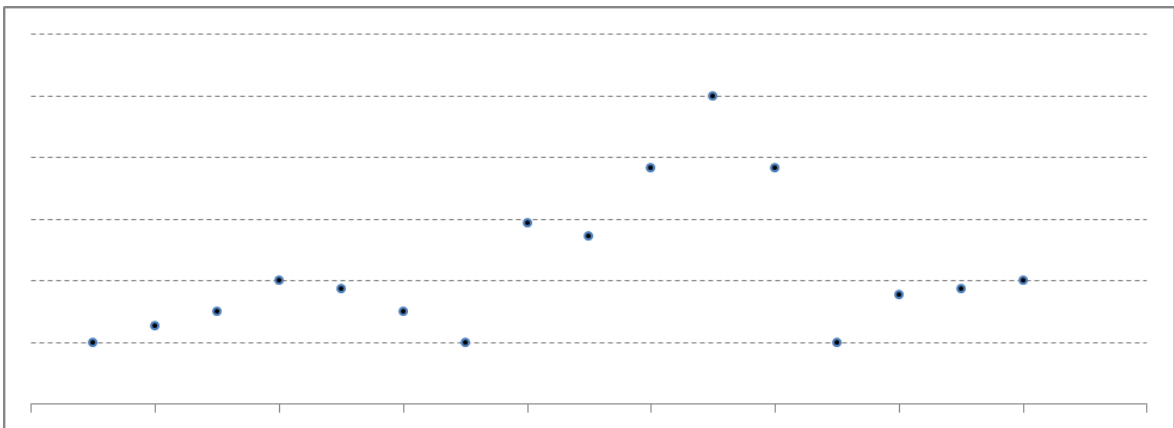
3.3.1.1 Vzorkování

Hlavním procesem, který na převodníku probíhá, je vzorkování. Samotná digitalizace totiž spočívá v průběžné analýze zdrojového signálu. Z každé této analýzy je vytvořen vzorek (sample), který je následně uložen. Výstupem vzorkovače je posloupnost analogových hodnot. Z grafů na Obr. 9 a Obr. 8 je zřejmý nejmarkantnější rozdíl mezi vstupním a výstupním signálem vzorkovače; říkáme, že analogový signál je spojitý, zatímco digitalizované vzorky jsou nespojité. Vzorky jsou sbírány v pravidelných

²⁴ SYROVÝ, Václav a Milan GUŠTAR. *Malý slovník základních pojmů z hudební akustiky a hudební elektroniky*. 2. vyd. Praha: Akademie múzických umění v Praze, 2012, 93 s. ISBN 978-807-3312-374.



Obr. 9 - spojitý akustický signál (zdroj: autor)



Obr. 8 - graf sebraných vzorků (zdroj: autor)

intervalech a mezi jednotlivými tedy vzniká určitá prodleva. Protože mluvíme o frekvenci sběru vzorků, čas mezi jednotlivými z nich nazýváme periodou. Rychlosti odebrání samplů se říká **vzorkovací frekvence** (sampling rate) a určuje počet vzorků pořízených za jednu sekundu.

Ke zjištění ideální vzorkovací frekvence při digitalizaci zvuku vede dlouhá cesta. Naštěstí nejsme první, kdo se jí vydává a známe tedy její cíl, který se nazývá Shannonův teorém. Jeho volná interpretace podle Miroslava ŠNORKA zní: „*Vzorkovat analogový signál se musí s frekvencí alespoň dvakrát vyšší, než má ta složka, která nás v původním signálu ještě zajímá.*“²⁵ V naší hudební praxi to znamená, že vzorkovací frekvence musí

²⁵ ŠNOREK, Miroslav. *Analogové a číslicové systémy*. Praha: České Vysoké učení technické v Praze, 1999, 137 s. ISBN 80-01-02061-4. str. 3

být dvakrát větší, než je nejvyšší frekvence slyšitelného spektra. Nejužívanější hodnotou je 44,1 kHz, tedy 44 100 Hz.²⁶

Pokud by nebyla podmínka Shannonova teorému splněna a frekvence by byla příliš nízká, frekvence vyšší než polovina vzorkovací frekvence by mohly být užity ve svém průběhu, což by vedlo k nepříjemnému praskání. Proto je na straně převodníku využíváno funkce tzv. filtru dolní propusti (low-pass filter). Ten zajistí, že se frekvence, které jsou na vzorkovač příliš vysoké, ke vzorkování vůbec nedostanou.

Hodnoty napětí naměřené v převodníku jsou reálná čísla mezi -1 a 1. Z matematiky pro střední školy víme, že v intervalu dvou různých reálných čísel existuje nekonečně mnoho různých reálných čísel, což je činí pro počítač nesrozumitelnými („nekonečno“ je pro stroj nepřijatelné). Proto musí být tato čísla zobecněna a zaokrouhlena. Tomuto kroku digitalizace se říká kvantizace.

3.3.1.2 Kvantizace

Počet částí, na které je nekonečný interval rozdělen, samozřejmě dále ovlivňuje věrnost digitálního signálu svému originálu. Množství možných čísel je určeno pamětí, kterou počítač vyhradí na jejich uložení. Tato paměť se nazývá **bitová hloubka** (bit depth). Tak například pokud by velikost paměti volné pro uložení vzorku byly 3 bity, existuje pouze 8 čísel, která popisují naměřený stav ($2^3 = 8$). V dobách začátku digitalizace tato velikost činila 8 bitů. To umožňovalo celkem 256 (2^8) hodnot mezi mínus a plus jedničkou. Jak špatně takto digitalizovaný zvuk zní, si můžete poslechnout na přiloženém CD. V současné době je standardizovanou CD kvalitou smplovací frekvence 44 100 Hz a 16 bitů. Při nahrávání hudby ve studiích se užívá bitová hloubka 24 a 32 bitů.

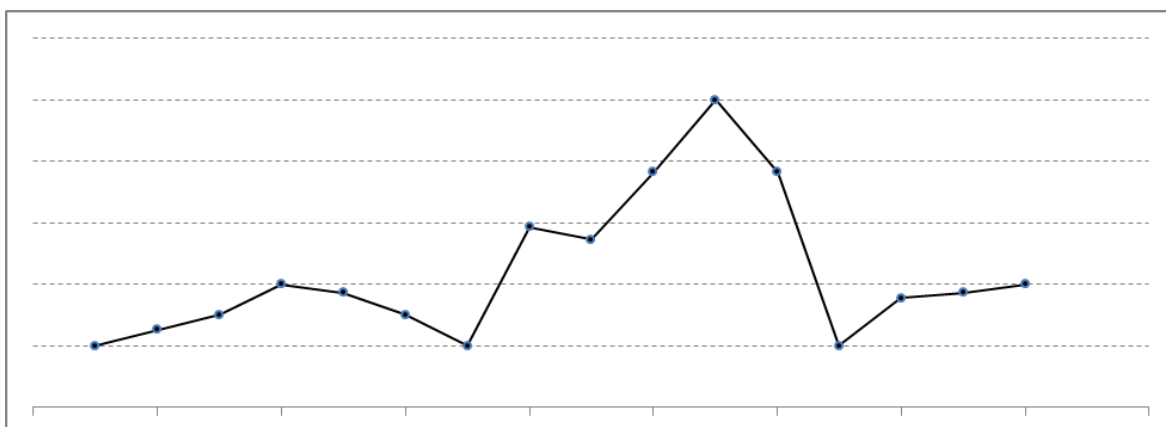
Požadavky na stroje jsou dnes takové, že očekáváme průběh digitalizace v reálném čase. To znamená, že vzorkovače musí skutečně za jednu vteřinu sejmout alespoň 44 100 vzorků o velikosti 16 bitů (2 bajty), v ideálním případě pak 96 000 vzorků, každý o velikosti 32 bitů (4 bajty). Takže materiál nasbíraný za jednu vteřinu zabere velikost 375 kilobajtů v případě jednobáňového zvuku (*mono*) a dvojnásobek v případě *stereo*. To vše musí být okamžitě provedeno, zaokrouhлено, zkontrolováno a zapsáno.

²⁶ Miroslav Šnorek uvádí hodnotu 44,1 kHz jako nejvyšší, tento zdroj je však zastaralý. Dnes se v běžné praxi v nahrávacích studiích užívá frekvence 96 kHz, pro filmový zvuk je to pak hodnota 48 kHz.

3.3.1.3 Interpolace

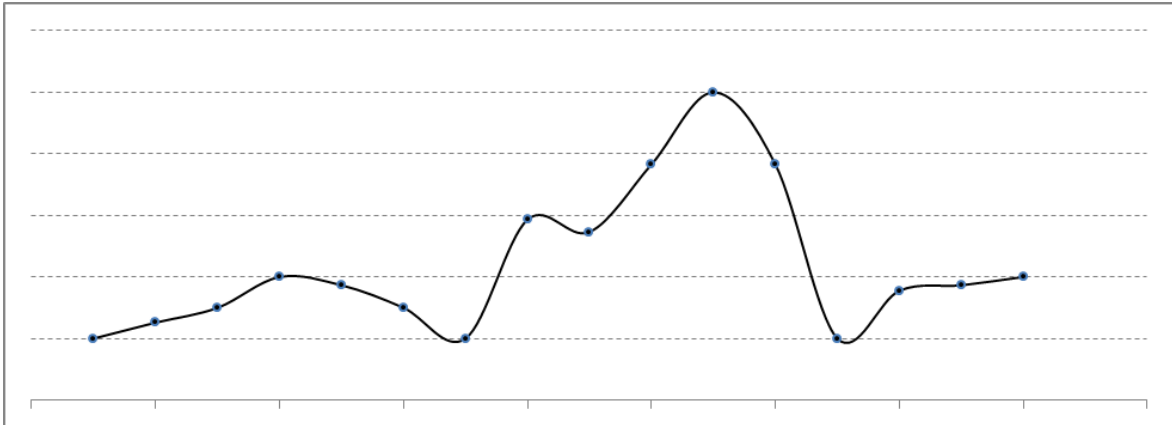
Jak už bylo zmíněno výše, zásadním rozdílem mezi původním a digitalizovaným signálem je spojitost. Mluvíme-li o akustickém signálu zvuku, pak je jeho průběh neustálý. Mezi jednotlivými kmity přirozeného oscilátoru nejsou žádné prodlevy, stejně tak vlny, které toto kmitání popisují, jsou spojitě. To je viditelné na Obr. 9. Pokud ale při digitalizaci dochází k periodickému snímání vzorků, jež jsou obrazem okamžitého stavu, je logické, že mezi jednotlivými vzorky vzniká prodleva (Obr. 8). Je dokonce možné tuto prodlevu spočítat. Při vzorkovací frekvenci 44100 kHz je vzorek sebrán každých 226 mikrosekund, což je samozřejmě prodleva zanedbatelně malá, ale takový zvuk je zkrátka nepřirozený a mluvíme-li o kvalitě, snažíme se vždy dosáhnout co nejvyšší. K tomu nám poslouží matematická interpolace. Numerická interpolace umožňuje nalezení přibližné hodnoty funkce mezi dvěma body. Nejjednodušším typem je lineární interpolace, kdy všechny hledané body funkce leží na přímce rozprostřené mezi jejími dvěma body.²⁷ U zvuku je to však složitější, protože funkce, které popisují průběh zvuku, nejsou funkce lineární a nejsou tedy tvořeny přímkami ale křivkami. Na Obr. 10 a Obr. 11 můžete vidět patrný rozdíl mezi výsledky s využitím lineární interpolace a s využitím ideální interpolační křivky.

Získali jsme vzorky, které jsme převedli na počítači srozumitelná čísla. Navíc jsme pomocí interpolace získali dojem spojitého signálu. V této chvíli se náš digitalizovaný signál (Obr. 11.) téměř shoduje s tím původním (Obr. 9). Je tedy načase to vše uložit.



Obr. 10 - graf s využitím lineární interpolace (zdroj: autor)

²⁷ Interpolace. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Interpolace>



Obr. 11 - graf s využitím ideální interpolace (zdroj: autor)

3.3.2 Kódování

Přestože kódování není přímou fází digitalizace jako takové (protože pro získání digitálního zvuku nám výše popsané úkony stačily), uvedu ji zde, protože s digitalizací úzce souvisí.

Získali jsme posloupnosti zaokrouhlených (viz Kvantizace) čísel, ale jak jim má počítač rozumět? Kódování je klíčem k tomu, jak počítač naučit a přimět naše čísla chápat jako zvuk.

Nejprimitivnějším zvukovým formátem je WAVE (WAVEform audio file format). Jedná se o zvukový formát vyvinutý firmami IBM a Microsoft. Existuje několik subtypů toho formátu a nejpoužívanějším z nich je PCM (konkrétně pak LPCM). Ten je založený na principu digitalizace tak, jak jsme si jej vysvětlili v předchozích kapitolách. PCM tedy předpokládá číselná data získaná s určitou vzorkovací frekvencí a kvantovaná na danou bitovou hloubku. Data jsou v souborech dělena na tzv. chunks (anglicky „kousky“), jedná se o kratší úseky (zpravidla 16 bajtů). Aby mohly být u vícekanálového audia přehrávány oba kanály současně, jsou tyto kousky řazeny za sebe a vzájemně prokládány podle následujícího vzorce: 16 bajtů pravého kanálu – 16 bajtů levého kanálu – dalších 16 bajtů pravého kanálu – dalších 16 bajtů levého kanálu – ...²⁸ Zvukový soubor ve formátu

²⁸ DENTON, Zachary. Generate Audio with Python. *Zach Denton* [online]. 2014 [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: <http://zacharydenton.com/generate-audio-with-python/>

WAVE s nekomprimovanými kousky dat PCM začíná tzv. hlavičkou, která by měla obsahovat následující informace.^{29, 30}

- Klíčové slovo „RIFF“ jako označení formátu podle předchůdce WAVE.
- Velikost souboru bez označení „RIFF“ (tedy velikost souboru zkrácenou o 4 znaky).
- Klíčové slovo „fmt“ následované mezerou a velikostí jednoho kousku dat.
- Typ WAVE formátu (PCM, GSM, ADPCM, a další).
- Počet kanálů, velikost kvantizace (bitová hloubka), vzorkovací frekvence.
- Klíčové slovo „data“ a velikost zvukových dat, která budou následovat.

Protože WAVE PCM ukládá zvuková data v nekomprimované podobě, výsledná velikost souboru je často vysoká. 44 100 vzorků za vteřinu, každý o velikosti 16 bitů (2 bajty) ve dvoukanálovém stereofonním zvuku dělá $44100 \times 2 \times 2 \times 60 = 10$ megabajtů za každou minutu záznamu. To bylo především v dobách starých počítačů s nepředstavitelně malou pamětí skoro astronomické číslo. Mnohem častěji se proto využívá spíše komprimovaných formátů zvuku. Ty lze dělit do dvou kategorií – ztrátové a bezztrátové. Rozdílem mezi ztrátovou a bezztrátovou kompresí je, že v případě ztrátové komprese dochází k vypuštění některých částí dat, které jsou algoritmem vyhodnoceny jako zbytečné, zatímco u bezztrátové se nevypouští nic.

Efektivnost komprese lze vyjádřit dvěma veličinami. První z nich je kompresní poměr, který určuje poměr objemu vstupních a výstupních dat. V případě minutového WAVE souboru (10 MB, resp. 1024 KB) komprimovaného do souboru typu MP3 s velikostí 256 KB je kompresní poměr 4. Druhou veličinou je faktor komprese, který je převrácenou hodnotou kompresního poměru. V uvedeném příkladu by tedy faktorem komprese bylo číslo 0,25.³¹

²⁹ VETER. Wave format header. *The Matrix: Mathematical physics, Calculus mathematics, Advanced programming technique* [online]. 2014 [cit. 2014-06-15]. Dostupné z:

<http://mathmatrix.narod.ru/Wavefmt.html>

³⁰ WILSON, Scott. Microsoft WAVE soundfile format. *CCRMA: Center for Computer Research in Music and Acoustics* [online]. 2003 [cit. 2014-06-15]. Dostupné z:

<https://ccrma.stanford.edu/courses/422/projects/WaveFormat/>

³¹ ŠKORPIL, Vladislav a Tomáš PROCHÁZKA. Komprese dat u ISDN. In: *Elektrorevue: Časopis pro elektrotechniku* [online]. 2002 [cit. 2014-06-16]. Dostupné z:

<http://www.elektrorevue.cz/clanky/02068/index.html>

Výhodou bezztrátové komprese je zachování celého původního signálu (resp. kvality), většinou však nedosahuje zdaleka tak vysokého kompresního poměru jako ztrátová komprese.

Jedním z bezztrátových formátů zvuku, se kterými se nejčastěji setkáváme, je FLAC (Free Lossless Audio Codec – bezztrátový zvukový kodek zdarma). FLAC využívá hned několik metod bezztrátové komprese. Jednou z nich je RLE, primitivní metoda a jedna z nejstarších metod komprese, kdy se delší množství opakujících se dat nahradí kvantifikátorem. Například posloupnost dat AXXXB by byla nahrazena A#X3B. Je zřejmé, že tato kompresní metoda nepřináší vždy dobré výsledky, využití našla spíše v minulosti v případě 8bitové digitalizace.³² Další výhodou oproti WAVE je nativní podpora metadat, někdy zvaných tagy. To jsou informace doprovázející zvukový soubor a popisující jeho původ. Mezi předdefinovaná pole formátu FLAC patří název, verze, album, číslo skladby, umělec, interpret, informace o autorských právech (copyright), licenční informace, organizace (nahrávací společnost), popis, žánr, datum pořízení nahrávky, místo pořízení nahrávky, kontaktní informace a ISRC^{33,34} N oficiálních stránkách formátu FLAC je k dispozici seznam zařízení, která nativně podporují přehrávání tohoto kodeku, a k mému vlastnímu překvapení jich není málo. FLAC bývá nejčastěji užíván pro archivaci, ale také bohužel k ilegálnímu šíření hudby, protože umožňuje skladování celého alba v jednom jediném souboru.³⁵

Na pomezí bezztrátové a ztrátové komprese stojí formát WMA – Windows Media Audio. Kodek spravovaný americkým gigantem, firmou Microsoft, si své místo na slunci musel složitě vydobývat ve stínu svého tehdejšího velkého konkurenta, dodnes nejoblíbenějšího formátu, MP3. K tomu mu dopomohlo i jisté zmoudření autorské firmy, která časem upustila od svého původního plánu, tedy integrovat formát WMA pouze v rámci softwaru Windows Media Player. Dnes s tímto typem zvukových souborů nemá problémy žádný přehrávač. Důvodem, proč se Microsoft rozhodl pro vývoj nového kodeku

³² BENEŠ, Miroslav. Metoda RLE. *Katedra informatiky: Fakulta elektrotechniky a informatiky, VŠB-TUO* [online]. 2003 [cit. 2014-06-15]. Dostupné z:

<http://www.cs.vsb.cz/benes/vyuka/pte/texty/kompresse/ch02s01.html>

³³ ISRC - The International Standard Recording Code – mezinárodní identifikátor zvukové nahrávky (více na <http://isrc.ifpi.org>)

³⁴ Ogg Vorbis I format specification: Comment field and header specification. XIPH.ORG. *Ogg Vorbis Documentation* [online]. 2014 [cit. 2014-06-16]. Dostupné z: <http://www.xiph.org/vorbis/doc/v-comment.html>

³⁵ XIPH.ORG FOUNDATION. *FLAC - Free Lossless Audio Codec* [online]. 2014 [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: <https://xiph.org/flac/>

pro svůj operační systém Windows, je skutečnost, že formát MP3 je chráněn patentem a nemohl být tedy do Windows integrován bezplatně. V současné době je za konkurenta WMA považován spíše formát AAC od firmy Apple³⁶. WMA rozhodně stojí za zkoušku, neboť je jeho kvalita při výborném komprimačním poměru a nízkém datovém toku více než obstojná.³⁷

Jako poslední zde uvedu nejrozšířenější hudební formát vůbec – MP3. První myšlenka pro vytvoření kompresního algoritmu se zrodila roku 1987 v Německu ve Fraunhofer Institut Integrierte Schaltungen. Původním záměrem bylo vytvořit kódovací schémata zvuku pro využití v digitálních komunikačních a rozhlasových službách. MP3 spadá do rodiny algoritmů MPEG (Moving Picture Experts Group), konkrétně do algoritmu MPEG-1, který slouží ke kódování pohyblivého obrazu společně se zvukem. Audio je takzvanou třetí vrstvou kodeku (odtud celý název MPEG-1 Layer III). Definice souboru ve formátu MP3 je velice složitá, v následujících několika větách se pokusím vystihnout základní strukturu. MP3 data se skládají z tzv. rámců (angl. frame = rámeček), každý začíná hlavičkou, která obsahuje stavové informace. Mezi ně samozřejmě patří údaje o vzorkovací frekvenci, bitové hloubce, počtu kanálů a způsobu jejich členění. Navíc ale může obsahovat CRC³⁸ kontrolní součet pro odhalení porušeného rámce a především bitrate. S touto informací se zde setkáváme poprvé, protože u bezztrátové komprese nemá příliš význam. Jedná se o množství bitů využitých k uložení jedné sekundy informací. Tvůrci kodeku MP3 uvádí bitrate 128 kilobitů za sekundu jako kvalitu CD nahrávky, já však s touto informací musím nesouhlasit, protože nahrávky s bitrate nižší než 256 kilobitů za sekundu se mi zdají z hlediska kvality neposlouchatelné. MP3 navíc podporuje konstantní a proměnnou bitrate. Proměnná je v některých případech výhodnější, neboť enkodéru umožňuje pro místa s menší potřebou prostoru použít nižší bitrate a vynahradit to pak v místech, která jsou komplikovanější. Dochází tak k rapidnímu zlepšení kvality. Revolučnost MP3 spočívá v tzv. psychoakustickém modelu, kterého využívá pro potlačení „zbytečných“ frekvencí, které by lidské ucho nepostřehlo. Dochází k potlačení frekvencí vyšších než 16 kHz, která jsou pro většinu lidí neslyšitelné. Následně dochází k potlačení tichých zvuků, které následují za hlasitými, protože lidskému uchu trvá chvíli, než se

³⁶ Windows Media Audio. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-16]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Windows_Media_Audio

³⁷ KURKA, Lukáš a Miroslav ČERNÝ. Jak se vyznat v audio a videu na PC. *PC World: magazín digitálního věku*. Praha: IDG Czech, 2002, č. 10.

³⁸ CRC – Cyklický redundantní součet – matematický algoritmus pro převedení velkého množství dat na relativně krátké číslo. Jedná se o tzv. hašovací funkci. Ty obecně slouží k rychlému porovnávání, zda nedošlo ke změně obsahu, protože i malá změna vstupních dat se projeví jako velká změna ve výsledném čísle.

z hluku adaptuje zpět na ticho a dokáže vnímat.³⁹ Kontraverzním se může zdát implementace MP3, těch se totiž objevuje několik. Mimo původní implementace Fraunhoferova ústavu stojí za zmínku ještě LAME enkodér, který implementuje MPEG-1 Layer III se srovnatelnými výsledky a navíc nabízí své kodeky zcela zdarma.⁴⁰

Pokud jsme u FLAC mluvili o hudebním pirátství, pak MP3 je kapitola sama pro sebe. Jelikož se jedná o komprimaci ztrátovou, kompresní poměr se, při zachování CD kvality tak, jak ji uvádí výrobce MP3 kodeku, vyšplhá leckdy i na krásných 11⁴¹. Jestliže by tedy FLAC byla pirátská loď plná kradených CD, pak MP3 je pirátská zátoka plná takových lodí. Jako hudebník ale poslech ztrátově komprimovaných skladeb nedoporučuji, ať je psychoakustický model jakkoliv dobře vymyšlený, já nestrpím, aby někdo vypouštěl z hudby frekvence, které údajně nemám slyšet. V době terabajtových disků si bohatě vystačíme s kompresními úspěchy bezztrátové komprimace. A pokud jde o pirátství, to už nedoporučuji vůbec.

3.3.3 Syntetický zvuk

Tento pojem, dalo by se říci, stojí na pomezí mezi digitalizací a sazbou not, uvádím jej ale na tomto místě, kde využijeme znalosti z kapitol o MIDI. Je pravda, že ne zcela souvisí s digitalizací, protože v případě syntézy je zvuk digitální už od počátku, neexistuje žádný původní akustický signál. V některých případech se spíše jedná o zpětný převod digitálního signálu na akustický.

Syntetický zvuk se užívá ve dvou základních podobách – užívání vzorků a generování zvuku. První možnost spočívá v digitalizaci skutečného hudebního nástroje a následného přehrávání ve výškách a délkách, jaké potřebujeme. Druhá možnost je lákavější, protože vše se dá vytvořit pouze pomocí matematických modelů, nepotřebujeme mít k dispozici hudební nástroj k tomu, abychom vytvořili jeho matematický model a přiměli počítač k tomu, aby jako nástroj zněl.

³⁹ LEPA, Ondřej. *Psychoakustický model lidského sluchu*. Brno, 2011. Bakalářská Práce. Vysoké Učení Technické v Brně. Vedoucí práce Petr Sysel.

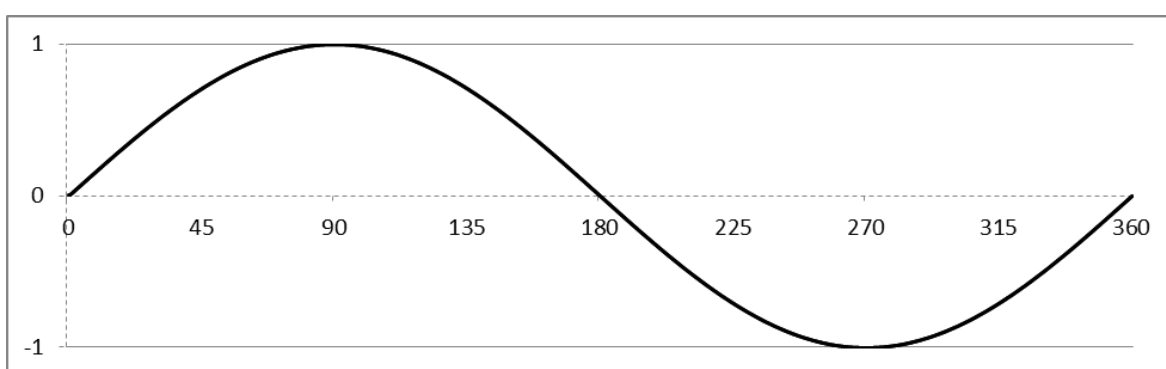
⁴⁰ TOMAN, Michal. *MP3*. 1. vydání - dotisk. Plzeň: Západočeská Univerzita, Katedra informatiky a výpočetní techniky, 2002, 52 s.

⁴¹ MP3. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-17]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/MP3>

3.3.3.1 Generátor zvuku

Nejprimitivnější metodou generování (vytváření) zvuku je napodobování jeho základního fyzikálního průběhu – funkce sinus (Obr. 12). Jak takový vytvořený zvuk zní, si můžete poslechnout na přiloženém CD, ve složce „syntetický zvuk“ najdete soubor „Synteticky_zvuk_01“. Abych minimalizoval šok z ne příliš hezky znějícího tónu, přidal jsem do souboru efekt nástupu a poklesu hlasitosti (fade in, fade out). Vygenerovaný tón zní tak tupě a nepříjemně, protože je nepřirozený. Zní totiž s konstantní intenzitou a výškou a neobsahuje žádné alikvótní tóny.

3.3.3.2 Alikvótní tóny

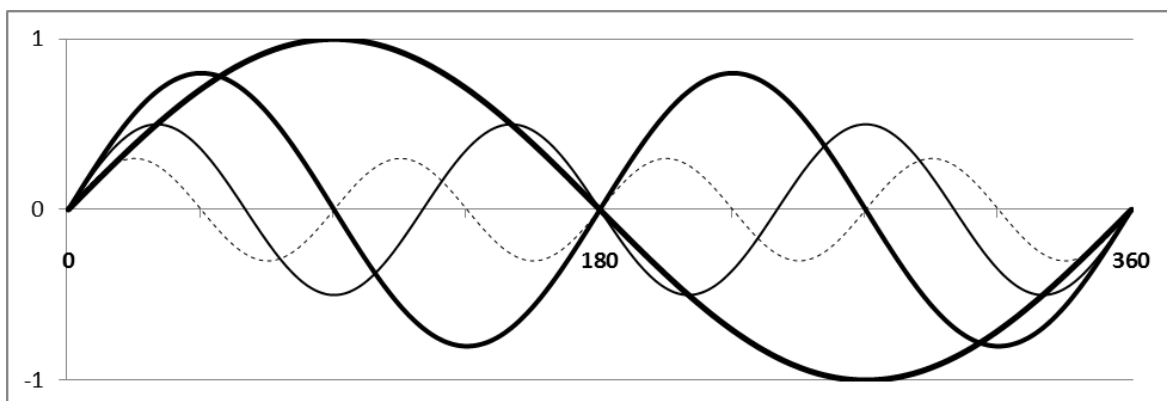


Obr. 12 - průběh funkce sinus (zdroj: autor)

Alikvótní tóny mohly a možná měly být zmíněny již v kapitole o akustickém zvuku, ale opět jsem využil našeho znalostního posunu a především se domnívám, že v této kapitole si mohu dovolit dát jim více prostoru.

Tzv. částkové nebo harmonické tóny jsou frekvence doprovázející každý znějící tón, avšak s nižší intenzitou, takže je vnímáme spíše jako barvu tónu.⁴² Bez nich bychom nebyli schopni od sebe rozeznat jednotlivé nástroje, protože právě jejich zvukový charakter je určen složením a intenzitou jednotlivých částkových tónů. Ke vzniku těchto harmonických tónů dochází při kmitání tělesa (ať se jedná o strunu kytary, plátek saxofonu nebo blánu bubny), protože žádné z těles nekmitá pouze jednou frekvencí, jak by tomu bylo na Obr. 12, ale zároveň s touto „hlavní“ frekvencí dochází ke kmitu o frekvencích, které jsou celočíselnými násobky frekvence původní. Tyto tóny pak tvoří harmonickou řadu. Na nástrojích lze zvýrazňovat určité alikvótní tóny. Např. u kytary se tomu říká

⁴² Alikvótní Zpěv. MATUSZEK, Petr. *Petr Matuszek* [online]. 2014 [cit. 2014-06-17]. Dostupné z: <http://www.petrmatuzek.cz/alikvotni-zpev/>



Obr. 13 - harmonická řada (zdroj: autor)

flažolet, u dechových nástrojů pak známe přefuky. Pokud je nástrojem lidský hlas, existuje i tzv. alikvótní zpěv, kdy zpěvák vědomě vybírá některé tóny z harmonické řady právě zpívaného tónu a ty nacvičenými pohyby jazyka a změnou prostoru ústní dutiny de facto zesiluje.^{43, 42} Harmonickou řadu prvních třech alikvótních tónů nad základním tónem můžete vidět na grafu na Obr. 13, kde je patrná rozdílná frekvence i amplituda (intenzita).

Při poslechu druhé z ukázek („Synteticky_zvuk_02“), kde jsou obsaženy první čtyři tóny harmonické řady komorního A1 (440 Hz, alikvótní tóny 880 Hz, 1320 Hz, 1760 Hz a 2200 Hz), se nemůžeme zbavit pocitu, že přidat alikvótní tóny o různé intenzitě zkrátka nestačí k tomu, aby zvuk zněl přirozeně, ale dokonce ani k tomu, aby zvuk zněl alespoň trochu příjemně.

Intenzita alikvótních tónů se dá měnit pomocí pásmových filtrů a ekvalizérů.

3.3.3.3 Frekvenční modulace – vibrato

Pokud frekvence udává výšku tónu, pak průběžnou změnou frekvence můžeme dosáhnout průběžné změny výšky. V případě malé změny prováděné pravidelně v krátkých intervalech lze takto napodobit vibrato. Komorní A1 se čtyřmi alikvótními tóny a přidaným vibrato efektem si můžete poslechnout v ukázce „Synteticky_zvuk_03“. Názor na poslouchatelnost jednotlivých ukázek by si každý měl udělat sám. Já se domnívám, že se stále přibližujeme ke zvuku skutečně užívaných generátorů, jaké můžete znát například z levnějších keyboardů.

⁴³ Harmonic series (music). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-17]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Harmonic_series_\(music\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Harmonic_series_(music))

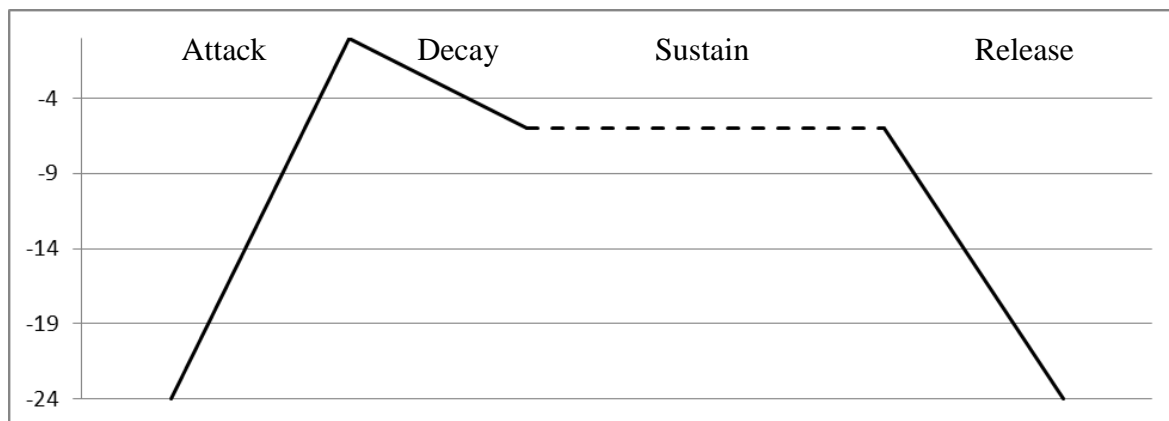
3.3.3.4 ADSR

V mnoha komerčních softwarech pro tvorbu, úpravu a stříh zvuku (např. Steinberg Cubase⁴⁴, Sony Sound Forge⁴⁵, či Avid Pro Tools⁴⁶), ale i v otevřeném softwaru Audacity⁴⁷ se setkáme s průběžnou změnou hlasitosti (envelope či obálka hlasitosti), která může být dělena na neomezené množství segmentů. Narazíme však na čtyři nejčastější základní úseky zvukové stopy, které vycházející z názvosloví klávesových syntetizátorů, značené písmeny ADSR – Attack, Decay, Sustain, Release. Do češtiny by se daly přeložit jako nástup, pokles (úpadek), zádrž a opuštění.

- Attack je doba, po kterou se síla signálu dostává od nuly do maxima, počítáno od stisknutí klávesy (rozeznění struny, úderu do bubnu, atp.).
- Decay je následující mírný pokles na požadovanou úroveň zádrže.
- Sustain hlavní úroveň hlasitosti tónu.
- Release je doba, po kterou se síla signálu dostává z hlavní hodnoty zpět na nulu, počítáno od upuštění klávesy.

Model ADSR nenachází uplatnění pouze v rámci hlasitosti, ale je možné jej nastavit i na průběžnou změnu frekvence, filtru či různých efektů. Syntetizátory i softwarové balíky obsahují obrovské množství možností.⁴⁸

Pro lepší ilustraci funkcí ADSR můžete nahlédnout na graf na Obr. 14.



Obr. 14 - ADSR model (zdroj: autor)

⁴⁴ <http://steinberg.net>

⁴⁵ <http://www.sonycreativesoftware.com/soundforgesoftware>

⁴⁶ <http://www.avid.com/us/products/family/pro-tools/>

⁴⁷ <http://audacity.sourceforge.net/>

⁴⁸ Synthesizer: ADSR Envelope. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-06-21]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Synthesizer#ADSR_envelope

Z grafu je zřejmé, že dochází k postupnému nárůstu z ticha k vrcholu, odkud pozvolněji hlasitost upadá na hladinu Sustain. V této hlasitosti tón setrvává, dokud není uvolněna klávesa a nedojde k opětovnému klesnutí do ticha.

Ukázka s názvem „Synteticky_zvuk_04“ obsahuje tón z předchozí nahrávky obohacený o ADSR model nasazený na hlasitost.

3.3.3.5 Efekty a filtry

Ne vždy nám při zpracovávání zvukových signálů stačí syrový zvuk, často proto sáhneme po zvukových efektech a filtrech. Ty mohou být buď v rámci hardware (např. zabudované ve zvukové kartě; v tomto případě nedochází k zátěži počítačového procesoru) nebo softwarové (běží uvnitř počítače a jejich obsluhu zařizuje procesor). Rád bych zde uvedl základní charakteristiku některých nejpoužívanějších, jejich dopady na původní signál si můžete poslechnout v příložených souborech ve složce „Efekty“.

Reverb

Někdy bývá označován jako dozvuk. Nejčastěji se používá pro napodobení prostoru. Většina hardwarových i softwarových reverbů podporuje základní nastavení jako čas dozvuku, zpoždění, hlasitost oproti původnímu signálu. Navíc bývá možné nastavovat odraz pouze některých frekvencí. Pokud je zpoždění duplikovaného signálu dostatečně malé (<30ms), vnímá lidské ucho oba signály jako jeden, avšak mohutnější.⁴⁹ To nachází využití v sálech s hledišti.^{50, 51}

Delay

Někdy bývá označován jako echo (ozvěna). Jedná se o opakování daného signálu v daném intervalu s daným počtem opakování. Navíc je možné ozvěnu rozvinout do kanálů sterea a vytvořit tak prostorovou ozvěnu.⁵¹

Chorus

Modulační efekt, kdy dochází k znásobování původního signálu a zároveň jeho modulaci. Ta může spočívat ve změně rychlosti signálu nebo v jeho nepatrné transpozici (v

⁴⁹ Prostorové akustické efekty pro systémy vícekanálového digitálního zpracování zvuku: Projekt VUT v Brně a firmy DISK Multimedia s.r.o. *Audified: Audio Research & Solutions* [online]. 2010 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: <http://www.audified.com/projekt/ft-ta3010/page5/page10/page10.html>

⁵⁰ Haasův jev. In: *Vševěd: encyklopedie v pohybu* [online]. 2005-2011 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: <http://encyklopedie.vseved.cz/Haas%C5%AFv+jev>

⁵¹ Zvukové efekty a jejich stručný popis. *Hudební nástroje: pár osobních zkušeností...* [online]. 2011 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: <http://test-nastroju.webnode.cz/nahravani/efekty-a-jejich-strucny-popis/>

řádech centů), čímž dochází k zajímavé proměně zvuku. Často bývá využíván u elektrických nezkreslených kytar pro ozvláštňení.⁵¹

Kompresor

Dynamický zvukový efekt sloužící k eliminaci velkých hlasitostních rozdílů v nahrávce. Občas může vést k plošnosti zvukové nahrávky, někde je zkrátka rozdílná dynamika žádaná.⁵¹

Ekvalizér

Slouží k úpravě frekvenční charakteristiky signálu. Může být použit k potlačení nežádoucích frekvencí a alikvótních tónů nebo naopak k jejich zvýraznění. Jejich funkce většinou spočívá ve výběru frekvenčního pásma a následného zesílení či zeslabení o požadovanou hodnotu. Je možné nastavovat i šířku vybraného pásma, takže dochází k úpravě v rozsahu několika málo Hz ale i několika kHz současně.⁵¹

Filtry spodní a horní propusti

Tyto filtry zajišťují propuštění pouze vyšších (highpass) nebo nižších (lowpass) frekvencí, než jaká je určená. Slouží k eliminaci širokého spektra frekvencí a využívá se například v převodnicích, kde zajišťuje neprostupnost frekvencím, které není vzorkovač schopen bezpečně vzorkovat.⁵¹

Autotune

V současné době je možná až kontroverzním efektem autotune, který umožňuje mírné, ale i výraznější doladování intonace. Proto bývá často využíván u zpěvu. Tento efekt proslavila Cher svou písní Believe, kde je využíváno robotické barvy hlasu, která vzniká velmi silnou aplikací efektu autotune. Převážně v popové hudbě je dnes podle slov amerického hudebního producenta Erwina Muspera využíván tento efekt příliš. V rozhovoru pro televizi WCPO v americkém Ohio řekl, že je v současnosti na popové scéně více zpěváků, kteří autotune (v malé, i téměř nerozeznatelné míře) používají, než je těch, kteří ne. Jako hudební producent ale říká, že tento efekt miluje, pokud si ho ve skladbě nevšimne. Nenávidí ho, jakmile je poznat, že byl použit.⁵²

⁵² Anyone can sing with Auto-Tune. In: *Youtube* [online]. Kanál uživatele WCPO, 2011 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=HGiaAiIELME>

3.3.3.6 VST, VSTi

V rámci syntetického zvuku existuje jeden velmi rozšířený standard a tím je VST(i). Roku 1996 jeho specifikaci a vývojové nástroje poprvé uvolnila firma Steinberg. Jedná se o zkratku Virtual Studio Technology (resp. Virtual Studio Technology Instruments) a úkolem tohoto standardu je nahradit profesionální (a často velmi drahý) hardware nahrávacích studií za software. VST funguje jako rozšiřující zásuvný modul (plugin) pro DAW⁵³ software. Samotná firma Steinberg je totiž právě jedním z tvůrců DAW. Především jejich Cubase slaví ve svých několika cenově (a pochopitelně i funkčně) rozdělených edicích celosvětový úspěch.⁵⁴

VST jsou efekty, do kterých hostitelský software posílá digitální zvukové signály, a ony vracejí zvukový signál zpět hostiteli pozměněný. Existují tisíce takových VST modulů, některé jsou placené, jiné zdarma. Často graficky (v případě těch lepších a často také dražších i zvukově) napodobují slavné a značkové hardwarové efekty. Zastoupení najdou všechny možné druhy zvukových filtrů a efektů. Jejich výhodou je využití v reálném čase. Zatímco DAW přehrává zvuk, VST modul se postará o to, aby byl zvuk pozměněn daným efektem.⁵⁵

VSTi jsou podobně jako VST zásuvné moduly, ty ale nenapodobují efekty a filtry, nýbrž celé hudební nástroje. Je nasnadě, že tento podtyp VST, který přišel na svět roku 1999 jako součást aktualizace specifikace VST 2, nepřijímá zvuková data. VSTi přijímá sekvence MIDI not a hostitelskému softwaru je vrací jako digitální zvuk. Síla a možnosti, které tato specifikace přinesla, jsou neuvěřitelné. Syntetické nástroje VSTi dosahují často obrovských kvalit a to vše opět probíhá v reálném čase. Není tedy problém pomocí elektronických kláves hrát přes DAW rovnou zvukem celého orchestru. Takové banky si však člověk musí zaplatit. Ta VSTi, která jsou zdarma, často zdaleka nedosahují ani takových kvalit jako právě elektronické klávesy.

⁵³ Digital Audio Workstation – vícestopý nahrávací software používaný v profesionálních i domácích studiích

⁵⁴ Virtual Studio Technology. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_Studio_Technology

⁵⁵ GUERIN, Robert. *Cubase 5 power!: the comprehensive guide*. 1st Ed. Boston, MA: Cengage Learning, 2009, p. cm. ISBN 14-354-5511-8.

4 Školní praxe

4.1 Základní a střední školy

Dostáváme se k tomu, co je pro mnohé stěžejní částí mé práce. Tedy k tomu, jak jsou poznatky doposud uvedené v mé práci využívány a potenciálně využitelné v prostředí škol. Protože se vesměs jedná o specificky zaměřené informace, nedá se u většiny z nich s jistotou říci, že je jejich využití vhodné ve všech třídách. Pro pedagoga je občas zkrátka nutné být v pohotovosti a reagovat na individuální potřeby žáků a tříd.

Z mé osobní zkušenosti, kdy nejmodernější technikou, využívanou u nás na základní škole, byl meotar, později nahrazený prezentacemi v Microsoft PowerPoint, vyplývá, že jisté rezervy ve využití multimédií ve výuce ještě jsou. Po hodinách strávených hledáním výhod a principů digitalizace je zklamáním, že pro mnohé učitele hudební výchovy počítač začíná pouštěním ukázek na YouTube.com a končí prezentací o životě autora.

„Učebnice do muzeí“ by mohlo být heslem projektu, kterého se mimo jiné účastní i dvě základní školy v Plzni (1. a 14. základní škola)⁵⁶ a které spočívá v nahrazování papírových učebnic elektronickými verzemi pro tablety. Těžká školní brašna a maminčina poznámka o cihlách v ní se může stát minulostí. Neduhem tohoto projektu je ale pochopitelně ještě větší ztráta koncentrace ze strany žáků, kteří mají nyní v ruce velice silný nástroj pro ukrácení „nudných“ chvil v lavicích hraním nejmodernějších her a pochopitelně též v dnešní době velice populární internetovou komunikací především prostřednictvím sociálních sítí.

V případě hodin hudební výchovy na základních a středních školách je těžké najít pro multimedia novější využití, protože o hudební teorii nejeví mnoho žáků příliš velký zájem a hudební výchova dostala nepříjemný punc odpočinkového předmětu, kde se „musí zpívat“. Proto je pochopitelné, že se někteří pedagogové uchylují k pouštění skladeb. I výuka hudební teorie se dá zpestřit praktickými ukázkami.

Nelze to považovat za každodenní aktivitu, ale například využít poznatky z kapitoly Digitalizace a zkusit si jako třída nahrát jednoduchou hudební nahrávku – kvalitu

⁵⁶ Učebnice ve školách nahradí tablety. *Plzeňský deník* [online]. 2012 [cit. 2014-06-26]. Dostupné z: http://plzensky.denik.cz/zpravy_region/ucebnice-ve-skolach-nahradi-tablety-20121023.html

interpretace nyní nechme stranou –, vše pojmout spíše jako hru by mohlo žáky bavit. Navíc ti z nich, kteří se chystají jednou vydat na dráhu muzikanta, by tím získali cenné zkušenosti. Kdyby mně někdo naučil již na základní škole vše, co teď vím, nebo alespoň to, co jsem popsal v této práci, ušetřil by mi nejméně deset let pokusů a omylů, kterých jsem se při nahrávání dopouštěl. V dnešní době, kdy nahrávací software i ucházející hardware je k dostání relativně levně, se velká spousta muzikantů uchyluje k domácímu nahrávání a vyčkává, až si jejich nahrávek všimne někdo, kdo by s nimi podepsal smlouvu a studiovou nahrávku jim zaplatil. Někteří žáci navíc už mají v raném věku určité pokusy o nahrávání za sebou. Učit žáky základům práce s takovým softwarem a hardwarem by proto mohlo být oboustranně poučné.

Digitalizace, archivace a sazba not, které jsem se věnoval hned na začátku práce, už předpokládá jisté znalosti hudební teorie, ale pokud by například žáci dostali za úkol zdigitalizovat daný jednoduchý notový zápis, procvičili by si čtení i zápis not. Pokud by se našlo využití pro OMR software, žáci by mohli opravovat chyby ve čtení a opět tím zdokonalovat svoji orientaci v notovém zápisu.

Sazba not spojená s MIDI a například VSTi navíc může žákům přinést snadnější pohled do partitury celého orchestru. Všechn software zaměřený na MIDI a syntetický zvuk umožňuje pouštění v pomalejším tempu, po skupinách nástrojů či po jednotlivých nástrojích, žáci se tak mohou učit vidět v partituře více než jen „černé tečky s praporky“. Navíc je velká spousta syntetických nástrojů zaměřena atonálně (ať už jde o perkuse či ambientní zvukové efekty – přelety a šumy). Tedy i žáci bez hudebně teoretických znalostí a instrumentálních dovedností mohou pomocí takových programů skládat vlastní hudbu, nebo přinejmenším kombinovat různé zvuky.

Napadá mě například velká třídní hra, kdy by instrumentálně nadaní žáci utvořili kapelu, někteří by složili hudbu a menší skupina ostatních by měla za úkol zdigitalizovat jejich notové zápisy. Ti by zároveň vytvořili demonahrávky se syntetickými zvuky, které by se časem nahradili nahrávkami pořízenými instrumentalisty. Syntetickými zvuky navíc lze nahradit nástroje, které nejsou k dispozici, jejich nahrání by bylo technicky náročné, nebo neexistuje-li žádný instrumentalista, který by je nahrál. Vše by pochopitelně probíhalo s větší či menší asistencí pedagoga. Žáci bez hudebního zaměření by mohli být manažery a propagátory kapely – měli by na starost například webové stránky kapely, plakáty na akce (ať už fiktivní či skutečné) a celkovou propagaci. Taková třídní hra může fungovat klidně během celého jednoho roku a jedině, co je k tomu třeba, je jeden

výpočetně silnější počítač (dvoujádrový procesor s 1 GB operační pamětí)⁵⁷, jeden dynamický mikrofon (pro záznam instrumentalistů a případných vokálů) a otevřený software (= freeware) umožňující notaci (MuseScore, Anvil Studio) a ideálně vícestopý záznam zvuku a syntézu (Audacity). Podmínkou pro fungování takového projektu je pochopitelně i pedagog schopný probudit v kolektivu žáků zápal pro takovou hru. A to samozřejmě nezáleží vždy jen na něm, i žáci se musí chtít pro něco takového nadchnout.

4.2 ZUŠ a umělecké školy

Jinou kapitolou jsou umělecké školy (ať už základní, střední či vysoké), kde se předpokládá nejen určitá teoretická vzdělanost žáků, ale i o něco větší zájem o hudební praxi. Mohu-li mluvit z vlastní zkušenosti, pak tento zájem není natolik často vyslyšen, jak by mohl být. Jedná se o určité konkrétní kapitoly hudební teorie, které podle mého skromného názoru nebyly často vysvětleny a především názorně ukázány do dostatečné hloubky. Na druhou stranu se v mnoha procentech případů pravděpodobně jedná o nedostatek možností názorně tyto kapitoly předvést. Jedním z případů, který bych zde rád uvedl, je problematika alikvótních tónů. Na přednáškách předmětů hudební teorie a harmonie na Katedře hudební kultury Západočeské univerzity v Plzni byly zmíněny a také nám bylo řečeno, že jsou určující pro barvu zvuku. To znělo velmi důležité, a proto to v nás, studentech, vzbudilo zájem. Ten však nebyl příliš uhašen, protože více se o harmonických tónech nemluvilo. Jako vysokoškoláci jsme se tedy jali bádát na vlastní pěst. Dokonce v době, kdy jsem psal tuto práci, se za mnou mí spolužáci chodili ptát, jestli už vím, co jsou to ty alikvótní tóny a jak to funguje. Naštěstí už to vím a v jedné z následujících kapitol, kde popisuji vlastní software, který jsem k příležitosti této práce vytvořil, přináším návod, jak si vliv alikvótních tónů na barvu zvuku pomocí mého softwaru poslechnout.

Digitalizace notových zápisů je účinnou zbraní proti jejich případné ztrátě nebo zničení. Navíc může usnadnit studium nových skladeb, protože počítač zvládne jednoduchou korepetici, kterou si žáci doma dovolit nemohou. V případě studentů skladby pak usnadňuje představu o barvách jednotlivých nástrojů a umožňuje přehrávat harmonie, které je jinak nutné slyšet buď v hlavě, nebo na nástroji, na který skladatel musí umět alespoň trochu hrát.

⁵⁷ Dnes už jsou alespoň takové všechny počítače

Digitalizace zvuku může posloužit k lepší sebekontrolě a sebekritice po výkonu. Interpreti určitě ocení takovou zpětnou vazbu po koncertě. Skladatelé, kteří nemají čas zrovna zapsat nápad, který se právě zrodil v jejich hlavách, jej mohou nahrát a vrátit se k němu déle.

Multimédia na akademické půdě jsou dar, který bychom v jedenadvacátém století měli využívat. V následujících kapitolách se již nebudu vracet zpět k digitalizaci a digitální notaci, neboť již bylo řečeno téměř vše, co být řečeno mohlo. Je na každém zvlášť, aby dar multimédií přijal a přišel si na způsob, jak jej využít.

4.3 Využitelné multimediální prostředky

4.3.1 SMART Board – interaktivní tabule

Když jsem se poprvé setkal s pojmem „multimediální učebna“, bylo pro mě mírným zklamáním, že jediným multimediálním zařízením v takové místnosti je interaktivní tabule. Význam slova „interaktivní“ v tomto případě znamená, že je možné komunikovat oběma směry – tedy tabule „mluví“ s vámi a vy můžete „mluvit“ s ní. Jazykem tabule je zobrazení a vaší zbraní je dotyk. Do dnešní doby se interaktivní tabule vyvinuly a dokonce poznají, kdy se jich dotýkáte rukou a kdy speciálně uzpůsobeným fixem, dokonce rozeznají i barvu tohoto fixu.

Mým původním plánem bylo zasvětit tabulím SMART Board větší část práce, ale po provedení drobného průzkumu jsem došel k závěru, že by nebylo příliš o čem psát. Využití těchto tabulí ve většině případů pouze nahradilo obyčejné prezentace prezentacemi interaktivními (reagují na naše dotyky a animují se), takže v tomto ohledu se příliš velký pokrok nekonal. Revolučnost tabulí SMART Board přichází až s vývojem specializovaných aplikací, které jsou uzpůsobené k ovládní dotyky a snaží se zpřístupnit a odlehčit výuku. Na stránkách smarttech.com je k dispozici API⁵⁸ a SKD⁵⁹ pro vývoj takových aplikací a stejně tak je zde dostupný i obchod s hotovými aplikacemi, které můžete po registraci stahovat a následně využívat s produkty SMART. Najdou se zde i hudební aplikace. Jejich vzhled i jednoduchost napovídá, že najdou využití spíše v mateřských školách a nanejvýš na prvních stupních základních škol, navzdory informaci od výrobce, který uvádí využitelnost až do třetího ročníku středních škol. Ať už

⁵⁸ Application Programming Interface

⁵⁹ Software Development Kit

jsou však aplikace jakkoliv dobře připravené, celé vývojové prostředí je stavěno primárně na prezentační formu.

4.3.2 Vlastní software

Jak už jsem zmínil výše, vyvinul jsem v souvislosti s tématem této bakalářské práce dva počítačové programy, které by mohly sloužit jako praktické ukázky některých hudebních, fyzikálních a biologických jevů, které se probírají v rámci jednotlivých předmětů ve školách.⁶⁰ Můj software naleznete buď na webových stránkách uvedených níže, nebo na přiloženém CD ve složce „programy“.

4.3.2.1 Generátor zvuku a zvukový syntetizátor

Informace o nových verzích můžete najít na <http://erixstorm.eu/Generator>.

Jedná se o vcelku rozsáhlý software, který umožňuje tvorbu zvuku prostřednictvím volby periodické funkce, kterou kmitá, výběru počtu a intenzity jednotlivých alikvótních tónů, úpravy ADSR frekvenčního či amplitudového průběhu tónu a následného generování vybraných tónů a to buď na základě jejich frekvence, nebo jejich jména v evropských stupnicích. Dále je možné sázet více not za sebou a určovat jejich délku (k dispozici jsou noty celé, půlové, čtvrté, osminové, šestnáctinové a všechny uvedené navíc s tečkami a v triolách) a tempo. Zvuk je vygenerován ve formátu WAVE a je možné ho buď přehrát přímo uvnitř programu, nebo následně v libovolném softwaru, který WAVE přehrává. Takto vyrobené zvuky je skrze hlavní nabídku možné ukládat a načítat a znovu upravovat.

V současné verzi 0.95 bohužel zatím není dostupná funkce ADSR. Pokud by pro vás editace byla ze začátku zmatečná, je možná využít předvolených grafů periodických funkcí, které naleznete ve složce s programem. Software bych rád nadále vyvíjel a rozšiřoval přinejmenším o chybějící ADSR a přehrávání v reálném čase (bez nutnosti zvuk nejdříve vygenerovat do souboru).

Protože se jedná o osobní projekt, na který jsem z části i hrdý, je jeho užívání omezeno licencí, kterou plánuji udělovat individuálně tak, abych měl neustálý přehled o tom, kdo můj software využívá. Pro čtenáře mé bakalářské práce je k dispozici následující licence:

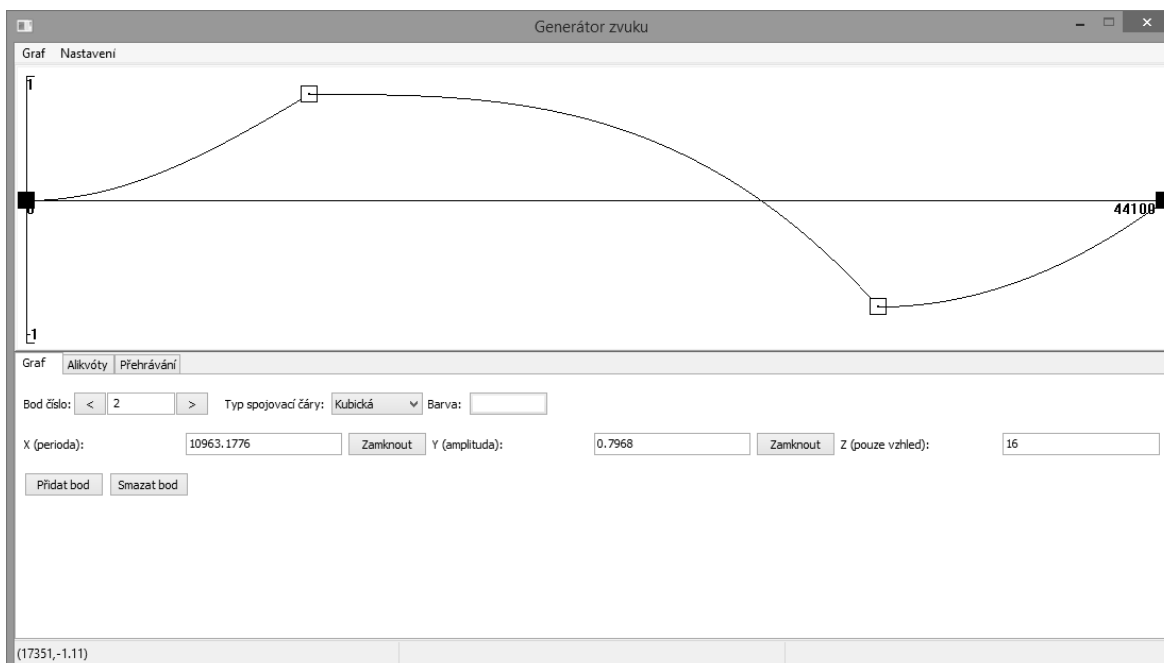
⁶⁰ Upozornění: Software je testovaný a optimalizovaný pro operační systém Microsoft Windows Vista, 7, 8 a 8.1. Podpora systému Windows XP nebyla otestována.

- licenční jméno: khk.zcu
- heslo: generator

Tato licence vyprší dne 26. 6. 2015 a může být libovolně prodlužována na základě osobní žádosti mě, jakožto autora.

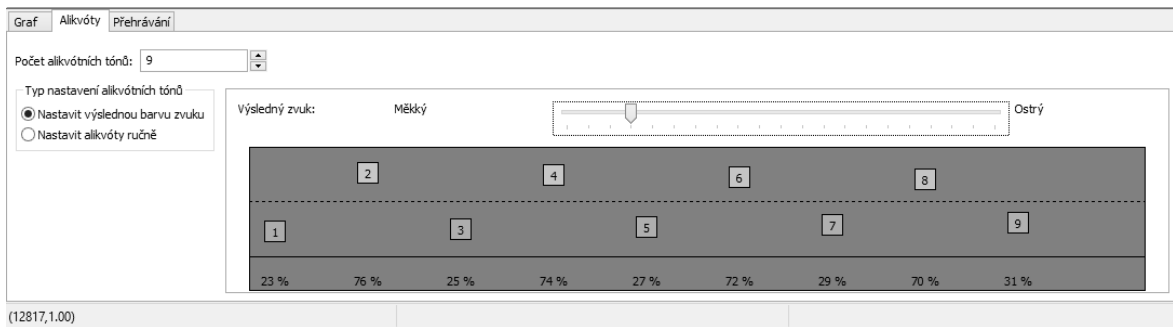
Účel programu je ilustrace funkce dříve hardwarových a dnešních softwarových syntetizátorů a navíc je podle mého názoru dobrou ukázkou významu alikvótních tónů. Program se skládá ze tří základních stupňů nastavení.

Prvním z nich je graf periodické funkce (Obr. 15). Ten lze buď načíst ze souboru, nebo vytvářet ručně a to především pomocí tlačítka „Přidat bod“. Body lze přesouvat myší nebo zapisovat jejich pozici do připraveného formuláře. Pro přehlednost je též možné nastavit barvu bodu a jeho pozici na ose z, která určuje velikost bodu v jeho zobrazení.



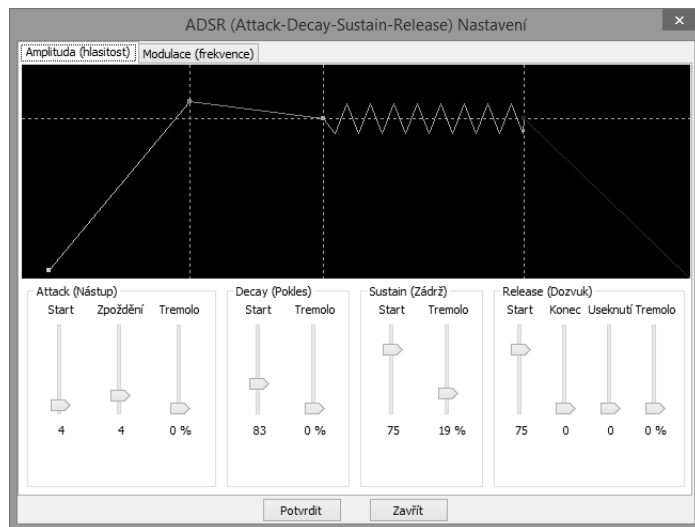
Obr. 15 - Generátor zvuku - část 1 - graf (zdroj: autor)

Následující stupeň obsahuje nastavení počtu (0 – 12) a intenzity (v procentech) alikvótních tónů. Alikvótní tóny mají vždy $n+1$ krát větší frekvenci, než původní tón. Tedy první má dvojnásobnou, druhý trojnásobnou, třetí čtyřnásobnou, apod. Navíc je dokázáno, že sudé alikvótní tóny dodávají zvuku měkkost, zatímco liché spíše ostrost. Pokud tedy nechcete vše nastavovat ručně, stačí posuvníkem na Obr. 16 nastavit požadovanou jakost zvuku.

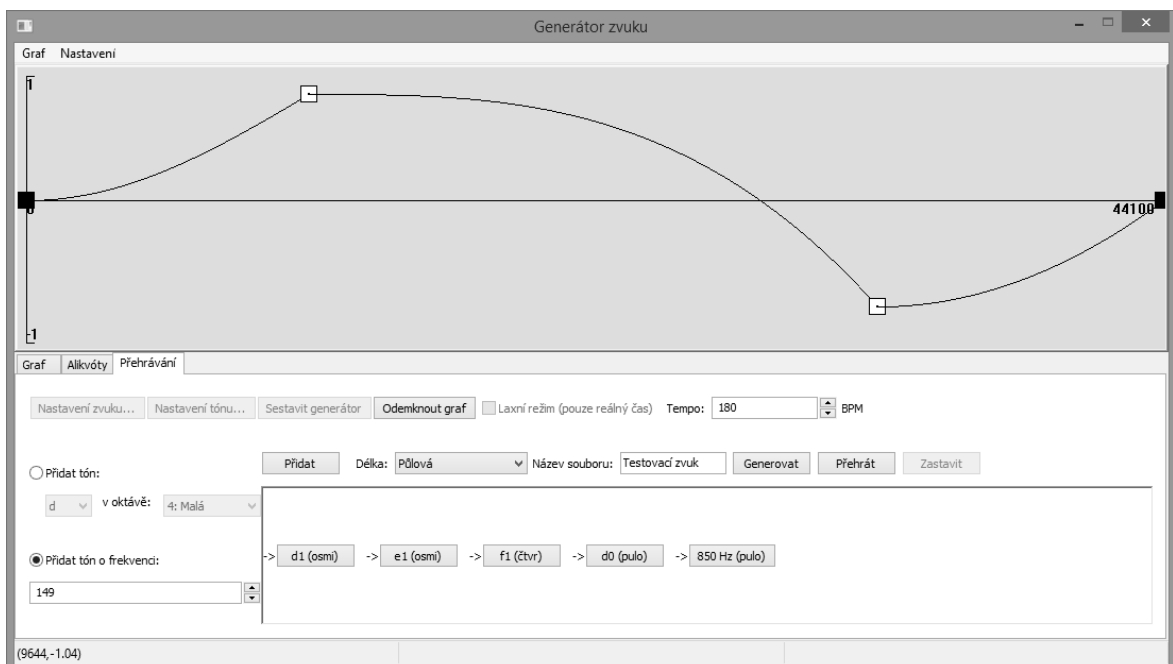


Obr. 16 - Generátor zvuku - část 2 – alkvótní tóny (zdroj: autor)

Posledním zobrazením programu je Přehrávání (Obr. 18), kde lze doladit dodatečná nastavení (například ADSR na frekvenci i amplitudě – Obr. 17), kvalitu zvuku, ale především sestavit přehrávanou skladbu. To lze však až po sestavení generátoru, kdy dojde k zablokování nastavení, aby nedošlo k jeho změnám ve chvíli, kdy je generován zvuk. Ten může být následně přehrán.



Obr. 17 - Generátor zvuku - ADSR dialog (zdroj: autor)



Obr. 18 - Generátor zvuku - část 3 – přehrávání (zdroj: autor)

4.3.2.2 Generátor slyšitelných frekvencí

Tento program vznikl jako reakce na časté opakování pojmu „slyšitelná frekvence“, tedy frekvence zhruba od 16 Hz do 20 kHz. U každého člověka je slyšitelnost těchto frekvencí jiná. K měření, jak jste na tom vy, případně vaši žáci, slouží můj program. Jeho ovládání je snadné, zvolíte počáteční frekvence a cílovou frekvenci, ke které chcete dojít, způsob, jakým si přejete dojít k požadované frekvence (postupovat stejnými kroky – sčítání, odčítání, dělení, násobení; po stupnicích – durová, mollová aiolská; po intervalech – oktáva, kvinta, kvarta, sekundy).

Tento program může sloužit jako zábava pro třídu na jednu necelou vyučovací hodinu, nabízím jej volně k využití při uvedení jména autora.

5 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá technickými popisy a specifikacemi jevů a standardů, které jsou denním chlebem hudebního praktika, ale podle mě nebývají často dostatečně vysvětleny nebo popsány. Tyto jevy s sebou často navíc nesou nové metody, kterými je možné učinit vyučování zajímavější nebo více zaměřené na praxi.

Zdrojů na toto téma je velká spousta, ale stejně tak je velká spousta z nich technicky zastaralá, případně v cizím jazyce. Tudíž práce s takovými zdroji byla často zdoluhavá, protože bylo nutné informace ověřovat. Některé z technologických závěrů pochází přímo z mé hlavy, protože se jedná o obecné fyzikální jevy, jejichž existence a principy se dají matematicky odvodit a dokázat.

Zpracování tématu pro mě bylo potěšením, protože se kromě hudby věnuji právě fyzice a technologiím. Jednalo se tedy o skloubení dvou věcí, které mám rád. Občas je tato má láska možná až příliš zřejmá, když některým jevům věnuji v práci více prostoru.

Na závěr práce se věnuji praktickému využití poznatků především ve školním prostředí.

Za zmínku jistě stojí i počítačový software, který jsem kvůli této práci naprogramoval. Ten poslouží k praktickým ukázkám toho, jak vzniká umělý zvuk, ale i jak lidské ucho vnímá rozličné zvukové frekvence.

6 Résumé

This bachelor thesis could be divided into two parts – theory and praxis. The theory is then divided into digitalisation of sheet music and sound digitalisation. The theoretical part deals mostly with technological specifications and physical base of sound. I was trying to figure out some conclusions myself with my knowledge in field of math and physics. At the end of the thesis I suggest some new methods of teaching using the information included in the theoretical part. As a result of writing the thesis I also made two computer programs. First of them is a software sound generator with the ability to create a sound from the physical base (periodical function), to select count and intensity of sound harmonics and finally to generate the sound, using selected notes. The second one is a test of audible frequencies.

7 Seznam použitých zdrojů

7.1 Literární zdroje

GUÉRIN, Robert. Cubase 5 power!: the comprehensive guide. 1st Ed. Boston, MA: Cengage Learning, 2009, p. cm. ISBN 14-354-5511-8.

GUÉRIN, Robert. Velká kniha MIDI: standardy, hardware, software. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2004, 340 s. ISBN 80-722-6985-2.

KURKA, Lukáš a Miroslav ČERNÝ. Jak se vyznat v audio a videu na PC. PC World: magazín digitálního věku. Praha: IDG Czech, 2002, č. 10.

LEPA, Ondřej. Psychoakustický model lidského sluchu. Brno, 2011. Bakalářská Práce. Vysoké Učení Technické v Brně. Vedoucí práce Petr Sysel.

LEPIL, Oldřich a Přemysl ŠEDIVÝ. Fyzika pro gymnázia: Elektřina a magnetismus. 6. vyd., dotisk. Praha: Prometheus, 2011, 342 s. ISBN 978-807-1963-851.

SYROVÝ, Václav a Milan GUŠTAR. Malý slovník základních pojmů z hudební akustiky a hudební elektroniky. 2. vyd. Praha: Akademie múzických umění v Praze, 2012, 93 s. ISBN 978-807-3312-374.

ŠNOREK, Miroslav. Analogové a číslicové systémy. Praha: České Vysoké učení technické v Praze, 1999, 137 s. ISBN 80-01-02061-4. str. 3

TOMAN, Michal. MP3. 1. vydání - dotisk. Plzeň: Západočeská Univerzita, Katedra informatiky a výpočetní techniky, 2002, 52 s.

WIRSUM, Siegfried. Abeceda NF Techniky. Praha: BEN, 1998. ISBN 37-723-5162-X.

ZOUHAR, Tomáš, Ondřej JIRÁSEK a Martin JURICA. Nahráváme a upravujeme hudbu na počítači. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2001, xviii, 263 s. Hry. ISBN 80-722-6579-2.

7.2 Internetové zdroje

Alikvótní Zpěv. MATUSZEK, Petr. Petr Matuszek [online]. 2014 [cit. 2014-06-17]. Dostupné z: <http://www.petrmatuszek.cz/alikvotni-zpev/>

Anyone can sing with Auto-Tune. In: Youtube [online]. Kanál uživatele WCPO, 2011 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=HGiaAiIELME>

BENEŠ, Miroslav. Metoda RLE. Katedra informatiky: Fakulta elektrotechniky a informatiky, VŠB-TUO [online]. 2003 [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: <http://www.cs.vsb.cz/benes/vyuka/pte/texty/kompresce/ch02s01.html>

DENTON, Zachary. Generate Audio with Python. Zach Denton [online]. 2014 [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: <http://zacharydenton.com/generate-audio-with-python/>

Fonograf. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Fonograf>

Haasův jev. In: Vševěd: encyklopedie v pohybu [online]. 2005-2011 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: <http://encyklopedie.vseved.cz/Haas%C5%AFv+jev>

Harmonic series (music). In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-17]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Harmonic_series_\(music\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Harmonic_series_(music))

Historie záznamu zvuku. KADLEC, Lukáš. Hudební nástroje: Pár osobních zkušeností [online]. 2011 [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://test-nastroju.webnode.cz/nahravani/historie-zaznamu-zvuku/>

Interpolace. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Interpolace>

MIDI Messages. MIDI MANUFACTURERS ASSOCIATION INCORPORATED. MIDI Manufacturers Association [online]. 2014 [cit. 2014-06-23]. Dostupné z: <http://www.midi.org/techspecs/midimessages.php>

MIDI Note Numbers for Different Octaves. SCARFF, Thomas. Dublin Institute of Technology: School of Electronics and Communications Engineering [online]. 2014 [cit. 2014-06-23]. Dostupné z: http://www.electronics.dit.ie/staff/tscarff/Music_technology/midi/midi_note_numbers_for_octaves.htm

Mikrofon. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Mikrofon>

MP3. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-17]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/MP3>

Nejrychleji na světě "datluje" absolventka VŠE. ČESALOVÁ, Tereza. IList.CZ: Informační a zpravodajský server studentů Vysoké školy ekonomické v Praze [online]. 2005 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: <http://www.ilist.cz/clanky/nejrychleji-na-svete-datluje-absolventka-vse>

OCR. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-26]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/OCR>

Ogg Vorbis I format specification: Comment field and header specification. XIPH.ORG. Ogg Vorbis Documentation [online]. 2014 [cit. 2014-06-16]. Dostupné z: <http://www.xiph.org/vorbis/doc/v-comment.html>

Oktáva (hudba). In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-23]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Okt%C3%A1va_\(hudba\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Okt%C3%A1va_(hudba))

Optical mark recognition. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-26]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_mark_recognition

Prostorové akustické efekty pro systémy vícekanálového digitálního zpracování zvuku: Projekt VUT v Brně a firmy DISK Multimedia s.r.o. Audified: Audio Research & Solutions [online]. 2010 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: <http://www.audified.com/projekt/ft-ta3010/page5/page10/page10.html>

Rozměry papíru formátu A4, A5, A6, A3, ... In: Rozměry-velikosti.cz: Rozměry, velikosti, velikostní tabulky [online]. 2014 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: <http://www.rozmary-velikosti.cz/papir-a4-a5.htm>

Secure Digital. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital

Simple Digit Recognition OCR in OpenCV-Python. In: StackOverflow [online]. 2013 [cit. 2014-06-26]. Dostupné z: <http://stackoverflow.com/questions/9413216/simple-digit-recognition-ocr-in-opencv-python>

Synthesizer: ADSR Envelope. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-06-21]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Synthesizer#ADSR_envelope

ŠKORPIL, Vladislav a Tomáš PROCHÁZKA. Kompresce dat u ISDN. In: Elektrovue: Časopis pro elektrotechniku [online]. 2002 [cit. 2014-06-16]. Dostupné z: <http://www.elektrovue.cz/clanky/02068/index.html>

Učebnice ve školách nahradí tablety. Plzeňský deník [online]. 2012 [cit. 2014-06-26]. Dostupné z: http://plzensky.denik.cz/zpravy_region/ucebnice-ve-skolach-nahradi-tablety-20121023.html

VETER. Wave format header. The Matrix: Mathematical physics, Calculus mathematics, Advanced programming technique [online]. 2014 [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: <http://mathmatrix.narod.ru/Wavefmt.html>

Virtual Studio Technology. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_Studio_Technology

WILSON, Scott. Microsoft WAVE soundfile format. CCRMA: Center for Computer Research in Music and Acoustics [online]. 2003 [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: <https://ccrma.stanford.edu/courses/422/projects/WaveFormat/>

Windows Media Audio. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-06-16]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Windows_Media_Audio

XIPH.ORG FOUNDATION. FLAC - Free Lossless Audio Codec [online]. 2014 [cit. 2014-06-15]. Dostupné z: <https://xiph.org/flac/>

Zvukové efekty a jejich stručný popis. Hudební nástroje: pár osobních zkušeností... [online]. 2011 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: <http://test-nastroju.webnode.cz/nahravani/efekty-a-jejich-strucny-popis/>

Zvukový hardware. PASTYŘÍK, Milan. Zvuk a počítač: Kurz online [online]. 2012 [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: <http://hucak.osu.cz/zvukapocitac/2.html>

Žáci opavské základní školy jsou nejrychlejší na světě v psaní na klávesnici. Česká televize [online]. 2013 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/zpravodajstvi-ostava/zpravy/235920-zaci-opavske-zakladni-skoly-jsou-nejrychlejsi-na-svete-v-psani-na-klavesnici/>

8 Seznam obrázků

Obr. 1 – příklady MIDI zpráv	9
Obr. 2 - základní zobrazení notačního softwaru MuseScore	10
Obr. 3 - prostředí softwaru Guitar Pro 5	11
Obr. 4 - Cubase 5 a key editor	12
Obr. 5 - noty a Cubase	12
Obr. 6 - vztah pro kapacitu kondenzátoru	18
Obr. 7 - schéma kulové, kardioidové a bidirekciální směrové charakteristiky	19
Obr. 8 - graf sebraných vzorků	21
Obr. 9 - spojitý akustický signál	21
Obr. 10 - graf s využitím lineární interpolace.....	23
Obr. 11 - graf s využitím ideální interpolace	24
Obr. 12 - průběh funkce sinus.....	29
Obr. 13 - harmonická řada	30
Obr. 14 - ADSR model	31
Obr. 15 - Generátor zvuku - část 1 - graf.....	40
Obr. 16 - Generátor zvuku - část 2 – alikvótní tóny	41
Obr. 17 - Generátor zvuku - ADSR dialog	41
Obr. 18 - Generátor zvuku - část 3 – přehrávání	41

9 Seznam příloh

I) Obsah přiloženého CD

- a) složka „digitalizace“
 - i. ukázky výsledků digitalizace s různými parametry
 - ii. 8000 Hz, 44100 Hz, 8bit
- b) složka „efekty“
 - i. ukázky zvukových efektů a filtrů vždy se zdrojovým souborem bez efektu (bypass)
 - ii. autotune, chorus, delay, highpass filter, lowpass filter, reverb
- c) složka „programy“
 - i. obsahuje výše popsany software Generator a FreqGen
 - ii. programy se spouštějí souborem „start.bat“
- d) složka „sazba not“
 - i. soubor Zdroj.pdf obsahuje zdrojový notový zápis, soubor Export.wav jeho převedení v programu PhotoScore
- e) složka „syntetický zvuk“
 - i. pět WAVE souborů s postupným vylepšováním generovaného zvuku
 - ii. textový soubor synteticky_zvuk.txt, který obsahuje popis jednotlivých kroků