

Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

Aplikácia na tréning sluchovej analýzy

2010

Ladislav Maršík

Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

Aplikácia na tréning sluchovej analýzy

Bakalárska práca

Študijný program: Informatika
Študijný odbor: 9.2.1 Informatika
Školiace pracovisko: Katedra informatiky
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky
Univerzita Komenského v Bratislave
Školiteľ: Mgr. Martin Ilčík
ICGA TU Wien

Bratislava 2010

Ladislav Maršík

Čestné vyhlásenie

Čestne vyhlasujem, že som prácu vypracoval samostatne s použitím uvedených zdrojov.

V Bratislave, 1.mája 2010

Podpis

Pod'akovanie

Ďakujem týmto vedúcemu bakalárskej práce, Mgr. Martinovi Ilčíkovi, za jeho čas, odborné vedenie, podporu, poskytnuté konzultácie a dôležitú spätnú väzbu.

Abstrakt

Autor: Ladislav Maršík
Názov práce: Aplikácia na tréning sluchovej analýzy
Škola: Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta: Fakulta matematiky, fyziky a informatiky
Katedra: Katedra informatiky
Školiteľ: Mgr. Martin Ilčík
ICGA TU Wien
Rozsah práce: 56 strán
Bratislava, 2010

Náplňou práce je vytvorenie aplikácie na tréning predmetu vyučovaného na umeleckých školách, sluchovej analýzy. Aplikácia slúži ako náhrada odborného vedenia pri precvičovaní sluchovej analýzy a môže byť využitá ako pomôcka pre študentov hudby na zlepšenie hudobného sluchu. Charakter aplikácie je didaktický, interaktívnym spôsobom pomáha študentovi s analýzou súzvukov na viacerých úrovniach. Na uskutočnenie vymedzeného zámeru bol vytvorený model hudobnej teórie, ktorý počítačovo reprezentuje jednotlivé hudobné súzvuky, pomenúva ich, pracuje s nimi a zachytáva základné princípy hudobnej teórie v algoritmickej podobe. Súčasťou práce je tiež vytvorenie modelu vizualizácie hudobných súzvukov, určeného na využitie v aplikácii.

Kľúčové slová: sluchová analýza, intonácia, hudobná teória, interval, akord, súzvuk, hudobný sluch, absolútny sluch, relatívny sluch, konsonancia, disonancia, vizualizácia

Predhovor

Hudbu väčšina z nás pozná ako umenie. Hľadáme v nej tie hodnoty, ktoré človeku môže umenie ponúkať – pocity, nálady, symboly, či duchovnú podstatu. Pokiaľ ale chceme lepšie porozumieť jej funkcii a pracovať s ňou na vyššej úrovni, musíme ju spoznať aj ako vedu. To, čo sa ľuďom na hudbe páči, sa vždy dalo popísať ako súbor istých pravidiel, počínajúc Pytagorovým základným princípom hudobnej harmónie, pokračujúc dobovými pravidlami výstavby hudobného diela, zavŕšiac to komplikovenejšími princípmi tonálnej harmónie¹, samozrejme, zoberúc do úvahy hudobné vzdelanie a vkus poslucháča. A napokon je tam vždy ešte zložka, ktorá sa žiadnym pravidlom popísať, aspoň zatiaľ, nedá. No práve to, že sa v hudbe tak názorne spájajú umelecké hodnoty s princípmi vedy, ju robí zaujímavou pre mnohých priekopníkov pracujúcich na hranici medzi umením a vedou.

Základom pre túto bakalársku prácu bol fakt, že hudobná teória² je vo svojej podstate aplikovanou matematikou. Matematické zákony, ktoré v nej platia, sú veľmi presné a dajú sa popísať aj rečou algoritmov. A tak môžu byť vyvíjané aplikácie, zamerané na prácu s hudbou, či už na jej výuku, analýzu a lepšie pochopenie, alebo na jej tvorenie. Táto práca si vyberá práve najzákladnejšie zložky hudobnej teórie, jednoduché súzvuky viacerých tónov, ako oblasť skúmania a využitia v aplikácii.

Predmetom práce je vytvorenie aplikácie, ktorá učí žiakov z umeleckých škôl analyzovať spomínané súzvuky tónov, na špeciálnom predmete zvanom „sluchová analýza“. Autorova osobná skúsenosť so štúdiom tohto predmetu a jeho vášeň pre prácu s hudbou a obzvlášť tam, kde sa prekrýva s odborom jeho informatického štúdia, tvorili základ ku vzniku práce. Pri jej tvorbe sa autor musel vysporiadať s viacerými zaujímavými problémami, ktoré sa týkali hlavne zavedenia hudobnej teórie do počítačovej aplikácie, ale tiež musel odolať mnohým ďalším zaujímavým oblastiam, ktoré sa naskytli pri uvažovaní na túto tému, ale s hlavným cieľom práce už súviseli menej.

Napokon, práca stavajúca na základoch hudobnej teórie by sa mohla uberať skutočne mnohými smermi, záber je veľmi široký. Preto pre účely tejto práce ostaneme verní jednému hlavnému zameraniu a základná myšlienka aplikácie bude – didaktická. Autor sa síce nevyhýba krokom, ktoré súvisia so základnou témou, a pritom nastoľujú aj nové možnosti výskumu (napr. vizualizácia súzvučiek). Hlavným cieľom však ostáva vytvorenie funkčnej, portabilnej a ľahko použiteľnej aplikácie, efektívne implementujúcej spomínanú problematiku.

Na záver predhovoru by sa autor rád poďakoval učiteľom Konzervatória v Bratislave, ktorí mu poskytli konzultácie, materiály k predmetu, ale hlavne cennú výuku, a žiakom, ktorí sa podieľajú na testovaní.

¹O základných princípoch sa dočítate v ďalších kapitolách

²Časť hudobnej vedy skúmajúca a popisujúca zákonitosti výstavby hudobných celkov

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Sluchová analýza	1
1.1.1	Forma výuky	1
1.1.2	Absolútny a relatívny sluch	2
1.1.3	Hudobná teória v praxi	2
1.2	Motivácia a prínos	3
1.2.1	Trénovanie pomocou počítačovej aplikácie	3
1.2.2	Vytvorenie modelu hudobnej teórie	3
1.2.3	Vizualizácia súzvukov	4
1.3	Členenie práce	4
2	Základy hudobnej teórie	5
2.1	Základné pojmy	5
2.1.1	Definície	5
2.1.2	Výškové pomery v hudbe	6
2.2	Tónové rady	8
2.2.1	Diatonické stupnice	8
2.2.2	Chromatické a celotónové stupnice	9
2.2.3	Zvláštne stupnice	9
2.3	Intervaly	10
2.3.1	Základné intervaly	10
2.3.2	Odvođené a rozšírené intervaly	11
2.3.3	Zvukový charakter intervalov	12
2.3.4	Obraty intervalov	12
2.4	Akordy	12
2.4.1	Kvintakordy	13
2.4.2	Obraty kvintakordu	13
2.4.3	Úpravy kvintakordu	14
2.4.4	Septakordy	14
2.4.5	Obraty septakordu	14
2.5	Základy tonálnej harmónie	15
2.5.1	Hlavné harmonické funkcie	15
2.5.2	Rozvádžanie súzvukov	15
2.6	Názvoslovie	16
2.6.1	Názvy a skratky intervalov	16
2.6.2	Názvy a skratky akordov	16
2.6.3	Generické názvy	16
2.7	Slovník ďalších pojmov	17

3	Podobné práce	18
3.1	Didaktika SA	18
3.1.1	Tradičný prístup	18
3.1.2	Moderné metódy	19
3.2	Počítačové aplikácie na tréning SA	19
3.2.1	Vysvetlivky k funkcionalite aplikácií	20
3.2.2	Platené aplikácie	21
3.2.3	Voľne šíriteľné aplikácie	23
3.2.4	Ostatné riešenia	24
3.2.5	Zhrnutie	25
3.2.6	Stanovenie požiadaviek na aplikáciu	26
4	Implementácia modelu hudobnej teórie	28
4.1	Rozbor problematiky	28
4.1.1	Číselná reprezentácia súzvukov	29
4.1.2	Úprava názvoslovía	30
4.1.3	Algoritmizácia pravidiel HT	34
4.1.4	Parsovanie	36
4.1.5	Rozvádzanie súzvukov	39
4.1.6	MIDI rozhranie	41
4.1.7	Návrh tried	41
5	Vizualizácia hudobných súzvukov	43
5.1	Návrh modelu	43
5.1.1	Model farieb	43
5.1.2	Možnosti grafického znázornenia tónov	44
5.1.3	Návrh grafického znázornenia tónov	45
5.2	Varianty modelu	46
5.3	Poznámky k implementácii	48
6	Didaktický rozbor aplikácie	49
6.1	Popis aplikácie	49
6.2	Priebeh výuky	49
6.3	Implementácia funkcionality výuky	51
6.4	Nasadenie v praxi a prieskum	51
7	Záver a možné rozšírenia	52

1 Úvod

V úvode práce si objasníme, čo je sluchová analýza a akým spôsobom budeme pristupovať k tvorbe aplikácie na jej tréning. Akonáhle čitateľ pochopí myšlienku predmetu, zhrnieme hlavnú motiváciu k vzniku práce a jej prínos a napokon sa oboznámime so štruktúrou práce.

1.1 Sluchová analýza

Sluchová analýza je predmet vyučovaný na základných, stredných a vysokých umeleckých školách³. Jeho cieľom je naučiť žiakov rozpoznávať hudobné súzvuky a správne *intonovať*, tj. vedieť správne nasadiť tón pri hre na hudobnom nástroji alebo pri speve. Zvládnutie tohto predmetu znamená zlepšenie hudobného sluchu, ale aj zvel'adenie ďalších zložiek hudobného nadania: hudobného a rytmického citu, intonačnej schopnosti, hudobnej pamäti a predstavivosti, či ku zlepšeniu znalostí hudobnej teórie. Obzvlášť dôležitým je pre študentov skladby, dirigovania, alebo spevu, ale profituje z neho každý hudobník.

1.1.1 Forma výuky

Forma výuky je spravidla interaktívna, v podobe príkladov – väčšinou je príklad v podobe hudobného súzvuku, ktorý treba správne analyzovať a pomenovať. Vyskytujú sa aj tzv. *melodické diktáty*, kedy treba znejúcu melódiu správne zapísať do nôt, alebo naopak, rytmické a intonačné cvičenia, v ktorých treba predpísanú melódiu v notách správne interpretovať, prípadne imitovať znejúcu melódiu alebo rytmus. Príklady postupne pridávajú na obtiažnosti [1].

Popíšeme si konkrétnu ukážku z priebehu hodiny v umeleckej škole na Slovensku. Obyčajne študenti sedia v laviciach a učiteľ za klavírom zadáva príklady. Učiteľ zahrá súzvuk tónov a vyzve žiaka, aby súzvuk pomenoval. V prípade jednoduchého súzvuku (napr. dvojzvuk) žiak môže zareagovať rýchlo a nazvať dvojzvuk jeho názvom v hudobnej teórii⁴. V prípade zložitejšieho súzvuku (napr. súzvuk piatich tónov) žiak často musí viac porozmýšľať a súzvuk nazvať na základe postupnej analýzy⁵. Učiteľ usmerňuje žiaka, aby sa mu podarilo súzvuk správne analyzovať. V priebehu hodiny učiteľ mení a s'ťažuje formu príkladov, prípadne môže zadať melodický diktát, alebo vyzvať žiakov, aby správne intonovali (spevom) predpísanú melódiu.

³Niekedy býva nazývaný aj Intonácia, alebo Intonácia a sluchová analýza

⁴Obyčajne je to jednoznačný názov podľa počtu poltónov medzi dvoma znejúcimi tónmi, teda napr. „veľká sekunda“

⁵Zvyčajne žiak volí najskôr zistenie rozsahu, tj. všíma si len spodný a vrchný tón a postupne pridáva ďalšie tóny. Až keď je mu jasná štruktúra celého súzvuku, pokúsi sa ho správne nazvať, napr. „dominantný kvintsextakord zahustený veľkou terciou od basu“

1.1.2 Absolútny a relatívny sluch

S výukou sluchovej analýzy ale aj celkovo s hudobným štúdiom žiaka sa spájajú pojmy *absolútny* a *relatívny (hudobný) sluch*. Tieto pojmy popisujú sluchové schopnosti žiaka, z toho minimálne prvý (absolútny sluch) sa väčšinou chápe ako predispozícia. Hoci skúsenosť hovorí o tom, že absolútny sluch je skutočne vrodená vlastnosť, vysvetlime si tento pojem viac.

O predispozícii hovoríme, pokiaľ žiak už od útleho veku vedel rozlišovať tóny aj v zložitejších súzvukoch a akonáhle sa naučil mená tónov, dokázal tóny súzvuku aj okamžite pomenovať – toto je *absolútny sluch*, pretože žiak vie presne (absolútne) pomenovať tóny súzvuku⁶. Navyše, hudobníci s absolútnym sluchom vedia o tóne aj povedať, nakoľko presne je intonovaný, z hľadiska frekvencie tónu (napríklad, či sa hudba hrá s dobre naladenými nástrojmi). Dá sa pojednávať o tom, či sa žiak s absolútnym sluchom naozaj „narodil“ – samotný zmysel tónov totiž pochopil až neskôr. Ale zrejme má od prírody daný sluchový aparát veľmi citlivý na rozlíšenie zvukovej frekvencie. Takýto – vrodenný – sluch má však len asi o 1 – 3% populácie [24].

Naproti tomu, každý z nás sa narodí minimálne s predispozíciou *relatívneho sluchu*. Ak sa pozrieme na definíciu relatívneho sluchu, čítame, že ide o „schopnosť vnímať, reprodukovať a podľa udaného východiskového tónu určovať tónové pomery, avšak nie ich absolútnu výšku“ [3], a môžeme právom namietat, že toto ľudia neovládajú od narodenia. Avšak, každý má túto vlastnosť aspoň na istej úrovni, a má možnosť si ju vycvičiť tréningom. Potom žiak s výborným relatívnym sluchom – nevie síce presne pomenovať tóny súzvuku – ale počuje vzťahy medzi nimi, teda je mu jasná štruktúra súzvuku, bez vedomia presnej výšky jednotlivých tónov⁷.

Známy pojem *hudobný sluch* môžeme v tomto kontexte chápať ako zjednotenie pojmov absolútneho sluchu a dobre vycvičeného relatívneho sluchu.

Otázka je, či môže žiak tréningom nadobudnúť aj absolútny sluch. Rôzne štúdie uvádzajú prípady ľudí, ktorí sa dokázali natoľko priblížiť vrodennému absolútnemu sluchu, že to vyzerá byť možné. Avšak, človek môže svoj (v špeciálnych prípadoch aj vrodenný) absolútny sluch stratiť, pokiaľ si ho neudržiava. Napokon posledná štúdia ukazuje, že ľudia, ktorí sa venovali hudobnej náuke od útleho detstva, majú oveľa vyššiu pravdepodobnosť výskytu absolútneho sluchu. Preto najpravdepodobnejším záverom sa zdá byť, že schopnosť absolútneho sluchu je schopnosť, na ktorú môže mať človek predispozíciu, dá sa však naučiť kedykoľvek, a najjednoduchšie v ranom detstve [24].

Faktom ostáva, že vzhľadom k dnešným vysokým nárokom na hudobníkov, si väčšina profesionálnych hudobníkov musí svoj hudobný sluch vypestovať na hodinách sluchovej analýzy [1]. A nielen musí, ale aj chce, pretože dobrý hudobný sluch je jeden zo základných atribútov dobrého hudobníka.

1.1.3 Hudobná teória v praxi

Na predmete sluchová analýza sa vo vysokej miere cvičí aj znalosť *hudobnej teórie*. Žiaci sa teóriu učia vo viacerých variantách na iných predmetoch (náuka o hudbe, náuka o harmónii a i.),

⁶Žiak pomenuje tóny ich názvami, napr. po vypočutí konkrétneho trojzvuku povie, že počuje tóny C, F a G. Jedná sa vlastne o druh pamäti.

⁷Žiak po vypočutí konkrétneho trojzvuku povie, že počuje tóny vo vzdialenostiach čistej kvarty a veľkej sekundy

na sluchovej analýze však využívajú svoje znalosti v praxi, pretože pomenúvajú súzvučky rečou hudobnej teórie. Preto aj pri mojej práci bola hlavným pracovným jazykom práve hudobná teória, ktorej venujem v práci osobitnú kapitolu.

1.2 Motivácia a prínos

Možné prínosy práce boli zároveň aj hlavnou motiváciou k jej vzniku. Pre každý z prínosov sa dá rozlíšiť jeho „okamžitý význam“, ale zaujímavý je aj prínos z dlhodobej perspektívy, za predpokladu, že by sa aplikácia alebo výsledky práce ďalej využívali.

1.2.1 Trénovanie pomocou počítačovej aplikácie

Správna analýza súzvuku vyžaduje hodiny tréningu aj u nadaných študentov a sluchová analýza (ďalej len SA) sa považuje za veľmi náročný predmet. Tréning pritom musí byť odborne a interaktívne vedený s využitím zvukových ukážok. Práve pre tieto charakteristiky je vhodnou voľbou pre samoštúdium SA počítačová aplikácia, ktorá síce nenahradí odbornosť vedenia, ale poskytne vhodnú databázu príkladov spolu s nástrojom na ich analýzu. Moja osobná skúsenosť a krátky prieskum⁸ svedčia, že hoci by táto forma bola vítaná, voľne šíriteľná a použiteľná aplikácia podobného druhu na patričnej úrovni na Slovensku nie je dostupná – a práve to bolo hlavnou motiváciou k vytvoreniu tejto práce.

Ďalším relevantným faktorom je zvyšujúci sa trend študovať hudbu individuálne⁹ a je aj veľa hudobníkov, ktorí nemajú ku štúdiu SA prístup, prípadne o ňom ešte nepočuli. Pritom SA je jedným z predmetov, ktorý je „možné“ študovať individuálne, ale na nacvičenie sluchu sú tréningy nevyhnutné. Aplikácia na tréning SA by mohla byť (do budúca) spôsob, ako by si aj študenti hudby s individuálnym študijným plánom mohli zachovať žiadúcu úroveň.

1.2.2 Vytvorenie modelu hudobnej teórie

Ďalšou motiváciou a zároveň prínosom je vytvorenie modelu hudobnej teórie, potrebného k tomu, aby mohla aplikácia správne fungovať. Takýto model v sebe prirodzene musí zahŕňať všetky spomínané základné princípy hudobnej teórie. Tieto princípy sú matematické, a preto je veľmi žiadúce vytvoriť ich algoritmickú verziu.

V hudobnej teórii je vybudované názvoslovie, ktoré každý hudobník pozná. Toto názvoslovie je síce logicky vystavané, ale nie vždy sa dá povedať, že je úplne názorné¹⁰. Pre potreby aplikácie je potrebné názvy hudobnej teórie preložiť do sveta čísel. Navyše, počas vytvárania aplikácie bolo veľmi vhodné zaviesť aj „medzistupeň“ – názvoslovie, ktoré sa lepšie spracúva aplikácií, a pritom je stále zrozumiteľné aj pre užívateľ'a. Inak povedané, vytvoriť istý systém hudobných skratiek. Jeho prínosom bude sprehl'adnenie celej problematiky hudobnej teórie.

⁸ktorý si čitateľ môže prezrieť v 3.kapitole

⁹Na hudobných konzervatóriách sa každým rokom zvyšuje počet žiadostí o individuálny študijný plán, pri ktorom sa na predmety nedochádza a na konci roka sa skladá komisionálna skúška

¹⁰Pre laika môže byť mätúce, pre matematika zas nedostatočne formálne

Jedným z ďalších prínosov je vytvorenie takéhoto modelu na základe hudobnej teórie v slovenskom jazyku. Pomenovania v hudbe sa líšia od jazyka k jazyku, a zrejme najčastejšie používaným jazykom v podobných hudobne zameraných aplikáciách je angličtina. Študentovi zo slovenskej umeleckej školy zvyknutému na slovenské názvoslovie však aplikácia v anglickom jazyku s vyučovaním príliš nepomôže (pokiaľ si nechce naštudovať celú teóriu po anglicky).

A napokon, dlhodobejším prínosom by mohlo byť neskoršie využitie takéhoto modelu hudobnej teórie do zložitejších aplikácií. Dobre navrhnuté triedy hudobných entít môžu byť využité kdekoli, kde sa pracuje s rovnakými entitami (aj v nie didaktických aplikáciách, ako napr. automatizované tvorenie hudby, harmonizácia melódie a inde).

1.2.3 Vizualizácia súzvukov

Vhodným doplnkom aplikácie na tréning SA je vizualizácia súzvuku. Cieľom vizualizácie spravidla býva viditeľne poukázať na informácie, ktoré by bez nej ostali nepovšimnuté. V tomto prípade sa vizualizácia dá využiť na zobrazenie spektra harmonických vzt'ahov, ktoré sluchový aparát nestíha spočiatku zachytiť. Preto sa v práci venujem aj návrhu modelu na vizualizáciu súzvukov, ktorý môže napomôcť žiakovi pri analýze a zároveň predstavuje novú myšlienku vizualizácie hudby.

1.3 Členenie práce

Na úvod treba vytvoriť dostatočný aparát hudobnej teórie na to, aby sme sa mohli venovať zvyšným častiam. Základom hudobnej teórie so zameraním na algoritmizáciu je venovaná druhá kapitola.

V tretej kapitole uvedieme prehľad metód využívaných na výuku SA a podobných softvérových riešení. Na základe tohto prehľadu zhodnotíme možnosti nášho projektu v reálnom nasadení a stanovíme konkrétne požiadavky pre aplikáciu.

Vo zvyšných kapitolách sa už budeme venovať častiam, ktoré sme predurčili v časti Motivácia a prínos. Štvrtá kapitola je venovaná implementácii aplikácie a zvoleným riešeniam, bližšie si popíšeme vytvorený model hudobnej teórie, budeme sa venovať problémom s názvoslovím, ale aj zložitejším algoritmickými riešeniami.

Piata kapitola uvedie návrh modelu vizualizácie využitého v aplikácii.

Napokon v šiestej kapitole si predstavíme vytvorenú aplikáciu z didaktickej stránky a z používateľského pohľadu.

2 Základy hudobnej teórie

V tejto kapitole uvedieme základné pojmy hudobnej teórie (ďalej len HT), s ktorými budeme v aplikácii pracovať. Vo viacerých prípadoch „prekročíme“ fyzikálne princípy, pretože s touto prácou priamo nesúvisia, a zameriame sa na HT, ktorá na nich stavia.

2.1 Základné pojmy

Najskôr si definujeme najzákladnejšie pojmy a vystaviame rad tónov, na ktorých je historicky postavená hudba európskeho kontinentu.

2.1.1 Definície

Hudobná teória je súhrnný pojem na označenie disciplín zaoberajúcich sa zákonitosťami výstavby hudobnej skladby, utvárania melodických, rytmických a súzvukových celkov a ich spájaniai [2]. Pod hudobnú teóriu spadajú napr. základná hudobná náuka, náuka o harmónii, náuka o kontrapunkte, náuka o hudobných formách, náuka o hudobných nástrojoch, dejiny hudby, hudobná estetika, a i.

Pozn. Hudobná teória a jej disciplíny sú súčasťou ešte širšieho pojmu, *hudobnej vedy*, alebo *muzikológie*, ktorá vyhovuje chápaniu hudby ako vedného odboru z predhovoru tejto publikácie. Na účely tejto práce si popíšeme pojmy zo základnej hudobnej náuky a náuky o harmónii.

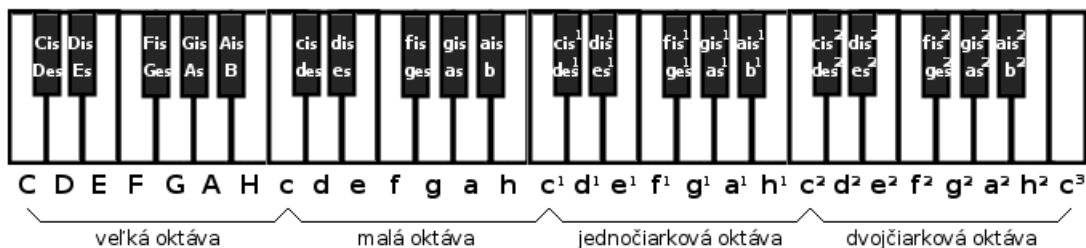
Tón je z pohľadu akustiky definovaný ako akustický zvuk, ktorý vzniká pravidelným chvením pružného telesa (zdroja zvuku). Z pohľadu HT ho môžeme tiež definovať ako najmenší prvok hudobného diela charakterizovaný výškou¹¹, silou, farbou a dĺžkou [2].

Rad základných tónov. Z celého spektra počuteľných tónov európska hudba používa len úzky výsek tónov, ktoré majú také rozdiely frekvencií, že ich vieme bezpečne rozoznať sluchom (88 tónov dnešného klavíra) [2]. V nich platí, že tóny, z ktorých jeden má dvojnásobnú frekvenciu od druhého, zvukovo splývajú pri súčasnom zaznení a zdajú sa nám zvukovo rovnaké, hoci výškou rôzne. Týmto tónom je pridelená vzdialenosť *oktávy*. V rámci oktávy sa rozlišuje 7 rôznych tónov, ktoré sa periodicky opakujú. Tieto tóny sú nazvané písmenami abecedy:

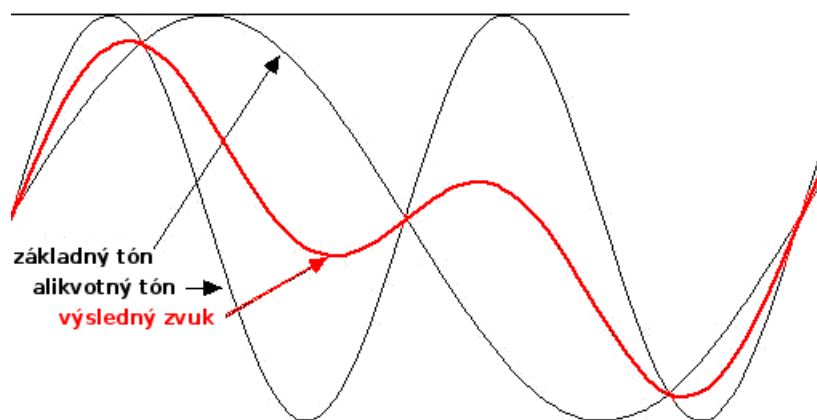
c, d, e, f, g, a, h

a tvoria tzv. *rad základných tónov* (ďalej len RZT). Na rozlíšenie jednotlivých oktáv bolo zavedené značenie oktáv, od strednej nahor: *jednočiarková*, *dvojčiarková*, ..., nadol: *malá*, *veľká*, *kontra*, *subkontra*; (obrázok 1).

¹¹ Výška tónu závisí *frekvencie* kmitania (v Hz)



Obrázok 1: Rad základných tónov na klaviatúre



Obrázok 2: Skladanie alikvotných tónov

2.1.2 Výškové pomery v hudbe

Výber frekvencií tónov, ktoré tvoria RZT, nie je náhodný. Vyplýva z akustických pomerov, ktoré sa vyskytujú v tzv. *rade alikvotných tónov*.

Alikvotné tóny sú tóny vzniknuté dôsledkom čiastkového chvenia telesa (okrem základného kmitania vzniká viacero ďalších uzlov kmitania, sekundárne, ternárne a ďalšie vlny) a spolu skladajú výsledný zložený tón. Prvý alikvotný tón je základný (reálne znejúci tón), ďalšie majú vyššie frekvencie a znejú slabo, takže ich samostatne nepočujeme. Ich prítomnosť však utvára súzvuok so základným tónom, ktorý sa prejavuje ako farba tónu charakteristická pre rôzne nástroje (obrázok 2) [2].

Pozn. Z vlastností stojateho vlnenia vieme ľahko určiť, že 2. alikvotný tón má frekvenciu v pomere 2 : 1 oproti prvému, 3. alikvotný tón v pomere 3 : 2 oproti druhému, 4. alikvotný tón v pomere 4 : 3 oproti tretiemu, a tak ďalej¹². Z týchto pomerov jednotlivých alikvotných tónov

¹²K jednotlivým pomerom alikvotných tónov by sa dalo dopočítať aj pomocou aritmetických a harmonických priemerov, napr. pomer 3 : 2 dostaneme ako aritmetický priemer pomeru 2 : 1, $\frac{1+2}{2} = \frac{3}{2}$, pomer 4 : 3 dostaneme ako harmonický priemer 2 : 1, $\frac{2 \cdot 1}{1+2} = \frac{2}{3}$ a pod.

odvádzame základné výškové pomery tónov na klaviatúre.

Pomer frekvencií 2 : 1 označujeme ako interval **čistej oktávy**. V RZT mu prislúcha napríklad vzdialenosť medzi tónmi c^1 a c^2 .

Pomer frekvencií 3 : 2 označujeme ako interval **čistej kvinty**. V RZT mu prislúcha vzdialenosť medzi tónmi c^1 a g^1 .

Pomer frekvencií 4 : 3 označujeme ako interval **čistej kvarty**. V RZT mu prislúcha vzdialenosť medzi tónmi c^1 a f^1 .

Pomer frekvencií 5 : 4 označujeme ako interval **veľkej tercie**. V RZT mu prislúcha napríklad vzdialenosť medzi tónmi c^1 a e^1 .

Pomer frekvencií 6 : 5 označujeme ako interval **malej tercie**. Na klaviatúre mu prislúcha napríklad vzdialenosť medzi tónmi c^1 a es^1 .

Pozn. Všimnime si, že na zobrazenie ďalších pomerov nám už nestačia tóny RZT. Preto sa pomer frekvencií rozdielu čistej kvarty a veľkej tercie (medzi klávesmi e a f) označil pojmom *poltón* a tóny RZT sme obohatili poltónmi o ďalších 5 tónov. Na klaviatúre ich tvoria čierne klávesy. Ich tóny môžeme nazvať pridaním „is“ k názvu tónov RZT, čo signalizuje jeho zvýšenie: *cis, dis, fis, gis, ais*, alebo „es“, čo signalizuje jeho zníženie (s malými výnimkami): *des, es, ges, as, b*, obrázok 1. Možnosť nazvať jeden tón dvoma názvami sa v HT nazýva *enharmonia* a bude predmetom nášho skúmania.

Pomer frekvencií 16 : 15 označujeme ako **poltón** alebo interval **malej sekundy**. Poltón vymedzuje najmenšiu používanú vzdialenosť medzi tónmi, ktorá sa môže použiť ako meradlo väčších vzdialeností (napr. malá tercia sa skladá z troch poltónov, veľká tercia zo štyroch).

Pozn. Poltón sme mohli definovať aj ako pomer frekvencií rozdielu veľkej a malej tercie, čo už by bol pomer 25 : 24. Vo vytváranom modeli je viacero pomerov, ktoré by mohli kandidovať na poltónovú vzdialenosť. Preto aj v praxi, v *čistom ladení*¹³ rozoznávame viacero typov poltónov.

Pomer frekvencií 9 : 8 označujeme ako **celý tón**, alebo interval **veľkej sekundy**. V RZT mu prislúcha napríklad vzdialenosť medzi tónmi c^1 a d^1 . Celý tón sa skladá z dvoch poltónov.

Pozn. Použitie ďalších pomerov alikvotných tónov by už viedlo ku rozdielom frekvencií menším ako poltón, takže výstavbu výškových pomerov tu môžeme ukončiť.

¹³Ladenie založené na pomeroch alikvotných tónov. Všimnite si, že v tomto ladení spomínané matematické zákony – napr. že malá tercia sa skladá z troch poltónov – neplatia vždy presne

Popísané čisté ladenie tónov sa využíva pri hre na sláčikové nástroje, alebo pri speve. Moderná hudba a rozvoj klávesových nástrojov však potrebovali zjednotiť poltónovú vzdialenosť a zabezpečiť tak, aby vzdialenejšie intervaly boli presne násobkami poltónov. Toto vyrovnanie je dosiahnuté tzv. *temperovaným ladením*, v ktorom je oktáva rozdelená na 12 rovnakých poltónov (matematická hodnota každého poltónu je $\sqrt[12]{2} : 1$), čomu zodpovedá ladenie dnešných klavírov [2]. Dosiahla sa tým okrem iného možnosť *transponovať hudbu* (t.j. posunúť každý tón hudby o rovnaký interval), pričom charakter hudby zostane neporušený¹⁴. Vzniknutý rad 12 tónov v rámci oktávy nazývame *spektrom oktávy*.

2.2 Tónové rady

Na tvorenie hudby sa v minulosti nevyužívalo celé spektrum oktávy [2]. Používal sa výber, najčastejšie siedmich tónov, ktoré mali medzi sebou poltónové a celotónové vzdialenosti presne tak, ako je to v RZT. Tento výber sa nazýva *diatonický* (podľa dvoch použitých intervalov) a vzniknuté postupne zoradené rady tónov majú názov *stupnice*. Dnes už sa používajú aj iné tónové rady, najdôležitejšie si popíšeme v tejto časti¹⁵.

Tónový rad je postupnosť tónov vyjadrujúca isté hudobné vzťahy¹⁶.

Stupnica je rad stúpajúcich alebo klesajúcich tónov ohraničený oktávou.

2.2.1 Diatonické stupnice

Diatonické stupnice sú stupnice vytvorené z celotónových a poltónových intervalov. Spravidla ich tvorí 8 tónov. Niektoré diatonické stupnice majú schopnosť tvoriť rozsiahle vzťahové sústavy, ktoré označujeme ako *tóniny*. Poradie prislúchajúce určitému tónu v stupnici nazývame *stupeň* [3].

Diatonické stupnice sa delia na:

Durové stupnice. Základné tóninotvorné diatonické stupnice využívané v európskej hudbe. Štruktúrou predstavujú samotný RZT, tóny *c, d, e, f, g, a, h, c*. Charakteristický je pre nich výskyt *vel'kých tercií* a prisudzuje sa im príznačný „veselý“ charakter.

Molové stupnice. Základné tóninotvorné diatonické stupnice využívané v európskej hudbe. Štruktúrou predstavujú v RZT postupnosť tónov *a, e, h, c, d, e, f, g*. Charakteristický je pre nich

¹⁴Toto „relativizovanie“ v zmysle – môžeme súzvuk presunúť do iných výšok, pričom štruktúra ostáva rovnaká budeme využívať v zbytku práce. Pracujeme teda s temperovaným ladením.

¹⁵Čitateľovi odporúčame od tohto miesta používať ako referenciu tabuľky 2 až 5 z 4.kapitoly, v ktorej je prehľad stavby používaných stupníc, intervalov aj akordov

¹⁶Často si všimame tónové rady vzniknuté z tónového materiálu nejakej skladby alebo jej časti

výskyt *malých* tercií a prisudzuje sa im „smutný“ charakter.

Pozn. V durových a hlavne v molových stupniciach sa často vyskutujú zmeny niektorých tónov, ktorých následkom sú *harmonické* a *melodické* durové a molové stupnice¹⁷. Pôvodné durové a molové stupnice bez zmien potom nazývame *prirodené*. Dôležitým pojmom, s ktorým budeme pracovať je tzv. *citlivý tón*, ktorý predstavuje o poltón zvýšený 7. stupeň v molovej harmonickej stupnici. Citlivým ho nazývame z dôvodu hudobného smerovania k 1. stupňu stupnice.

Stredoveké stupnice. Diatonické stupnice používané v stredovekej cirkevnej hudbe, s iným usporiadaním tónov, ako sa neskôr ustálil v durových a molových stupniciach¹⁸. Dnešné durové a molové stupnice však mali aj svojich stredovekých predchodcov s rovnakou štruktúrou:

Iónska stupnica predstavuje dnešnú durovú prirodenú stupnicu, *aiolská* stupnica dnešnú molovú prirodenú stupnicu. Práve tieto dva *módy* začali prevládať v hudbe v priebehu 16. storočia. Zvyšné stredoveké stupnice sa dajú popísať ako rotácie durových a molových stupníc (v RZT začínajú a končia niektorým ich stupňom).

Dórska stupnica začína od 2.stupňa dnešnej durovej stupnice (tóny *d, e, f, g, a, h, c* z RZT), *frygická* stupnica začína od 3.stupňa dnešnej durovej stupnice (tóny *e, f, g, a, h, c, d* z RZT), *lydická* stupnica začína od 4.stupňa dnešnej durovej stupnice (tóny *f, g, a, h, c, d, e* z RZT) a *mixolydická* stupnica začína od 5.stupňa dnešnej durovej stupnice (tóny *g, a, h, c, d, e, f* z RZT).

2.2.2 Chromatické a celotónové stupnice

Do skupiny chromatických a celotónových stupníc patria stupnice, ktoré sú tvorené len jedným intervalom, buď poltónom (chromatické), alebo celým tónom (celotónové stupnice). Chromatické stupnice teda predstavujú úplný rad dvanástich tónov zo spektra oktávy. Celotónové stupnice tvorí práve 6 tónov.

2.2.3 Zvláštne stupnice

Medzi zvláštne stupnice počítame väčšinou rozličné stupnice, ktoré poskytujú tónový materiál hudbe niektorých európskych i mimoeurópskych národov [2].

Pentatonická stupnica pochádza z hudby Strednej Ázie a ďalekého východu. Je zostavená z diatonickej stupnice vynechaním všetkých tónov, ktoré by mohli so susednými tónmi tvoriť poltónové vzdialenosti¹⁹.

Cigánske stupnice pochádzajú z cigánskej hudobnej kultúry napr. na Slovensku a v Maďarsku. Sú to 8-tónové stupnice so zvýšeným počtom poltónových vzdialeností, čoho dôsledkom sú vyššie celotónové vzdialenosti medzi niektorými tónmi.

¹⁷Tieto zmeny vznikli z harmonických a melodických dôvodov

¹⁸Takéto usporiadanie sa nazýva latinsky *modus* (spôsob), preto sa stredoveké stupnice nazývajú aj *modálnymi*. Ich pôvod môžeme datovať až do starovekého grécka – odtiaľ vznikli názvy jednotlivých stupníc

¹⁹voláme ju preto aj pentatonická stupnica anhemitonická

Podhalanská stupnica pochádza zo slovenskej a poľskej hudby z oblasti Tatier. Stavbou pripomína kombináciu lydickéj a mixolydickej stredovekej stupnice.

Pozn. Vďaka temperovanému ladeniu môžeme každú zo spomínaných stupníc zahrať od ľubovoľného tónu. Existuje teda durová stupnica od tónu *c* (*Cdur*) tvoriaca RZT, ale aj molová stupnica od tónu *c* (*c mol*) s tónmi *c, d, es, f, g, as, b, c*.

2.3 Intervaly

Interval je pomer frekvencií dvoch tónov, najjednoduchší vzťah tónov v hudbe. V praktickej hudbe sa interval javí ako výšková vzdialenosť dvoch tónov [2]. Tú môžeme sledovať z dvoch hľadísk:

1. Skutočná zvuková vzdialenosť dvoch tónov, ako ju počujeme. Veľkosť intervalov tu vyjadrujeme počtom poltónov, ktoré môžeme umiestniť medzi tóny utvárajúce interval.
2. Notopisná vzdialenosť dvoch tónov. Meno intervalu sa odvodzuje od jeho zápisu (a nie od jeho reálnej vzdialenosti).

Pozn. Ďalej sa budeme zaoberať notopisnou vzdialenosťou, pretože tá je známa žiakom hudobných škôl a je nej postavené názvoslovie HT, s ktorým budeme pracovať.

2.3.1 Základné intervaly

V RZT (ale aj v hociktovej diatonickej stupnici) rozlišujeme tieto základné intervaly:

prima (opakovaný tón, od 1.tónu k 1.)

sekunda (od 1.tónu k 2.)

tercia (od 1.tónu k 3.)

kvarta (od 1.tónu k 4.)

kvinta (od 1.tónu k 5.)

sexta (od 1.tónu k 6.)

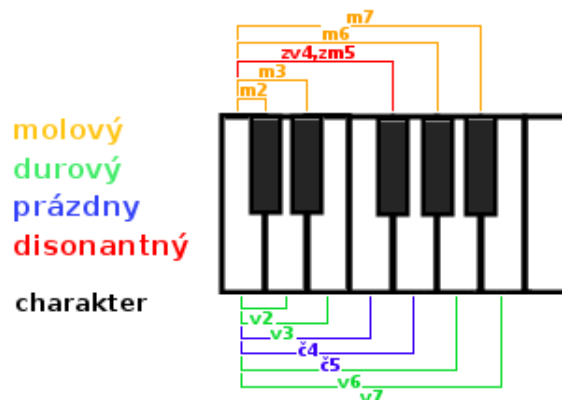
septima (od 1.tónu k 7.)

oktáva (od 1.tónu k 8.)

Pomocou znalosti durových a molových stupníc môžeme tieto intervaly bližšie určiť a v konečnom dôsledku nazvať všetky intervaly spektra oktávy.

Intervaly primy, oktávy, kvarty a kvinty nazývame *čisté intervaly*. V rovnakej podobe sa totiž vyskytujú v durovej aj v molovej stupnici.

Intervaly sekundy, tercie, sexty a septimy poznáme v dvoch variantoch. *Veľkými* ich nazveme vtedy, keď sa vyskytujú v durovej stupnici (napríklad veľká tercia zložená z 4 poltónov), *malými* ich nazveme vtedy, keď sa vyskytujú v molovej stupnici (napríklad malá tercia zložená z 3



Obrázok 3: Základné intervaly na klaviatúre

polttónov). Výnimkou je sekunda, ktorá sa v oboch stupniciach vyskytuje v podobe celého tónu, preto zavádzame *veľkú sekundu* zloženú z dvoch polttónov a *malú sekundu* zloženú z jedného polttónu. Rozloženie intervalov na klaviatúre znázorňuje obrázok 3 (farebne sú rozlíšené podľa zvukového charakteru vysvetleného nižšie). Rozdiel medzi malým a veľkým intervalom je 1 polttón.

2.3.2 Odvedené a rozšírené intervaly

Okrem základných intervalov rozlišujeme aj odvedené a rozšírené intervaly.

Odvedené intervaly vznikajú odvedením od základných intervalov zväčšením alebo zmenšením ich rozsahu o 1, maximálne o 2) a to nasledujúcim spôsobom:

- zväčšením čistého a veľkého intervalu o 1 polttón dostávame *zväčšený interval*, o 2 polttóny dostávame *dvojzväčšený interval*.
- zmenšením čistého a malého intervalu o 1 polttón dostávame *zmenšený interval*, o 2 polttóny dostávame *dvojzmenšený interval*.

Získané intervaly sú čisto *nominálne*, reálnou veľkosťou sú totiž zhodné s jedným zo základných intervalov (napr. zväčšená sekunda je reálne malou terciou²⁰), s výnimkou jedného intervalu: zväčšenej kvarty, resp. zmenšenej kvinty (obrázok 3). Tá je samostatným reálnym intervalom, ktorý je tvorený 6 polttónmi a predstavuje presnú polovicu oktávy. Preto sa na jej oddelenie od zvyšných intervalov pre ňu vyhradil názov **poloktáva**.

Rozšírené intervaly sú intervaly presahujúce rámec oktávy. Hoci by sa dali vysvetliť aj zložením oktávy a iného intervalu, ich výskyt nemôžeme vždy takto zanedbať. Názvy rozšírených

²⁰uplatňuje sa tu princíp enharmónie popísaný vyššie

intervalov v poradí sekunda nad oktávou, tercia nad oktávou atď'. sú: *nóna* (1. a 9. tón), *decima*, *undecima*, *duodecima*, *tercdecima*, *kvartdecima*, *kvintdecima* (dvojkrtáková vzdialenosť), a pod.

2.3.3 Zvukový charakter intervalov

Z hľadiska SA bude pre nás dôležité poznať zvukový charakter spomínaných intervalov. Pomocou nich sa totiž vystavajú aj zložitejšie súzvuky. Náš sluch sa naučil rozoznávať súzvuky na základe toho, či spolu dávajú alebo nedávajú harmonický súlad, ktorý nám je známy z durových a molových harmónií. Tento súlad, pôsobiaci dojmom harmonickej stability, sa nazýva *konsonancia*. Naopak, neľubozvučný súzvuk, protiklad konsonancie, ktorý si žiada harmonický pohyb, nazývame *disonanciou*²¹ [3].

Intervaly podľa zvukového charakteru rozdelíme na:

- **prázdne:** *čistá príme, čistá kvarta, čistá kvinta, čistá oktáva*. Ide o zvláštny prípad konsonancie, v ktorom nevieme zaradiť, či je interval z durovej alebo molovej stupnice, a preto sa nám javí ako zvukovo prázdny.
- **konsonantné:** *malá a veľká tercia, malá a veľká sexta*
- **disonantné**
 - **mierne:** *veľká sekunda, malá septima*
 - **ostré:** *malá sekunda, veľká septima*
 - *Poloktáva* je disonantný interval, jeho disonancia je skôr ostrá ako mierna, ale iným spôsobom ako u sekundovej a septimovej disonancie.

2.3.4 Obraty intervalov

Obratom intervalu rozumieme interval, ktorý vznikne doplnením intervalu do oktávy (preskupením tónov tvoriacich pôvodný interval).

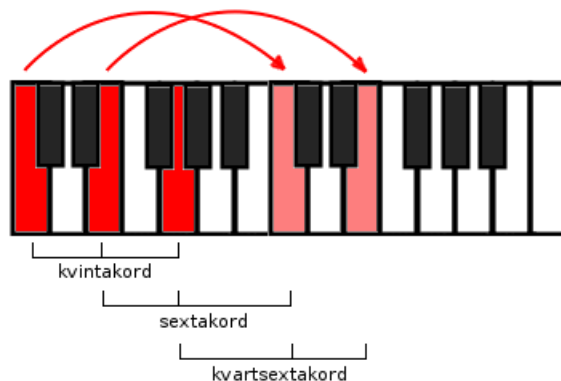
Pozn. Obratom čistej kvarty je teda čistá kvinta, obratom malej tercie je veľká sexta, a pod.

2.4 Akordy

Akord je druh tónového radu, ktorý sa skladá z minimálne troch tónov, ktorých vzdialenosti sú natoľko veľké, že môžu bez pocitu prehustenosti zaznievať aj súčasne a pri ich súzvuku máme pocit základného tónu [2].

Pozn. Najvhodnejším kandidátom na vzdialenosti tónov sa javí byť tercia. Navrhovaním tercií na seba potom budeme získavať *základné* akordy, a *odvodené* akordy budeme získavať

²¹Netreba si ju však mýliť s pocitom nesúladu v zmysle zlého ladenia nástrojov



Obrázok 4: Obraty kvintakordu

odvođením od základných akordov. Pociť základného tónu získame napr. tak, že tóny akordu vyberieme z jednej stupnice a funkciu základného tónu bude spĺňať 1.stupeň.

2.4.1 Kvintakordy

Kvintakord je základný akord postavený z troch tónov: základného tónu, tercie a kvinty.

Použitím malej a veľkej tercie na zostavenie kvintakordu dostávame 4 základné druhy kvintakordov:

Durový kvintakord sa skladá z veľkej tercie a z čistej kvinty (1., 3. a 5. stupeň durovej stupnice), *molový kvintakord* sa skladá z malej tercie a z čistej kvinty (1., 3. a 5. stupeň molovej stupnice), *zmenšený kvintakord* sa skladá z malej tercie a zo zmenšenej kvinty, *zväčšený kvintakord* sa skladá z veľkej tercie a zo zväčšenej kvinty.

2.4.2 Obraty kvintakordu

Preskupením tónov základného akordu dostávame jeho obraty – odvožené akordy.

Prvý obrat kvintakordu, **sextakord**, dostávame preskupením tónov tak, aby sa spodným tónom stala tercia pôvodného akordu. Stavebne je sextakord tvorený intervalmi tercie a sexty.

Druhý obrat kvintakordu, **kvartsextakord**, dostávame preskupením tónov tak, aby sa spodným tónom stala kvinta pôvodného akordu. Stavebne je kvartsextakord tvorený intervalmi kvarty a sexty.

2.4.3 Úpravy kvintakordu

Kvintakord a jeho obraty sa často vyskytujú aj v iných úpravách, ako v spomínanej. Z trojhlasnej úpravy môžeme spraviť štvorhlasnú úpravu tým, že jeden tón *zdvojíme* a uvedieme ho dvakrát. V prípade kvintakordov najčastejšie zdvojujeme základný tón [4]. Dostaneme tak štvorzvuk zložený zo základného tónu, tercie, kvinty a oktávy (druhého základného tónu).

Iná úpravu získame, ak tóny kvintakordu rozložíme do väčšieho rozsahu (s prípadným vynechaním niektorých tónov). Platí pravidlo: pokiaľ je akord vystavaný z tónov kvintakordu a spodný tón je základný tón, jedná sa o kvintakord (ak je spodný tón tercia alebo kvinta, jedná sa o sextakord, resp. kvartsextakord).

2.4.4 Septakordy

Septakord je základný akord postavený zo štyroch tónov: základného tónu, tercie, kvinty a septimy.

Septakord sme dostali navrhnutím ďalej tercie nad kvintakord. Takýmto spôsobom budeme septakordy aj nazývať (názvom kvintakordu a septimy). Použitím malých a veľkých tercií na zostavenie septakordu dostávame 7 základných druhov septakordov²²:

durovo-veľký, durovo-malý, molovo-veľký, molovo-malý, zmenšeno-malý, zmenšeno-zmenšený a zväčšeno-malý.

Pozn. Najdôležitejšiu úlohu spomedzi týchto septakordov zohrávajú tri: durovo-malý septakord, ktorý tiež nazývame **dominantný septakord**, **zmenšeno-malý septakord** a zmenšeno-zmenšený septakord, nazývaný aj jednoducho – **zmenšený septakord**. Súhrnne sa tieto tri akordy nazývajú **charakteristické disonancie** v diatonických tóninách, čo znamená, že pre danú tóninu (stupnicu) má postavenie týchto troch akordov významnú funkciu z hľadiska harmónie, napriek tomu, že sú tieto akordy kvôli septime disonantné.

2.4.5 Obraty septakordu

Podobne ako pri kvintakorde, preskupením tónov septakordu dostávame jeho obraty:

Prvý obrat septakordu, **kvintsextakord**, dostávame preskupením tónov tak, aby sa spodným tónom stala tercia pôvodného akordu. Stavebne je kvintsextakord tvorený intervalmi tercie, kvinty a sexty.

Druhý obrat septakordu, **terckvartakord**, dostávame preskupením tónov tak, aby sa spodným tónom stala kvinta pôvodného akordu. Stavebne je terckvartakord tvorený intervalmi tercie,

²²Z ôsmich možných kombinácií tercií nevyužívame kombináciu troch veľkých tercií, pretože septakord by mal reálny rozsah oktávy

kvarty a sexty.

Tretí obrat septakordu, **sekundakord**, dostávame preskupením tónov tak, aby sa spodným tónom stala septima pôvodného akordu. Stavbe je sekundakord tvorený intervalmi sekundy, kvarty a sexty.

2.5 Základy tonálnej harmónie

Na pochopenie, prečo majú niektoré akordy významné postavenie voči iným (a sú teda dôležité aj z hľadiska SA), potrebujeme ešte spomenúť základné princípy tonálnej harmónie.

Harmónia je náuka o charaktere súzvukov, o akordoch, ich význame, spájaní, funkčnosti a použití v hudobnej skladbe. Skúma horizontálne (následné) vzťahy v čase a vertikálne (súčasné) vzťahy v rámci tónového priestoru [3].

Harmonické myslenie v hudbe bolo až donedávna *tonálne funkčné*. Každé miesto v skladbe patrilo do nejakej tóniny a každý súzvuk mal určitý (bližší alebo vzdialenejší) vzťah k centrálnemu tónu tóniny (k prvému stupňu) [4]. Hoci dnes už hudba stavia aj na iných základoch, *tonálna harmónia* je stále neoddeliteľnou súčasťou výuky žiakov.

2.5.1 Hlavné harmonické funkcie

Vzťahy, ktoré predstavujú rôzne stupne napätia súzvukov voči centrálnemu tónu tóniny, sa nazývajú **harmonické funkcie**. Existujú tri hlavné harmonické funkcie:

- *Tonika* – kvintakord na 1.stupni tóniny. Označujeme ju *T*.
- *Subdominanta* alebo spodná dominanta – kvintakord na 4.stupni tóniny. Označujeme ju *S*.
- *Dominanta* – kvintakord na 5.stupni tóniny. Označujeme ju *D*.

Harmónie v skladbe začínajú skoro spravidla na tonike. Harmonický odklon od *T* prichádza v podobe subdominanty. Napokon prichádza dominanta, predstavujúca najväčšie napätie a potrebu rozvedenia naspäť do toniky (zjednodušene).

V praxi existujú rôzne modifikácie toniky, subdominanty a dominanty. Tie presahujú rámec našich základov. Stavbu niektorých sme si už ale spomenuli – charakteristické disonancie. Spomedzi nich je najpríznačnejší dominantný septakord. V momente, keď postavíme dominantný septakord na 5. stupeň v nejakej tónine, veľmi výrazne tam plní dominantnú funkciu, jeho zvuk je charakteristický a vyžaduje rozvedenie do *T*.

2.5.2 Rozvádzanie súzvukov

Pojem rozvádzania vysvetlený na hlavných harmonických funkciách si môžeme zovšeobecniť: Mnohokrát v hudbe nastáva, že sa dva súzvuky vyskytujú následne za sebou, a ich postupnosť

je zvukovo (harmonicky) veľmi vhodná. V tom prípade môžeme tvrdiť, že je žiadúce rozviesť prvý súzvuk do druhého.

Rozvedenie je zníženie harmonického napätia tým, že za smerným akordom nasleduje centrum, alebo znamená usmerňovanie disonujúcich jednotiek disonantného akordu do konsonujúcich jednotiek konsonantného akordu [3].

Pozn. V zmysle definície, disonancie sa rozvádzajú do konsonancií, preto skutočne aj napr. poloktávu je žiadúce rozviesť do čistej kvinty. Spomínaný zmenšeno-malý septakord postavený na druhom stupni a zmenšený septakord na 7. stupni tóniny sa tiež rozvádzajú do toniky. Na rozvádzanie súzvukov existuje mnoho ďalších pravidiel, z toho niektoré by sa dali nazvať „nepísané“ – aj preto ich tu nie je potrebné uvádzať. Budú však využité v práci tam, kde sa budeme pýtať, do čoho sa dá daný súzvuk rozviesť.

2.6 Názvoslovie

Na tomto mieste zosumarizujeme názvoslovie HT a zavedieme spôsob, akým sa dá v HT nazvať ľubovoľný súzvuk, s ktorým budeme pracovať.

2.6.1 Názvy a skratky intervalov

HT definuje názvy intervalov tak ako sme si ich popísali vyššie (*čistá kvarta, zväčšená tercia, ...*), pričom jeden reálny interval môže mať viacero názvov (viacero nominálnych intervalov). Skratky, ktoré sa v HT používajú vznikli jednoduchým skrátčením slovného pomenovania: *č.4, zv.3*, v praxi sa prípadne používajú rôzne varianty (*č⁴, zv³* a pod.).

2.6.2 Názvy a skratky akordov

HT definuje názvy základných akordov tak, ako sme si ich popísali vyššie (*durový kvintakord, molovo-malý septakord*), pričom aj tu je možné, aby mal daný akord viacero názvov (napr. štruktúra zmenšeného septakordu a jeho obratov je taká istá). Zároveň zavádza isté skrátčenia a zaužívané názvy (*durovo-malý septakord* → *dominantný septakord*). Skratky sú podobné skratkám intervalov (*mol.5, zm.5*), pri skratke obratu sa čísla píšú pod seba (*mol.⁶.4*)

2.6.3 Generické názvy

HT navyše definuje možnosť nazývania súzvukov, ktorú si autor nazval *generické názvy*. Tento spôsob je hlavne v SA často využívaný. Spočíva v tom, že daný akord nazveme charakteristikou jeho súčastí.

Pr. Máme dominantný septakord. Vieme, že sa skladá z veľkej tercie, čistej kvinty a malej

septímy. Môžeme ho teda nazvať aj *durovo-čisto-malý septakord*²³. Jednotlivé zložky oddelíme pomlčkou. Skrátaná forma takéhoto názvu sa často nevyužíva.

2.7 Slovník ďalších pojmov

Na záver pridávam zoznam ďalších pojmov HT, s ktorými budeme pracovať, ale neboli (alebo boli málo) objasnené:

hlas Vo viachlasnej skladbe individuálna melodická línia, v súzvuuku môžeme pod pojmom *hlas* chápať jeden konkrétny tón. Na lepšie a rýchlejšie rozlíšenie definujeme v dvojzvuuku: *vrchný a spodný hlas*, v trojzvuuku: *vrchný, stredný a spodný hlas*, v štvorzvuuku: *soprán, alt, tenor, bas*²⁴.

akordický tón Pri danom akorde, tón zo spektra oktávy, ktorý je použitý na vytvorenie akordu (pod tónom *e* v tomto zmysle rozumieme všetky možné tóny *e*).

akordicky cudzí tón Pri danom akorde, tón zo spektra oktávy, ktorý nie je použitý na vytvorenie akordu.

zahustený akord Základný alebo odvodený akord, ktorému navyše ešte pridáme akordicky cudzí tón.

notová osnova Sústava piatich rovnobežných linajok, určených na zápis nôt [3].

rozsah Pri danom akorde, interval medzi spodným a vrchným tónom (basom a sopránom).

melódia Postupnosť tónov nadväzujúcich na seba tak, aby bola vyjadrená istá hudobná myšlienka [29].

rytmus Ľubovoľné striedanie nôt a pomlčiek v čase.

²³Logicky by malo byť: *veľko-čisto-malý*, avšak namiesto *veľko* je zaužívanéjšie povedať *durovo* (aj veľká tercia sa niekedy nazýva durovou terciou)

²⁴Hlasy miešaného zboru, od vrchného po spodný

3 Podobné práce

V tejto kapitole zhrnieme, čo už k danej téme bolo urobené, v oblasti počítačových aplikácií ako aj v literatúre a metodike výuky. Bližšie nahliadneme, aké metódy sa v súčasnosti v SA používajú, aby sme si z nich mohli vziať správny príklad, a všimneme si aj, čo súčasným programom chýba, aby sme o to lepšie vedeli stanoviť požiadavky pre našu aplikáciu.

3.1 Didaktika SA

Skôr než sa vrhne do sveta počítačových aplikácií, zhrňme stručne, ktorým smerom sa SA všeobecne uberá a ktoré práce vplývajú na jej vývoj.

3.1.1 Tradičný prístup

V SA platí, že metóda výuky sa mení od vyučujúceho k vyučujúcemu. Napriek tomu si pre účely práce dovoľím definovať *tradičný prístup* k SA. Spôsob výuky, na ktorom vyrastali generácie hudobníkov na Slovensku aj v zahraničí, má totiž podobné črty:

- Vyučujúci zadáva príklady (najčastejšie súzvuky na analýzu, melódiu na zápis, melódiu na imitovanie, alebo noty na intonáciu).
- Žiaci sedia v laviciach a zvyčajne jeden po druhom odpovedajú riešenia príkladov (interaktívne, nahlas)
- Podávané učivo vychádza z **tonálneho systému**²⁵. Možno tu rozlíšiť 2 základné metódy:
 1. Zvukové spoznávanie súzvukov od najjednoduchších po komplikovanejšie (základné intervaly, základné akordy, ...)
 2. Identifikácia tónu alebo skupiny tónov na základe ich *vzt'ahu* ku základnému tónu.

Na Slovensku prichádza žiak umeleckej školy do kontaktu práve s týmto spôsobom vyučovania. Základ bol položený profesormi hudby na hudobných konzervatóriách a vysokých umeleckých školách, či už konkrétnou výukou, alebo vo forme učebníc:

Intonácia pre konzervatóriá, Pavel Zika, SPN, Bratislava 1981 [1]

V učebniciach čítame krátke metodické pokyny a množstvo príkladov na intonáciu.

Ku tradičným smerom treba ešte pridať **solmizačnú techniku**, s ktorou sa za hranicami môžeme stretnúť v súvislosti so SA úplne bežne. Solmizačná technika zavádza sedem solmizačných slabík: *do, re, mi, fa, sol(so), la, ti(si)*, a priradí im tóny RZT (*do = c, re = d, ...*). Používaním solmizačných slabík sa upevňuje predstava spievaného tónu.

²⁵Princípy tonálneho systému sú popísané v 2.kapitole v časti *Základy tonálnej harmónie*. Pri väčšine príkladov možno definovať tzv. centrum, ktoré predstavuje základný tón

3.1.2 Moderné metódy

Okrem spomínaného prístupu bolo definovaných mnoho progresívnych metód, ktoré sa rôzne využívajú po celom svete. Špeciálnu pozornosť získali metódy výuky SA a HT pre deti v predškolskom veku. Známe pojmy sú *Kodályova metóda* (vystavovanie hudbe od útleho veku, využitie hier a ľudových piesní), *Orffova metóda* (interaktívne predvádzanie hudby, využitie hudobných nástrojov), či *Hindemithova metóda* (aktívne využitie hlasu).

Práca maďarského skladateľa **Zoltána Kodálya** má širší kontext a zasahuje aj do neskoršej výuky SA. Z jeho metód si môžeme za vzor vybrať koncept **relatívnej solmizácie** (ang. „*movable-do*“), v ktorej odpúta solmizačné slabiky od konkrétnych tónov RZT²⁶ [29]. Táto myšlienka neprináša veľa nového, keďže „zrelativizovanie“ základného tónu je prirodzený dôsledok myšlienky temperovaného ladenia a celej tonálnej harmónie. Z hľadiska SA si na tom však môžeme predstaviť 2 základné cesty, ako žiaka učiť hudobnému sluchu – buď absolútne (žiak sa priamo na príkladoch učí ako znie napr. tón *c*), alebo relatívne (žiak sa učí len vzťahujúceho tónu k vopred zadanému tónu).

Práca ruskej muzikologičky **Mariny Karasevovej** na druhú stranu nabáda k tomu, aby sme sa, rovnako ako v hudbe, aj v SA menej upriamovali na tonálny systém²⁷. Karasevová spojila tradičnú ruskú výuku SA s modernými harmóniami (využívanie nových súzvukov okrem „klasických“ smeruje k lepšiemu pochopeniu a interpretovaniu súčasnej hudby). Tiež o.i. na výuku využíva aj koncept *synestézie* (spájanie zmyslových vnemov do jedného celku, ktoré sa u niektorých žiakov objavuje vo vyššej miere, napr. farebné vnímanie hudby) [29].

V poslednej dobe začínajú byť čoraz viac obľúbené aj rôzne **mnemotechnické pomôcky** na výuku SA. Založené sú na tom, že znenie intervalu si zapamätáme pomocou známej piesne alebo skladby (túto metódu využíval aj Kodály), napr. veľká tercia je začiatok piesne „*Pod horou, pod horou...*“, čistá kvarta predstavuje prvé tóny Mozartovej Malej nočnej hudby, a pod. Rozšírenie týchto pomôcok súvisí aj s používaním internetu (existujú webové aplikácie na tréning SA s množstvom mnemotechnických pomôcok pre daný interval, budú popísané v ďalšej časti), ale využívajú sa aj pri „tradičnom“ spôsobe výuky.

„Správna“ metóda výuky sluchovej analýzy je však dodnes pre vyučujúcich otázkou výberu, a taktiež bude aj pre nás.

3.2 Počítačové aplikácie na tréning SA

Na úvod povedzme, že, hoci by si to neuvedomil ani bežný študent SA, aplikácií ktoré majú za úlohu pomôcť s vypracovaním sluchu, bolo vyvinutých už celkom dost²⁸. Hudobníci majú veľkú motiváciu zlepšiť si sluch, a aj ďalšie dôvody na vznik takéhoto druhu aplikácie sme si už popísali. Aj preto sa cesta k nim našla už na začiatku 90. rokov, pomocou študentov a

²⁶*do* môže znamenať ľubovoľný tón spektra oktávy. Narozdiel od „*fixed-do*“, kde *do* predstavuje vždy tón *c*

²⁷Ten sa v modernej hudbe prestal používať už začiatkom 20.storočia

²⁸Pre človeka, čo si hudbu s IKT nespája, môže byť existencia vyše 5 kompletných aplikácií prekvapujúcim zistením

profesorov hudby, a odvtedy vzniklo viacero rôznych riešení. Nás však bude viac než počet aplikácií zaujímať spôsob spracovania problematiky, systémové požiadavky a licencia (a s tým spojená dostupnosť), prípadne jazyk v ktorom vyučujú.

Nie je prekvapujúce, že takmer všetky aplikácie sú v angličtine, niektoré však majú možnosť výberu jazykov. Tiež je očakávané, že väčšina aplikácií je vytvorených pre platformu Windows – hoci, medzi umelcami obľúbený systém Mac OS má skoro rovnaké zastúpenie. Najlepšou voľbou na rozdelenie aplikácií sa ponúka byť licencia.

3.2.1 Vysvetlivky k funkcionalite aplikácií

Pred samotným prehľadom aplikácií popíšme základ funkcionality týchto aplikácií, aby sme ich vedeli lepšie porovnať.

Aplikácie pracujú najčastejšie s nasledovnými **entitami**²⁹ HT: **tón, interval** (*harmonický* alebo *melodický*³⁰, **akord**, (*harmonický* alebo *melodický*), **stupnica, melódia, rytmus** (rytmická vzorka), **postupnosť akordov**.

Zaved' me pomenovanie: **základné** entity – tie, ktoré budeme analyzovať ako celok (tón, interval, akord, stupnica) a **postupné** entity – tie, ktoré budeme analyzovať postupne (melódia, rytmus, postupnosť akordov).

V GUI aplikácie budeme prichádzať do styku s viacerými **vstupnými rozhraniami**. Najzákladnejšie si nazveme nasledovne:

Výber. Panel s možnosťami, ako analyzovať entitu, ktorá zaznela (typu „Vyberte správnu možnosť: čistá kvarta – veľká tercia – malá tercia“). Niekedy môže obsahovať len 2 možnosti („Ktorý interval je väčší?“), vtedy ho označíme **T-F** (True-False).

Osnova. Umožňuje zadať odpoveď (vstup) do notovej osnovy, grafickým položením nôt.

Nástroj. Virtuálny hudobný nástroj (napr. klávesy, gitara, alebo simulovanie úderov na bubon), na ktorom je tiež možné zadať vstup.

MIDI vstup. Rozhranie MIDI slúži na zapojenie ľubovoľného hudobného nástroja podporujúceho MIDI (napr. elektronické klávesy, gitara, bicia súprava a i.). [30]

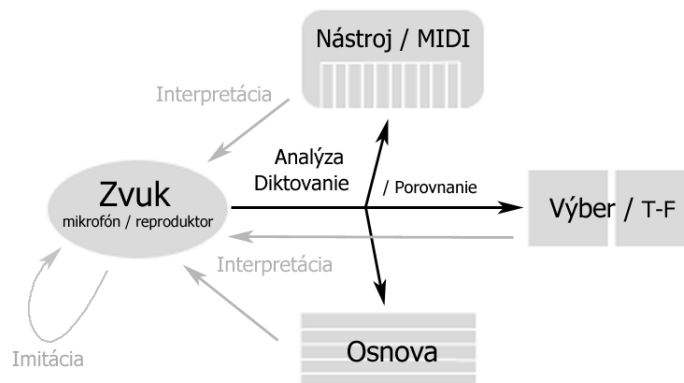
Mikrofón. Umožňuje užívateľovi zadať odpoveď interpretáciou tónov spevom alebo reálnym hudobným nástrojom.

Aplikácie poskytujú viacero **typov výuky** na to, aby rozšírili možnosti sluchového tréningu. Ide hlavne o nasledovné:

Porovnanie. Zahrané sú dve entity, cieľom je porovnanie niektorej z ich vlastností.

²⁹Zaved' me si toto označenie. Potom každá entita sa dá **zahrať** (zvuková ukážka entity), **zobraziť** (grafická alebo textová ukážka entity), **interpretovať** (užívateľ zaspieva danú entitu, alebo ju zahrá na reálnom hudobnom nástroji), **zapísať** do notovej osnovy alebo inak **zadať** ako užívateľský vstup do aplikácie (pod týmito dvoma možnosťami budeme súhrnne rozumieť **analyzovanie** entity). Ďalej pod **príkladom** rozumieme buď zahranie, alebo iné zobrazenie entity, a pod **odpoveďou** rozumieme interpretovanie alebo zadanie entity ako vstup do aplikácie

³⁰Pojmom *harmonický* rozumieme, že viacero tónov súzvuku zaznieva súčasne, pojmom *melodický*, že tóny zaznejú jeden za druhým.



Obrázok 5: Diagram výuky aplikácie na tréning SA

Analýza. Zahraná je entita, cieľom je jej analyzovanie (zadanie do výberu, prípadne do osnovy, nástroja, alebo MIDI vstupu).

Imitácia. Zahraná je entita, cieľom je jej interpretovanie (zaspievanie do mikrofónu³¹).

Diktovanie. Zahraná je postupná entita, cieľom je jej postupné zadanie (zapísanie).

Interpretovanie. Zobrazená je entita, cieľom je jej interpretovanie.

Pokiaľ vstupné rozhrania začneme brať aj ako **výstupné** – výber, osnova, či virtuálny nástroj nám môžu slúžiť na zobrazenie entity; MIDI výstup a (namiesto mikrofónu) reproduktory môžu slúžiť na zahranie entity – dostávame vstupno-výstupné (I/O) rozhrania, medzi ktorými vlastne prebieha výuka (spojovacím článkom je užívateľ). Spôsob výuky teda je: *I/O rozhranie zadá príklad, užívateľ si rozmyslí odpoveď a zadá odpoveď do I/O rozhrania*. Typy výuky ako interakcie medzi rozhraniami zobrazuje diagram (obrázok 5).

3.2.2 Platené aplikácie

Shareware licenciu má valná väčšina vytvorených aplikácií. Na úvod spomenieme stručný popis najdôležitejších zástupcov, s dôrazom na plusy a mínusy, na záver tejto časti vytvoríme tabuľkový prehľad funkcionalít jednotlivých programov.

MacGAMUT 6

MacGAMUT Music Software International, 1988-2009 [31]

platformy: Mac OS, Windows

MacGAMUT je aplikácia vyvinutá profesorkou The Ohio State University, Ann Blombach, pre účely jej výuky, pôvodne pre platformu Mac. Neskôr pre potreby rozrastajúceho sa okruhu učiteľov a žiakov bola aplikácia verejne rozširovaná a prepísaná aj pre OS Windows.

³¹Tento typ výuky slúži na intonáciu, teda správne nasadenie tónu, nie na zistenie, o ktorý tón ide.

MacGAMUT poskytuje tréning analýzy všetkých základných entít SA okrem tónu (interval, stupnice, akordy) a má aj možnosť tvorenia diktátov pre melódie, rytmické vzorky, ale aj postupnosti akordov. Užívateľovi poskytuje grafické rozhranie, v ktorom smie zadávať vstup do osnovy, na virtuálnu klaviatúru, alebo môže použiť externé MIDI zariadenie. Užívateľ zbiera pri tréningu „majstrovské body“, má obmedzený počet nesprávnych odpovedí, ale má aj možnosť vytvoriť si sám vlastný tréning. Očividnou slabinou programu však je neprehľadné ovládanie a slabý dizajn.

+ Diktovanie až štvorhlasných súzvukov pri postupnostiach 2 akordov

+ Možnosť špeciálneho typu výuky: **čítanie** (osnova → nástroj)

– Neprehľadné ovládanie, užívateľ musí vždy zadať odpoveď, inak ho program nikam nepustí

– Neprofesionálny dizajn

EarMaster 5

EarMaster ApS, 1994-2010 [33]

platformy: Windows, Mac OS

EarMaster je aplikácia pôvodne vyvinutá dánskym programátorom a hudobníkom Hansom Jakobsenom, dnes profesionálny softvér na tréning pre všetkých hudobníkov.

EarMaster má príjemný dizajn, jednoduché a user-friendly ovládanie, didaktickú atmosféru upevňuje možnosť vybratia si svojho osobného lektora. Poskytuje všetky základné funkcie doplnené o možnosť zadávať vstup cez mikrofón, plus niektoré špeciality ako napr. oprava rytmu. Produkt je vydávaný v troch verziách: Essential, Pro a School, pričom tretí je určený na nasadenie v školách – učitelia môžu sledovať úspešnosti žiakov, dávať im testy, atď.³².

+ Jednoduchosť ovládania, prehľadnosť, dizajn

+ Verzia pre učiteľov, prehľadné štatistiky

+ Veľkosť (len okolo 15MB)

+ Preložené do viacerých jazykov vrátane slovenčiny

– Niektoré typy výuky by ešte mohli byť pridané, práca s mikrofónom sa zdá byť komplikovaná

Auralia 4

Rising software, 1994-2010 [32]

platformy: Windows, Mac OS

Auralia je súčasť balíka Sibelius suite, ktorý bol zakúpený spoločnosťou Avid Technology, pôvodcom pochádza od austrálskej Rising software. Aplikácia je tiež nasadená a využívaná na rôznych univerzitách.

Aplikácia zaujme na prvý pohľad profesionálnym dizajnom a prehľadným rozdelením funkcionality. Prevedenie je veľmi interaktívne, za pomoci doprovodných zvukov a s vhodným využitím farieb (zelená: úspech, červená: neúspech), ktoré spadajú do stanoveného prostredia. Najzaujímavejší je však výber funkcionality, ponúkajúci okrem všetkých základov aj analýzu hudobných foriem (prípadne jazzových sekvencií), spievanie podľa nôt, tréning absolútneho sluchu či tréning

³²Aplikácia je zakúpená a využívaná viacerými hudobnými školami a univerzitami

ing čo najpresnejšej intonácie. Použitie mikrofónu je pritom veľmi jednoduché a názorné.

- + Interaktivita, farby a celkový dizajn
- + Rozmanitá a úplná funkcionálnosť

Existujú aj ďalšie shareware aplikácie na tréning SA, ktoré pôsobia uceleným dojmom, napr. **Practica Musica** od Ars-Nova (avšak neponúkajú Trial verziu, preto nebola zaradená do testovania) [34], prípadne staršie aplikácie, ako **EarPower** (skromne vyzerajúca aplikácia poskytujúca tiež celú radu možností) [35], **Dolce Ear Training** [37], **Ear Training** [36] a i. (zvyšné sa už ale zaoberajú len niektorou časťou SA, napr. **Absolute Pitch** čisto pre tréning absolútneho sluchu) [38].

3.2.3 Voľne šíriteľné aplikácie

Voľnú licenciu má viacero „podomácky“ robených aplikácií. Väčšinou sa jedná o webové aplikácie, ale niektoré prichádzajú aj s inštaláčnou súpravou. Len veľmi málo z nich dosahuje štandard stanovený shareware aplikáciami (často riešia len jeden typ výuky). Jedna však výrazne vystupuje z radu:

GNU Solfège

Tom Amundsen, 1999-2006 [39]

platformy: Linux

Solfège je šikovná aplikácia, súčasť repozitárov viacerých linuxových distribúcií.

Autor si vzal za cieľ poskytnúť všetku potrebnú funkcionálnosť. Typy výuky sú organizované veľmi jednoducho v záložkách a podvýberom si môžete vybrať konkrétny nácvik. Hoci aplikácia pôsobí skutočne jednoducho (predstavuje ju jediné jednoduché okno), v jej možnostiach je popri všetkých základoch o.i. aj použiť mikrofón na vstup, spievať zadané melódie, precvičovať si rytmus formou diktátov a mnoho iných.

- + Jednoduchosť
- + Rozmanitá funkcionálnosť (viaceré špeciálne tréningy)

Okrem tejto aplikácie sú pod voľnou licenciou šírané aj aplikácie **Aquallegro** od Andyho van Nessa (avšak len pre Mac OS) [40], či **Melody Mate** od Ricka Winscota (len pre Windows Mobile Pocket PC) [41], ktoré by tiež mohli spĺňať aj väčšie nároky na rozmanitý výcvik. A napokon existuje ešte zopár aplikácií poskytujúcich istú časť tréningu SA (napr. **Functional Ear Trainer** od Alain Benbassat – tréning harmonických funkcií) [42].

Zvyšné aplikácie sú webové aplikácie fungujúce priamo v prehliadači. Venujú sa spravidla analýze súzvukov, a poskytnuté rozhrania sú často obmedzené (väčšinou len výber, prípadne nástroj). Zaujať môžu aplikácie využívajúce mnemotechnické pomôcky. Napriek ich jednoduchosti webové aplikácie obsahujú niekedy veľký počet (automaticky generovaných) príkladov a môžu byť vhodnou pomôckou, pokiaľ sa žiak uspokojí s analýzou intervalov, akordov a stupníc. Niektoré poskytujú funkcionálnosť na nácvik absolútneho sluchu. Zo zástupcov spomenieme: **Trainear** (obsahuje mnemotechnické pomôcky) [43], **Online Ear Trainer 2.0** [44], **Ear Trainer**

[46], **Good Ear** [45], **Big Ears** [47].

Na záver uvádzame vypracovaný prehľad funkcionality najvýraznejších aplikácií (Tabuľka 1).

	MacGamut 6	Auralia 4	EarMaster 5	GNU Solfège
Tóny		X X X	X X X	X X X
Intervaly	X	X X X X	X X X X	X X X
Stupnice		X X	X X	X
Akordy	X	X X X X	X X X	X X X
Rytmus	X	X X X X	X X X	X X
Melódia	X	X X X	X X	X X X
Post. akordov	X	X	X	X
Metrum		X X		
Formy		X		
Modulácie		X	X	
Jazz-harmónie		X	X	
Kontrapunkt		X		
Abs. sluch		X	X	X
Abs. ladenie		X		
Čítanie	X			
Vstup	X X X X	X X X X X X X	X X X X X	X X
Štatistiky	X	X	X	
Vlastné nastav.	X	X	X	X
Tútor	X	X	X	

Tabuľka 1: Prehľad funkcionality aplikácií na tréning SA

Pozn. Funkcionalitu uvádzame v tvare:

Tón: (porovnanie | zistenie relatívnej výšky | imitácia)

Intervaly, Akordy: (porovnanie | analýza | imitácia | interpretácia)

Stupnice: (analýza | interpretácia)

Rytmus, Melódia: (porovnanie | diktovanie | imitácia | interpretácia)

Post. akordov: (analýza | diktovanie)

Metrum (rytmus skladby): (analýza | interpretácia)

Vstup (výber | klaviatúra | gitara | mikrofón | solmizačná tab. | MIDI zar. | osnova)

3.2.4 Ostatné riešenia

Fenomén absolútneho sluchu na internete umocňujú aj ďalšie stránky, venované lekciám, ako ho dosiahnuť. Lekcie sú buď vo forme webových stránok, alebo ich užívateľ dostáva for-

mou e-mailov. Hudobné ukážky prichádzajú len na niektorých miestach a dôraz je daný aj na myšlienkový proces užívateľa (metódy bývajú niekedy založené na spomínanej synestéze, resp. nie na princípe naučiť sa hudobnému sluchu tréningom, ale spravným pochopením hudby).

Do tejto kategórie spadajú aj audio-nahrávky venované tejto tématike. V tom prípade bývajú služby väčšinou spoplatnené. Spoločným menovateľom týchto lekcií je väčšinou osobná skúsenosť autora s nadobudnutím absolútneho sluchu, a jeho odkaz zachytený v spomínaných lekciách.

Najznámejšie lekce sú od: Graham English (*AbsolutePitchPower*) [25], David Burge (*PerfectPitch*) [26].

3.2.5 Zhrnutie

Z uvedeného prehľadu môžeme formulovať nasledovné závery:

- *Kvalita*. Kvalita prvých spomínaných aplikácií je na vysokej úrovni. Poskytujú množstvo funkcionality, aj na rôznych úrovniach obtiažnosti, s možnosťou navoliť si vlastný tréning, a na záver vyhodnotiť tréningový proces. Pre bežného používateľa a s motiváciou zlepšiť si tréning samoštúdiom tieto aplikácie spĺňajú požiadavky.
- *Dostupnosť - cena*. Spomínané aplikácie boli väčšinou spoplatnené. Skúšobné verzie majú funkčné alebo časové obmedzenia.
- *Dostupnosť - platforma*. Jediné voľne šíriteľné aplikácie na podobnej úrovni ako spoplatnené, nie sú kompatibilné s platformou Windows. To dokopy dáva veľa obmedzených voľby pre používateľov Windows, ktorí si nemajú v záujme zakúpiť si licenciu na spoplatnené aplikácie.
- *Dostupnosť - jazyk*. Jediná aplikácia podporujúca slovenčinu je EarMaster 5. Skrátené značenia sú však stále odvodené z angličtiny a pre potreby tréningu sa ich treba naučiť.
- *Špeciálne požiadavky*. V okruhu hudobníkov, pre ktorých je sluchová analýza veľmi dôležitá (skladatelia, dirigenti, speváci), sa môžu vyskytovať požiadavky na cvičenia, ktoré v týchto aplikáciách nie sú umožnené, a teda tréning pri počítači nepodáva náhradu za tréning na školských hodinách. Tréning s použitím voľne šíriteľných webových aplikácií sa môže zísť na precvičenie problematiky, ale zaiste nepodáva plnohodnotnú náhradu za tréning v škole.
- *Spôsob výuky - slovná odpoveď a HT*. Spôsob výuky aplikácií spĺňa väčšinu požiadaviek, ktoré by sme mohli mať (interaktivita, viaceré možnosti zadania vstupu, ...). Niektoré zložky však nezahŕňajú, napr. slovné zadanie odpovede. Na hodinách SA sa odpovede väčšinou vyjadrujú ústne a v reálnom čase, pričom klaviatúra sa často berie ako „zakázaná“ pomôcka. Notová osnova nemá prečo byť zakázaná, ale snahou učiteľa a niekedy môže byť, aby sa žiaci naučili rozoznávať súzvučky bez akejkoľvek pomoci. V aplikáciách sú však práve osnova a nástroj hlavnými vstupnými zariadeniami.

Pritom, slovné zadanie odpovede má aj svoje logické opodstatnenia – pri nácviku SA je extrémne dôležitá vedomosť HT (vyučujúci väčšinou nepovažujú odpoveď za správnu, pokiaľ súzvučiek nebol správne pomenovaný). Žiak teda popri analýze súzvučiek musí využiť svoje vedomosti na to, aby súzvučiek správne nazval. Táto požiadavka sa dá zovšeobecniť na – kladenie väčšieho dôrazu na názvoslovie, jeho výuku, a výuku HT.

- *Spôsob výuky - návody.* Ďalšia dôležitá zložka výuky je často návod zo strany vyučujúceho, pokiaľ žiak nie je schopný presnej analýzy. Aplikácie spĺňajú túto požiadavku v možnosti zahrania žiakovej nesprávnej odpovede a opätovného zadania príkladu. Niekedy to ale žiakovi nepomôže, a vtedy sa musí uspokojiť s prezradením správneho riešenia. V reálnej výuke by vyučujúci skôr volil navedenie spôsobom – zvýrazniť tón alebo vzťah, ktorý si má žiak všimnúť, alebo inou modifikáciou zadania. V spomínaných aplikáciách sa jednalo väčšinou o vyhodnotenie: správna odpoveď – nesprávna odpoveď. V reálnej výuke žiaci zvyknú dostávať spätnú väzbu aj na čiastočné odpovede (napríklad, analýza rozsahu súzvučiek).
- *Zvuk.* Požiadavka, ktorá by sa dala zlepšiť na všetkých spomínaných aplikáciách, je integrácia lepšieho zvuku. Používajú sa štandardné MIDI zvukové banky, ktoré pre hudobníka nie sú dostatočnou náhradou za reálny nástroj. Vylepšenie môže priniesť použitie MIDI výstupu a zapojenie vlastného MIDI zariadenia. Ale najlepším riešením by bolo začlenenie kvalitnejších zvukových bánk priamo do aplikácie.

S týmito vedomosťami sa môžeme pozrieť bližšie na implementáciu nášho riešenia.

3.2.6 Stanovenie požiadaviek na aplikáciu

V závere kapitoly, poučení z uvedeného prieskumu, uved' me konkrétnejšie požiadavky na aplikáciu, ktorá je cieľom tejto práce.

- Spôsob, ktorým aplikácia pomáha s výukou, obsahuje v čo najvyššej miere výhody reálnej školského vyučovania³³.
- Aplikácia spĺňa nároky aj niektorých špeciálnych požiadaviek na tréning (a teda plní funkciu nielen dobrého tréningu sluchu, ale je aj nácvikom na žiakov pôsobenie v škole).
- Aplikácia má možnosť *písomného zadania odpovede* v súlade s HT, využívajúceho presné slovenské názvoslovie. Aplikácia by mala tiež vedieť presne pomenovať všetky entity, s ktorými pracuje, v súlade s HT.
- Aplikácia je dostupná pre väčšinu používateľov, nenáročná a voľne šíriteľná.
- Implementácia aplikácie spĺňa požiadavky na prípadné rozšírenia (OOP je nutnosťou [15]).

³³Najmä čiastočné zadávanie odpovede a návody. Aplikácia by mohla byť smerovaná aj inými smermi, s využitím moderných metód výuky. Náš výber je však založený na dobrých skúsenostiach s tradičnou formou výuky, pokiaľ je správne vedená – moja vďaka patrí profesorovi sluchovej analýzy na Konzervatóriu v Bratislave, pánu Jurajovi Tandlerovi.

- (nižšia priorita) Vizualizácia (ale aj použítite napr. notovej osnovy alebo klaviatúri) je voliteľnou súčasťou, ktorá sa dá odstrániť.
- (nižšia priorita) Do aplikácie sú integrované zvukové banky kvalitnejšie ako standard MIDI.

Dôležitým zväžením pri tvorbe bolo aj, čo od aplikácie nutne nevyžadujeme:

- Celistvosť funkcionality – pokiaľ aplikácia splní požiadavky pre menšiu cieľovú skupinu používateľov, bude to dostatočné
- Vzhľadom na zbytočné skomplikovanie situácie, ktoré by tým nastalo, a predošlý bod, nevyžadujeme využitie mikrofónu (vyhnutie sa Fourierovým transformáciám) ani rytmického nácviku

Celkovo sa pri tvorení aplikácie radšej budeme držať účinnosti, splneniu hlavného účelu a jednoduchosti, a vyhneme sa samoučelnému „skrásľovaniu“ či pridávaniu nových možností. Ako cieľovú skupinu môžeme definovať žiakov hudobných konzervatórií, obzvlášť v odboroch ako je skladba či dirigovanie, pre ktorých sú prvé roky SA veľmi dôležité, majú viacero špeciálnych požiadaviek, a často potrebujú dodatočný tréning. Ich špecializácia je *najmä* – analýza viachlasných súzvukov, počutie a zvuková predstava viacerých tónov v jednom súzvuku. Tým sa znižuje potreba zahrnutia rytmu, jedného tónu, či melódie, ale dôležité naopak je zahrnutie dvojzvukov, akordov, prípadne postupnosti akordov.

4 Implementácia modelu hudobnej teórie

Návrh aplikácie spočíva hlavne vo vytvorení dobrého počítačového modelu HT, ktorý by sa staral o všetku logiku, a v spolupráci so vstupno-výstupnými rozhraniami, s vhodným výberom príkladov a s GUI by tvoril celú aplikáciu. Pod pojmom vytvorenie modelu HT teda rozumieme návrh a implementáciu tried, ktoré:

- Rozlišujú jednotlivé entity HT
- Algoritmicky implementujú všetky potrebné pravidlá HT
- Starajú sa aj o správne názvoslovie v súlade s HT

V tejto kapitole navrhujeme riešenie každej z týchto častí.

4.1 Rozbor problematiky

Pozrime sa najskôr, s koľkými entitami budeme pracovať. Ohraničme rozsah súzvukov jednou oktávou. Potom počet „jednozvučkov“ (jediný tón, čistá prima) je 1. Počet dvojsúzvukov je $\binom{11}{1}$, čiže 11 (fixný spodný tón a 11 možností pre vrchný tón), počet trojsúzvukov je $\binom{11}{2}$, atď. Čiže počet všetkých súzvukov s rozsahom menším ako oktáva vypočítame:

$$\binom{11}{0} + \binom{11}{1} + \dots + \binom{11}{11} = 2^{11} = 2048$$

To je síce konečný, ale nie najmenší počet a s rozšírením rozsahu sa ešte viac exponenciálne zvyšuje. Preto keď budeme stáť pred rozhodnutím, či všetky súzvuky pracne dáme do databázy, alebo radšej implementujeme dobrú logiku modelu, ktorá si vie veci dopočítať, zvolíme si radšej druhú metódu.

Výhodnou sa ponúka byť možnosť reprezentácie každej entity HT ako osobitnej triedy modelu. Inštanciami tried by boli konkrétne súzvuky, ktoré by sa dokázali svojimi metódami obsluhovať (nazývať, modifikovať, ...). Potrebné je zvoliť jednoduchú vnútornú reprezentáciu súzvukov.

Prihliadať treba aj na neskoršiu funkcionálnosť aplikácie. Zadaný príklad (súzvuk) a odpoveď (súzvuk) sa môžu líšiť, alebo byť rovnaké. Preto dôležitým faktorom je porovnávanie súzvukov.

Netriviálnym úkonom bude implementácia slovenského názvoslovia, najmä preto, lebo slovný vstup má zadávať aj sám užívateľ. Treba si určiť, ktoré formy názvov či skratiek budú tie, ktoré bude aplikácia podporovať a vstup od užívateľa treba efektívne parsovať.

Iný pohľad na problematiku názvoslovia je: enharmónia. Entita môže mať viacero názvov, treba vedieť rozpoznávať všetky. Na jednu stranu teda treba zabezpečiť, aby parsovanie vstupu používateľom rátalo so všetkými možnosťami, na druhú stranu treba zabezpečiť, aby jedna entita poznala všetky svoje názvy, čo môže byť dlhý zoznam³⁴. Tieto názvy by tiež mali mať svoju

³⁴Na ukážku: interval má štandardne 3 rôzne názvy. Pokiaľ dovoľíme súzvuk nazývať aj jeho presnou štruktúrou (názvami intervalov, ktoré ho tvoria), počet názvov súzvuku sa exponenciálne zvyšuje

prioritu, existuje v danej situácii vhodný a menej vhodný názov entity. Aplikácia potom bude napr. vedieť poradiť užívateľovi lepší názov v prípade, že nezvolil najlepší.

Nadstavbou na tento problém je problematika rozvádzania. Akonáhle budeme poznať všetky možnosti názvu súzvuku, môžeme zistiť, do akých iných súzvukov sa môže rozvádzať (iné pomenovanie niekedy znamená inú možnosť rozvedenia). Výsledkom bude ku každému súzvuku vytvorenie množiny akordov na rozvedenie³⁵.

Pozn. Prečo nás vlastne rozvedenia zaujímajú z pohľadu SA? Je to vhodný návod na analýzu súzvuku. Žiakovi študujúcemu hudobnú harmóniu môže pomôcť k analýze vedomosť, kam sa daný súzvuk rozvádza (napr. zmenšená kvinta náročná na analýzu sa rozvádza do čistej kvinty, ktorá je uchu žiaka známejšia). Prípadne, môžeme myslieť do budúcnosti, pokiaľ by sme chceli, aby jednotlivé príklady na seba harmonicky nadväzovali.

4.1.1 Číselná reprezentácia súzvukov

Triedy zosobňujúce konkrétne entity musia mať dobre zvolenú svoju vnútornú reprezentáciu. Pre **tóny** je najvhodnejšie zvoliť ich frekvenciu, alebo nejakú jej funkciu. Číselný údaj, ktorý používa MIDI syntetizátor na interpretáciu tónov ($c^1 = 60$, jednotka reprezentuje počet poltónov) vyzerá byť výborným kandidátom, ktorý navyše uľahčí prehrávanie tónov. Nazýva sa *noteNumber*, pre našu terminológiu ho môžeme nazvať *vyska*.

Pre **intervaly** sa priamo z teórie ponúka *počet poltónov*, ktorý reprezentuje daný interval (nazvime si ho *pocet*). To navyše vyhovuje aj zvoleniu reprezentácie tónov v zmysle „interval je vzdialenosť dvoch tónov“, priamo totiž platí:

$$pocet = \Delta vyska$$

K intervalom ešte môžeme spomenúť, že už HT *popisuje istú algebru*, na prácu s intervalmi³⁶:

Veta 1. *Nech I je množina všetkých intervalov. Potom $(I, +)$ je komutatívny monoid³⁷ [7].*

Veta 2. *Nech I_8 je množina všetkých intervalov menších ako oktáva. Potom $(I_8, +)$ je komutatívna grupa.*

V obidvoch prípadoch je neutrálny prvok čistá prima. Veta 1 hovorí, že môžeme intervaly sčítavať³⁸, napr.

malá tercia + veľká septima = veľká nóna

³⁵Táto téma úzko súvisí so samotnou podstatou komponovania hudby a modulácií, kedy skladateľ vyberá, akým spôsobom sa dá harmonicky pokračovať v skladbe. Jedná sa o zaujímavú oblasť, ktorá ale prekračuje rámec tejto práce. Pre naše potreby sa uspokojíme s enumeráciou možností rozvedenia súzvuku a ďalej pokračovať nebudeme.

³⁶Hoci som sa ešte nestretol s jej oficiálnou definíciou. Takéto chápanie intervalov sa však často využíva na hodnách SA.

³⁷Predpokladajme, že intervaly môžu byť neohraničene veľké

³⁸a inverznou operáciou – aj odčítavať, menšie od väčších

Všimnime si, že tejto definíci „nevadia“ ani odvodené intervaly (jednoducho zanedbáme fakt, že niektoré intervaly reálne znamenajú to isté čo iné), až na jednu výnimku: zmenšená sekunda sa javí ako druhý neutrálny prvok. Odpustíme si však túto nedostatočnú formálnosť, aby sme sa mohli posunúť ďalej.

Veta 2 vyhovuje našim predstavám o periodickosti spektra oktávy. Zavedieme, že pokiaľ v v $(I, +)$ bol výsledok sčítania dvoch intervalov čistá oktáva (zväčšená septima, poprípade zmenšená nóna), potom výsledok sčítania tých istých intervalov v $(I_8, +)$ bude čistá prima.

Pre našu vnútornú reprezentáciu (*pocet*) je matematika názornejšia. Monoid z vety 1 predstavuje monoid $(\mathbb{N}, +)$, grupu z vety 2 predstavuje grupa $(\mathbb{Z}_{12}, \oplus)$ ³⁹. Cyklickosť tejto štruktúry a aditivitu intervalov využijeme neskôr v algoritmoch.

Najvhodnejšou reprezentáciou **akordov** bude použitie viacerých premenných *pocet1*, *pocet2*, ... Akord sa skladá z viacerých intervalov, takže tento výber je prirodzený. Otázne len je, ktoré intervaly na reprezentáciu použijeme.

- Intervaly od basu
- Intervaly medzi jednotlivými tónmi akordu

Vhodnejšou variantou vyzerá byť prvá možnosť, vzhľadom k tomu, že bas neskôr môžeme využiť ako referenčný bod akordu, ak sa budeme pýtať na jeho absolútnu výšku. Zaved' me do ďalších kapitol značenie: Súzvuk môžeme označiť okrem jeho názvu aj nasledujúcimi reprezentáciami:

- x_1, x_2, x_3, \dots (čiarková notácia)
- $x_1 - (x_2 - x_1) - (x_3 - x_2) - \dots$ (spojovníková notácia)

kde x_1, x_2, \dots sú intervaly od basu podľa spomínanej konvencie. Na tieto reprezentácie sa budeme odvolávať ako jednoducho na **číselnú reprezentáciu** v čiarkovej/pomlčkovej notácií.

4.1.2 Úprava názvoslovia

Posledná sekcia 2. kapitoly nás upozorňuje na problémy s názvoslovím HT, hlavne so skratkami. Keď že chceme efektívne parsovať vstup od užívateľ'a, musíme tieto problémy vyriešiť.

Sumár problémov: číslovanie „nad sebou“, viacznačnosť názvov, neexistujúce skratky, ...

Zaved' me teda nové názvoslovie HT pre potreby nášho programu. Toto názvoslovie musí spĺňať formálne požiadavky:














- Neobsahuje diakritiku, názvy sa dajú jednoducho zapísať klávesnicou, je ľahko zapamätateľné pre hudobníkov

³⁹Operácia \oplus definovaná $a \oplus b = a + b \bmod 12$. Takéto matematické chápanie nielen intervalov, ale aj tónov, bolo uvedené už vo viacerých publikáciách venujúci sa matematike a hudbe, spomeňme napr. Music and Mathematics od Thomasa M. Fioreho [19], alebo Music: a Mathematical Offering od Davida J. Bensaena [8]

- Ak definujeme zobrazenie f_1 z množiny názvov HT do nášho názvoslovía a zobrazenie f_2 z nášho názvoslovía do číselnej reprezentácie, tak: f_1 je bijekcia, f_2 je surjekcia

Splníme ich jednoducho. Naše názvoslovie bude „skratkové“, teda bude pripomínať skrátené verzie názvov HT (preto keď sa naň budeme odvolávať, nazvime ho jednoducho – *skratka*). Pokiaľ pôjde o interval, jeho prívlastok napíšeme *malými* písmenami (väčšinou len prvé písmeno) a samotný interval zapíšeme číslom. Pokiaľ pôjde o zaužívaný akord, jeho prívlastok napíšeme *veľkými* písmenami, typ akordu opäť číslom. Pokiaľ pôjde o generický názov, využijú sa prvé písmená postupných prívlastkov akordu oddelené spojovníkmi, na konci opäť typ akordu v podobe čísla. Čísla „nad sebou“ zo skratiek HT prepíšeme vedľa seba. A napokon, stupnice alebo ich časti (pretože aj tie môžu reprezentovať súzvuk) zapíšeme vždy trojpísmenovou skratkou názvu stupnice, a zátvorkou, v ktorej je počet tónov od začiatku, ktoré zo stupnice vyberáme.

Čo napokon dostaneme je uvedené v kompletnej tabuľke všetkých súzvukov, s ktorými budeme pracovať (tabuľky 2, 3, 4, 5). Okrem zadaných skratiek uvádzame k súzvukom aj číselné reprezentácie, možné enharmonické skratky, označenie tónov na klaviatúre, ale aj zvukový charakter. Pri štvorzvukoch (charakteristických disonanciách) špeciálne uvádzame aj tón (od basu), na ktorom keď postavíme kvintakord, získame ideálnu možnosť rozvedenia štvorzvuku. Na konci uvádzame tabuľku venovanú ukážkam generických názvov (Tabuľka 6).

počet	názov	skratka	enharm.	obrázok	charakter
0	čistá prímá	č1	zm2		prázdny
1	malá sekunda	m2	zv1, dzm3		ostrá dis.
2	veľká sekunda	v2	dzv1, zm3		mierna dis.
3	malá tercia	m3	zv2, dzm4		kons.
4	veľká tercia	v3	dzv2, zm4		kons.
5	čistá kvarta	č4	zv3, dzm5		prázdny
6	poloktáva	zv4, zm5	dzv3, dzm6		ostrá dis.
7	čistá kvinta	č5	dzv4, zm6		prázdny
8	malá sexta	m6	zv5, dzm7		kons.
9	veľká sexta	v6	dzv5, zm7		kons.
10	malá septima	m7	zv6, dzm8		mierna dis.
11	veľká septima	v7	dzv6, zm8		ostrá dis.
12	čistá oktáva	č8	zv7		prázdny

Tabuľka 2: Dvojjzvuky

počty	intervaly	názov	skratka	obrázok	charakter	zákl.tón
3,6 3-3	m3,zm5 m3-m3	zmenšený kvintakord	ZM5		dis.	spodný
3,7 3-4	m3,č5 m3-v3	molový kvintakord	MOL5		kons.	spodný
4,7 4-3	v3,č5 v3-m3	durový kvintakord	DUR5		kons.	spodný
4,8 4-4	v3,zv5 v3-v3 v3,m6 v3-zm4 zm4,m6 zm4-v3	zväčšený kvintakord zväčšený sextakord zväčšený kvartsextakord	ZV5 ZV6 ZV46		dis.	spodný vrchný stredný
3,9 3-6	m3,v6 m3-zv4	zmenšený sextakord	ZM6		dis.	vrchný
4,9 4-5	v3,v6 v3-č4	molový sextakord	MOL6		kons.	vrchný
3,8 3-5	m3,m6 m3-č4	durový sextakord	DUR6		kons.	vrchný
6,9 6-3	zv4,v6 zv4,m3	zmenšený kvartsextakord	ZM46		dis.	stredný
5,8 5-3	č4,m6 č4,m3	molový kvartsextakord	MOL46		kons.	stredný
5,9 5-4	č4,v6 č4,v3	durový kvartsextakord	DUR46		kons.	stredný



Tabuľka 3: Trozvuky

počty	názov	skratka	obrázok	charakter	zákl.tón	rozv.
4,7,10 4-3-3	dom. septakord	D7		dis.,dom.	bas	č4, m2
3,6,8 3-3-2	dom. kvintsextakord	D56		dis.,dom.	soprán	m2, v6
3,5,9 3-2-4	dom. terckvartakord	D34		dis.,dom.	alt	m7, zm5
2,6,9 2-4-3	dom. sekundakord	D2		dis.,dom.	tenor	č5, m3
3,6,9 3-3-3	zm.-zm. septakord zm.-zm. kvintsextakord zm.-zm. terckvartakord zm.-zm. sekundakord	ZMZM7 ZMZM56 ZMZM34 ZMZM2		dis.,zm.	bas soprán alt tenor	m2 m7 č5 v3
3,6,10 3-3-4	zm.-m. septakord	ZMM7		dis.,zm.	bas	m7
3,7,9 3-4-2	zm.-m. kvintsextakord	ZMM56		dis.,zm.	soprán	č5
4,6,9 4-2-3	zm.-m. terckvartakord	ZMM34		dis.,zm.	alt	v3
2,5,8 2-3-3	zm.-m. sekundakord	ZMM2		dis.,zm.	tenor	č1

Tabuľka 4: Štvorzvuky

počty	názov	skratka	obrázok
2,4,5,7,9,11,12 2-2-1-2-2-2-1	durová / iónska	dur(8)	
2,4,5,7,8,11,12 2-2-1-2-1-3-1	durová harmonická	dhr(8)	
2,3,5,7,8,10,12 2-1-2-2-1-2-2	molová prir. / aiolská	mol(8)	
2,3,5,7,8,11,12 2-1-2-2-1-3-1	molová harmonická	har(8)	
2,3,5,7,9,11,12 2-1-2-2-2-2-1	molová melodická	mel(8)	
2,3,5,7,9,10,12 2-1-2-2-2-1-2	dórska	dor(8)	
1,3,5,7,8,10,12 1-2-2-2-1-2-2	frýgická	fry(8)	
2,4,6,7,9,11,12 2-2-2-1-2-2-1	lýdická	lyd(8)	
2,4,5,7,9,10,12 2-2-1-2-2-1-2	mixolýdická	mix(8)	
2,4,6,7,9,10,12 2-2-2-1-2-1-2	podhalanská ⁴²	pod(8)	
1,...,12 1 (12x)	chromatická	chr(12)	
2,4,6,8,10,12 2-2-2-2-2-2	celotónová / hexatonická	cel(7)	
2,4,7,9 2-2-3-2	pentatonická (anhemitonická)	pen(5)	
2,5,7,10 2-3-2-3			
3,5,8,10 3-2-3-2			
2,5,7,9 2-3-2-3			
3,5,7,10 3-2-2-3			
2,3,5,7,9,10,12 2-1-2-2-2-1-2	dórska	dor(8)	
1,4,5,7,8,11,12 1-3-1-2-1-3-1	cigánska dur.	cid(8)	
2,3,6,7,8,11,12 2-1-3-1-1-3-1	cigánska mol.	cim(8)	
3,5,6,7,10,12 3-2-1-1-3-2	bluesová	blu(7)	

Tabuľka 5: Stupnice

počty	intervaly	názov	skratka	obrázok	zákl.tón
2,7 2,5	zm3,č5 zm3-zv3	zmenšeno-čistý kvintakord	zm-č5		spodný
2,7,11 2,5,4	zm3,č5,v7 zm3-zv3-v3	zm.-č.-vel'ký septakord	zm-č-v5		bas

Tabuľka 6: Ukážky generických názvov

4.1.3 Algoritmizácia pravidiel HT

So zavedenými číselnými reprezentáciami budú už niektoré pravidlá HT pre nás len jednoduchou aritmetikou. Základné funkcie, ktoré by mal náš model implementovať sú:

- **Intervaly vrámci súzvuku.** Niekedy bude potrebné pracovať s jednotlivými čiastkovými intervalmi vrámci súzvuku. Náš model jednoducho použije aritmetiku $(\mathbb{N}, +)$, aby dostal požadovaný interval, zmenil čiarkovú notáciu na spojovníkovú notáciu a pod.
- **Obraty intervalov.** Interval bude vedieť vypočítať svoj obrat. Na to jednoducho použije svoj inverzný prvok vrámci $(\mathbb{Z}_{12}, \oplus)$ (doplňok do 12). Označenie: ak *pocet* je počet poltónov intervalu, tak *pocet'* je počet poltónov jeho obratu.
- **Obraty akordov.** Obrat akordov algoritmicky vypočítame nasledovne:

Nech (X_1, X_2, \dots, X_n) sú počty poltónov akordu. Potom

- $(X_2 - X_1, X_3 - X_1, \dots, X_n - X_1, X'_1)$ sú počty poltónov jeho *obratu smerom dopredu*.
- $(X'_n, X'_n + X_1, X'_n + X_2, \dots, X'_n + X_{n-1})$ sú počty poltónov jeho *obratu smerom dozadu*.
- zvyšné obraty zistíme viacnásobnou aplikáciou týchto pravidiel

Ďalšie pravidlá sa týkajú rozoznávania jednotlivých intervalov a akordov a výber ich správneho pomenovania. Náš model to bude robiť simuláciou myslenia žiaka pri správnej analýze súzvuku. Žiak najskôr na základe počtu tónov rozozná, či ide o interval, trojzvuk, štvorzvuk, alebo niečo iné. Potom podľa rozsahu akordu a štruktúry zhodnotí, či ide o základný akord, alebo jeho obrat. Nakoniec, pokiaľ ide o obrat, obráti akord do základnej podoby, pomenuje základný akord a jeho prívlastok použije na pomenovanie obratu (teda napr. sekundakord prevedie do podoby septakordu, zistí, že ide o dominantný septakord, a súzvuk teda nazve dominantným sekundakordom).

Pozn. Niektoré jednoduché prípady nebude potrebné v aplikácii takto analyzovať, napr. štruktúru intervalov a zaužívaných akordov (z tabuliek) môžeme „zadrôtovať“ do aplikácie v podobe statických polí (prípadne databázy; počtom poltónov priradíme názov). V prípade generického

⁴²nazývaná aj skriabinova alebo prometeovská

názvu však už musíme využiť nasledujúcu metódu:

Trojzvuky:

- rozsah 6,7,8: **kvintakord**
 - 2: **zmenšeno**; 3: **molovo**; 4: **durovo**; 5: **zväčšeno**
 - 6: **zmenšený**; 7: **čistý**; 8: **zväčšený**
- rozsah 7,8,9,10:
 - 2,3,4,5: **sextakord**: obrat -1 ($A, B \Rightarrow B', A + B'$) analýza kvintakordu
 - 4,5,6: **kvartsextakord**: obrat +1 ($A, B \Rightarrow B - A, B - A + B'$) analýza kvintakordu

Štvorzvuky:

- rozsah 8,9,10,11: **septakord**
 - analyzuj bas, tenor a alt ako hlasy kvintakordu (napr. zm3,č5 = zmenšeno-čisto-)
 - 9: **zmenšený**; 10: **malý**; 11: **veľký**
- rozsah 7,8,9,10:
 - nájdí v2 (pokiaľ nie je \Rightarrow **ZMZM7**)
 - * alt-soprán: **kvintsextakord**: obrat -1 ($A, B, C \Rightarrow C', C' + A, C' + B$) analýza septakordu
 - * tenor-alt: **terckvartakord**: obrat -2/+2 ($A, B, C \Rightarrow C - B, B', B' + A$) analýza septakordu
 - * bas-tenor: **sekundakord**: obrat +1 ($A, B, C \Rightarrow B - A, C - A, A'$) analýza septakordu

Pozn. Počty vyznačené **boldom** znamenajú rozmedzie, v ktorom je *vhodné* nazývať akord daným spôsobom (napr. septakord je vhodné zvoliť pre rozsahy 9 a 10, avšak možné je to aj pri rozsahoch 7 a 8).

Nadväzujúcimi algoritmi sú algoritmy, ktoré enumerujú všetky možné názvy daného súzvu-ku. Treba poznamenať, že sa neuspokojíme len s názvami súzvu-ku z **tabuľky** a s **generickými názvami**⁴⁰. Niekedy je vhodnou voľbou nazvať súzvuk metódou **akord-interval**, napr. keď jasne počujeme známy trojzvuk, a k nemu ešte pripojený osobitný interval⁴¹. Ďalším spôsobom názvu môže byť aj jednoduché vymenovanie čiastkových intervalov v čiarkovej alebo v spojovníkovej notácii (často je práve toto dobrá cesta k výslednej analýze), samozrejme, názvami alebo skratkami intervalov namiesto počtov poltónov.

Prácu týchto algoritmov spomenieme stručne:

- Pozretie sa do tabuľky \rightarrow všetky enharmonické názvy z tabuľky
- Algoritmus generických názvov \rightarrow všetky enharmonické názvy generického tvaru

⁴⁰V niektorých prípadoch ani jedným spôsobom neuspějeme!

⁴¹tento spôsob sa v SA volá „zahusťovanie akordu“ v prípade, že interval je vrámci akordu. Môžu ale nastať situácie, kedy počujeme osobitný interval nad alebo pod akordom. Pre naše potreby takýto typ názvu označme **skupina**.

- Všetky možnosti rozdelenia súzvuku na podsúzvuky → zavolanie nazývacieho algoritmu pre podsúzvuky a vyskladanie výsledného názvu
- Čiarková a spojovníková notácia → enumerácia všetkých názvov s využitím enharmónie intervalov

4.1.4 Parsovanie

So súzvukmi už vieme pracovať. Položme si teraz otázku: Ako súzvuky vytvoríme? Máme 2 situácie: Buď sú to súzvuky-príklady – tým generátor priamo priradí vnútorné vzdialenosti. Alebo sú to súzvuky-odpovede vzniknuté na základe vstupu od používateľ'a – a tu prichádza na rad parsovanie⁴² [9].

V prvom rade – chceme vedieť rozoznávať:

- Presné názvy súzvukov podľa HT (zaužívané akordy, generické názvy)
- Skratky (zaužívané akordy, generické skratky)
- Skupinu akord-interval (alebo všeobecne súzvuk-súzvuk)
- Postupnosť intervalov v čiarkovej alebo spojovníkovej notácií

teda prakticky všetky možné varianty. Táto úloha je prakticky inverzná k úlohe nazývania podľa vnútornej reprezentácie – teraz máme názov a chceme z neho vnútornú (číselnú) reprezentáciu. Využijeme preto dve výhody:

- „Zadrôtované“ tabuľky, ktoré využívame pri nazývaní, môžeme využívať aj pri parsovaní (počty poltónov ↔ názov)
- Využijeme hierarchickú štruktúru súzvukov (dvojzvuk, trozvuk, ...) a pokiaľ pri parsovaní väčšieho útvaru zistíme, že sa skladá z menších, zavolajme na podciele vhodné parsovacie metódy pre menšie súzvuky, z ktorých vyskladáme finálny súzvuk

Ako bude nakoniec vyzerat' parsovanie vstupného reťazca R si popíšeme na pseudokóde:

Pozn. Hlavná metóda $Sparsuj(R)$ zistí čo najviac o štruktúre R a volá vhodné konkrétnejšie podmetódy typu $SparsujDvojzvuk(R)$. Návratovou hodnotou je Súzvuk (reprezentácia súzvuku, viz. Návrh tried na konci kapitoly). Na zefektívnenie algoritmu aj jeho implementácie používame *regulárne výrazy* [20] (na ukážku sú uvedené aj v pseudokóde za príkazom *match* pre reťazec R).

```
Sparsuj(R)
  if R.length < 8
    // skratka, alebo tonovy rad
```

⁴²Parsovanie ako vytváranie súzvukov môže byť zahrnuté do spomínaných tried vo forme konštruktorov, ale môže to byť aj logicky oddelená súčasť modelu HT. Ako uvidíme na konci kapitoly pri návrhu tried, zvolíme si práve túto druhú možnosť. V tejto sekcii si však ukážeme základné princípy nášho parsovania.

```

if R.match (c|m|v|z|p|d)[^-,]{1,4} // R zacina prvym pismenom dvojzvuku
  return SparsujDvojzvukSkratka(R)

if R.match (ZMZM|ZMM|D)[^U]? // R zacina prvymi pismenami stvorzvuku
  return SparsujStvorzvukSkratka(R)

if R.match (ZM|ZV|DUR|MOL){1,2} // R zacina prvymi pismenami trojzvuku
  return SparsujTrojzvukSkratka(R)

if R.match ...\\((1-9)(0-9)\\) // R obsahuje zatvorky
  return SparsujTonovyRad(R)

if R.length < 5
  // skupina skratiek alebo nazvy

  // najprv hladame skupiny skratiek resp. genericke skratky

  if R.match [^ay]*\\-[^ay]* // obsahuje "-" neobsahuje "a" "y"

    casti[] = R.split("-") // rozdelime R podla "-"
    if casti[0].match *(1-9) // ak prva cast konci cislom
      return SparsujSkupinaSkratiek(R)
    else
      return SparsujGenerickuSkratku(R)

  if R.match [^ay]*\\,[^ay]* // obsahuje "," neobsahuje "a" "y"
    return SparsujSkupinaSkratiek(R)

  // co nam ostalo su skupiny nazvov alebo nazvy

  if R.match (c|p|v|mala|zmensena|dvojmzensena).* // zacina intervalom

    if R.match .*[-,].* // obsahuje "," alebo "-"
      return SparsujSkupinaNazvov(R)
    else
      return SparsujDvojzvukNazov(R)

  if R.match (m|zmenseny|durovy).* // zacina trojzvukom

    if R.match .*[-,].* // obsahuje "," alebo "-"
      return SparsujSkupinaNazvov(R)
    else
      return SparsujTrojzvukNazov(R)

  if R.match (dom|zmenseno).* // zacina stvorzvukom

    if R.match .*[-,].* // obsahuje "," alebo "-"
      return SparsujSkupinaNazvov(R)
    else
      return SparsujStvorzvukNazov(R)

```

```
// pokiaľ retazec nezacína žiadnou štandardnou konštrukciou,
// jedna sa o generický názov

return SparsujGenerickyNazov(R)
```

Ďalej je parsovanie odovzdané podmetódam. Z nich niektoré sa len pozrú do tabuľky, ale za zmienku stoja tie, ktoré pracujú s generickými názvami/skratkami, alebo so skupinami súzvukov. Všeobecne sa podmetódy riadia podľa nasledovnej politiky:

- Skupinu, ale aj generické názvy rozdelíme podľa podľa "-" (resp. ",") a na podčasti zavoláme vhodné podmetódy – metóda Divide&Conquer [17])
- Vstup, ktorý neobsahuje "," a "-" je už v tvare konkrétneho názvu súzvuku. Treba ho teda rozdeliť podľa "," alebo na *písmená a čísla*), a spraviť „look-up“ v správnych tabuľkách⁴³
- Pokiaľ pri generickom názve zistíme, že ide o obrat (na konci čítame napr. 46 pre kvartsex-takord), výsledok sparsovania (uspôsobený pre základný tvar) na konci obrátíme do požadovaného tvaru
- Pri parsovaní využívame základnú aritmetiku intervalov, aby na konci vznikli správne čísla (napr. parsovanie skupiny so spojovníkom "-")

Ukážka: *SparsujSkupinaSkratiek(R)* (vracia Súzvuk)

```
SparsujSkupinaSkratiek(R)
```

```
if R.match .*[,].* // obsahuje ","
    casti[] = R.split(",") // rozdelenie pola "," a spracovanie
    for (cast:casti)
        if cast.match (c|m|v|z|p|d).* // začína prvým písmenom dvojzvuku
            // ide o dvojzvuk
            pocty.add(SparsujDvojzvukSkratka(cast).vratPocet());
        if cast.match (ZMzM|ZMM|D)[^U]? // začína prvými písmenami stvorzvuku
            // ide o stvorzvuk
            pocty.addAll(SparsujStvorzvukSkratka(cast).vratPocty);
    else
        // ide o trojzvuk
```

⁴³Príklad spracovania generického názvu: rozdelenie podľa "-", (napr. *malo-čisto-zmenšený* → *malo, čisto a zmenšený* – po menšej úprave typu *o* → *á* môžeme spraviť „look-up“ v rovnakých tabuľkách ako pre intervaly)

```

    pocty.addAll(SparsujTrojzvukSkratka(cast).vratPocty);

    /* obdobne s "-" ale vyuzijeme pomocnu premennu aktPocet,
    ktoru navysujeme o zistene relativne pocty, aby
    sme tak nasli vzdialenost od basu. */

    pocty.sort(); // utriedenie poctov

    case (pocty.size)
    0: return null
    1: return new Dvojzvuk(pocty)
    2: return new Trojzvuk(pocty)
    3: return new Stvorzvuk(pocty)
    else return null

```

4.1.5 Rozvádžanie súzvukov

Poslednú funkcionalitu, ktorú chceme nášmu modelu pridať, je pre daný súzvuk poznať základné možnosti rozvedenia do iných súzvukov⁴⁴

Rozvádžanie súzvukov je široké pole možností, určite má každý skladateľ iný názor na to, ako sa má ktorý súzvuk rozvádžať. Existujú isté pravidlá tonálnej harmónie, ktoré sú všeobecne známe. Nám však pre náš cieľ stačí spraviť len istý malý podvýber. Stručné vysvetlenie: Našou úlohou nie je *tvoriť* hudbu, ale *všimáť* si rozvádžanie len tých súzvukov, ktoré sú už naozaj „na spadnutie“ a skutočne je už žiadúce ich rozviesť (na príklade harmonických funkcií: zo sekvencie $T \rightarrow S \rightarrow D \rightarrow T$ nás nebudú zaujímať spoje $T \rightarrow S \rightarrow D$, ktoré sa vzd'aluje od centra, ale len $D \rightarrow T$, v ktorom je najväčšie napätie) – pretože to sú tie prípady, ktoré by žiaci mali poznať aj po zvukovej stránke.

Preto pozornosť upriamime len na tabuľku charakteristických disonancií (Tabuľka 4), čo sú práve spomínané prípady. V poslednom stĺpci je uvedené, na ktorom tóne nájdeme „centrum“, do ktorého chceme rozvádžať. Popíšme, ako také rozvádžanie vyzerá.

- Podľa tabuľky nájdeme výšku „centra“, do ktorého rozvádžame (základný tón)
- Postavíme na ňom kvintakord (nájdeme terciu a kvintu)
- Bas vedieme na základný tón kvintakordu (v našom prípade vždy pôjdeme smerom nadol, hoci pokiaľ by sme mali širší súzvuk, mohli by sme ísť aj nahor)
- Ostatné tóny vedieme na im najbližšie tóny kvintakordui
- Takto nájdený súzvuk vytvoríme

⁴⁴Pripomeňme si, že našou snahou je dať nápovedu žiakovi, ktorý má problémy s analýzou súzvuku, alebo prípadne pomôcť žiakovi si súzvuk lepšie zapamätať. V oboch prípadoch je vhodné zahrat' mu rozvedenie akordu (napr. D7 je svojím rozvádžaním natoľko charakteristický, že žiak by si mal po jeho zaznení rozvedenie hneď vedieť predstaviť. Preto ho to musíme naučiť).

V programe môžeme všetko riešiť číselne pomocou premenných *pocet*, ale teraz hlavne aj *vyska*. Na prvý pohľad jednoduchý systém sa ale zkomplikuje, pokiaľ chceme rozvádzať správne podľa pravidiel HT⁴⁵.

```
Stvorzvuk.vratRozvedenie()
    centrum = vyska + Tabulka(rozvedenie);

    // z Tabulky nacitame interval, podla ktoreho najdeme centrum
    pocty.addAll(centrum - 12, centrum, centrum + 4, centrum + 7)

    // postavime durovy kvintakord (zahrne aj basovy ton o oktavu nizsie)

    return new Suzvuk(overPodlaPravidielHT(pocty))

    // overime ci sme mohli takto rozviest,
    // pripadne niektore tony vyhodime
    // vratime suzvuk
```

Pozn. Môžeme sa stretnúť aj s viacerými možnosťami rozvádzania. Napr. dominantný septakord má definované 2 možnosti rozvedenia už v tabuľke (druhý je tzv. *klamný spoj*). Tiež, ku každému kvintakordu, do ktorého rozvádzame, môžeme rozlišovať 2 rovnocenné možnosti – rozvádzanie do *durového* alebo *molového* kvintakordu. V skutočnosti teda naša funkcia bude vracat' zoznam súzvukov.

Aby sa to ale trochu skomplikovalo, musíme pripustiť, že okrem štvorzvukov aj trojzvuky sa dajú rozvádzať – logicky je to prípustné vtedy, keď tvoria 3 tóny niektorej charakteristickej disonancie (v názvosloví HT: tvoria *neúplný septakord* alebo jeho obrat). Máme tu 2 možnosti. Buď enumerujeme všetky možnosti my a „zadrôtuje“ do inej tabuľky možnosti rozvádzania trojzvukov (jedná sa o $9 \cdot 4 = 36$ možností, z toho niektoré sa opakujú), alebo navrhne algoritmus pre trojzvuky, ktorý zistí možnosti rozvádzania z tabuľky štvorzvukov. Keď že doteraz sme vždy uprednostnili algoritmus pred „drôtom“, budeme aj teraz verní tomuto prístupu. Čo každý trojzvuk jednoducho spraví, je:

- zistí o svojich premenných *pocet*, či *matchujú* s niektorými počtami v riadku tabuľky štvorzvukov
- ak áno, pridá do zoznamu rozvádzania aj možnosť rozvádzania z tohoto riadku

Pozn. Nebudeme to ale robiť pre všetky trojzvuky. Ešte pred zadefinujeme zoznam *nechcených trojzvukov*, teda takých, ktoré nechceme rozvádzať, napr. z dôvodu, že sú sami o sebe dost' stabilné (napr. durový kvintakord, prípadne sextakord).

⁴⁵Rozvádzanie sme totiž uviedli veľmi zjednodušenie. V tonálnej harmónii existuje veľká sada pravidiel rozvádzania char. disonancií, napr. dominantný septakord má jasne popísané, že jeho tercia stúpa, kvinta a septima klesá [4]. Tieto pravidlá sú už predmetom bližšej implementácie, kde by boli riešené rôznymi overeniami

Keď máme vyriešené trojzvuky a štvorzvuky, pridajme už len rýchly dovetok o rozvedení dvojjzvukov. Ku dvojjzvukom sa hodí rozvádzanie definovať napevno. Je len zopár takých, ktoré majú skutočne dominantný charakter (napr. *v7* alebo *zm5*, vychádza to tiež z toho, že obsahujú dôležité súčiastky dominantného septakordu). Zvyšné ale môžu ostať „tak ako sú“.

Dvojjzvukom ale môžu mať aj *špeciálny* spôsob rozvádzania, kedy chceme dvojjzvuk rozviesť skôr z melodických dôvodov, alebo z dôvodov, že chceme z disonancie spraviť konsonanciu. Dobrým príkladom je *v7*, ktorá „stúpa“ do oktávy, alebo *zv4*, ktorá stúpa do č5.

Tým je funkcionalita modelu HT úspešne naplnená.

4.1.6 MIDI rozhranie

Model HT bude úzko spolupracovať s modulom na prehrávanie zvuku, preto jeho princípy uvádzame tiež v tejto kapitole. Zvuk bude v aplikácií produkovať **MIDI rozhranie**, ktoré bude implementované v samostatnom module, ale bude na počkanie plniť požiadavky na zahranie zvuku v danej výške. Zvolenie MIDI syntézy je celkom prirodzenou voľbou. Popíšme si stručne, ako pracuje:

Základ tvorí MIDI syntetizátor. Ten načíta zvukovú banku, obsahujúcu nástroje, tzn. algoritmy popisujúce, akým spôsobom sa má simulovať zvuk (pokiaľ sa používa napr. wavetable syntéza, ide o algoritmy ako zobrať zvukovú vzorku a čo s ňou urobiť na to, aby vznikol tón v žiadanej výške). Syntetizátor ďalej má 16 MIDI kanálov, ktoré sú schopné produkovať zvuk. Tieto kanály môžu dostávať príkazy typu: zahraj notu takejto hlasitosti, prestaň hrať notu, a pod. Pokiaľ priradíme MIDI kanálu nástroj zo zvukovej banky, týmito príkazmi môžeme vytvárať zvuk [27].

V našej aplikácii máme vytvorenú nadstavbu nad klasický syntetizátor – ten okrem klasických podnetov typu „zahraj notu“, reaguje aj na podnety typu „zahraj trojjzvuk“, s parametrom – trojjzvukom z nášho modelu.

Nádstavba nad MIDI rozhranie používajúce **štandardné MIDI** zvukové banky [22] je rozhranie pracujúce s otvoreným štandardom **SoundFont** [21]. Rovnaký princíp MIDI signálov je v Soundfont podložený lepšou tvorbou zvuku, založenej hlavne na vysoko kvalitnej vzorke a aj na lepšom spôsobe spracovania. Kvalitný zvukový font (simulujúci klavír) a aj jeho dobré použitie (napríklad simulácia reality - väčšinou sa dva tóny intervalu nepodarí zahrať presne naraz a s presne rovnakou hlasnosťou, takže môžeme zámerné implementovať nejaké chyby) by mali u používateľ'a vyvolať dojem dostatočného podkladu na tréning SA.

4.1.7 Návrh tried

Predošlé sekcie predurčili návrh tried modelu. Zosumarizujme si na tomto mieste hlavné triedy a ich funkciu.

Použitou technológiou na realizáciu aplikácie je jazyk **Java** [18]. Hlavným dôvodom rozhodnutia pre Javu bola jej rozšírenosť na rôznych platformách, možnosť jednoduchého prevedenia našej aplikácie do web rozhrania, a podpora otvorených štandardov (Java MIDI interface [28],

SoundFont [21]).

rozhranie **Suzvuk**

popis: Spoločné rozhranie pre všetky súzvuky

funkcionalita:

- porovnanie s iným súzvukom
- vrátenie skratky súzvuku, enumerácia všetkých možností
- vrátenie názvu súzvuku, enumerácia všetkých možností
- vrátenie zvukového charakteru súzvuku
- vyrobenie obratu dopredu/dozadu

triedy **Dvojzvuk, Trojzvuk, Stvorzvuk**

popis: Reprezentácie konkrétnych súzvukov, implementácia rozhrania súzvuk

osobitná funkcionalita:

- zložitejšie súzvuky vedia vyrobiť svoje čiastkové súzvuky

trieda **Parser**

popis: Výroba súzvukov na základe vstupu od používateľa (návrhový vzor Factory [16])

funkcionalita:

- sparsovanie vstupu od používateľa a vrátenie súzvuku, alebo výnimka znamenajúca neúspešné parsovanie

triedy **Tabulka, TabulkaRetazcov**

popis: Obojsmerné tabuľky, špecializované na výber reťazcov alebo zoznamov reťazcov podľa číselných alebo reťazcových kľúčov. Vnútorňa reprezentácia pomocou HashMap [23]

trieda **Syntetizator**

popis: Syntetizátor plniaci požiadavky na zaznenie tónov a súzvukov

funkcionalita:

- Možnosť nastavení: nástroja, hlasitosti, dĺžky tónov, harmonického alebo melodického prevedenia súzvukov
- Hranie jednotlivých tónov alebo inštancií Suzvuk
- Hranie MIDI vstupu pomocou sekvencéra [27]

trieda **Aplikacia**

popis: GUI aplikácie, využívajúce všetky horeuvedené triedy

funkcionalita:

- Okrem základnej obsluhy rozhraní obsahuje generátor náhodných a predvolených príkladov

5 Vizualizácia hudobných súzvukov

Úlohou tejto kapitoly bude navrhnúť vhodný model vizualizácie súzvukov, ktorý žiakom môže pomôcť lepšie pochopiť vzťahy medzi tónmi a týmpádom pomôcť s analýzou súzvuku. Vizualizáciu chceme použiť na to, aby tieto vzťahy prehľadne zobrazovala. Už v súzvuku troch tónov môžu byť rôzne vzťahy medzi každými dvoma tónmi, a čím väčšie súzvuky máme, tým počet vzťahov narastá a ani skúsené ucho ich nevie pomenovať bez hlbšej analýzy.

Vzťahy v hudbe môžeme rozdeliť na 2 skupiny:

1. Vertikálne: vzťahy týkajúce sa charakteru spoluznenia tónov: **konsonantný** – **durový** alebo **molový**, **prázdny**, **disonantný**, **zmenšený** alebo **zväčšený** (ak tvoria zmenšené alebo zväčšené akordy)⁴⁶
2. Horizontálne: vzťahy tonálnej harmónie. Keďže tá popisuje vzťahy medzi súzvukmi samotnými, vrámci jedného súzvuku neexistujú, ale zaujímavá bude pre nás predstava, ako by sa súzvuk mohol ďalej rozvíjať.

V našej vizualizácii chceme zahrnúť obe zložky.

Treba ešte dodať, že použitie vizualizácie v aplikácii má byť voliteľné – teda je na užívateľovi, či si praje používať vizualizáciu. Každý žiak má totiž vlastnú hudobnú predstavu, a pokiaľ ju efektívne využíva, môže byť použitie vizualizácie kontraproduktívne. Vizualizácia je tiež výrazná pomôcka, a cieľom ostáva, aby žiak vedel analyzovať len podľa sluchu. Preto je odporúčané vizualizáciu ponúknuť ako dovetok k úspešnej analýze súzvuku, alebo ako návod, ktorý by mal nasledovať až po prípadných zvukových návodoch.

5.1 Návrh modelu

Návrh modelu pozostáva z farebného a grafického návrhu.

5.1.1 Model farieb

Na zobrazenie vzťahov v súzvuku budeme používať vlastný farebný model. V samotnej aplikácii by však mohlo byť umožnené nastavenie farieb, aby si ich užívateľ smel prispôbiť.

Farbami chceme zobrazovať všetky uvedené vertikálne vzťahy. Tóny, pre ktoré daný vzťah bude platiť (resp. ktoré do súzvuku prispievajú daným charakterom), budú zafarbené rovnakou farbou. Môže sa jednať o minimálne dva tóny, ale ich počet môže byť aj väčší (obmedzený priestorovými možnosťami modelu).

Špeciálnym vzťahom, ktorý tiež chceme zobrazovať farebne, je horizontálny vzťah – rozvedenie súzvuku. Tóny, do ktorých sa súzvuk môže rozvíjať (nazvime ich *rozvodné tóny*, budú tiež zafarbené osobitnou farbou, ktorá sa bude dať ľahko odlíšiť od reálne znejúcich tónov.

Návrh farieb je uvedený na obrázku 6. Dva odtiene farby môžeme použiť na plynulý prechod (gradient).

⁴⁶Charakter súzvuku je asi najlepšou pomôckou pri analýze súzvuku a často je skloňovaný na hodinách SA.



Obrázok 6: Návrh farieb

Vzt'ahy na obrázku sa dajú navyše kategorizovať na *konsonantné* (durové, molové, prázdne) a *disontantné* (disonantné, zmenšené, zväčšené).

5.1.2 Možnosti grafického znázornenia tónov

Na znázornenie výšky tónov sú už od dávna zavedené štandardy, ako notový zápis, či klaviatúra. Ak by sme sa pozreli smerom ďalej do minulosti, našli by sme grafické značenia predchádzajúce notám (neumy, menzurálna notácia [5]), ak sa pozrieme do súčasnosti, začínajú prevládať nové, odlišnejšie návrhy (gitarové tabulatúry, grafické znázornenia využívané v rôznych programoch). Na vizualizáciu s funkciou, ako sme ju popísali (ukázať nové vzt'ahy) sú však niektoré modely nevhodné, azda s výnimkou notového zápisu a klaviatúry.

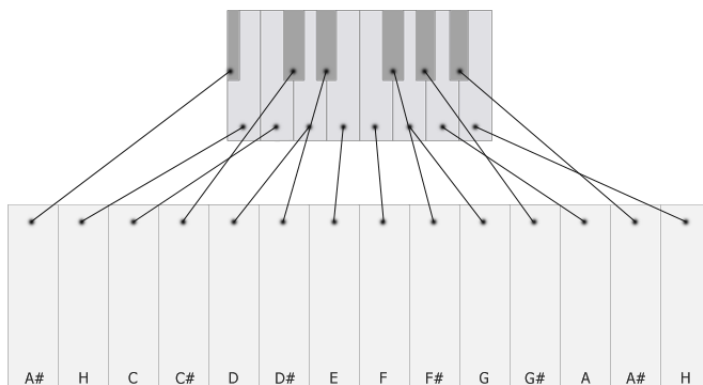
S novými zaujímavými návrhmi vizualizácie prišli vedci v posledných rokoch, vo svojich dielach publikujú modely, ktoré bližšie objasnia hudobné vzt'ahy, ale najmä v súvislosti s plynutím hudby, napr. so zmenou hudobných tónin, v ktorých je skladba napísaná (Carol Krumhansl: The Geometry of Musical Structure [10] Craig Sapp: Visual Hierarchical Key Analysis [12], Petri Toiviainen: Visualisation of Tonal Content with Self-Organising Maps and Self-Similarity Matrices [11], či Tony Bergstrom: Isochords: Visualizing structure in Music [14]), prípadne s interpretáciou hudby (Rumi Hiraga: Visualisation of Music Performance as an Aid to Listener's Comprehension [13]). Bergstrom využíva na vizualizáciu akordov sieť rovnostranných trojuholníkov, Hiraga používa na zobrazenie tónov stĺpcové grafy, niektorí ďalší autori používajú farebný model na odlíšenie hudobných tónin. My však potrebujeme model, ktorý by čo najlepšie didakticky zobrazil jeden súzvuč.

Klaviatúru by bolo možné použiť, pretože nám zaužívaným spôsobom fixuje výšku tónov. Avšak pre žiakov, ktorí neštudujú klavír, často neposkytuje očakávaný efekt, navyše – istým spôsobom rozdeľuje tóny na 2 skupiny, čo pri našom relatívnom ponímaní výšky tónu nie je dobré (súzvuč v inej výške má inú, „deformovanú“ podobu).

Notovú osnovu poznajú všetci, ale vizuálne nám neposkytuje veľké možnosti a efekt by sa mohol stratiť. A tiež nechceme, aby bol súzvuč vizualizáciou úplne „prezradený“ (a pohľad do nôt alebo na klavír sa pri tréningu SA ráta ako prezradenie). Preto navrhujeme vlastný model.

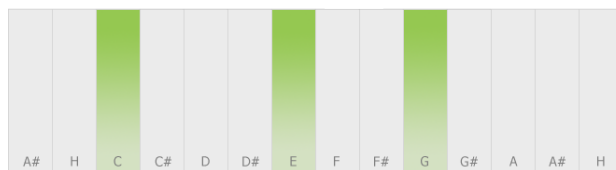
5.1.3 Návrh grafického znázornenia tónov

Rozložme klaviatúru na rovnako veľké, obdĺžnikové klávesy, podľa obrázku 7. Dostávame jednoduchý model, ktorý splní účel – akordy sa zmenou výšky nedeformujú a máme dostatok miesta na zobrazenie vzťahov.



Obrázok 7: Vytvorenie modelu tónov

Vyfarbením tónov dostávame grafické znázornenie súzvuku. Na príklade 8 máme durový kvintakord. Jeho tóny sú zafarbené nazeleno, pretože ich súzvuk má durový charakter.



Obrázok 8: Durový kvintakord

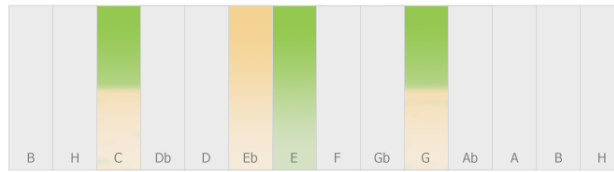
Pridaním malej tercie do durového kvintakordu vzniká súzvuk, na ktorom možno sluchom spozorovať durový aj molový charakter. Navrstvením farieb nad seba dostávame znázornenie súzvuku, ako na obrázku 9.

V skutočnosti nám ale na súzvuku pribudol ďalší charakter – prudko disonantný, kvôli malej sekunde uprostred. Správna vizualizácia súzvuku by teda po zmiešaní farieb mohla vyzeráť, ako na obrázku 10.⁴⁷

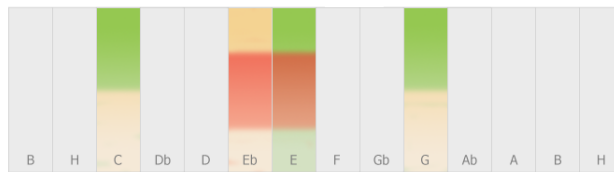
Ak sa súzvuk môže rozvieť, jeho rozvodné tóny zobrazíme žltou farbou. Na ich odlíšenie od reálne znejúcich tónov môžeme využiť menšie zafarbenie, ako na obrázku 11.⁴⁸

⁴⁷Disonanciu sme umiestnili do stredu, aby sa všetky farby zobrazili pokiaľ možno aj hore aj dole

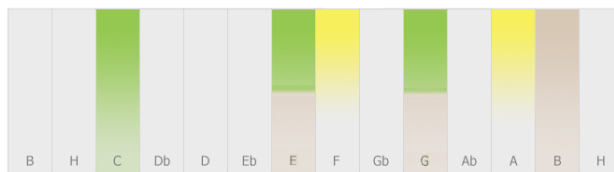
⁴⁸Správne rozvedenie basu by malo byť do tónu *F*, ktorý nie je na ukážke. Na obrázku si tiež môžeme všimnúť, že dominantný septakord je kombináciou durového a zmenšeného kvintakordu



Obrázok 9: Kombinácia durového a molového kvintakordu



Obrázok 10: Kombinácia durového a molového kvintakordu – všetky vzťahy



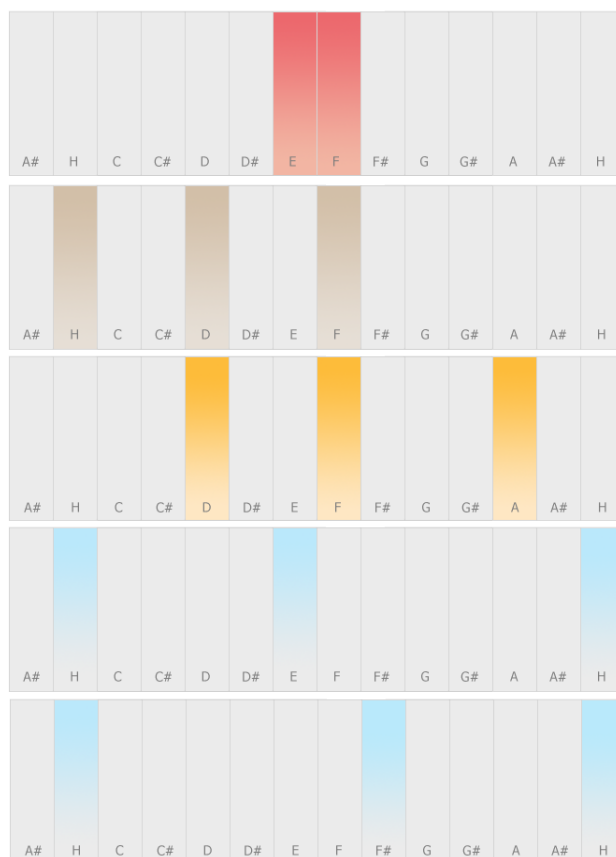
Obrázok 11: Rozvedenie dominantného septakordu

5.2 Varianty modelu

Navrstvenie farieb môže dať dobrú predstavu o viacerých vzťahoch v súzvuku, ale pokiaľ je vzťahov príliš veľa, vrstvy budú až príliš na husto a efekt sa môže stratiť. Komplikovanejší príklad súzvuku uvádzame na obrázku 12. Tu sme radšej zvolili rozdelenie na viacero klaviatúr.

Na základe tohoto pozorovania môžeme navrhnúť dve riešenia – varianty modelu:

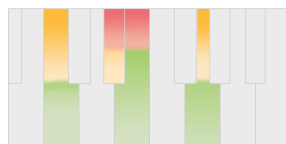
- Okrem modelu, kde sa farby navrstvia na seba, by bola v aplikácii aj možnosť rozložiť ho na viacero klaviatúr ako na obrázku 12
- Postupné zobrazovanie vzťahov: Pri tomto návrhu stačí používať len jednu klaviatúru a plochu tónov nemusíme rozdeľovať. Využijeme totiž ďalší rozmer: čas. Pri znení súzvuku sa najprv zobrazia jeho ostré disonantné charakteristiky (pretože tie si sluchom všimneme na prvom mieste), ktoré následne ustúpia menej disonantným (na druhom mieste by mohli byť zmenšené alebo zväčšené, napokon prevládnu konsonantné). Na uvedenom rozložení vzťahov z obrázku 12 je vybrané vhodné poradie: najprv disonancia malej sekundy, potom zmenšený kvintakord, a na záver konsonantné vzťahy. Posledné budú zobrazené prípadné rozvodné tóny.



Obrázok 12: Rozloženie vzťahov na vrstvy

Pozn. Obidve varianty ešte môžeme zjednodušiť: Spojiť do rovnakej fázy (vrstvy) disonantné a konsonantné vzťahy. Zmenší sa tým počet fáz (teda napríklad na obrázku by sme zlúčili prvé dve a posledné tri vrstvy).

Takýto model už spĺňa stanovené požiadavky. Na záver ukážme ešte variant, ktorý by bol vhodným doplnením: možnosť farebne zobrazit' vzťahy aj na klaviatúre (obrázok 13, zodpovedá obrázku 9 z nášho modelu).



Obrázok 13: Vizualizácia na klaviatúre

5.3 Poznámky k implementácii

Algoritmy na zistenie vzťahov (disonancia, konsonancia, ...) medzi tónmi súzvuku sme nezahrnuli do modelu HT v 3. kapitole (keďže vizualizácia pre nás predstavuje nádstavbu).

Stručný popis: Najvhodnejšou možnosťou je uloženie *vzoriek vzťahov (patterns)* do tabuľky v podobe intervalov (napr. disonancia: 1, durový: 4,7 a pod.), pričom každý súzvuk by v svojej vnútornej reprezentácii vyhl'adával tieto vzorky (každú vzorku z tabuľky by sa pokúsil nájsť – začal by disonantnými – a ak by ju našiel, pridal by nájdené tóny do zoznamu vzťahov na zobrazenie vo vizualizácii. Výsledná vizualizácia by vznikla zložením týchto vzťahov).

Nájdenie rozvodných tónov na zobrazenie vo vizualizácii je popísané v 3. kapitole.

6 Didaktický rozbor aplikácie

V tejto kapitole si predstavíme vytvorenú aplikáciu a vysvetlíme, *ako* pomáha žiakom zlepšiť svoje sluchové schopnosti.

6.1 Popis aplikácie

SLUCHANAL

verzia:	1.0
copyright:	2010 Ladislav Maršík, FMFI UK
typ aplikácie:	Java archive (JAR)
platformy:	Linux, Windows, Mac OS, dostupná aj ako web-aplikácia
obmedzenia:	potrebná verzia Java Runtime Environment: 6 alebo vyššie
dokumentácia:	súčasťou práce alebo http://www.riesky.sk/~laco/web/sluchanal

6.2 Priebeh výuky

Žiak zadá svoje meno. Pod týmto menom bude v programe vedená jeho výuka.

Na začiatku má žiak pri svojom mene má žiak uvedené: *úroveň 1*. Neskôr má možnosť si úroveň zlepšiť. Toto jednoduché rozloženie výuky na úrovne má žiaka motivovať k práci (počet úrovní je neobmedzený).

Na to, aby žiak zvýšil svoju úroveň, musí zložiť skúšku. Na tú sa ale musí najskôr pripraviť. Preto výber žiaka pri vstupe do programu pozostáva z výberu úrovne, a pri každej úrovni z varianty: *Nácvik* alebo *Skúška*.

Nácvik Žiak sa dostane do štandardného nácvikového okna, kde sú jeho hlavné voľby: **Zahraj**, **Analyzuj** (počítač analyzuje súzvuk namiesto žiaka), **Ďalej/Späť** (vymení súzvuk, možnosť vrátiť sa naspäť), **Návod** (žiak dostane nápovedu), **Potvrdenie** a **Čiastočné potvrdenie** odpovede (žiak zadá svoju finálnu odpoveď, alebo sa pýta, či jeho čiastočne zadaná odpoveď je správna⁴⁹), **Nastavenia**.

Možnosti návodov, o ktoré žiak môže požiadať:

- **Zvýraznenie** – zvýrazní niektorú súčasť súzvuku (buď rozsah, alebo to, čo žiak ešte na súzvuku neuhádol)

⁴⁹Čiastkové odpovede môžu vyzerat' napr. takto: Žiak najskôr háda rozsah: *m7*, potvrdí čiastkovú odpoveď, ďalej pridá odhad zvyšnej štruktúry: *v3,č5*, potvrdí čiastkovú odpoveď, napokon, pokiaľ má čiastkové odpovede správne, zmení svoju odpoveď na *D7* a zvolí finálnu odpoveď.

- Vizualizácia (nie je obsiahnuté vo verzii 1.0) – ukáže žiakovi vizualizáciu súzvuku
- Rozvedenie (nie je obsiahnuté vo verzii 1.0) – zahrá žiakovi rozvedenie súzvuku
- Mnemotechnická pomôcka (iba pre intervaly) – zahrá žiakovi MIDI skladbu, ktorá začína daným súzvukom

Spätná väzba na odpoveď:

- Vyhodnotenie správnosti čiastkových odpovedí (napr. ak žiak hádal: $v2,č5,m7$ a uhádol len rozsah: $m7$)
- Vyhodnotenie správnosti celej odpovede (správne/nesprávne)
- Pokiaľ je finálna odpoveď správna, ale je vhodnejší iný názov (napr. namiesto $d - c - m7$ radšej $D7$), žiak je upozornený na možnosť lepšieho názvu
- Žiak môže dostať aj ďalšiu spätnú väzbu, ako čas uhádnutia a úspešnosť uhádnutia

Skúška Ak sa žiak cíti byť vycvičený, môže vyskúšať skúšku na danú úroveň. Skúška pozostáva z:

- 10 príkladov
- návody nie sú povolené
- všetky odpovede musia byť správne
- čiastkové odpovede sú povolené, ale musia byť všetky správne
- limit na odpoveď 30 sekúnd

Po úspešnom zložení skúšky žiak dostáva ďalšiu úroveň⁵⁰.

Úrovne Jednotlivé úrovne sú hierarchicky usporiadané tak, aby pokrývali učivo SA (analýza súzvukov) na úrovni Konzervatórií pre žiakov skladby a dirigovania [6], podľa modelu:

- 1.úroveň = 1.ročník
- 2.úroveň = 2.ročník
3. a 4. úroveň = 3.ročník
5. a vyššia úroveň = 4.ročník

Keďže generovanie príkladov na jednotlivé úrovne je automatické, výška úrovne je teoreticky neobmedzená (od 6. úrovne sa príklady generujú spôsobom: náhodných 6 tónov).

⁵⁰Skúška je stanovená veľmi prísne, čo žiakov môže motivovať k výcviku, ale aj preto, lebo presný sluch vyžaduje žiakové presné odpovede

6.3 Implementácia funkcionality výuky

Príklady na výcvik a skúšky jednotlivých úrovní generuje generátor, ktorý z vymedzenej množiny príkladov vygeneruje náhodný súzvuk v náhodnej výške. Generátor si pamätá 2 posledné príklady, aby vygeneroval určite nový súzvuk. Vďaka tomu je užívateľovi navyše umožnený návrat na predošlé 2 príklady v prípade, že by si ich chcel znovu vypočítať.

Aplikácia si zároveň počas behu pamätá, ktoré čiastkové vstupy od používateľa boli správne, aby mu mohla dať správny zvukový návod na tie intervaly, ktoré ešte neuhádol.

6.4 Nasadenie v praxi a prieskum

Aplikácia SLUCHANAL bude v budúcnosti testovaná žiakmi Konzervatória v Bratislave, v odboroch: skladba a dirigovanie. Účelom testovania bude doladenie aplikácie podľa predstáv žiakov, aby mohla byť používaná ako doplnok k vyučovaniu na Konzervatóriu.

Prezentácia výsledkov tohoto testovania bude súčasťou obhajoby tejto práce. Žiaci budú môcť ohodnotiť aplikáciu, jej pomoc pri výuke a poskytnúť spätnú väzbu na jej vývoji.

Spolu s testovaním sa tiež spraví krátky **prieskum** o rôznych súzvukoch z hľadísk:

1. Náročnosti analýzy (počet správnych a nesprávnych analýz súzvuku, čas analýzy súzvuku)
2. Charakteristiky súzvuku (každý hudobník môže mať iný názor na to, ako naňho daný súzvuk pôsobí – prieskum bude mať za cieľ zhrnúť tieto názory a vyvodit' z toho prípadné závery)

Cieľom krátkeho prieskumu je nasmerovať využitie aplikácie aj iným smerom, ako je výuka SA. V prípade úspechu sa prieskum môže zopakovať vo väčších rozmeroch a výsledky z neho by mohli mať lepšie využitie (napr. pri didaktike výuky SA alebo iných vedných odboroch).

7 Závěry a možné rozšíření

Práce si kládla za cieľ vytvoriť aplikáciu na tréning sluchovej analýzy. Vzhľadom k tomu, že základná verzia aplikácie bola úspešne implementovaná, cieľ môžeme pokladať za úspešne splnený. Neoddeliteľnou súčasťou práce však bolo aj uvedenie čitateľa do problematiky, zhodnotenie súčasnej situácie SA a ďalšie prínosy práce. To sme dosiahli v jednotlivých kapitolách.

V úvode sme vysvetlili pojem sluchovej analýzy (SA) a objasnili sme čitateľovi potenciálny prínos práce ako aj s hlavnou motiváciou k jej vzniku. V druhej kapitole sme vybudovali aparát pojmov hudobnej teórie, potrebný na to, aby bola zvyšná časť práce správne interpretovaná. V tretej kapitole sme spomenuli a zhodnotili práce podobného charakteru, a už tam sme nastolili, že práca sa uberá dvoma smermi – infromatickým a didaktickým. Z didaktickej stránky boli spomenuté hlavné metódy tréningu SA, a aj v zbytku práce nezabúdame na to, čo je hlavným poslaním práce – pomôcť žiakom v štúdiu. V sekcii *Počítačové aplikácie na tréning SA* sumarizujeme, čo všetko už k danej téme vzniklo v oblasti počítačových aplikácií, hlavné výhody a nevýhody riešení, a tým jasne stanovujeme požiadavky na našu aplikáciu. Štvrtá kapitola je ťažiskom práce a venuje sa vytvoreniu modelu hudobnej teórie, potrebného na chod aplikácie. Sú spomenuté všetky zaujímavé problémy implementácie aj s konkrétnym návrhom tried. Problematiku čitateľovi prednášame postupne a snažíme sa, aby porozumel zvoleným riešeniam a tým dokumentujeme ich opodstatnenie. Piata kapitola predstavuje nový model vizualizácie súzvukov, ktorý žiakom môže pomôcť s analýzou a mohol by byť vhodnou nádstavbou k našej aplikácii. Napokon šiesta kapitola čitateľovi predstavuje implementovanú aplikáciu a popisuje, akým spôsobom sa venuje výuke žiakov.

Prínos práce pozostáva z viacerých častí. Jednak je to vytvorenie samotnej aplikácie, ktorá môže do budúcnosti pomáhať študentom, vzhľadom k tomu, že potreba pomoci je veľká, forma samostatného tréningu s využitím počítača je žiadúca, ale jej možnosti dosiaľ kvôli slabej dostupnosti iných aplikácií obmedzené. Práca ale môže poskytnúť aj iné výhody: svojimi prvými kapitolami môže obohatiť aj nezainteresovaných čitateľov o znalosti hudobnej teórie a zainteresovaných čitateľov o nové trendy výuky SA. Tretia kapitola prináša často skloňovaný model HT, ktorý môže byť využitý aj v budúcnosti, pretože poskytuje rozhranie na prácu s hudobnými súzvukmi všeobecne. Zároveň v nej uvádzame systém skratiek, ktorý sa ukazuje byť vhodným na prácu s hudobnou teóriou v slovenskom jazyku na počítači. Napokon prinášame model vizualizácie súzvukov, ktorý môže byť využitý okrem SA aj na iné účely a tiež predstavujeme aplikáciu na tréning SA ako možnosť na spravenie rôznych prieskumov týkajúcich sa hudobnej vedy.

Ďalšie smerovanie práce môže pozostávať z vylepšenia funkcií a dizajnu aplikácie, a hlavne z implementácie modelu vizualizácie. Ako druhú prioritu môžeme dať potrebu zlepšenia zvukovej stránky aplikácie (implementácia Soundfont štandardu). Práca na aplikácii ale bude neskôr závisieť aj od dopytu na aplikáciu v radoch žiakov umeleckých škôl. Autorovou snahou však bude na základe tejto práce zveladiť aplikáciu tak, aby mala v konkurencii stabilné miesto.

Rozšírenia môžu prísť aj v podobe nadstavby na túto prácu v oblasti hudby a hudobnej vedy všeobecne – ako sme spomenuli, implementovaný model HT sa môže využiť na iné účely – spomeňme napríklad rozvádzanie súzvukov a tvorbu hudby, alebo ďalšie práce v oblasti skúma-

nia súzvukov ako takých. Rýchla enumerácia všetkých možných názvov súzvukov môže pomôcť aj v ďalších odvetviach hudobnej náuky. A napokon, prieskumy postavené na našej aplikácii môžu priniesť nové svetlo nielen do oblasti SA.

Hudba a informatika nám napokon poskytuje veľa zaujímavých prienikov, ktoré sú často nepreskúmané a stojí za to sa im venovať. Dôsledkom môže byť obohatenie umenia o nové diela, ale aj vedy o nové poznatky. Touto myšlienkou bola inšpirovaná aj práca, ktorú ste práve dočítali, a dúfame, že k nej tiež prispela svojím podielom.

Referencie

- [1] ZIKA, P. 1981. *Intonácia*. Bratislava: SPN, 1981. ISBN 80-08-01218-8
- [2] POSPÍŠIL, J.. 1985 *Hudobná teória* : pre konzervatóriá. 1.časť. 3.vydanie. Bratislava: SPN, 1985.
- [3] LABORECKÝ, J. 2005. *Hudobný terminologický slovník*. Bratislava: SPN, 2000. ISBN 80-08-01037-1
- [4] ZIKA, P. – KOŘÍNEK, M. 1990. *Tonálna harmónia* : pre 1.-3. ročník konzervatória. Bratislava: SPN, 1990. ISBN 80-08-00648
- [5] VILÁGOŠOVÁ, J. 1990. *Skriptá k dejinám hudby*. 1990. Strojopis.
- [6] TANDLER, J. 2009. *Učebné osnovy* : Sluchová analýza, Konzervatórium v Bratislave, školský rok 2009/2010. 2009. Rukopis.
- [7] SLEZIAK, M. 2007. *Skriptá z algebry*, Bratislava: FMFI UK, 2007. Elektronický dokument.
- [8] TOMITA, M. 1998. *Efficient Parsing for Natural Language: A Fast Algorithm for Practical Systems* Norwell: Kluwer Academic Publishers, 1998. 3rd edition. ISBN 0-89838-202-5
- [9] BENSON, D. J. 2006. *Music: A Mathematical Offering*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 2008-12-14 [cit. 2010-05-28] Dostupné na internete: <<http://www.maths.abdn.ac.uk/~bensondj/html/maths-music.html>> ISBN 0521853877 (hbk) 0521619998 (pbk)
- [10] KRUMHANSL, C. L. 2005. The Geometry of Musical Structure : A Brief Introduction and History. In *ACM Computers in Entertainments*. 2005, Vol. 3, No. 4, Article 3B.
- [11] TOIVIAINEN, P. 2005. Visualising of Tonal Content with Self-Organizing Maps and Self-Similarity Matrices. In *ACM Computers in Entertainment*. 2005, Vol. 4, No. 4, Article 3C.
- [12] SAPP, C. S., 2005. Visual Hierarchical Key Analysis. In *ACM Computers in Entertainments*. 2005, Vol. 4, No. 4, Article 3D.
- [13] HIRAGA, R. – MATSUDA, N. 2004. Visualization of Music Performance as an Aid to Listener's Comprehension. In *AVI'04*. 2004, May 25-28, Gallipoli, Italy.
- [14] BERGSTROM, T. – KARAHALIOS, K. – HART, J. C. 2007. Isochords : Visualizing Structure in Music. In *Graphics Interface Conference 2007*. 2007, 28-30 May, Montreal, Canada.
- [15] PILLAY, A. 2007. *Object Oriented Programming using Java*. [PDF] Durban: School of Computer Science, University of KwaZulu-Natal, 2007. [cit. 2010-06-01] Dostupné na internete: <math.hws.edu/eck/cs124/downloads/OOP2_from_Univ_KwaZulu-Natal.pdf>

- [16] MARTIN, C. R. *Design Principles and Design Patterns* [PDF] 2000. Dostupné na internete: <www.objectmentor.com/resources/articles/Principles_and_Patterns.pdf>
- [17] VAZIRANI, U. V. *Algorithms: Divide and Conquer algorithm*. [PDF] 2006. Dostupné na internete: <<http://www.cs.berkeley.edu/~vazirani/algorithms/chap2.pdf>>
- [18] ECKEL, B. *Thinking in Java*. [PDF] 2001. 3rd edition. Dostupné na internete: <<http://www.mindview.net/Books/TIJ/>>
- [19] FIORE, T. M. 2009. Music and Mathematics. In *Chicago REU Lectures*. [PDF] 2009. [cit. 2010-05-28] Dostupné na internete: <<http://www.math.uchicago.edu/~fiore/1/music.html>>
- [20] BHATIA, S. K. *Regular Expressions*. [PDF] 2007. Dostupné na internete: <www.cs.umsl.edu/~sanjiv/classes/cs2750/regex.pdf>
- [21] SoundFont Technical Specification [PDF] 1998. version 2.01. Dostupné na internete: <connect.creativelabs.com/developer/SoundFont/sfspec21.pdf>
- [22] Standard MIDI-File Format Spec.1.1 [PDF] Los Angeles: The International MIDI Association. version 1.1. Dostupné na internete: <duskblue.org/proj/toymidi/midiformat.pdf>
- [23] HashMap specification [online] Sun Java documentation. Dostupné na internete: <<http://java.sun.com/j2se/1.4.2/docs/api/java/util/HashMap.html>>
- [24] TERHARDT, E. 2000. Absolute pitch. In *Perception of Musical Sound*. [online] 2000. [cit. 2010-05-28] Dostupné na internete: <<http://www.mmk.ei.tum.de/persons/ter.html>>
- [25] ENGLISH, G. 2010. *Absolute Pitch Power*. [online] 2010. [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.absolutepitchpower.com>>
- [26] BURGE, D. L., 2010. *Perfect Pitch Ear Training* [online] 2010. [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.discount-offer.perfectpitch.com>>
- [27] Synthesizing sound. In *The Java Tutorials*. [online] [cit. 2010-06-01] Dostupné na internete: <<http://java.sun.com/docs/books/tutorial/sound/MIDI-synth.html>>
- [28] Understanding and using Java MIDI audio. In *IBM DeveloperToolbox Technical Magazine* [online] 1-8-2001. Dostupné na internete: <<http://www.ibm.com/developerworks/library/it/it-0801art38>>
- [29] *Wikipédia, slobodná encyklopédia*. [online] [cit. 2010-05-20, 2010-05-25] Dostupné na internete: <<http://www.wikipedia.com>>
- [30] MIDI Devices. In *The Pitch Bend Archive* [online] 2005-02-14. Dostupné na internete: <<http://tonalsoft.com/pub/pitch-bend/pitch.2005-02-14.17-00.aspx>>
- [31] MacGAMUT 6. By *MacGAMUT Music Software International* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.macgamut.com>>

- [32] Auralia 4. By *Rising Software* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.risingsoftware.com>>
- [33] EarMaster 5. By *EarMaster ApS* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.earmaster.com/>>
- [34] Practica Musica. By *Ars Nova* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.ars-nova.com/aboutpm5/index.html>>
- [35] Ear Power. By *Ear Training Institute* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.earpower.com>>
- [36] Ear Training 1.3. By *Treblis Software* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <http://www.treblis.com/ear_training.htm>
- [37] Dolce Ear Training. By *Fast Rabbit Software* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://fastrabbitsoftware.com/eartraining.htm>>
- [38] Absolute Pitch. By *Silvawood Software* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.silvawood.co.uk/pitch-intro.htm>>
- [39] GNU Solfege. By *Tom Amundsen* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.solfege.org>>
- [40] Aquallegro. By *Andy van Ness* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://andyvn.ath.cx/aquallegro>>
- [41] Melody Mate (Pocket PC). By *Rick Winscot* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.hitsquad.com/smm/programs/MelodyMate>>
- [42] Functional Ear Trainer. By *Alain Benbassat* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.miles.be/fet.html>>
- [43] Free Online Ear Training. By *JimmyRuska.com* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.trainear.com>>
- [44] Ear trining tool : version 2.0. By *Charlie Parker* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <http://www.iwasdoingallright.com/tools/v2_24/ear_training.aspx>
- [45] Ear Trainer. By *Good-ear* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.good-ear.com>>
- [46] Ear Trainers. From *Ricci Adams' Musictheory.net* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.musictheory.net>>
- [47] Big Ears. By *Michael Ossmann* [online] [cit. 2010-05-27] Dostupné na internete: <<http://www.ossmann.com/bigears>>