

UNIVERZITA PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA V KOŠICIACH  
PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA

HLADANIE PODOBNOSTÍ V MELÓDIÁCH ĽUDOVÝCH  
PIESNÍ

Diplomová práca

2020

Bc. Michal Mižák

UNIVERZITA PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA V KOŠICIACH  
PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA

HĽADANIE PODOBNOSTÍ V MELÓDIÁCH ĽUDOVÝCH  
PIESNÍ

Diplomová práca

Študijný program:	Informatika
Študijný odbor:	9.2.1. Informatika
Školiace pracovisko:	Ústav informatiky
Vedúci práce:	doc. RNDr. Stanislav Krajčí, PhD.

Košice 2020

Bc. Michal Mižák

## Podakovanie

-

## Abstrakt

Tento článok sa zaoberá základnou ideou, postupmi a algoritmami diplomovej práce *Hľadanie podobností v melódiách ľudových piesní*. Postupne popisujeme potrebné teoretické základy z muzikologickej a etnomuzikologickej vednej oblasti, ktorá s touto prácou úzko súvisí. Ďalej tieto postupy skúmame na základe poznatkov z dvoch vedeckých oblastí: Získavanie hudobných informácií (*Music information retrieval*) a Výskum folklórnych piesní (*Folk song research*). Popisujeme a snažíme sa nájsť prístup, ktorým môžeme tieto metódy čo najlepšie uspôsobiť na porovnávanie slovenských ľudových piesní. Práca nadväzuje na bakalársku prácu Michala Mižáka *Hľadanie podobností v textoch ľudových piesní*

**Poznámka:** Zvolili sme tento formát článku len kvôli šablóne, ktorú sme použili aj v bakalárskej práci. Tento článok je pracovná verzia práce a preto sa abstrakt bude určite meniť. V článku teda nebude ani poďakovanie, ani anglický abstrakt.

**Kľúčové slová:** *folklór, piesne, porovnávanie melódií, hľadanie podobností, model vektorového priestoru, konfigurácia algoritmu, rodiny melódií.*

## Abstract

-

Keywords: -.

# Obsah

Úvod	7
<b>1 Úvod do nutnej hudobnej teórie</b>	<b>9</b>
1.1 Krátke zhrnutie hudobných pojmov . . . . .	9
1.2 Úvod do temperovaného ladenia . . . . .	10
1.3 Stupnice . . . . .	11
1.4 Tónina a modulácia . . . . .	12
<b>2 Ilustračný príklad, databáza a technológie</b>	<b>15</b>
<b>3 Technológie a databáza</b>	<b>17</b>
3.1 Programovací jazyk . . . . .	17
3.1.1 Ďalšie technológie . . . . .	17
3.2 Databáza . . . . .	18
3.3 Formát MusicXML . . . . .	19
3.3.1 Deserializácia <code>.xml</code> súborov . . . . .	19
<b>4 Existujúce riešenia</b>	<b>25</b>
4.1 Slovenský výskum . . . . .	25
4.1.1 Výskumy s využitím výpočtovej sily . . . . .	25
4.1.2 Výskumy týkajúce sa syntetickej analýzy slovenských ľudových piesní . . . . .	28
4.1.3 Zahraníčny výskum . . . . .	29
<b>5 Návrh riešenia</b>	<b>33</b>
5.1 Varianty fráz . . . . .	33
5.1.1 Analytický prístup . . . . .	34
<b>6 Prototyp algoritmu</b>	<b>37</b>
6.1 Výsledky prvého behu algoritmu . . . . .	37



# Úvod

Podobne, ako pri bakalárskej práci *Hľadanie podobností v textoch ľudových piesní*, bola inšpiráciou pre túto prácu hudba a folklór. Pri vypracovávaní bakalárskej práce sme si uvedomili, že prístup, ktorý sme navrhli na porovnávanie textov je navrhnutý veľmi vhodne a to v tom zmysle, že jeho veľká časť sa dá využiť pri porovnávaní rôznych iných objektov. Po zvážení sme sa zhodli, že najzaujímavejšia bola pre nás myšlienka porovnávania melódií piesní.

Slovensko je krajina bohatá na mnoho vecí a jednou z jej najväčších pokladov je jej folklór. Slováci sú veselý národ a prácu, oslavy a zábavu v minulosti vždy doprevádzal spev, hudba a radosť z maličkostí. Piesne sa tradovali z pokolenia na pokolenie, od spevákov k spevákom a od muzikantov k muzikantom. Neskôr prišiel čas, kedy piesne začali byť aj zapisované do zbierok odborníkmi a študovanými umelcami z rôznych kútov Európy. Rovnako, ako sa zapisoval text, tak sa zapisovala aj melódia.

Teraz nastal čas digitalizácie týchto zápisov a úlohou vedcov, ako my, je tieto digitalizované dáta analyzovať a skúmať. Je známe, že piesne prešli svojím historickým vývojom, čo malo za výsledok ich textovú, ale aj melodickú modifikáciu. Zaoberať sa budeme práve melodickou modifikáciou.

Povedať, či pri dvoch rôznych melódiách ide o variant jednej piesne je netriviálna úloha a často sa na nej nezhodujú ani odborníci v muzikovedných oblastiach. V mnohých prípadoch sa to však dá presne algoritmicke popísať a práve to bude naším cieľom. Rozhodli sme sa preto porovnávať symbolické monofónické zápisy ľudových piesní a pre každú dvojicu piesní vytvoriť tabuľku, ktorá bude do hĺbky popisovať ich podobnosť na základe ich viacerých vlastností, ktoré budeme starostlivo vyberať. Každú vlastnosť bude skúmať rôzna konfigurácia algoritmu. Túto tabuľku neskôr vyhodnotíme a na základe nej sa pokúsime rozhodnúť, či tieto piesne pochádzajú z jednej melodickéj rodiny - skupiny zápisov piesní, ktoré si sú navzájom variantmi.

Pri zaznamenávaní piesní dochádzalo k mnohým nepresnostiam, ktoré často vedia odhaliť len odborne študovaní vedci. Tieto nepresnosti spočívajú v tom, že interpreti piesne často nespievali správne alebo zapisovatelia ich mohli nepresne zaznamenať. Naším sekundárnym cieľom je tieto nepresnosti identifikovať tak, že pri zhode, resp.



podobnosti, dvoch piesní, budeme vedieť určiť, ktorý zo zápisov je korektný a ktorý nie je.

Absolútnym cieľom práce je vybudovať systém, ktorý čo najpresnejšie porovná dve melódie tak, aby jeho výsledky čo najviac korešpondovali s názormi odborných etnomuzikológov. Výsledkom má byť graf príslušnosti piesní do melodických rodín.

# 1 Úvod do nutnej hudobnej teórie

## 1.1 Krátke zhrnutie hudobných pojmov

Definície pojmov sú značne zjednodušené pre naše potreby.

### Tón

Tón je zvuk istej výšky (angl. *pitch*). Výška tónu sa meria v HZ a je priamo úmerná jeho kmitočtu. Jednoduchšie si pod vysokým (hovorovo tenkým) tónom vieme predstaviť napríklad štrngnutie vínových pohárov, piskot hlodavcov alebo detský hlas. Naopak, nízky (hovorovo hlboký) tón je napríklad trúbenie lode alebo zvuk tympánu.

### Doba

Doba je základný pravidelný pulz skladby. Najjednoduchšie si dobu vieme predstaviť pri pravidelnom pohybe pri počúvaní chytľavej piesne, napríklad pri klopkaní nohou – jedna doba je rozdiel medzi jednotlivými klopkaniami. V rámci jednej hudobnej skladby sa trvanie jednej doby môže meniť pri zrýchľovaní alebo spomaľovaní tempa skladby a to tak, že pri rýchlejšom tempe jedna doba trvá kratšie, pri pomalom dlhšie.

### Takt

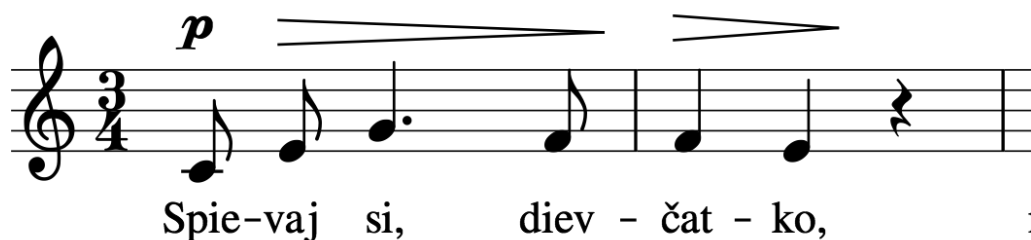
Takt je časový úsek, ktorý korešponduje dopredu špecifikovanému počtu dôb. Pre jednoduchosť si takt vieme predstaviť tak, že hudobnú skladbu rozdelíme na niekoľko rovnako dlhých častí (vzhľadom na počet dôb) a takt je práve jedna z týchto častí. Počas skladby sa môže zmeniť počet dôb v takte, tento jav, aj keď je síce zriedkavý, sa vyskytuje aj v ľudovej piesni. Predstaviť si to vieme ako pieseň, kde sa sloha spieva ako valčík a druhá polovica ako polka.

### Melódia

Melódia je sekvencia za sebou idúcich tónov a prestávok rôznej dĺžky. Každá pieseň má svoju melódiu.

## Rytmus

Etymológia slova rytmus pochádza z gréckeho slova *rhythmos*, ktoré znamená plynutie a je odvodené od slova *rhein*, čo znamená plynúť, tiecť. Pre naše potreby budeme slovo rytmus používať zjednodušene, a to na popísanie rytmu melódie - sekvencie dĺžok tónov (počet dôb v reálnych číslach) a prestávok.



Obr. 1: Útržok piesne

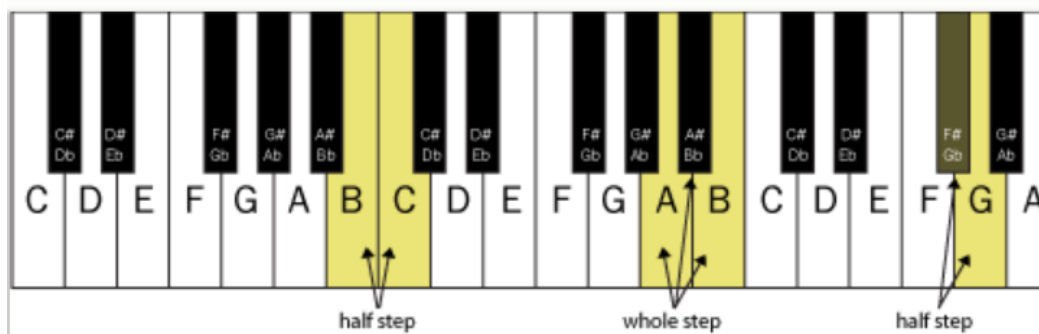
Na príklade vyššie si vieme pozrieť útržok ľudovej piesne „Spievaj si, dievčatko“. Jednotlivé *tóny* sú graficky reprezentované notami<sup>1</sup>. Rôzny tvar nôt reprezentuje ich dĺžku a to, ako je nota vrámci notovej osnovy vysoko (na ktorej, resp. medzi ktorými čiarami sa nachádza) ukazuje výšku tónu. Melódia je sekvencia týchto nôt, v našom prípade fráza *Spie-vaj-si-diev-čat-ko* má každú slabiku zaspievanú rôzne vysoko, až na dve slabiky *diev-čat*, ktoré sú rôzne len dĺžkou – rytmicky, výška tónu je rovnaká. *Rytmus melódie* je sekvencia dĺžok týchto nôt korešpondujúcim jednotlivým slabikám. Prvý *takt* je zľava ohraničený zaznačením trojštvrťového taktu a končí prvou vertikálnou čiarou. Druhý takt je oddelený dvomi vertikálnymi čiarami.

## 1.2 Úvod do temperovaného ladenia

V hudobnej teórii nazývame stupnicou ľubovoľnú množinu nôt zoradených podľa ich výšky. Je dôležité povedať, že v rôznych pre nás exotických ladeniach tomu môže byť inak, ale v tradičnom ladení, ktoré je v západných krajinách najrozšírenejšie, existuje 12 rôznych tónov, ktoré sa cyklicky opakujú. Máme fundamentálnych (undamentálne sú len vďaka ich jednoduchšiemu názvu, inak si sú všetky tóny rovnocenné) 7 tónov. Jednoducho sa to dá vysvetliť ako biele klávesy na klavíri: *C, D, E, F, G, A, H*. Anglicky sa tón H nazýva B. Spomíname to preto, pretože potom sa na tieto názvy dá pozrieť ako cyklické posunutie prvých 7 písmen abecedy. Podľa názvov, ktoré sa

<sup>1</sup>Aj keď sa snažíme text formulovať čo-hudobne najjednoduchšie, kvôli lepšiemu porozumeniu práce odporúčame predtým, ako budete pokračovať, naučiť sa základy čítania nôt z notovej osnovy.

používajú na slovensku, prípona *-is* naznačuje zvýšenie o poltón a prípona *-es* zníženie o poltón. Poltón v tomto ladení znamená najnižšiu možnú vzdialenosť medzi dvoma tónmi. Graficky si poltón vieme načrtnúť pomocou klaviatúry<sup>2</sup>:



Obr. 2: Klaviatúra

Na obrázku vidíme časť klaviatúry na ktorej sú žltou farbou označené poltóny, alebo anglicky *half step* = polovičný krok. Je vidieť, že poltón sa nachádza medzi každou dvojicou susedných klávesov. Dva biele (resp. podľa obrázku aj žlté) klávesy v tomto prípade nazveme susedné len vtedy, keď medzi nimi nie je čierny kláves. V konečnom dôsledku existuje 12 tónov, na obrázku je zaužívané anglické názvoslovie, podľa slovenskej nomenklatúry to je konkrétne: *C, Cis, D, Dis, E, F, Fis, G, Gis, A, Ais, H*. Všetky zvýšené tóny s príponou *-is* by sme vedeli pomenovať podobným spôsobom pomocou znižovania pomocou *-es*, napríklad *Cis* je to isté, ako *Des* a podobne. V prípade *F* to je zaujímavejšie, pretože *F* je to isté ako *Eis*, keďže *E* a *F* sú od seba vzdialené len poltón.

## 1.3 Stupnice

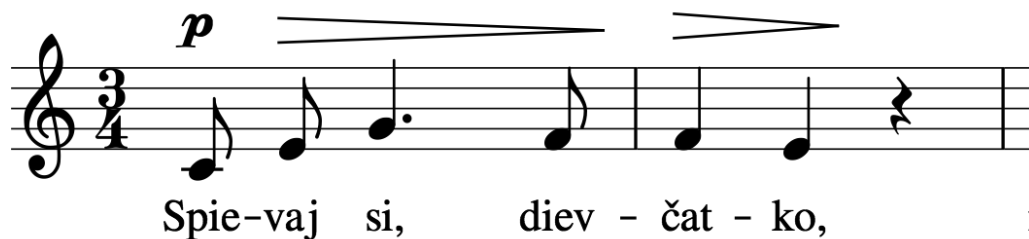
Najpodstatnejšie je sa dostať sa k najdôležitejšiemu, a to k tomu, čo je to stupnica. Túto vetu do diplomovky samozrejme pozmením, ale musel som to tu nechať pre tú srandu, pretože evidentne v noci, keď som to písal, som sa na chvíľu stal kapitánom. Stupnica je ľubovoľná množina nôt zoradených podľa svojej výšky. Teraz vieme, že tieto noty reprezentujú tóny z našej množiny 12 tónov a teda ľubovoľná usporiadaná podmnožina tejto množiny je stupnica. Najčastejšie sa budeme stretávať s durovými stupnicami. Napríklad jedna z najbežnejších durových stupníc je *C dur*: *C, D, E, F, G, A, H*. Ďalej stupnica pokračuje cyklicky, znova od *C*. Keď sa znova pozrieme na predošlý obrázok, tak uvidíme, že medzi *C* a *D* sú 2 poltóny, medzi *D* a *E* tiež, medzi

<sup>2</sup>Zdroj obrázku: [http://musictheoryfundamentals.com/MusicTheory/intervals\\_part1.php](http://musictheoryfundamentals.com/MusicTheory/intervals_part1.php)

E a F jeden atď. Dá nám to sekvenciu intervalových skokov 2-2-1-2-2-2-1, pomocou ktorej sa dostaneme od tónu C späť na tón C, len o oktávu vyššie. Keď začneme od tónu D namiesto tónu C, tak dostaneme D dur: *D, E, Fis, G, A, H, Cis* a znova *D*. Je vidieť, že táto sekvencia intervalových skokov ostala rovnaká. Molová a durová sekvencia intervalových skokov sú len navzájom cyklicky posunuté postupnosti, pretože ak z durovej sekvencie vezmeme **2** a **1** z konca a „nalepíme“ ich na začiatok, dostaneme zo sekvencie 2-2-1-2-2-**2-1** sekvenciu **2-1**-2-2-1-2-2. Takto vieme pomocou 7 rôznych cyklických posunutí jednej intervalovej sekvencie dostať 7 rôznych stupníc, nazývaných práve módmi. Zo všetkých módov (jónsky, dórsky, frygický, lydický, mixolydický, aiolský a lokrický) je azda najčastejším mód lydický, ale časté sú aj dórsky a mixolydický. Každý z týchto názvov reprezentuje cyklické posunutie sekvencie intervalových skokov durovej stupnice a týmto ak zanedbáme posunutie o oktávu, tak všetky módy vieme vyskladať z jednej množiny 7 tónov. Napríklad zo stupnice *C* dur vieme vytvoriť lydický mód tak, že vezmeme prvé 3 tóny z *C* dur a „nalepíme“ ich na koniec postupnosti (a posunieme o oktávu vyššie) nasledovne: ***C, D, E, F, G, A, H*** zmeníme na *F, G, A, H, C, D, E*. Takýchto množín je dohromady 12 kvôli tomu, že naše ladenie má práve 12 tónov a z toho 12 rôznych durových stupníc. Poznáme mnoho ďalších tónových štruktúr (napr. v archaickejších piesňach veľmi časté tónové rady), kvôli jednoduchosti ich však spomínať v texte nebudeme.

## 1.4 Tónina a modulácia

Tónina pomenúva vzťah tónov hudobnej skladby k určitej stupnici. Ak sa v skladbe vyskytujú najmä tóny zo stupnice *G* dur, v kontexte danej skladby správnejšie hovoríme o tónine, nie o stupnici *G* dur (aj keď hovorovo tieto dva pojmy splývajú). Tento pojem potrebujeme kvôli javu, ktorý sa nazýva *modulácia piesní*. Už sme hovorili o tom, že pomocou intervalovej sekvencie vieme vybudovať rôzne stupnice na základe toho, od akého tónu začneme. Ak sa pozrieme na stupnicu *D* dur a na stupnicu *C* dur, je vidieť, že keď všetky tóny z *D* dur znížime o 2 poltóny, dostaneme *C* dur. Je to prirodzené, pretože na vytvorenie oboch stupníc sme použili rovnakú intervalovú sekvenciu, ale rôzne počiatkové tóny, ktoré sú vzdialené práve o 2 poltóny. Posúvanie sekvencií tónov alebo, kompaktnejšie povedané, melódií, o fixný počet poltónov nahor alebo nadol nazývame *modulácia*. Je vidieť, že hovoríme o operácii, ktorú vieme aplikovať na ľubovoľnú melódiu.



Obr. 3: Útržok piesne

Pozrime sa znova na pieseň *Spievaj si, dievčatko*. Je vidieť, že melódia sa skladá z nôt, ktoré postupne reprezentujú tóny *C, E, G, F, F, E*. Intervalová sekvencia tejto melódie je už ťažšie popísateľná, pretože vrámci melódie sa aj klesá. Zavedieme teda notáciu  $+i$  a  $-i$ , kde  $i$  je prirodzené číslo a  $+$  naznačuje stúpanie o  $i$  poltónov,  $-$  klesanie. Z tejto piesne dostaneme teda  $+4+3-2+0-1$ . Touto notáciou dokážeme reprezentovať *relatívne vzťahy tónov*. To znamená, že ak ako počiatkový tón zvolíme iný tón, napríklad tón *D*, dostaneme melódiu *D, Fis, A, G, G, Fis*, o ktorej hovoríme, že je *zmodulovaná* o 2 poltóny (alebo 1 celý tón) vyššie od pôvodnej. Táto melódia bežnému uchu znie rovnako a, ak človek nemá veľmi zriedkavú schopnosť absolútneho sluchu, tak po vypočutí týchto dvoch melódí po sebe s dostatočným časovým odstupom nezistí, že je to v skutočnosti melódia, ktorá s predošlou nemá spoločný ani jeden tón, zachováva však všetky *relatívne vzťahy*. Modulácia je bežná prax pri spievaní piesní, pretože každý spieva pieseň vrámci svojich rozsahových možností – deti a ženy majú prirodzene vysoko položené hlasy a vďaka tomu spievajú vysoko a, naopak, muži majú hlas položený nižšie a rovnako aj spievajú. Rozdiel v preferovaných tóninách môže byť od speváka k spevákovi obrovský. Tieto informácie budú dôležité neskôr pri zvažovaní modulácií piesní vrámci databázy.



## 2 Ilustračný príklad, databáza a technológie

Na ilustráciu problematiky využijeme ukážku z práce P. van Kranenburga [5]. Ukážka je vytvorená z piesní, ktoré nie sú slovenské, sú však ľudové a teda charakter ukážky bude veľmi podobný našej problematike. Pozrime sa na obrázok:

The image displays a musical score with 12 staves, each containing a line of music. The staves are labeled from Q to G2. The music is written in G major, indicated by one sharp (F#) on the treble clef. The time signatures vary: Q is in common time (C), R1 through R8 are in 2/4 time, and G1 and G2 are in 2/4 time. The melodies are transposed to G major. The first line of music (Q) is the query. The subsequent lines (R1 through R8) are search results. The last two lines (G1 and G2) are added for comparison.

**Figure 2** First lines of the search results. **Q** is the query. **R1** is found by the Danish engine, **R2** and **R3** by the Finnish engine, **R4** and **R5** both by Themefinder and Meldex, **R6** and **R7** by Musipedia, and **R8** by YahMuugle. All melodies are transposed to G major. The titles are: **Q** *Dat gaat naar Den Bosch toe*, **R1** *air Om al Verden er*, **R2** [without title], **R3** *Nelosta*, **R4** *Loot ons noch ens drinken*, **R5** *Ueber die Beschwerden dieses Lebens*, **R6** *Scottisch Simple de Guemene*, **R7** *I'm a little tea pot*, **R8** *Variations* by Aloys Schmitt. Two phrases from the original composition by Pierre Gaveaux, **G1** and **G2**, are added for comparison

Obr. 4: Ukážka harmonicky podobných melódií



V tomto článku je využívaný princíp dopyt - výsledky dopytu z databázy. Na obrázku sa nachádza postupne 11 rôznych melódií. V prvom riadku sa nachádza dopytná melódia  $Q$ , pomocou ktorej boli zadávané konkrétne dopyty do informačných systémov. Postupne rôzne systémy vrátili výsledky dopytu  $R1 - R8$ . Už voľným okom laika je vidieť, že tieto výsledky sú z veľkej časti vizuálne podobné s dopytnou melódiou  $Q$ , aj keď napríklad riadok  $R7$  je rytmicky od dopytu  $Q$  značne rozdielny. Nedá sa však povedať, že medzi nimi neexistuje žiadna podobnosť – že nemôžu byť navzájom *variantmi*. Avšak, takisto vidíme, že melódia  $R7$  je v porovnaní s melódiou  $R2$  značne menej podobná s dopytom  $Q$  – je menej pravdepodobné, že sú navzájom variantmi. Výskum bol pre zaujímavosť doplnený ilustratívnymi melódiami  $G1, G2$  z umelej (autorskej, nie ľudovej) hudby. Naším cieľom je, aby výsledky  $R1$  až  $R8$  z dopytu  $Q$  považoval náš systém za varianty, či už s vyššou alebo nižšou pravdepodobnosťou.

## 3 Technológie a databáza

### 3.1 Programovací jazyk

Asi najdôležitejšou voľbou na začiatku programovania veľkého softvéru je práve voľba hlavného, nosného programovacieho jazyka. Pre jazyk Java sme sa rozhodli z viacerých dôvodov. Cieľom nášho dizajnu je, aby bolo jednoduché algoritmus rozdeliť na fázy a týmto fázam nezávisle meniť implementáciu. Pri správnom *OOP* návrhu nám toto Java vďaka jej vlastnostiam ponúkne. Takisto prácu plánujeme neskôr rozšíriť na rozsiahlu webovú *enterprise* aplikáciu, na čo je Java jeden z najvhodnejších jazykov. V konečnom dôsledku sme sa pre tento jazyk rozhodli kvôli tomu, pretože v ňom je naprogramovaný softvér k bakalárskej práci, ktorý budeme rozširovať.

Ďalej v dokumente budeme predpokladať čitateľovu základnú znalosť jazyka Java a *OOP* návrhu, rovnako, ako sa budeme odkazovať na triedy a metódy v daných syntaktických konvenciách jazyka (kvôli čitateľnosti textu tieto fragmenty označíme **špeciálnym modrým fontom**). Celý algoritmus je implementovaný za pomoci rozhraní, ktoré patrične implementujeme, čím dosiahneme modulárnosť a jednoduchú zameniteľnosť častí kódu. Tým, že sa odvolávame na rozhranie, budeme myslieť, že metódy, na ktoré sa odvolávame, vykonáva implementácia tohto rozhrania.

#### 3.1.1 Ďalšie technológie

##### 3.1.1.1 *GitHub*

Na zálohovanie a kontrolu verzií projektu sme použili známy nástroj *Git*, konkrétne *GitHub*. Repozitár projektu môžete nájsť tu:

<https://github.com/MichalMizak/SimFolk>.

##### 3.1.1.2 Knižnica *JOOQ*

Na prepojenie Java kódu s databázou sme použili knižnicu *JOOQ*. Jej najväčšou výhodou oproti štandardnému *JDBC Template* je, že písanie *select-ov* z kódu je typovo

bezpečné a zároveň zachováva rýchlosť, svižnosť a expresívnosť písania čistého *SQL*. Zvažovali sme aj *ORM* knižnice, ako napríklad *Hibernate*, avšak pre náš problém sme potrebovali čo najrýchlejšie pracujúcu knižnicu, a preto sme si zvolili práve *JOOQ*. Samozrejme, existujú špecifické prípady, kedy sú *ORM* knižnice rýchlejšie, avšak aj kvôli tomu, že je to knižnica, ktorá nepotrebuje takmer žiadnu konfiguráciu, sme ju považovali za jednoduchšiu alternatívu aj napriek tomu, že budeme musieť písať viac duplicitného kódu v porovnaní s *ORM* knižnicami.

## 3.2 Databáza

Práca sa nebude zaoberať nahrávkami, pretože získať spoľahlivý symbolický zápis melódie z nahrávky je v momentálnom stave tejto vedeckej oblasti veľmi náročné a v mnohých prípadoch aj nemožné. Je to spôsobené aj tým, že v ľudových nahrávkach sa okrem spevu nachádzajú aj iné nástroje, ktoré svojou farbou a textúrou ovplyvňujú extrakciu čistej melódie. Nehovoriac o tom, že v nahrávkach je melódia veľmi často ornamentálna a inak ľudovo alebo umelecky štylizovaná, čo ovplyvňuje autenticnosť dát, ktoré by sme aj pri tých najlepších podmienkach z týchto nahrávok vedeli dostať. Je zrejmé, že všetky nuánsy ľudového spevu je často nemožné zapísať do nôt, avšak najväčšiu šancu korektnosti máme pri analyzovaní zápisov odborníkov. Aj kvôli tomu použijeme databázu z projektu *Ludo Slovenský*<sup>1</sup>, ktorý je dobrovoľníckym projektom, ktorý sa snaží o centralizovanie databázy piesní tak, aby boli použiteľné aj na také vedecké účely, ako táto práca. Piesne sa získavajú z rôznych historických prameňov, konkrétne zo zborníkov melódií zapísaných odborníkmi počas minulého storočia. V databáze sa už teraz nachádza viac ako 500 piesní a je predpoklad, že databáza do ukončenia práce bude rásť.

Ako obohatenie tejto databázy použijeme notové zápisy Karola Plicku zo zemplínskych oblastí z viacerých zbierok, ktoré počas svojich výskumov tento významný vedec vypracoval natolko kvalitne, že tieto piesne sú ešte stále relevantné a aj teraz z nich folklóristi vyťahujú nepoznané piesne ako poklady z truhlice a spracúvajú ich v snahe, či už v snahe napodobniť a zrekonštruovať pôvodný starobylý spev alebo ho obohatiť a dať do nového šatu.

---

<sup>1</sup>Viac na <https://ludoslovensky.sk/>

## 3.3 Formát MusicXML

Všetky dáta, s ktorými budeme pracovať, sú uložené v štandardizovanom formáte MusicXML<sup>2</sup>. Tento formát bol navrhnutý na archivovanie a zdieľanie symbolického notového zápisu medzi aplikáciami a nahrádza *MIDI* formát, oproti ktorému je podstatne obširnejší a mocnejší. Prirodzene prevyšuje aj potreby našej práce (poskytuje napríklad aj viacstopový polyfónický zápis), je to však momentálne najpoužívanejší formát na uchovávanie hudby. Existuje k nemu aj množstvo knižníc, jedna takáto knižnica je napríklad voľne dostupná Java knižnica *proxymusic*<sup>3</sup>, pomocou ktorej budeme serializovať a deserializovať objekty reprezentujúce melódiu.

### 3.3.1 Deserializácia `.xml` súborov

Ako sme v úvode spomínali, na deserializáciu `.xml` súborov použijeme knižnicu *proxymusic*. Knižnica pozostáva z *Java* tried, ktoré boli vygenerované presne podľa schémy `musicxml.xsd`<sup>4</sup>. Následne boli mierne upravené kvôli pohodlnejšiemu používaniu. Tieto triedy reprezentujú jednotlivé elementy v tejto schéme a zároveň zachovávajú hierarchickú štruktúru tejto schémy.

#### 3.3.1.1 Krátky popis technickej stránky využívania knižnice *proxymusic*

Do projektu sme knižnicu importovali pomocou pridania závislostí v štandardnom *Maven pom.xml*. Ako základná súčasť knižnice figuruje trieda `Marshalling`, ktorá pomocou metódy `unmarshall` vráti „naplnený“ *Java* objekt dátami z jedného `.xml` súboru. K ďalším objektom sa programátorsky dá pristupovať celkom jednoducho a intuitívne cez *getter* metódy na jednotlivých inštanciách a týmto iterovať rekurzívnou štruktúrou schémy *musicxml*. Ďalej popíšeme túto štruktúru podrobnejšie.

#### 3.3.1.2 Hierarchia *Musicxml*

V našej práci budeme pracovať s typom *musicxml ScorePartwise*, ktorý obsahuje zoznam partov<sup>5</sup>, ktoré sa v danej partitúre<sup>6</sup>, ktorú daný `.xml` súbor reprezentuje, nachádzajú. Sú to konkrétne objekty `Part` z ktorých každý jeden reprezentuje melodickú linku (aj polyfónickú = viachlasnú) zapísanú po taktach. Existuje aj prístup `ScoreTimewise`, kde, naopak, čítame zoznam taktov a v nich sú uchované jednotlivé

---

<sup>2</sup><https://www.musicxml.com/>

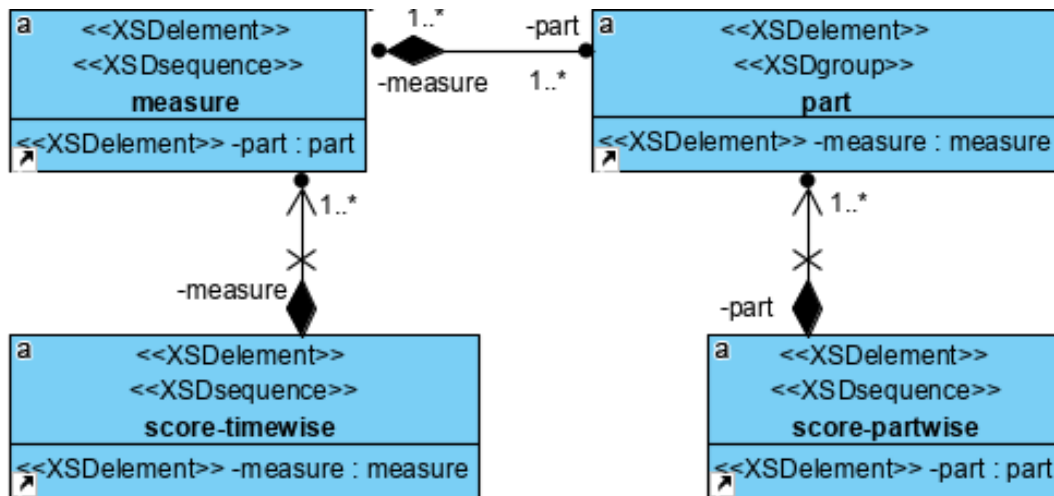
<sup>3</sup><https://github.com/Audiveris/proxymusic>

<sup>4</sup><https://www.musicxml.com/for-developers/musicxml-xsd/>

<sup>5</sup>notový zápis pre 1 nástroj v skladbe

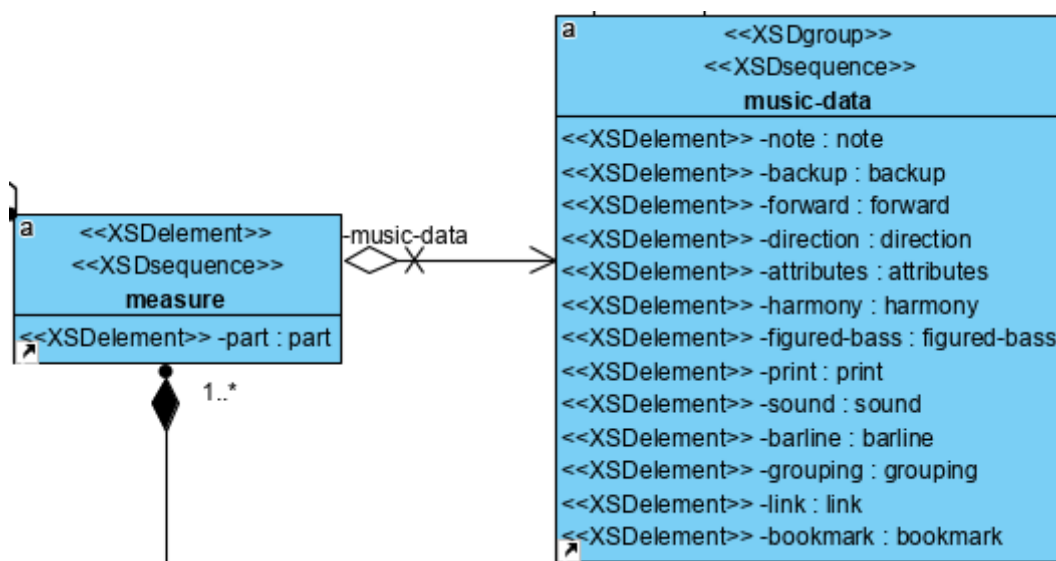
<sup>6</sup>notový zápis všetkých hlasov hudobnej skladby

takty jednotlivých partov zaradom. Graficky si môžeme tento rozdiel prezrieť na obrázkoch vygenerovaných pomocou nástroja *Visual paradigm*. Na obrázkoch sú útržky z obrovského *Class diagram-u musicxml.xsd*.



Obr. 5: *Partwise* vs. *Timewise*

Vidíme, že k elementu `part` je nalinkovaný zoznam elementov `measure`, ktoré reprezentujú jednotlivé takty partu. Naša databáza je homogénna v tom, že obsahuje len jediný „nástroj“ a to práve vokálny, čo značne zjednodušuje prácu s týmito dátami aj preto volíme prístup *Partwise*. Takt je nalinkovaný na objekt `music-data`, ktorý je generickým objektom na popisovanie vlastností hudobných objektov, v tomto prípade obsahuje vlastnosti menších objektov nachádzajúcich sa v takte.



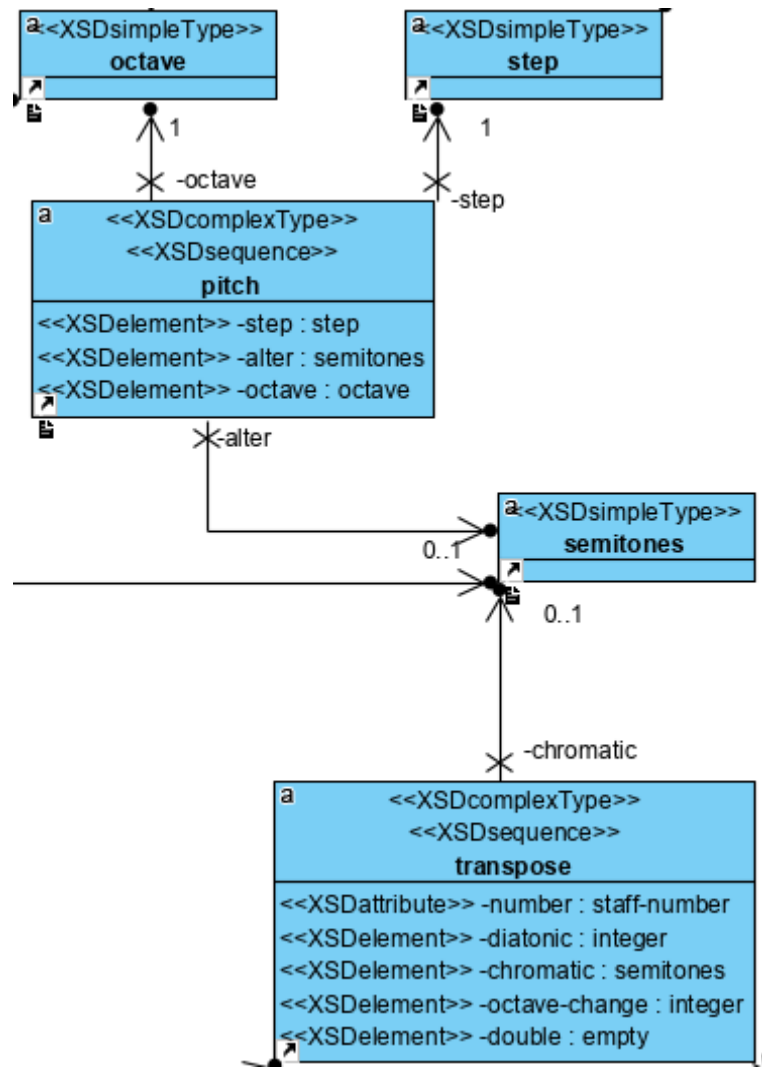
Obr. 6: Vzťah taktu a hudobných dát



a	<<XSDcomplexType>> <<XSDsequence>> <b>note</b>
	<<XSDatatribute>> -print-leger : yes-no <<XSDatatribute>> -dynamics : non-negative-decimal <<XSDatatribute>> -end-dynamics : non-negative-decimal <<XSDatatribute>> -attack : divisions <<XSDatatribute>> -release : divisions <<XSDatatribute>> -time-only : time-only <<XSDatatribute>> -pizzicato : yes-no <<XSDatatribute>> -grace : grace <<XSDatatribute>> -tie : tie <<XSDatatribute>> -cue : empty <<XSDatatribute>> -instrument : instrument <<XSDatatribute>> -type : note-type <<XSDatatribute>> -dot : empty-placement <<XSDatatribute>> -accidental : accidental <<XSDatatribute>> -time-modification : time-modification <<XSDatatribute>> -stem : stem <<XSDatatribute>> -notehead : notehead <<XSDatatribute>> -notehead-text : notehead-text <<XSDatatribute>> -beam : beam <<XSDatatribute>> -notations : notations <<XSDatatribute>> -lyric : lyric <<XSDatatribute>> -play : play

Obr. 8: Nota

K tomuto objektu je nalinkovaný objekt step a pitch, ktoré hovoria o výške tónu.



Obr. 9: Pitch step transpose

Na terajšie potreby v našom kóde nebudeme musieť naprogramovať *DTO* na to, aby sme mohli využívať celé objekty, ale postačí nám ich konverzia na `String`, ku ktorej sa dostaneme v ďalších kapitolách.





# 4 Existujúce riešenia

## 4.1 Slovenský výskum

### 4.1.1 Výskumy s využitím výpočtovej sily

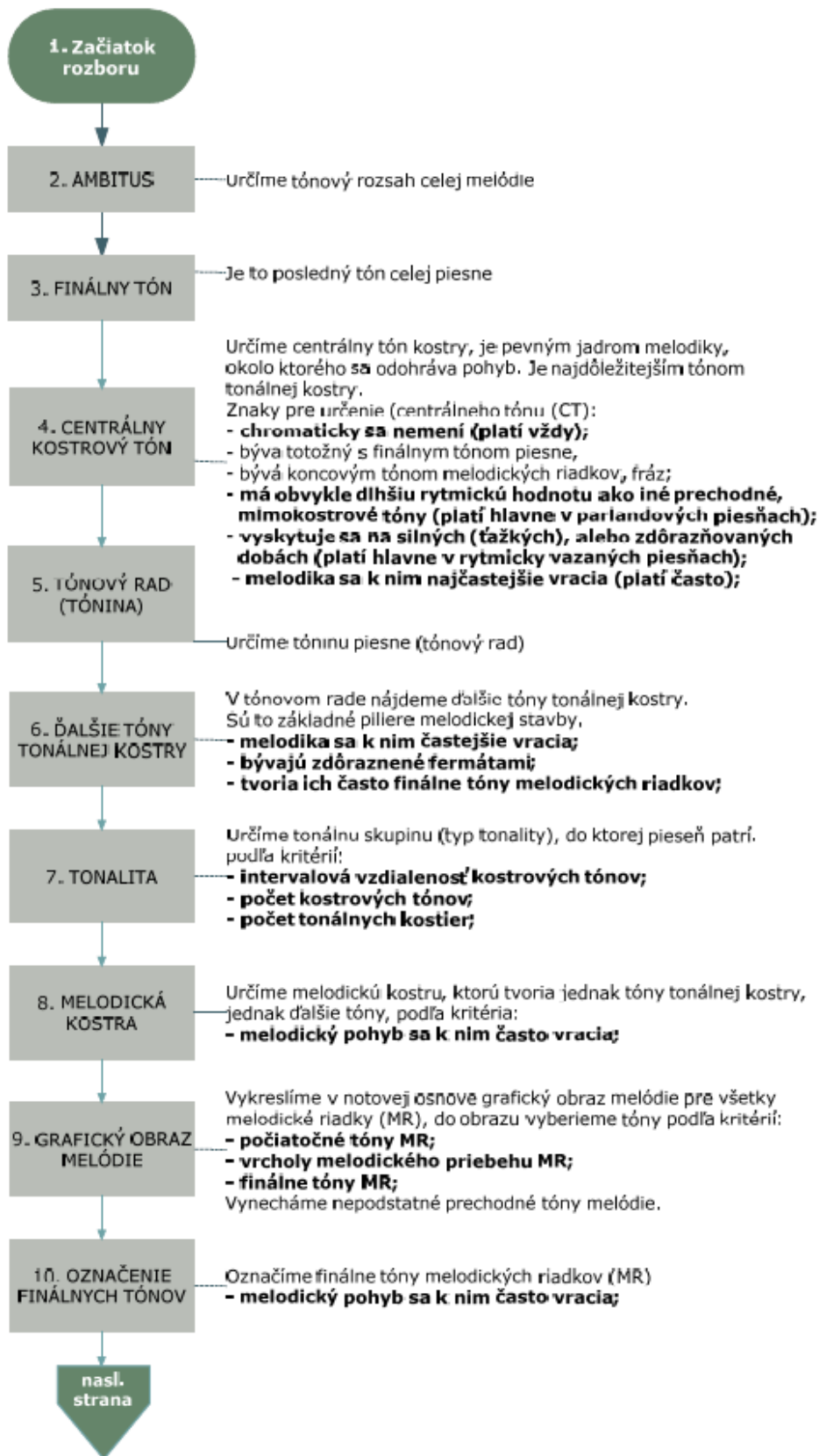
Pozrime sa na výsledky výskumov realizovaných na slovenských ľudových piesňach využívajúcich počítačové technológie.

#### Výsledky za pomoci počítača *MSP 2A*

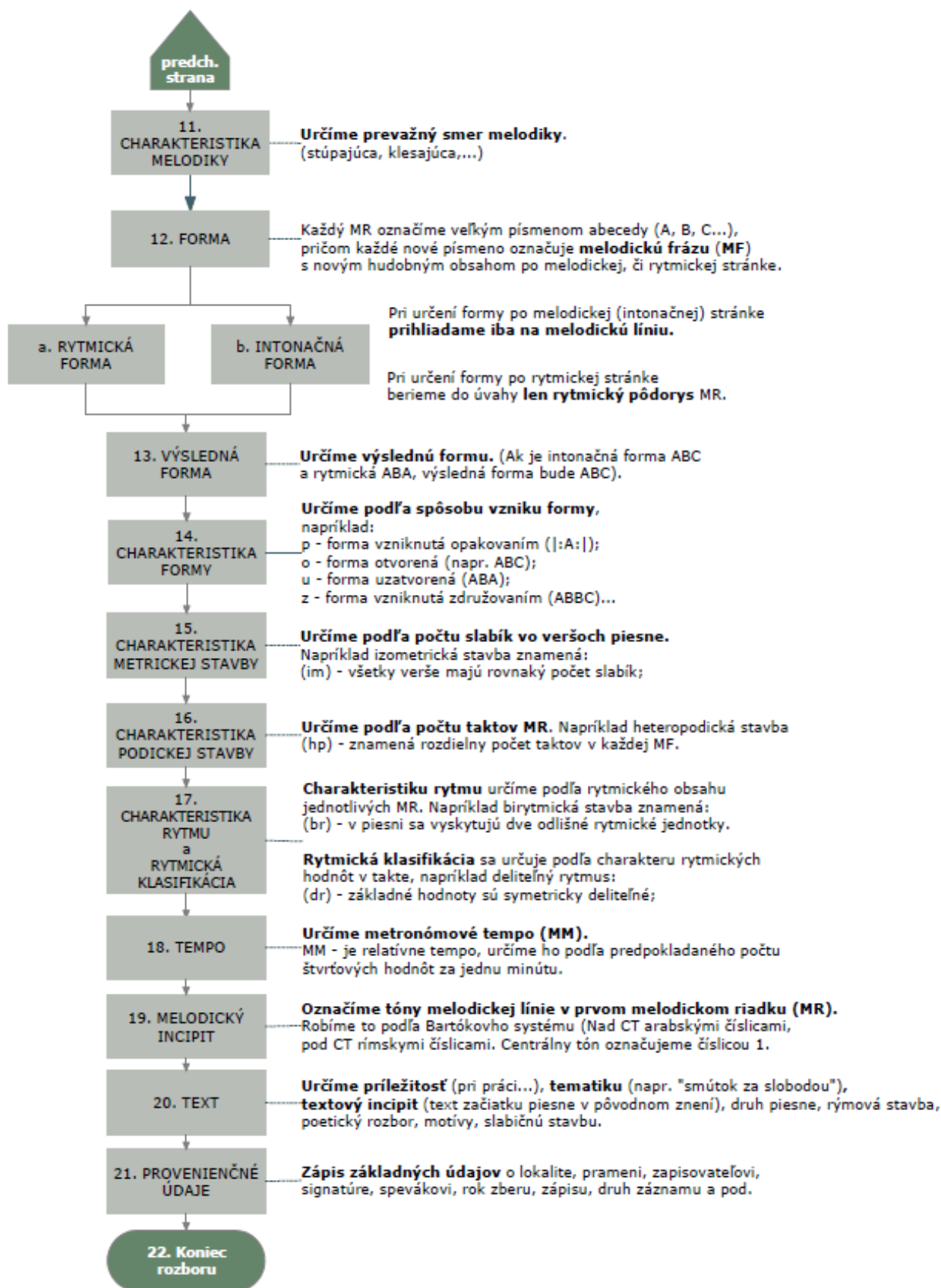
Základy automatizovaného výskumu folklórnych piesní sa položili už v polovici minulého storočia. Pekné zhrnutie spolupráce českých a slovenských vedcov zo 70. rokov uplynulého storočia na tejto problematike popísal Ľubomír Chalupka v [4]. V jednej z popisovaných vedeckých prác išlo o experiment, aby sa zistilo, do akej miery dokáže počítač *MSP 2A* heuristickým programovaním vykonať tonálnu a formálnu analýzu 758 piesní zo Záhoria, ktoré vyzbieral autor Janko Blaho. Práca zhrňa, ako sa vedcom podarilo automatizovane zostaviť požadované intervalové štruktúry (kostry), vytvoriť frekvenčné poradnia jednotlivých tónov rozpoznávať, či je pieseň v durovej (iónske), molovej (aiolské) tónine, prípadne v inom modálnom type (dórsky, frygický, lydický a myxolydický) alebo dokonca v molovej melodickej a molovej harmonickej tónine (v piesňach v tónine c sa často vyskytoval klaster *g-as-a-b-h-c*). Za spomenutie stojí aj automatizované identifikovanie formovej schémy (*AA, AB...*). Niektoré z týchto algoritmov budeme musieť implementovať aj my.

#### Počítačová podpora EM

Článok [2] sa zaoberá prevažne štatistickou analýzou piesní. Diagramovo popísali analytický prístup manželov Elschekovcov z [1], ktorý nám môže byť v budúcnosti nápomocný. Pozrime sa naň:



Obr. 10: Navrhnutý diagram, časť 1



Obr. 1 Postup pri rozbere hudobnofolklornej štruktúry (2 časti)

Diagramy sú bližšie popísané v článku. Ako však je vidieť, tento diagram modeluje potenciálne vlastnosti, ktoré môžeme využiť pri porovnávaní piesní. Čím viac týchto vlastností majú dve piesne spoločné, tým sú si podobnejšie. Vieme pozorovať podobnosť s predošlou spomínanou analýzou, kde sa tiež analyzovali finálne, centrálné kostrové tóny, tóniny, tonality a melodická kostra. Špeciálnu pozornosť by sme vedeli venovať bodu 20. z druhého diagramu, keďže v bakalárskej práci sme sa venovali porovnávaniu textov piesní. Implementovanie tohto porovnávaní by mohlo mať za následok vybudovanie veľmi robustného systému.

Pri automatizovanej analýze sa v tomto článku však zaoberali nahrávkami piesní, keď pre každú nahrávku vytvorili oscilogram, spektrálnu analýzu, spektrogram, sonogram, melogram a analýzu intenzity zvuku. Pre náš problém sú to, žiaľ, nevyužiteľné výskumné výsledky, pretože naša databáza je čisto symbolického charakteru.

#### **4.1.2 Výskumy týkajúce sa syntetickej analýzy slovenských ľudových piesní**

##### **Manželia Elschekovci**

Na slovensku sú v etnomuzikológii jednými z najvýraznejších vedcov Alica a Oskár Elschekovi. Tí sa už dlhé roky venujú klasifikácii slovenskej ľudovej piesne a popísaniu jej atribútov. Vo svojej práci využívajú výsledky práce mnohých (celosvetovo) uznávaných vedcov, zberateľov a bádateľov, menovite napríklad H. Riemann, H. Schenker, H. Gräbner, L. Riemann, B. Bartók, K. Medvecký, K. Plicka, J. Kresánek a mnoho ďalších. Relevantným zdrojom bude pre nás zhrňajúci článok [1], kde popisujú metodiku hudobných analýz folklórnych prejavov ako rozbor týchto stránok ľudovej piesne: tonalita, tónina, melodika, rytmika, metrika, forma, prednes, tempo. Popisujú aj vertikálnu analýzu pri viachlasnej piesni, tou sa však zaoberať nebudeme. Časť ich práce budeme využívať aj v našom algoritme, detaily tejto metodiky popíšeme nižšie.

##### **Kysuce**

Príklad využitia štruktúrneho spracovania hudobných materiálov manželov Elschekovcov sme našli v [3]. Príklad analýzy piesne:

## Dudaľi dudanki

$\text{♩} = 75$

Du - da - ľi du - dan - ki, keď iš - li  
od Han - ki, du - da - ľi ve - se - ľe,  
keď iš - li cez po - ľe.

<b>Názov piesne:</b> <i>Dudaľ, dudanki</i>	<b>Číslo piesne:</b> 62.	<b>Lokalita:</b> Riečnica	<b>Záner:</b> k tancu "Stolkovi"
<b>Tonalita, tónina:</b> kvintakordálna, lydiecká	<b>Ambitus:</b> 00/09 v. 6	<b>Incipit:</b> 04,04,06 07,06,04	<b>Úvodný interval:</b> v. 3 <b>Záverečný interval:</b> v. 3
<b>Tempo:</b> 4 = 75	<b>Metrum:</b> 2/4	<b>Vrcholný takt:</b> 3,8	<b>Rytmus:</b> jednoduchý 8,8,4 8,8,4
<b>Forma:</b> A, A' 5 5	<b>Počet taktov:</b> 10	<b>Počet veršov a slabik v jednej strofe:</b> 4, 24 (6+6+6+6) 12+12 5 + 5	

Obr. 12: Príklad analýzy piesne v [3]

Ako vidíme, analýza spočíva v analýze podobných atribútov, ako v predošlých, automatizovaných výskumoch. Výsledky týchto výskumov boli vhodné na kategorizovanie a porovnávanie piesní, ale keďže tieto analýzy boli vykonané ručne, nám znova len ostáva navrhnúť algoritmus, ktorý tieto atribúty bude vedieť identifikovať. Až potom tieto atribúty budeme vedieť využiť pri porovnávaní piesní.

### 4.1.3 Zahraničný výskum

O existujúcich riešeniach podobných tomu nášmu sme sa nahliadli do zahraničia, konkrétne do článku [5], v ktorom je dopodrobna popísaný problém melodickéj variácie. Cieľ článku je konkrétne o lepšej spolupráci medzi vedeckými oblasťami *MIR* (*Music information retrieval* – získavanie informácií z hudby), *CM* (*Computational musicology* – počítačová muzikológia) a *FSR* (*Folk song research* – výskum folklórnej

piesne). Rozoberajú sa v ňom mnohé, v tom čase ešte otvorené, problémy, napríklad absencia všeobecnej teórie ústneho podania piesní a jej prepojenie s inými hudobnými kognitívnymi procesmi ako: ukladanie piesní do (ľudskej) pamäte, spievanie piesne spaťmáti a vytváranie novej piesne. Ďalší popisovaný problém je konkrétnosť už vybudovaných modelov – všetky systémy, ktoré vyhľadávajú varianty sú programované s tým, že programátor dôverne pozná databázu a vie teda algoritmus prispôbiť čo najlepšie pre svoje potreby. Za dôsledok to má to, že zatiaľ neexistuje všeobecné riešenie. Nakoniec spomenieme problém testovania týchto systémov. Na poriadne otestovanie takéhoto systému treba odborníkov, ktorí systematicky budú prezerat všetky výsledky, ktoré im systém vráti. To je nesmierne zdĺhavé a teda toto testovanie nikdy nebude urobené tak, ako by to bolo možné, keby bolo automatizovateľné.

Už v ilustračnom príklade, ktorý bol z tohto článku, je v popise naznačené, že jednotlivé výsledky dopytu sú nájdené rôznymi systémami v rôznych databázach. Pozrime sa na prístupy reprezentácií tejto melódie z dopytu jednotlivých vyhľadávacích systémov:



Obr. 13: Ilustračný dopyt Q v článku [5]

### Dánske folklórne archívy – *Danish Folklore Archives*

Melódia je reprezentovaná ako reťazec prízvuchných tónov, vzhľadom na charakter severských melódií je prízvuchná prvá doba. Tieto tóny sú reprezentované ako stupeň vrámci tóniny, čo nám dá sekvenciu 13516665 pre prvých osem dôb.

### Digitálny archív fínskych folklórnych piesní – *Digital Archive of Finnish Folk Songs*

Tu je melódia reprezentovaná ako postupnosť intervalov reprezentujúcich každý interval počtom poltónov, čo nám dá postupnosť +2+2+1+2+5-3 pre prvých 7 tónov.

### *Themefinder*

Systém *Themefinder* používa reprezentáciu cez stupne tónov vrámci stupnice - 1 2 3 4 5 1 6 pre prvých 7 tónov.

## **MELDEX**

Systém *MELDEX* využíva absolútnu reprezentáciu melódií, teda pre dopyt  $Q$  to je  $g a b c' d' g' e'$ . Apostrof reprezentuje oktavu tónu.

### **Databáza *Musipedia* a *YahMuugle***

V tejto databáze sa používa podobná absolútna reprezentácia, je však rozšírená aj o trvanie tónov –  $c''_4 d''_2 g''_2 e''_4$ .

#### **4.1.3.1 Zhrnutie**

Všetky tieto reprezentácie sú založené na tom, že najdôležitejší je začiatok piesne. V slovenskej piesni to však takto ani zďaleka nie je, musíme brať do úvahy začiatky a konce všetkých melodických riadkov, rovnako ako aj osobitne brať do úvahy rytmickú podobnosť piesní. Vyplýva to však aj z charakteru týchto prác, pretože ich cieľom je navrhnuť čo najlepší vyhľadávací systém a nie porovnávací systém, ako to máme za cieľ my.





## 5 Návrh riešenia

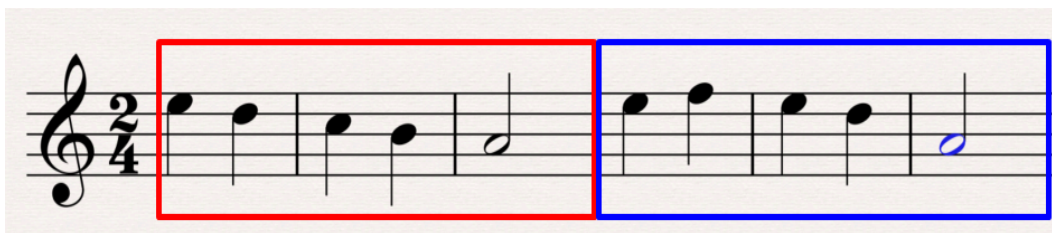
Na začiatok si pomôžeme citáciou manželov Elschekovcov z [1]:

*Z doterajšieho rozboru hudobnoštruktúrného ústrojenstva ľudovej piesne je zrejmé, že ľudová pieseň je organizmom veľmi zložitým, mnohvrstvovým; nie je útvárom ani jednoduchým, naivným, či primitívnym, ako sa to často tvrdí. Preniknúť do zložitého ústrojenstva ľudového hudobného myslenia je občas ťažšie ako urobiť prehľadný rozbor skladieb umelej hudby, v ktorých je niekedy viac šablónovitosti, konvenčnosti a schematizmu ako v neviazanom útvare hudobného folklóru.*

Tento citát implikuje, že nájsť pravidelnosť ľudovej piesni je náročné, niekedy dokonca náročnejšie, ako v umelej hudbe. Napriek tomu sa tomu venuje mnoho odborníkov a dosahujú významné výsledky v oblasti nachádzania vzorov v ľudových piesňach. Tieto vzory sú ale často špecifikované len pre podskupiny piesní (či už historicky, geograficky alebo typovo – tanečné, parlandovité...). Pre nás to znamená to, že naším cieľom nesmie byť jeden algoritmus, ktorý spoľahlivo povie, či dve piesne sú alebo nie sú navzájom variantmi – takýto neexistuje. Preto náš algoritmus bude testovať rôzne vlastnosti melódií, ktoré môžu naznačovať to, že sú variantmi. Môže sa stať, že na základe jednej z týchto vlastností piesne budú totožné a na základe inej budú úplne rôzne. Preto tento systém nikdy nebude stopercentne spoľahlivý, ale vždy bude potrebovať kontrolu odborníkom. Môže teda slúžiť ako systém, ktorý bude odporúčať odborníkom dvojice piesní, ktoré sú potenciálnymi variantmi. O tom, či sú aj reálne variantmi musia rozhodnúť títo odborníci a ak áno, tak budú môcť popísať výsledok a skúsiť vydedukovať historickú/ geografickú príčinu tohto variantu na základe dát zo zbierok, kde sa tieto piesne nachádzajú. Je dôležité poznamenať, že je to takto nutné aj kvôli tomu, že takmer žiadne dáta zo zbierok nie sú dostupné v elektronickej forme použiteľnej programátorsky (existujú pdf skeny, tie však využiť nevieme).

### 5.1 Varianty fráz

Pozrime sa na takéto melodické útržky:



Obr. 14: Ukážka harmonicky podobných melódií

Obe tieto frázy sa vyskytujú v ľudových piesňach pomerne často (napríklad v známej piesni *Odam sé neodam*) a veľmi často sú navzájom zamieňané kvôli tomu, že jedna je za istých podmienok harmonizácia druhej. Zároveň sú obe príjemné melódie, čo je predpoklad na to, aby si ich speváci spievali samostatne (druhé a tretie hlasy spievané samostatne bez hlavnej melódie často nedávajú zmysel a je teda malá pravdepodobnosť, že si ich speváci budú spievať sólovo). Dá sa teda povedať, že tieto frázy sú navzájom melodickými *variantmi*. Tento pojem sme síce vyššie definovali pre celé piesne, ale dá sa to definovať aj v menšom merítku - na frázy. Pieseň A obsahujúca frázu označenú červenou a pieseň B totožná s piesňou A až na túto frázu, ktorá bola nahradená frázou označenou modrou, sú teda jednoduchý prototyp toho, ako vznikajú varianty piesní. Naším cieľom teda bude sledovať aj takéto javy.

### 5.1.1 Analytický prístup

Riešenie tohto problému vieme modelovať triedami ekvivalencie presne tak, ako sme ich využívali v bakalárskej práci. Pieseň teda reprezentujeme ako reťazec znakov (podľa vyššie popísaných možných reprezentácií) a rozdelíme ju do menších celkov, napríklad taktov. Problém však nastáva pri identifikácii toho, kedy frázy zaradiť do jednej triedy a kedy nie. Jeden z priamočiarych prístupov v tomto príklade je povedať, že keď sú od seba frázy vzdialené terciu vrámci stupnice, tak ich označíme za podobné. To nám však môže dávať nepresnosti napríklad kvôli tomu, že tieto frázy nemusia byť modulované o terciu celé, ale, ako je vidno aj na príklade, len ich časť (v príklade prvý a posledný tón ostal nezmenený). Nateraz riešenie vidíme v prístupe, ktorý povie, že ak sú tóny vzdialené o terciu, tak sú bližšie ako keby boli vzdialené o sekundu alebo iný interval. Podobný prístup vieme použiť pri jave kolísavých tónov. S týmto pojmom sme sa prvýkrát stretli vo folkloristickej praxi, avšak je rozoberaný aj na akademickej pôde, napríklad v článku [3], kde konkrétne popisujú zväčšenú kvartu ako kolísavý tón. V databáze kysuckých piesní, ktorou sa článok zaoberal, je to veľmi častý jav. V tomto článku je popisovaná lydická kvarta, ktorá kolíše vrámci jednej piesne, v iných zdrojoch je však popisovaná lydická/ nelydická kvarta vrámci rôznych zápisov tej istej piesne. Z

tohto sa dá dedukovať, že chromatická zmena na kvarte je častý jav vrámci variantov piesní.

### ***Edit distance***

*Edit distance*, ktorú sme implemetovali v praxi, je perfektná na definovanie takejto podobnosti tónov. Namiesto jednoduchšej implementácie tohto algoritmu vieme využiť implementáciu s tabuľkou, ktorá bude definovať podobnosť jednotlivých stupňov vrámci stupnice a teda *pravdepodobnosť zámieny* týchto tónov podobne ako keď sú bližšie klávesy na klávesnici tak je väčšia pravdepodobnosť preklepu.



# 6 Prototyp algoritmu

## 6.1 Výsledky prvého behu algoritmu

Po spustení algoritmu sme prešli všetky dostupné výsledky a našli najreprezentatívnejšiu dvojicu spomedzi všetkých porovnávaných piesní. Táto dvojica je odvodená z jednej piesne „Hore háj, dolu háj“ a jasne ukazuje fenomén variantnosti. Výsledok bol dosiahnutý vďaka nasledovnej konfigurácii algoritmu:

Fáza	Stratégia fázy
Formátovanie melódií do reťazcov	<a href="#">MEASURE_NGRAM</a>
Porovnávanie melodických útržkov	<a href="#">LEVENSHTEIN_DISTANCE</a>
Tolerancia	<a href="#">MEDIUM</a>
Váženie tried ekvivalencie	<a href="#">LOG_TF · IDF</a>
Formovanie vektorov do inklúzií	<a href="#">A forma</a>
Porovnávanie vektorov	<a href="#">COS_SIMILARITY</a>

Tabuľka 1: Konfigurácia prototypného behu algoritmu

Moderato ritard.

Hej, ho - re háj, do - lu háj, ho - re há - jom chod - ník;

6 ritard.

a tempo

môj o - tec bol dob - rý, ja mu - sím byť zboj - ník,

0 a tempo

môj o - tec bol dob - rý, ja mu - sím byť zboj - ník.

Obr. 15: Hore háj, dolu háj verzia 1

Moderato ritard.

Hej, ho - re háj, do - lu háj, ho - re há - jom chod - ník;

6 ritard.

a tempo

môj o - tec bol dob - rý, ja mu - sím byť zboj - ník,

10 a tempo

môj o - tec bol dob - rý, ja mu - sím byť zboj - ník.

Obr. 16: Hore háj, dolu háj verzia 2

Keď sa na piesne bližšie pozrieme, vidíme, že odlišujú sa len v poslednom riadku. Variantnosť je zrejme spôsobená posledným taktom v druhom riadku piesne, kde sa z durovej tóniny prejde to molovej. Vo verzii 1 sa spevák (resp. človek, ktorý bol zaznamenaný pri zápise tejto piesne) v poslednom riadku prešiel naspäť do durovej tóniny, vo verzii dva bola zaznamenaná molová verzia.

# Zoznam použitej literatúry

- [1] ELSCHEK, O., AND ELSCHEKOVÁ, A. *Úvod do štúdia ľudovej hudby*. Hudobné centrum, Bratislava, 2008.
- [2] JANOŠCOVÁ, R. Počítačová podpora em, 08 2015.
- [3] LARIŠ, B. *Tonálna a rytmická charakteristika hudobného folklóru Kysúc*. PhD thesis, Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická fakulta, Olomouc, 2010.
- [4] ĽUBOMÍR CHALUPKA. Modelovanie tonálnej a formovej analýzy ľudových piesní zo záhoria na počítači msp 2a (spomienka na 70. roky uplynulého storočia). *K otázkam typologie tradičnej hudby, Sborník referátu ze stejnojmenné mezinárodní konference konané 21.9 – 22.9.2016 v Praze* (2016), 61 – 72.
- [5] VAN KRANENBURG, P., GARBERS, J., VOLK, A., WIERING, F., GRIJP, L., AND VELTKAMP, R. Collaboration perspectives for folk song research and music information retrieval: The indispensable role of computational musicology. *Journal of Interdisciplinary Music Studies* (2009).