

TITULNÍ LIST

Namísto této stránky vložte **titulní list** (s logem) vygenerovaný v IS VUT.

ZADÁNÍ

Namísto této stránky vložte stránku **zadání FEKT** vygenerovanou v IS VUT.

ABSTRAKT

Abstrakt práce v originálním jazyce

KLÍČOVÁ SLOVA

Klíčová slova v originálním jazyce

ABSTRACT

Překlad abstraktu (v angličtině, pokud je originálním jazykem čeština či slovenština; v češtině či slovenštině, pokud je originálním jazykem angličtina)

KEYWORDS

Překlad klíčových slov (v angličtině, pokud je originálním jazykem čeština či slovenština; v češtině či slovenštině, pokud je originálním jazykem angličtina)

SLEZÁK, Viktor. *Světelné animace pro systém Spectoda na základě analýzy parametrů z hudebních nahrávek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2022, 47 s. Semestrální práce. Vedoucí práce: Ing. Matěj Ištváněk

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Bc. Viktor Slezák
VUT ID autora: 203745
Typ práce: Semestrální práce
Akademický rok: 2022/23
Téma závěrečné práce: Světelné animace pro systém Spectoda na základě analýzy parametrů z hudebních nahrávek

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno
.....
podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Matěj Ištváněk za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	21
1 Teorie	23
1.1 MIR - Music information retrieval	23
1.1.1 Historie	23
1.1.2 Řetězec zpracování - pipeline	24
1.2 Parametrizace hudebních nahrávek	26
1.2.1 Reprezentace audio signálů	26
1.2.2 Časově-frekvenční reprezentace	27
1.2.3 Detekce tempa a dob	27
1.2.4 Klasifikace žánrů a nálady	27
1.3 Systém Spectoda	27
1.4 Hudební signál jako animace	27
2 Výsledky studentské práce	29
2.1 Programové řešení	29
Závěr	31
Literatura	33
Seznam symbolů a zkratek	35
Seznam příloh	37
A Některé příkazy balíčku thesis	39
A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek	39
A.2 Příkazy pro sazbu symbolů	39
B Druhá příloha	41
C Příklad sazby zdrojových kódů	43
C.1 Balíček listings	43
D Obsah elektronické přílohy	47

Seznam obrázků

1.1	Řetězec procesů MIR [3]	25
B.1	Alenčino zrcadlo	41

Seznam tabulek

1.1	Typické procesy na základně vstupních a výstupních dat.	26
A.1	Přehled příkazů	39

Seznam výpisů

C.1	Ukázka sazby zkratk	43
C.2	Příklad Schur-Cohnova testu stability v prostředí Matlab.	44
C.3	Příklad implementace první kanonické formy v jazyce C.	45

Úvod

V rámci semestrální práce vzniknou algoritmy analyzující hudební nahrávku. Tyto algoritmy budou sloužit k získání potřebných dat jako jsou zejména beat detection, získání tempa skladby a následné získání chromavektorů. Při získávání parametrů je potřeba počítat s jejich následujícím využití v algoritmu generujícím animace pomocí systému Spectoda.

Práce je rozložena do tří na sebe navazujících cílů.

Prvním z nich je nashromáždění dostatku teoretických informací o problematice MIR (Music information retrieval - Obor zabývající se vyhledávání informací v hudebních dílech) a možnostech dolování informací z hudební nahrávky.

Druhým cílem práce pak je na základě získaných znalostí navrhnout vhodnou strukturu algoritmu pro generování sekvencí světelných animací pracujících na systému Spectoda.

Posledním cílem semestrální práce je právě vytvoření funkčního systému pro analýzu hudební nahrávky a dolování získávání předem stanovených parametrů.

1 Teorie

Semestrální práce se zejména zabývá problematikou MIR. Popsanou v kapitole (!doplnit kapitolu!). Důležitou roli zde hraje i úvaha nad realizací světelných animací. Je důležité aby bylo přemýšleno nad principem reakce světelných animací na hudbu. Nabízejí se otázky jak by měla daná animace reagovat na konkrétní děj skladby. Jakým způsobem navrhnout strukturu ...

V této části je popsána teorie zpracování hudební nahrávky pomocí známých algoritmů jako je například FFT (Fast Fourier transform - Rychlá Fourierova transformace) či nabízené možnosti strojového učení. Struktura a možnosti systému Spectoda pro generování interaktivních světelných animací. Uměleckou částí, jak by měla animace prezentovat hudbu.

1.1 MIR - Music information retrieval

Music information retrieval je interdisciplinární vědní obor soustředící se na získávání informací z hudebních nahrávek. Jsou zde kombinovány znalosti mnoha oborů jako jsou muzikologie, psychoakustika, strojové učení, zpracování signálů a další.

Výstup jeho výzkumu je využíván populárními technologiemi. Jednou z aplikací je personalizované doporučování hudebních skladeb, která se nachází v moderních streamovacích platformách. Další využití je v programech pro mixování hudby používaných diskžokeji k plynulejší práci díky analýze tempa a klíčových částí skladby. Tyto technologie se nachází v mnoha dalších aplikacích a s šířením se digitálního audia jejich důležitost stále poroste. [1][3]

1.1.1 Historie

MIR se začíná objevovat koncem devatenáctého a začátkem dvacátého století s příchodem moderních statistických metod. V některých univerzitách tyto statistické metody začínají aplikovat na hudbu. Ze začátku díky špatné dostupnosti počítačů se jedná spíše o ruční přepisování tabulatur přímo z hudebních partitur. Následně se ze zjištěných rysů snažili specifikovat stylové charakteristiky. S příchodem počítačů do výzkumných laboratoří v letech 1960 až 1970 se začalo více soustředit na počítačovou analýzu hudby. V těchto letech se poprvé začaly objevovat nyní známé termíny jako „*computational musicology*“ a „*music information retrieval*“. První oblastí výzkumu bylo získávání rytmu hudební nahrávky a z důvodu nízké popularity se výzkum zpomalil. Tento trend následoval až do roku 1990 kdy výzkumu MIR pomohly dvě věci. První z nich bylo velké zvětšování lehce dostupné hudby a druhým

z důležitých bodů byl nárůst výpočetního výkonu počítačů. Díky těmto bodům se stal výzkum dostupnější a jednodušší na realizaci.

Poté v říjnu roku 2000 bylo uspořádáno první mezinárodní symposium soustředící se na MIR. Následně díky těmto pokrokům vznikla celosvětová skupina ISMIR (International Society of Music Information Retrieval - Mezinárodní združení pro MIR). Zanedlouho naté vznikla další skupina MIREX (The Music Information Retrieval Evaluation eXchange). Jedná se o skupinu vědců která se schází pravidelně každý rok a řeší problematiku MIR.

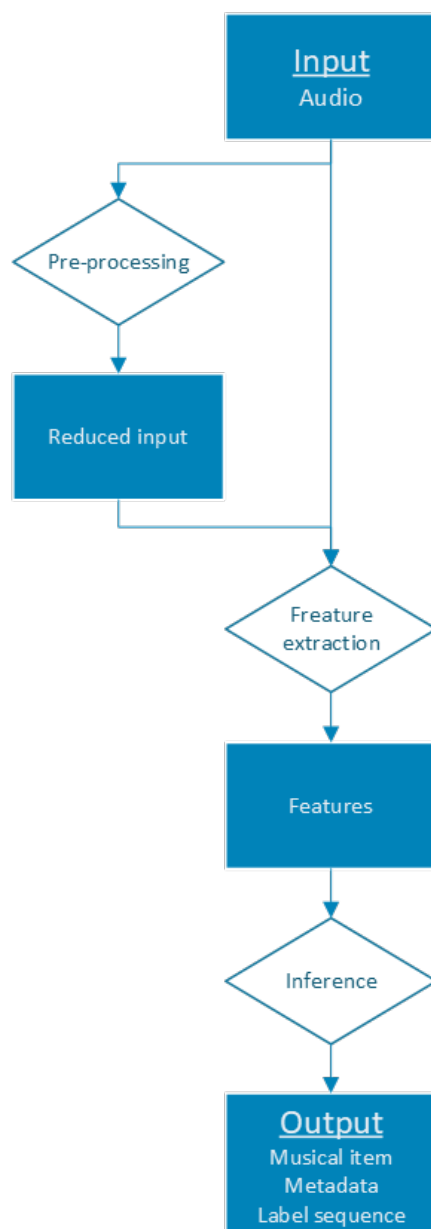
1.1.2 Řetězec zpracování - pipeline

Téměř standardně využívaný řetězec procesů v aplikacích MIR je popsána níže.

Jako vstupní data se využívají zejména hudební informace v digitální podobě. Tyto data se rozlišují do více typů. Mohou to být obrázky představující digitální formu zápisu hudby pomocí symbolů (not). Dalším možným typem je "digitální hudba", představovaná zápisem v MIDI notách. V této práci budou jako vstupní data využívány digitální hudební nahrávky ("digitální audio").

Pokud jsou vstupní data komplexní na začátku je v řetězci zařazen blok předzpracování, která se stará o komprimaci vstupních singlů. U hudebních signálů se jedná například o konverzi stereo signálů na mono signál a jeho následnou komprimaci popsanou více v bodě

Dalším bodem v řetězci je extrakce vlastností signálu. Zde je nastaven poměr mezi vlastnostmi důležitými pro strojové učení lidskou expertní znalostí. Poměr mezi těmito vlastnostmi závisí na aplikaci pro kterou je algoritmus určen. Na základě získaných vlastností je nastavena struktura algoritmu pro odvození výsledných parametrů.



Obr. 1.1: Řetězec procesů MIR [3]

Zpracování audio signálů je již dvě desetiletí hlavním trendem výzkumu MIR. Je to přirození tím, že zde není téměř žádná přirozená hranice a je možné téměř vše. Právní podmínky jsou zde příznivé a vědecké instituce nemají problém pro svou práci získat velké množství materiálu chráněného autorským právem. Z důvodu velké komplexnosti vstupních signálů se využívá několik technik komprimace signálů kterými jsou. Slučování vícekanálových nahrávek do mono signálu. Převzorkování signálu na nižší vzorkovací kmitočty, a rozložení signálu na krátké překrývající se úseky ze kterých mohou být nezávisle extrahovány jejich vlastnosti. Výsledkem je kolekce paralelně složených sekvencí hodnot vlastností, které se následně použijí

pro odvozování (inference).

Data	Vyhledávání informací	Klasifikace a odhad	Sekvenční značení
Audio	Identifikace skladby, Řazení, Měření podobnosti, Získání otisku, Generování seznamu skladeb	Identifikace umělce a skladatele, Žánr a nálada, Určení tempa	Extrakce melodie, Odhad akordů, Detekce nástupů, Segmentace

Tab. 1.1: Typické procesy na základně vstupních a výstupních dat.

1.2 Parametrizace hudebních nahrávek

V této kapitole jsou popsány principy získávání parametrů z hudebních signálů. [2]

1.2.1 Reprezentace audio signálů

Hudba může být reprezentována spoustou forem. Jako tradiční médium pro její ukládání ještě před vznikem záznamu sloužily vždy noty a další zápisy pomocí symbolů. Výsledné hudební dílo ale představuje mnohem víc nežli počáteční noty. Každý hudebník a nástroj do skladby dodává svou unikátnost. Při hře se noty začínou proměňovat ve harmonické zvuky, hladké melodie a nástroje komunikují mezi sebou. Každý z hudebníků do skladby vnaší své emoce jinak reagují na tempo zvýrazňují odlišné noty a liší se jejich artikulace. Všechny tyto proměny ve výsledku způsobují, že dílo není jen mechanické přehrání napsaných not. Jeho součástí se stává unikátní přednes.

Při pohledu z fyzikálního hlediska důsledkem interpretace díla vznikají zvukové vlny šířící se vzduchem. Záznamem vzniklých zvukových vln získáváme audio signál. Pojmem audio je označován řetězec sloužící k záznamu, přenosu a reprodukci zvuků v mezích lidského slyšení. Avšak audio v audio signálu se už nenachází přesná reprezentace not a jejich paramterů jako jsou čas nástupu, tón, délka trvání, dynamika. Díky tomu je analýza hudebních signálů obtížným úkolem a je ovlivněna reprezentací interpreta akustikou prostoru a vnímáním posluchače, kterým se zabývá samostatný obor nazývaný se psychoakustika. Nejdůležitějšími parametry audio signálu jsou: frekvence, výška tónu, dynamika, intenzita, hlasitost a také barva.

Existují dvě základní reprezentace audio signálu. Prvním je tzv. zobrazení v **časové oblasti**, které zobrazuje průběh amplitudy signálu v čase. Druhým často používanou reprezentací je zobrazení ve **frekvenční oblasti** znázorňující frekvenční

složky signálu v daném časovém úseku. K tomu abychom docílili zobrazení ve frekvenční oblasti se používá důležitého algoritmu **DFT** (International Society of Music Information Retrieval - Mezinárodní združení pro MIR). Rozdíl, audio signál, DFT

1.2.2 Časově-frekvenční reprezentace

1.2.3 Detekce tempa a dob

1.2.4 Klasifikace žánrů a nálady

1.3 Systém Spectoda

1.4 Hudební signál jako animace

2 Výsledky studentské práce

Praktická část a výsledky studentské práce vhodně rozdělené do částí.

2.1 Programové řešení

Závěr

Shrnutí studentské práce.

Literatura

- [1] Lidy, T.; Rauber, A.: Music Information Retrieval. In *Handbook of Research on Digital Libraries: Design, Development, and Impact*, IGI Global, 2009, ISBN 978-1-59904-879-6, s. 448–456.
- [2] Müller, M.: *Fundamentals of Music Processing*. Springer International Publishing, 2015, doi:10.1007/978-3-319-21945-5.
URL <https://doi.org/10.1007%2F978-3-319-21945-5>
- [3] Schreibman, S.; Siemens, R.; Unsworth, J. (edito i): *A new companion to Digital Humanities*. West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd, 2016, ISBN 9781118680599.

Seznam symbolů a zkratek

MIR	Music information retrieval - Obor zabývající se vyhledávání informací v hudebních dílech
FFT	Fast Fourier transform - Rychlá Fourierova transformace
MIDI	Musical Instrument Digital Interface - Digitální rozhraní hudebních nástrojů
ISMIR	International Society of Music Information Retrieval - Mezinárodní združení pro MIR
MIREX	The Music Information Retrieval Evaluation eXchange
DFT	Discrete Fourier transform - diskrétní Fourierova transformace

Seznam příloh

A	Některé příkazy balíčku <code>thesis</code>	39
A.1	Příkazy pro sazbu veličin a jednotek	39
A.2	Příkazy pro sazbu symbolů	39
B	Druhá příloha	41
C	Příklad sazby zdrojových kódů	43
C.1	Balíček <code>listings</code>	43
D	Obsah elektronické přílohy	47

A Některé příkazy balíčku thesis

A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek

Tab. A.1: Přehled příkazů pro matematické prostředí

Příkaz	Příklad	Zdroj příkladu	Význam
<code>\textind{...}</code>	β_{\max}	<code>\$\beta_{\textind{max}}\$</code>	textový index
<code>\const{...}</code>	U_{in}	<code>\$\const{U}_{\textind{in}}\$</code>	konstantní veličina
<code>\var{...}</code>	u_{in}	<code>\$\var{u}_{\textind{in}}\$</code>	proměnná veličina
<code>\complex{...}</code>	u_{in}	<code>\$\complex{u}_{\textind{in}}\$</code>	komplexní veličina
<code>\vect{...}</code>	\mathbf{y}	<code>\$\vect{y}\$</code>	vektor
<code>\mat{...}</code>	\mathbf{Z}	<code>\$\mat{Z}\$</code>	matice
<code>\unit{...}</code>	kV	<code>\$\unit{kV}\$</code> či <code>\unit{kV}</code>	jednotka

A.2 Příkazy pro sazbu symbolů

- `\E`, `\eul` – sazba Eulerova čísla: e ,
- `\J`, `\jmag`, `\I`, `\imag` – sazba imaginární jednotky: j , i ,
- `\dif` – sazba diferenciálu: d ,
- `\sinc` – sazba funkce: sinc ,
- `\mikro` – sazba symbolu mikro stojatým písmem¹: μ ,
- `\uppi` – sazba symbolu π (stojaté řecké pí, na rozdíl od `\pi`, což sází π).

Všechny symboly jsou určeny pro matematický mód, vyjma `\mikro`, jenž je použitelný rovněž v textovém módu.

¹znak pochází z balíčku `textcomp`

B Druhá příloha



Obr. B.1: Zlepšené Wilsonovo proudové zrcadlo.

Pro sazbu vektorových obrázků přímo v \LaTeX je možné doporučit balíček `TikZ`. Příklady sazby je možné najít na `TikZ&TeX`. Pro vyzkoušení je možné použít programy `QTikZ` nebo `TikZ&TeX`.

C Příklad sazby zdrojových kódů

C.1 Balíček listings

Pro vysázení zdrojových souborů je možné použít balíček `listings`. Balíček zavádí nové prostředí `lstlisting` pro sazbu zdrojových kódů, jako například:

```
\section{Balíček listings}
Pro vysázení zdrojových souborů je možné použít
  balíček \href{https://www.ctan.org/pkg/listings}%
  {\texttt{listings}}.
Balíček zavádí nové prostředí \texttt{lstlisting} pro
  sazbu zdrojových kódů.
```

Podporuje množství programovacích jazyků. Kód k vysázení může být načítán přímo ze zdrojových souborů. Umožňuje vkládat čísla řádků nebo vypisovat jen vybrané úseky kódu. Např.:

Zkratky jsou sázeny v prostředí `acronym`:

```
6 \begin{acronym}[KolikMista]
```

Šířka textu volitelného parametru `KolikMista` udává šířku prvního sloupce se zkratkami. Proto by měla být zadávána nejdelší zkratka nebo symbol. Příklad definice zkratky `symfvz!` je na výpisu C.1.

Výpis C.1: Ukázka sazby zkratek

1	ůž
---	----

Ukončení seznamu je provedeno ukončením prostředí:

```
26 ůž
```

Poznámka k výpisům s použitím volby jazyka `czech` nebo `slovak`:

Pokud Váš zdrojový kód obsahuje znak spojovníku `-`, pak překlad může skončit chybou. Ta je způsobena tím, že znak `-` je v českém nebo slovenském nastavení balíčku `babel` tzv. aktivním znakem. Přepněte znak `-` na neaktivní příkazem `\shorthandoff{-}` těsně před výpisem a hned za ním jej vraťte na aktivní příkazem `\shorthandon{-}`. Podobně jako to je ukázáno ve zdrojovém kódu šablony.

Na výpisu C.2 naleznete příklad kódu pro Matlab, na výpisu C.3 zase pro jazyk C.

Výpis C.2: Příklad Schur-Cohnova testu stability v prostředí Matlab.

```
1 %% Příklad testování stability filtru
2
3 % koeficienty polynomu ve jmenovateli
4 a = [ 5, 11.2, 5.44, -0.384, -2.3552, -1.2288];
5 disp('Polynom:'); disp(poly2str(a, 'z'))
6
7 disp('Kontrola pomocí kořenu polynomu:');
8 zx = roots(a);
9 if( all( abs( zx) < 1))
10     disp('System je stabilní')
11 else
12     disp('System je nestabilní nebo na mezi stability');
13 end
14
15 disp(' '); disp('Kontrola pomocí Schur-Cohn:');
16 ma = zeros( length(a)-1,length(a));
17 ma(1,:) = a/a(1);
18 for( k = 1:length(a)-2)
19     aa = ma(k,1:end-k+1);
20     bb = fliplr(aa);
21     ma(k+1,1:end-k+1) = (aa-aa(end)*bb)/(1-aa(end)^2);
22 end
23
24 if( all( abs( diag( ma.'))))
25     disp('System je stabilní')
26 else
27     disp('System je nestabilní nebo na mezi stability');
28 end
```

Výpis C.3: Příklad implementace první kanonické formy v jazyce C.

<i>// první kanonická forma</i>	1
<u>short</u> fxdf2t(<u>short</u> coef[][5], <u>short</u> sample)	2
{	3
<u>static int</u> v1[SECTIONS] = {0,0},v2[SECTIONS] = {0,0};	4
<u>int</u> x, y, accu;	5
<u>short</u> k;	6
	7
x = sample;	8
<u>for</u> (k = 0; k < SECTIONS; k++){	9
accu = v1[k] >> 1;	10
y = _sadd(accu, _smpy(coef[k][0], x));	11
y = _sshl(y, 1) >> 16;	12
	13
accu = v2[k] >> 1;	14
accu = _sadd(accu, _smpy(coef[k][1], x));	15
accu = _sadd(accu, _smpy(coef[k][2], y));	16
v1[k] = _sshl(accu, 1);	17
	18
accu = _smpy(coef[k][3], x);	19
accu = _sadd(accu, _smpy(coef[k][4], y));	20
v2[k] = _sshl(accu, 1);	21
	22
x = y;	23
}	24
<u>return</u> (y);	25
}	26

D Obsah elektronické přílohy

Elektronická příloha je často nedílnou součástí semestrální nebo závěrečné práce. Vkládá se do informačního systému VUT v Brně ve vhodném formátu (ZIP, PDF ...).

Nezapomeňte uvést, co čtenář v této příloze najde. Je vhodné okomentovat obsah každého adresáře, specifikovat, který soubor obsahuje důležitá nastavení, který soubor je určen ke spuštění, uvést nastavení kompilátoru atd. Také je dobře napsat, v jaké verzi software byl kód testován (např. Matlab 2018b). Pokud bylo cílem práce vytvořit hardwarové zařízení, musí elektronická příloha obsahovat veškeré podklady pro výrobu (např. soubory s návrhem DPS v Eagle).

Pokud je souborů hodně a jsou organizovány ve více složkách, je možné pro výpis adresářové struktury použít balíček `dirtree`.

```
/ .....kořenový adresář přiloženého archivu
├── logo .....loga školy a fakulty
│   ├── BUT_abbreviation_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── BUT_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── FEEC_abbreviation_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── FEKT_zkratka_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── UTKO_color_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── UTKO_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── VUT_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── VUT_symbol_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   └── VUT_zkratka_barevne_PANTONE_CZ.pdf
├── obrazky .....ostatní obrázky
│   ├── soucastky.png
│   ├── spoje.png
│   ├── ZlepseneWilsonovoZrcadloNPN.png
│   └── ZlepseneWilsonovoZrcadloPNP.png
├── pdf .....pdf stránky generované informačním systémem
│   ├── student-desky.pdf
│   ├── student-titulka.pdf
│   └── student-zadani.pdf
├── text .....zdrojové textové soubory
│   ├── literatura.tex
│   ├── prilohy.tex
│   ├── reseni.tex
│   ├── uvod.tex
│   ├── vysledky.tex
│   ├── zaver.tex
│   └── zkratky.tex
├── sablona-obhaj.tex .....hlavní soubor pro sazbu prezentace k obhajobě
├── sablona-prace.tex .....hlavní soubor pro sazbu kvalifikační práce
└── thesis.sty .....balíček pro sazbu kvalifikačních prací
```