



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSVÍ
Katedra biomedicínské techniky

Zpracování a analýza záznamu srdeční aktivity

Heart activity record processing and analysis

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Biomedicínský technik

Vedoucí práce: Mgr. Ksenia Sedova, Ph.D.

Marek Sokol

Kladno 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sokol** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **483417**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra biomedicínské techniky**
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
Studijní obor: **Biomedicínský technik**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Zpracování a analýza záznamu srdeční aktivity

Název bakalářské práce anglicky:

Heart Activity Record Processing

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte v prostředí Matlab SW řešení pro offline hodnocení srdeční aktivity sledovaných osob pomocí Poincarého grafu. Dále navrhněte a realizujte v prostředí Python SW řešení s GUI pro online hodnocení srdeční aktivity. Obě navržená řešení otestujte na minimálně 5 probandech. Výsledky popište a vzájemně porovnejte.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Sornmo L., Laguna P., Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications, ed. 1st, Elsevier Academic Press, 2005, ISBN 0-12-437552-9
- [2] Lyons R.G., Understanding Digital Signal Processing, Prentice Hall, 2001, ISBN 0-201-63467-8
- [3] Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, Heart Rate Variability. Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use, Circulation, ročník 93, číslo 5, 1996, 1043-1065 s.
- [4] Salahuddin L, Cho J, Jeong MG, Kim D. , Ultra short term analysis of heart rate variability for monitoring mental stress in mobile settings, Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc., ročník 2007, číslo -, 2007, 4656-4659 s.

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

Mgr. Ksenia Sedova, Ph.D.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Ing. Jan Hejda, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **18.09.2022**


doc. Ing. Martin Rožánek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) katedry


prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student(ka) bere na vědomí, že je povinnen(a) vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

17.2.2021

Datum převzetí zadání



Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Zpracování a analýza záznamu srdeční aktivity“ vypracoval/a samostatně a použil/a k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 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.

V Kladně dne

.....

Marek Sokol

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí své bakalářské práce, Mgr. Ksenii Sedové, Ph.D. za odborné vedení práce, za pomoc, vstřícnost a rady při zpracování této práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing et Ing. Janu Hejdovi, Ph.D. za všestrannou pomoc, množství cenných a inspirativních rad, podnětů, doporučení a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky. V neposlední řadě děkuji své rodině a všem přátelům, kteří mě při vytváření této práce podpořili.

ABSTRAKT

Zpracování a analýza záznamu srdeční aktivity:

Bakalářská práce se věnuje návrhu a realizaci softwarového řešení pro hodnocení srdeční aktivity v programovém prostředí MATLAB a Python. Hlavním cílem je navrhnout adaptivní algoritmus, který bude schopen realizovat analýzu na naměřeném EKG signálu zatíženého artefakty a dále aplikovat tuto metodu pro měření v reálném čase. Pro hodnocení zpracovaného záznamu byla vybraná analýza v časové oblasti, konkrétně variabilita srdeční frekvence a z ní vycházející parametry. Dalším cílem práce je vizualizace výstupu v podobě interaktivních grafů zobrazujících ve vybraných časových úsecích Poincarého graf. K testování navrženého řešení byly použity krátkodobé záznamy naměřené celkem u 5 probandů. Během měření byli probandi v prostředí virtuální reality, ve které byl každý z nich vystaven situaci stimulující kognitivní zátěž a monitorován přenosným elektrokardiografem neboli Holterovsky. Výsledkem práce je sada skriptů implementovaných v prostředí Matlab schopných offline adaptivně zpracovat EKG a zobrazit grafy parametrů prokazujících korelaci kognitivní zátěže s variabilitou srdečního rytmu v závislosti na čase. Byla naprogramována multiplatformní Python GUI aplikace rozšiřující výstup v rámci online měření.

Klíčová slova

EKG (Elektrokardiogram), zpracování EKG, detekce EKG komponentů, EKG analýza, HRV analýza, HRV parametry, MATLAB, Python

ABSTRACT

Heart activity record processing and analysis:

The bachelor's thesis deals with the design and implementation of a software solution for the evaluation of cardiac activity in the MATLAB and Python software environment. The main goal is to design an adaptive algorithm that will be able to perform analysis on the measured ECG signal loaded with artifacts and further apply this method for real-time measurement. For the evaluation of the processed records, the analysis in the time domain was selected, specifically the variability of the heart rate and the parameters based on it. Another goal of the work is the visualization of the output in the form of interactive graphs showing a graph of Poincaré in selected time periods. For testing of the proposed solution, short-term records measured in a total of 5 probands were used. During the measurements, the probands were in a virtual reality environment in which each of them was exposed to a situation that stimulates cognitive stress and was monitored by Holter, a portable electrocardiogram. The result of the work is a set of scripts implemented in the MATLAB environment capable to adaptively process the ECG offline and display graphs of the parameters demonstrating the correlation of cognitive load with heart rate variability over time. A multiplatform Python GUI application was programmed to extend the output for online measurement.

Key words

ECG (Electrocardiogram), ECG processing, detection of ECG components, ECG analysis, HRV analysis, HRV parameters, MATLAB, Python

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Seznam symbolů zkratek | 8 |
| 1 Úvod | 10 |
| 2 Přehled současného stavu | 11 |
| 3 Cíle práce | 12 |
| 4 Metody | 13 |
| 4.1 Ukázka citací | 13 |
| 5 Výsledky | 14 |
| 6 Diskuse | 16 |
| 7 Závěr | 17 |
| Seznam použité literatury | 18 |
| Příloha A: Požadavky na formátování práce | 19 |
| Příloha B: Základní typografické zásady | 20 |
| Příloha C: Další doporučení pro přehlednost textu | 21 |
| Příloha D: Obsah přiloženého CD/DVD | 22 |

Seznam symbolů a zkratek

Seznam symbolů

| Symbol | Jednotka | Význam |
|---------|----------|-----------------------------------|
| $d[n]$ | mV | Diferencovaný signál |
| $f[n]$ | mV | Původní signál |
| n | – | Iterátor |
| Ww | s | Délka pevného okna (Window width) |
| $Bc[n]$ | mV | Zpětně kumulovaný signál |
| N | – | Počet vzorků |
| RR | s | Délka R-R intervalu |

Seznam zkratek

| Zkratka | Význam |
|---------|---|
| EKG | Elektrokardiogram (Electrocardiogram) |
| AP | Akční potenciál (Action potential) |
| HRV | Variabilita srdeční frekvence (Heart rate variability) |
| PSS | Převodní systém srdeční (Cardiac conduction system) |
| SA | Sinoatriální uzel (Sinoatrial node) |
| AV | Atrioventrikulární uzel (Atrioventricular node) |
| NVI | Neuroviscerální integrace (Neurovisceral integration) |
| VLF | Velmi nízké frekvence (Very frequency) |
| LF | Nízké frekvence (Low frequency) |
| HF | Vysoké frekvence (High frequency) |
| VNS | Vegetativní nervová soustava (Vegetative nervous system) |
| QRS | Depolarizace komor (Ventricular depolarization) |
| ANS | Autonomní nervový systém (Autonomic nervous system) |
| APG | Akcelerovaná fotopletysmografie (Accelerated photoplethysmography) |
| FFT | Rychlá Fourierova transformace (Fast Fourier transform) |
| SGF | Savitzky-Golay filtr |
| HR | Srdeční rytmus (Heart rate) |
| PNS | Parasympatický nervový systém (Parasympathetic nervous system) |
| RMSSD | Odmocnina průměru umocněných rozdílů po sobě jdoucích NN intervalů (Root mean square of the successive differences) |
| NN50 | Počet dvojic po sobě jdoucích NN intervalů lišících se o více než 50 ms (The number of pairs of successive NN (R-R) intervals that differ by more than 50 ms) |
| pNN50 | Hodnota parametru NN50 v poměru s celkovým počtem NN intervalů (The proportion of NN50 divided by the total number of NN (R-R) intervals) |
| SDNN | Standardní odchylka všech NN intervalů (Standard deviation of the NN/RR intervals) |
| FIR | Filtr s konečnou impulzní odezvou |
| DICOM | Standardní medicínský formát (Digital Imaging and Communications in Medicine) |
| AIS | Absolutní invalidní segmenty |
| RIS | Relativní invalidní segmenty |

1 Úvod

Záznam srdeční aktivity neboli elektrokardiogram (EKG), na kterém vidíme časový průběh změn elektrického potenciálu srdce, hraje velmi důležitou roli v kardiologické diagnostice. Uchovává v sobě komponenty jak v časové, tak i ve frekvenční doméně, díky kterým jsme schopni provádět EKG analýzu, a to i za jinými účely než jen z hlediska kardiologie. Abychom ale mohli tuto analýzu provést či extrahovat potřebné komponenty, musíme signál patřičně zpracovat, jelikož jeho surová podoba může být zkreslená a často obsahuje mnohočetné nežádoucí artefakty.

Důležitými východisky, od kterých se odvíjí následně zvolená metodika při zpracování signálu a tím pádem i samotný výstup, jsou zejména kvalita a charakteristika biosignálu. V ideálním případě se nabízí myšlenka univerzálního způsobu, který signál spolehlivě zbaví všech nežádoucích elementů nehlédě na zmíněné východiska. Jelikož v posledních letech nastal velký průlom v oblasti využití strojového učení (machine learning) a umělé inteligence (AI, artificial intelligence) pro zpracování biosignálů, tak úvaha v rámci metod z těchto oblastí může právě k takové zavádějící myšlence vést. V praxi se ale při zpracování EKG signálu neorientuje jen jeho kvalitou či charakterem ale také povahou nadcházející analýzy. Proto se při zpracování využívají variace, kombinace a obdoby konvenčních metod, kde každou volíme na základě zvolené dílčí oblasti analýzy nebo jiných specifických požadavků. Průnik všech metod obsahuje v první řadě snahu o efektivní potlačení nežádoucích prvků a odkrývá tak část problematiky této práce.

Při samotném základním EKG vyšetření srdce, zde hraje roli několik vnějších i vnitřních vlivů, které se ve výsledku mohou jevit jako sťažejní při zpracovávání biosignálu. Takové jevy můžeme právě nazvat nežádoucími prvky. Těmi jsou zejména elektrické a magnetické vlastnosti tkání, zvláště svalový akční potenciál (AP), nebo umístění a vodivost elektrod využívaných při vyšetření. Proto je velmi důležité signál pečlivě analyzovat a filtrovat exaktními metodami, jinak by jeho použití mohlo vést k vágním výsledkům.

Po správném zpracování EKG signálu je možné začít s jeho analýzou. Její interpretace umožňuje detekovat potencionální srdeční vady či jiné srdeční stavy. Dále také můžeme pracovat s extrahovanými komponenty, s jejichž pomocí lze například určit variabilitu srdečního rytmu (HRV, Heart rate variability). Tato specifická metrika a analýza jejích parametrů má pro nás mnoho dalších klinických významů a umožňuje využití nejen v rámci kardiologie ale také neurologie a psychofyziologie.

V této práci se zaměříme na problematiku týkající se zpracování a analýzy EKG signálu, a to nejen v rámci naměřených signálů (offline) ale také při měření v reálném čase (online). Vybranou dílčí oblastí analýzy je především detekce a hodnocení kognitivní zátěže z HRV společně se statistickými parametry, vypočtenými v časové oblasti, které jsou založené na intervalech beat-to-beat (N-N).

2 Přehled současného stavu

Přehled aktuálního stavu řešené problematiky podrobně shrnuje (1) současný stav poznání a výchozí podmínky pro řešení a to jak v tuzemsku, tak i v zahraničí (2) definuje problém, který je nutno a který se bude v práci řešit. Tato část práce je převážně vytvořena jako rešerše za použití mnoha literárních zdrojů. Při výkladu se postupuje od obecnějších informací k informacím co nejkonkrétnějším a od toho, co se o dané problematice ví, k tomu, co je neznámé a aktuálně vhodné k řešení. Z takto uspořádaného výkladu pak logicky vyplynou cíle práce vytyčené níže.

3 Cíle práce

Zde mají být výstižně popsány vytyčené cíle Vaší práce, vycházející ze zadání práce. Na rozdíl od velmi stručného zadání práce je nutné cíle v této části specifikovat podrobněji a vhodné je i rozvést cíle do specifických podcílů.

4 Metody

Kapitola obsahuje detailní popis způsobu řešení problému studentem. V závislosti na charakteru řešeného problému je tuto část práce možné rozdělit do více kapitol/podkapitol, kdy názvy kapitol jsou voleny konkrétněji s ohledem na jejich obsah.

Popisovány jsou postupy aplikované k dosažení výsledků práce a rovněž např. použité přístroje a materiál, metody zpracování dat a jejich statistického vyhodnocení apod. V případě měření s živými subjekty tato část práce obsahuje informaci, jak byly ošetřeny etické otázky výzkumu a charakteristiku subjektů dle zvyklostí v biomedicínských časopisech. Struktura a obsah této části je detailně probírána a procvičována v příslušných seminářích na oboru BMT. V případě, že text obsahuje matematický vzorec, na který se bude text později odkazovat, uvádějte vzorec na samostatném řádku, vycentrovaný na střed řádku a s číslem, které udává pořadí mezi číslovanými vzorci v kapitole, jako je tomu v příkladu vztahu pro elektrický odpor R :

$$R = \frac{U}{I} \quad (4.1)$$

kde U je napětí a I je proud. Pokud je vzorec součástí věty, jako v předchozím vztahu 4.1, pokračujte za ním textem bez odsazení nového odstavce. Vzorce vkládejte pomocí možností editoru, nekopírujte vzorce z jiných pramenů.

4.1 Ukázka citací

Ukázka citací: Byl využit software Matlab [1] s doplňkovým toolboxem EEGLAB [2]. Princip algoritmu k-means najdete například v publikaci [3].

Ukázka více citací [1, 2].

5 Výsledky

Věnujte kapitolu pouze přehlednému podání výsledků, nikoliv jejich diskusi. Data uvádějte zejména v grafech a tabulkách. Preferovány jsou grafy – tabulky se všemi naměřenými hodnotami, ze kterých grafy vycházejí, lze umístit do příloh práce.

Výsledky mají vždy obsahovat hlavní text, který zasadí prezentované obrázky a tabulky do souvislosti s předchozím textem a čtenáře prezentovanými daty provede. Prezentování výsledků ve formě nekomentovaného obrázkového alba je v drtivé většině případů nevhodné. Struktura a obsah této části je detailně probírána a procvičována v příslušných seminářích na oborech BMT, BME a SIPZ.

Na každý obrázek musí být uveden odkaz v textu, který má formát jako v následující větě. Obrázek se vždy čísluje a popisuje pod obrázkem, viz příklad na Obrázku 5.



Obrázek 5.1: Tulipány před ozářením kryptonitem. Fotografie: autor.

Obrázky číslujte podle hlavní kapitoly, ve které se vyskytují. Podkapitoly se již neuvažují. To znamená, že obrázky v úvodu (typicky kap. 1) budou: Obr. 1.1, Obr. 1.2 atd. V metodách (typicky druhá velká kapitola) budou číslovány Obr. 2.1, Obr. 2.2, Obr. 2.3 atd. Podrobněji viz dokument Často kladené dotazy týkající se psaní diplomové práce, dostupný na: <https://predmety.fbmi.cvut.cz/cs/17pmbds2>

Popis tabulky, na rozdíl od obrázku, je zpravidla nad tabulkou, viz Tabulka 5. Není nutné v něm opisovat celý obsah záhlaví tabulky, které následuje hned vzápětí. Jednotlivé proměnné v tabulce jsou řazeny do sloupců. V tabulce jsou nezávislé proměnné, kategorie probandů apod. řazeny vlevo, závislé proměnné vpravo. Jednotky uvádějte v kulatých závorkách v záhlaví tabulky, ne u každého čísla zvlášť. Vysvětlující poznámky (např. dosažená hladina významnosti, zda jsou data udávána jako průměr a směrodatná chyba průměru, jaký statistický test byl použit apod.) jsou umísťovány pod tabulku a odkaz na ně se

udává jako horní index (symboly, čísla, písmena) na příslušném místě tabulky. Na každý obrázek a tabulku je třeba odkazovat z hlavního textu.

Tabulka 5.1: Reakční čas T_{20} signálu periferní saturace kyslíkem, SpO_2 , měřený třemi různými přístroji.

| Fáze | $T_{20}(s)$ | | |
|---------------|----------------|-----------------|----------------|
| | Root Radical-7 | Nellcor N-600 | Carescape B650 |
| Hypoxická | $52 \pm 15^*$ | $65 \pm 19^*$ | 56 ± 15 |
| Hyperoxická | 43 ± 14 | 55 ± 28 | 49 ± 15 |
| Hyperkapnická | 75 ± 23 | $119 \pm 47^\#$ | $73 \pm 41^\#$ |

Data byla měřena pro shodnou skupinu 14 probandů a jsou uvedena jako aritmetický průměr \pm směrodatná odchylka. Symboly * a $^\#$ značí statisticky významný rozdíl ($p \leq 0,05$) časů pro shodnou fázi.

6 Diskuse

V této části shrňte získané výsledky (hlavní zjištění práce) a následně tyto výsledky interpretujte s ohledem na cíle práce. Lze též získané výsledky a výstupy konfrontovat s výsledky a výstupy jiných autorů, výrobky jiných společností apod. Nezbytné je správné uvádění zdrojů (citace prací, které jsou zde porovnávány a diskutovány). Diskutují se rovněž limitace práce. Nakonec lze nastínit další směřování práce do budoucna, opatrně spekulovat o klinickém významu práce apod.

Struktura a obsah této části je detailně probírána a procvičována v příslušných seminářích na oboru BMT.

7 Závěr

Závěr stručně shrnuje splnění vytyčených cílů práce. Struktura a obsah této části je detailně probírána a procvičována v příslušných seminářích na oboru BMT.

Shrnutí splněných (nebo snad v menší míře nesplněných) cílů práce navazuje na úvod práce. Z dalších částí práce (metody, výsledky a diskuse) je přebíráno jen to nejpodstatnější a v minimální nutné míře – závěr práce nemá být zopakováním abstraktu, výsledků nebo diskuse. Konec závěru může obsahovat podložené spekulace o významu práce do budoucna nebo výrazná doporučení pro další výzkum nebo praxi, pokud z výsledků předkládané práce přímo vyplývají.

Seznam použité literatury

1. GRANT, Michael; BOYD, Stephen. *MATLAB, version 7.10.0 (R2010a)* [školní licence]. Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc., 2010.
2. DELORME, Arnaud; MAKEIG, Scott. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*. 2004, roč. 134, č. 1, s. 9–21. ISSN 01650270. Dostupné z DOI: 10.1016/j.jneumeth.2003.10.009.
3. KRAJČA, Vladimír; MOHYLOVÁ, Jitka. *Číslicové zpracování neurofyzilogických signálů*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 9788001047217.

Příloha A: Požadavky na formátování práce

- Pro hlavní text práce používejte patkové písmo (Times New Roman, Georgia, Garamond apod.), velikost 12. Rovnice, matematické symboly apod. by měly být sázeny stejným, nebo alespoň co nejpodobnějším písmem stejné velikosti. Popisy obrázků a tabulek sázejte stejným písmem se zmenšenou velikostí. Nadpisy, čísla stránek, případné záhlaví či zápatí apod. mohou být sázeny buď stejným písmem jako hlavní text, nebo písmem bezpatkovým (např. Calibri). **V celé práci musí být použity maximálně dvě různá písma.**
- Řádkování práce, odsazení odstavců, velikosti písma v nadpisech apod. definují přímo jednotlivé styly použité v této šabloně.
- Okraje stránek práce jsou vždy 2,5 cm na každé straně plus 1 cm u hřbetu práce (levá strana).
- Práce je tištěna jednostranně, na papír formátu A4.
- Stránky se číslují arabskými číslicemi počínaje první (titulní) stranou. Číslování stránek se zobrazuje až od první stránky obsahu, což znamená, že na titulní straně, v zadání, prohlášení, poděkování a abstraktech se číslo stránky neuvádí.
- Hlavní kapitoly práce, počítaje v to Úvod a Závěr, jsou číslovány arabskými číslicemi. Seznam použité literatury číslo nemá. Přílohy označujte velkými písmeny anglické abecedy.
- Každou hlavní kapitolu práce (nadpis 1. úrovně) začínějte na samostatné stránce.

Příloha B: Základní typografické zásady

- Fyzikální a fyziologické veličiny a matematické proměnné se sázejí proloženě (kurzívou). Zkratky a symboly, pod kterými se neskrývá číselná hodnota, jsou sázeny normálním písmem – stejně jako označení fyzikálních jednotek.
- Jednotky veličin a symboly (například procenta) se v textu od číselných údajů oddělují nezlomitelnou mezerou. Zápis bez mezery má význam přídatného jména. Např. $10\ \Omega$ čteme „deset ohmů“ a 10Ω čteme „desetiohmový“.
- Nezlomitelnou mezeru je nutné v editoru textu vyznačit. Např. v aplikaci Microsoft Word se použije kombinace Shift, Ctrl, mezerník.
- Neslabičné předložky a spojky (netýká se „a“) nesmí zůstat na konci řádku. Proto za nimi používejte nezlomitelnou mezeru.
- Rozlišujte spojovník a pomlčku. Spojovník je krátká čára používaná ke spojení dvou slov (např. česko-anglický slovník). Pomlčka slouží k vyznačení prodlevy v textu, pak ji obvykle píšeme s mezerami, nebo k vyznačení rozsahu (5–10), kdy se píše bez mezer.
- Pro podrobnější informace k typografii doporučujeme např. dokument prof. Roubíka Fyzikální veličiny a číselné údaje, dostupný na stránce: <https://predmety.fbmi.cvut.cz/cs/17PMBPIZ> a dokument Jany Borůvkové Jak napsat bakalářskou práci, dostupný na stránce: http://is.mendelu.cz/dok_server/slozka.pl?id=53294;download=160152;lang=cz
- Pro zajištění jazykové správnosti práce doporučujeme konzultovat Internetovou jazykovou příručku Ústavu pro jazyk český Akademie věd ČR dostupnou z: <http://prirucka.ujc.cas.cz/>

Příloha C: Další doporučení pro přehlednost textu

- Obrázky a tabulky sázejte v textu samostatně, bez obtékání textu po stranách. Nevkládejte obrázky a tabulky na stránku před skončením odstavce. Zkontrolujte, že popis obrázku nebo tabulky zůstal na stejné straně jako vlastní obrázek nebo tabulka.
- První řádek odstavce by neměl zůstat sám na konci řádky (tzv. vdova) a poslední řádek odstavce by neměl zůstat sám na začátku nové stránky (tzv. sirotek).
- Veškeré zkratky, s výjimkou těch nejznámějších jako DNA, by měly být v práci vysvětleny při prvním výskytu v hlavním textu a současně také v abstraktu, pokud je nutné je v něm použít.
- Na rovnice odkazujte jejich číslem, a to až za jejich uvedením v textu práce.
- Všechny obrázky a tabulky v práci musí být odkazovány z hlavního textu pomocí svých čísel.

Příloha D: Obsah přiloženého CD/DVD

Poslední přílohou práce je obsah přiloženého datového nosiče. Typ a povinný obsah datového nosiče je specifikován na stránkách FBMI ČVUT v Praze (<https://www.fbmi.cvut.cz/cs/student/bakalarske-diplomove-prace>).

Dále na datový nosič umístěte přílohy, které není možné pro jejich rozsah nebo charakter umístit do výtisku práce, ale které mohou být důležité pro posouzení úplnosti a kvality splnění zadání práce, jako jsou různé konstrukční výkresy, zdrojový kód programů pro zpracování naměřených dat apod.