

Technical University of Košice  
Faculty of Electrical Engineering

# Intelligent control of the biomechanical system

Bachelor Thesis

2021

Maroš Stredanský

**Technical University of Košice**  
**Faculty of Electrical Engineering**

**Intelligent control of the biomechanical  
system**

**Bachelor Thesis**

Study programme: Intelligent systems  
Study field: Intelligent systems  
Training workplace: Department of Cybernetics and Artificial Intelligence (KKUI)  
Supervisor: doc. Ing. Marek Bundzel, PhD.  
Consultant: Ing. Miroslav Jaščur, Ing. Ivan Čík

**Košice 2021**

**Maroš Stredanský**

## **Abstrakt**

Ruka je neoddeliteľnou súčasťou ľudského tela a má neuveriteľné spektrum funkčnosti. Okrem toho, že má hrubú a jemnú motoriku potrebnú pre fyzické prežitie, je ruka nevyhnutná aj pre spoločenské konvencie, ktoré umožňujú pozdrav, umelecký prejav a komunikáciu. Strata jednej alebo oboch rúk je teda devastácnou skúsenosťou, ktorá si vyžaduje výraznú psychologickú podporu a fyzickú rehabilitáciu. U ľudí narodených bez hornej končatiny je dôležité používať myoelektrickú protézu od detstva z dôvodu zdravého vývoja neuromotoriky, psychomotorických systémov, reaktivity a synaptických spojení medzi ľavou a pravou hemisférou. Prvá myoelektrická protetika bola vyvinutá v 40. rokoch minulého storočia a postupne vďaka možnosti aktívneho uchopenia predmetov prostredníctvom akčného potenciálu svalov sa stala jedným z kľúčových riešení pri náhrade horných končatín. V súčasnosti s rastúcim počtom prípadov amputovaných horných končatín a exponenciálnym rastom v oblasti vývoja technológií a medicíny nachádza myoelektrická protetika ako náhrada končatiny stále väčšie uplatnenie v každodennom živote človeka.

## **Kľúčové slová**

Náhrada končatiny, Myoelektrická protetika, EMG signály, Inteligentné riadenie, Biomechanický systém

## **Abstract**

The hand is an integral part of the human body and has an incredible spectrum of functionality. In addition to having the gross and fine motor skills necessary for physical survival, the hand is essential for social conventions that allow for greeting, care, artistic expression, and syntactic communication. The loss of one or both hands is thus a devastating experience that requires significant psychological support and physical rehabilitation. For people born without an upper limb, it is important to use a myoelectric prosthesis from childhood due to the healthy development of ne-

uromotorics, psychomotor systems, reactivity and synaptic connections between the left and right hemispheres. The first myoelectric prosthetics were developed in the 1940s, and with gradual development thanks to the possibility of actively grasping objects through the action potential of muscles, it has become one of the key solutions in the replacement of upper limbs. At present, with the growing number of cases of amputated upper limbs and exponential growth in the development of technology and medicine, myoelectric prosthetics as a limb replacement is finding increasing use in everyday human life.

**Keywords**

Limb replacement, Myoelectric prosthetics, EMG signals, Intelligent control, Bio-mechanical system

## **Assignment of bachelor thesis**

Namiesto tejto strany vložte naskenované zadanie úlohy. Odporúčame skenovať s rozlíšením 200 až 300 dpi, čierno-bielo! V jednej vytlačenej ZP musí byť vložený originál zadávacieho listu!

**Affidavit**

I declare that I have prepared the bachelor thesis independently using the mentioned scientific literature.

Košice 11. 4. 2021

.....

*Signature*

## **Acknowledgement**

I want to express my gratitude to the supervisor of the bachelor thesis doc. Ing. Marek Bundzel, PhD. and to consultants Ing. Miroslav Jaščur and Ing. Ivan Čík for comments and professional help during the whole process of elaboration of the bachelor thesis.

I would also like to thank Michal Frištík, a student of the Faculty of Mechanical Engineering at the Technical University of Košice, my longtime friend for help and support in the realization of the bachelor's thesis model, but above all for his sincerity and critical attitude and innovative ideas that helped to implement the work to the functional 3D printed model.

## **Main goal and motivation**

One of the basic needs of every person is the desire for an independent and meaningful life. Even a person with a disability feels this desire. He wants to live independently, decide on his own life, take responsibility for himself and his decisions. The issue of amputated limbs has plagued humanity since the time of General Marcus Sergius, and with the growing emphasis on man to live an independent and full life, the question of helping people with amputated limbs arises.

Based on this fact, I decided to build a robotic hand for an amputated limb controlled by muscle signals and thus answer the question of the availability of myoelectric prostheses for society. The main goal of this bachelor thesis was to build a functional model of a myoelectric prosthesis and to map the development processes in the field of prosthetics and the essentials in the field of design and construction of such a prosthesis. This work is therefore intended for everyone interested in the actual construction of a robotic hand for an amputated limb, as well as for those who are interested in a purely informative nature. This work aimed to create a functional model of a myoelectric prosthesis using available procedures and technologies without the external influence of existing prostheses.



# Obsah

Úvod	1
1 Formulácia úlohy - x	2
2 Analýza	3
2.1 podnapis . . . . .	3
2.2 Podkapitola . . . . .	4
3 Jadro práce	5
4 Záver (zhodnotenie riešenia)	7
Zoznam príloh	10
Príloha A	11
Príloha B	12
Príloha C	15

## Zoznam obrázkov

2-1	Toto je štvorec . . . . .	3
2-2	Grafické zobrazenie riešenia rovnice (2.1) . . . . .	4
3-1	Teplotná závislosť spinovo-mriežkového relaxačného času . . . . .	5
4-1	Ukážka použitia <code>natlib</code> package . . . . .	8

## Zoznam tabuliek

2–1	Prehľad jednotiek . . . . .	3
3–1	Parametre získané z meraní spinovo-mriežkových relaxačných časov $T_1$	6

## Slovník termínov

**Dizertácia** je rozsiahla vedecká rozprava, v ktorej sa na základe vedeckého výskumu a s použitím (využitím) bohatého dokladového materiálu ako i vedeckých metód rieši zložitý odborný problém.

**Font** je súbor, obsahujúci predpisy na zobrazenie textu v danom písme, napr. na tlačiarňi. To čo vidíme je písmo; font je súbor a nevidíme ho.

**Kritika** je odborne vyhrotený, prísny pohľad na hodnotenú vec. Medzi recenziou a kritikou je taký pomer ako medzi diskusiou a polemikou. Pri kritike treba prísnosť chápať v tom zmysle, že sa v nej okrem iného navrhuje, ako hodnotené dielo skvalitniť.

**Meter (m)** je vzdialenosť, ktorú svetlo vo vákuu prejde za čas. interval  $1/299\,792\,458$  sekundy.

**Písmom** rozumieme vlastný vzhľad znakov.

**Problém** termín používaný vo všeobecnom zmysle vo vzťahu k akejkoľvek duševnej aktivite, ktorá má nejaký rozoznateľný cieľ. Samotný cieľ nemusí byť v dohľadne. Problémy možno charakterizovať tromi rozmermi – oblasťou, obtiažnosťou a veľkosťou.

**Proces** je postupnosť či rad časovo usporiadaných udalostí tak, že každá predchádzajúca udalosť sa zúčastňuje na determinácii nasledujúcej udalosti.

## Úvod

V úvode autor podrobnejšie ako v predhovore, pritom výstižne a krátko charakterizuje stav poznania alebo praxe v špecifickej oblasti, ktorá je predmetom záverečnej práce. Autor presnejšie ako v predhovore vysvetlí ciele práce, jej zameranie, použité metódy a stručne objasní vzťah práce k iným prácam podobného zamerania. V úvode netreba zachádzať hlbšie do teórie. Nie je potrebné podrobne popisovať metódy, experimentálne výsledky, ani opakovať závery.

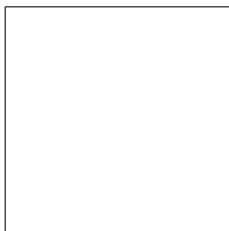
## 1 Formulácia úlohy - x

Na písanie textu záverečnej práce sa používajú štýly uvedené v tejto šablóne (Nadpis záverečnej práce, Podnadpis záverečnej práce, Text záverečnej práce [riadkovanie 1.5, Latin Modern 12] a ďalšie podľa potreby). Text záverečnej práce musí obsahovať kapitolu s formuláciou úlohy resp. úloh riešených v rámci záverečnej práce. V tejto časti autor rozvedie spôsob, akým budú riešené úlohy a tézy formulované v zadaní práce. Taktiež uvedie prehľad podmienok riešenia.

## 2 Analýza

### 2.1 podnapis

Text záverečnej práce obsahuje kapitolu, v rámci ktorej autor uvedie analýzu riešených problémov. Táto kapitola môže byť v prípade potreby delená do viacerých podkapitol. Autor v texte záverečnej práce môže zvýrazniť kľúčové slová, pričom sa použije príslušný štýl pre kľúčové slová – napr. toto je kľúčové slovo. V texte môžu byť použité obrázky a tabuľky podľa nasledujúcich príkladov:



**Obrázok 2–1** Toto je štvorec

Obrázok by mal byť podľa možnosti centrováný. Pri jeho opisovaní v texte treba použiť odkazy na obrázok v tvare Obrázok 2–1.

**Tabuľka 2–1** Prehľad jednotiek

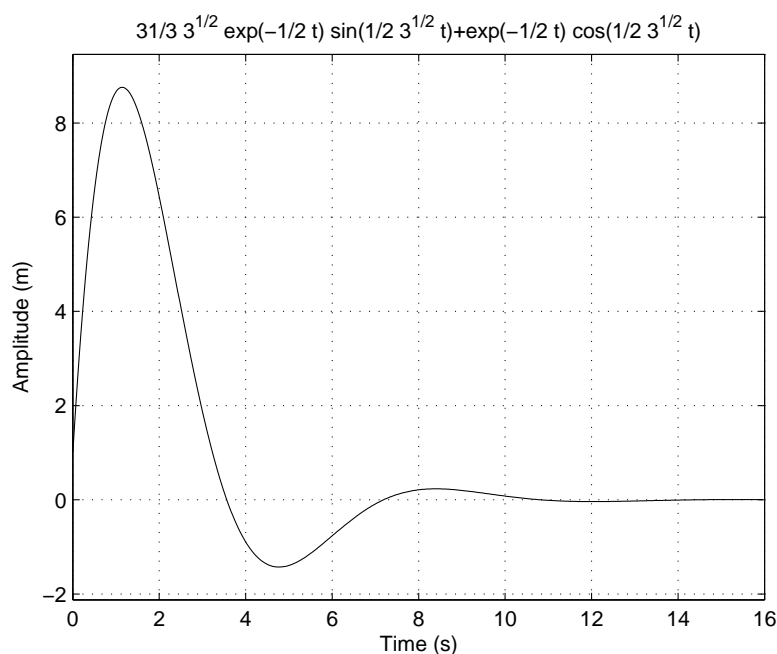
Názov	(Jednotka v sústave SI)
Napätie	$\mu\text{V}$

Tabuľka by mala byť podľa možnosti centrovaná. Pri jej opisovaní v texte treba použiť odkazy na tabuľku v tvare: pozri Tabuľku 2–1. Na číslovanie obrázkov, resp. tabuliek treba použiť triedenie. Za slovom *Obrázok* nasleduje ako prvé číslo kapitoly alebo časti, v ktorej sa obrázok nachádza, potom medzera, pomlčka, medzera a poradové číslo ilustrácie v danej kapitole alebo časti. Napr.: Obrázok 2–1 (čiže: prvý obrázok v druhej kapitole alebo časti). V prípade, ak tabuľka presahuje stranu, je možné použiť balík `longtable`.

Navrhujeme zaraďovať obrázky v elektronickej podobe. Napríklad Obrázok 2–2, ktorý opisuje riešenie diferenciálnej rovnice tlmených oscilácií

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} + y = 0, \quad y(0) = 1, \quad y'(0) = 15, \quad (2.1)$$

bol vytvorený v MATLABe a príkazom `print tlmosc.eps -f1 -deps2` bol uložený vo formáte Encapsulated Postscript. Na prípadné použitie pdf $\text{\LaTeX}$ u sa obrázok konvertuje do formátu PDF, napr. pomocou programu `epstopdf`. Zvyčajne sa číslujú vzťahy, na ktoré sa v texte odvolávame. Napríklad: vzťahy (2.1) definujú Cauchyho začiatočnú úlohu.



**Obrázok 2–2** Grafické zobrazenie riešenia rovnice (2.1)

## 2.2 Podkapitola

Podkapitoly záverečnej práce majú za úlohu členenie textu záverečnej práce s cieľom, čo najväčšej prehľadnosti. Kapitol môže byť viacero a v ich názvoch sa používa desatinné číslovanie.

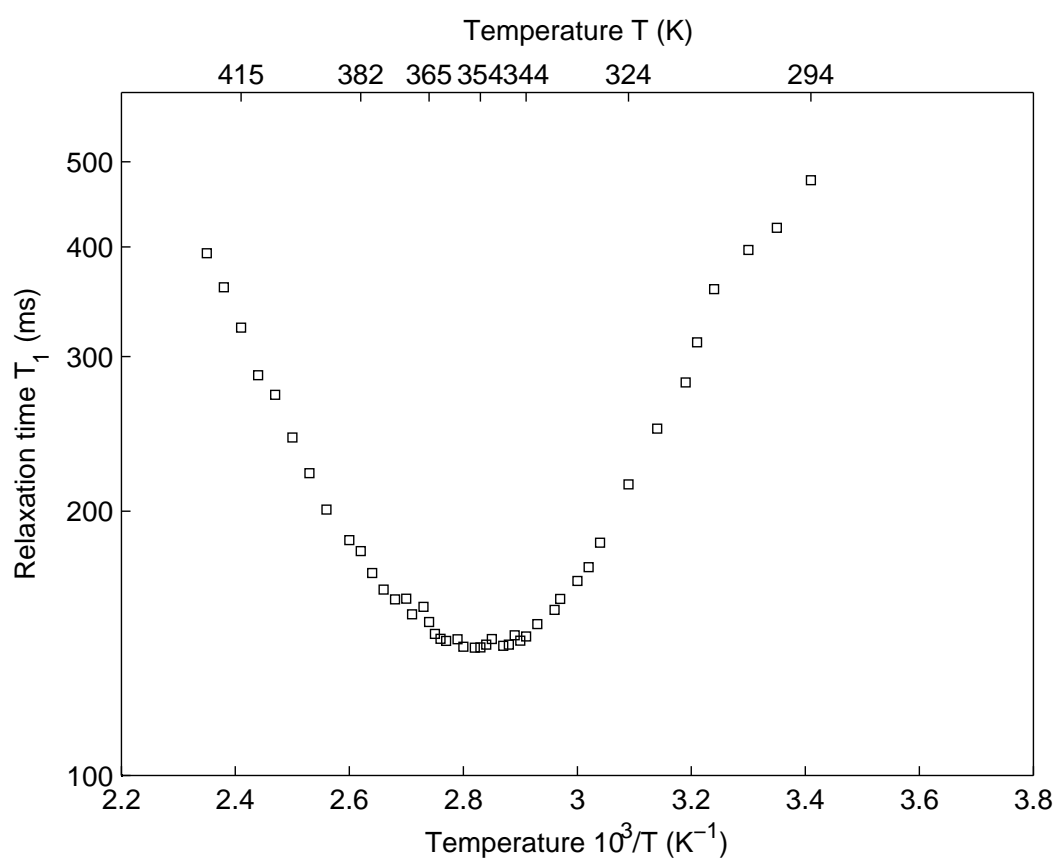


### 3 Jadro práce

Začnime rovnicou

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} + y = 0, \quad y(0) = 1, \quad y'(0) = 15. \quad (3.1)$$

Grafický priebeh riešenia tejto rovnice vidíme na Obrázku 2–2.



**Obrázok 3–1** Teplotná závislosť spinovo-mriežkového relaxačného času

**Tabuľka 3 – 1** Parametre získané z meraní spinovo-mriežkových relaxačných časov  $T_1$ 

	PP – 01	PP – 05	PP – 10	PP – 16	PP – 22
$C \cdot 10^8 \text{ (s}^{-2}\text{)}$	10,1	10,0	11,0	9,2	8
$\tau_0 \cdot 10^{-14} \text{ (s)}$	2,63	1,44	0,95	2,21	10,83
$E_a \text{ (kJ)}$	34,26	8,33	39,76	37,31	31,86
$T_{\min} \text{ (K)}$	354	367	367	369	367
$T_{1\min} \text{ (ms)}$	141	160	157	175	181
$\Delta M_2 \text{ (Gs}^2\text{)}$	5,49	5,66	5,16	5,09	5,02

## 4 Záver (zhodnotenie riešenia)

Táto časť záverečnej práce je povinná. Autor uvedie zhodnotenie riešenia. Uvedie výhody, nevýhody riešenia, použitie výsledkov, ďalšie možnosti a pod., prípadne načrtne iný spôsob riešenia úloh, resp. uvedie, prečo postupoval uvedeným spôsobom.

Na strane 8 Vám ukážem ako sa používajú citácie. Ukážka:

Šumichrast (2013)

(Šumichrast, 2013)

Šumichrast 2013

2013

Šumichrast

## The natbib package

```
\usepackage[...]{natbib}
```

### Textual citation

```
\citet{jon90}           Jones et al. (1990)
\citet[chap. 2]{jon90}  Jones et al. (1990, chap. 2)
```

### Parenthetical citation

```
\citep{jon90}           (Jones et al., 1990)
\citep[chap. 2]{jon90}  (Jones et al., 1990, chap. 2)
\citep[see][]{jon90}    (see Jones et al., 1990)
\citep[see][chap. 2]{jon90} (see Jones et al., 1990, chap. 2)
```

### Multiple citations

```
\citet{jon90,jam91}      Jones et al. (1990); James et al. (1991)
\citep{jon90,jam91}      (Jones et al., 1990; James et al. 1991)
\citep{jon90,jon91}      (Jones et al., 1990, 1991)
\citep{jon90a,jon90b}    (Jones et al., 1990a,b)
```

## The natbib package II

### Supressed parentheses

```
\citealt{jon90}          Jones et al. 1990
\citealp{jon90}           Jones et al., 1990
\citealp{jon90,jam91}     Jones et al., 1990; James et al., 1991
\citealp[p. 32]{jon90}   Jones et al., 1990, p. 32
```

### Partial citations

```
\citeauthor{jon90}       Jones et al.
\citeyear{jon90}         1990
```

### Forcing upper case

```
when \citet{dRob98}      della Robbia (1998)
then \Citet{dRob98}      Della Robbia (1998)
```

Obrázok 4–1 Ukážka použitia natlib package

## Literatúra

Šumichrast, L. (2013). On some strategies for computer simulation of the wave propagation using finite differences II. multi-dimensional FDTD method, *J. Electr. Eng.* .

# **Zoznam príloh**

**Príloha A** Prílohy

**Príloha B** Bibliografické odkazy

**Príloha C** Vytvorenie zoznamu skratiek a symbolov

**Príloha D**

## Príloha A

### Prílohy

Táto časť záverečnej práce je povinná a obsahuje zoznam všetkých príloh vrátane elektronických nosičov. Názvy príloh v zozname musia byť zhodné s názvami uvedenými na príslušných prílohách. Tlačené prílohy majú na prvej strane identifikačné údaje – informácie zhodné s titulnou stranou záverečnej práce doplnené o názov príslušnej prílohy. Identifikačné údaje sú aj na priložených diskoch alebo disketách. Ak je médií viac, sú označené aj číselne v tvare  $I/N$ , kde  $I$  je poradové číslo a  $N$  je celkový počet daných médií. Zoznam príloh má nasledujúci tvar:

**Príloha A** CD médium – záverečná práca v elektronickej podobe, prílohy v elektronickej podobe.

**Príloha B** Používateľská príručka

**Príloha C** Systémová príručka

Prílohová časť je samostatnou časťou kvalifikačnej práce. Každá príloha začína na novej strane a je označená samostatným písmenom (Príloha A, Príloha B, ...). Číslovanie strán príloh nadväzuje na číslovanie strán v hlavnom texte. Pri každej prílohe sa má uviesť prameň, z ktorého sme príslušný materiál získali.

## Príloha B

### Bibliografické odkazy

Táto časť záverečnej práce je povinná. V zozname použitej literatúry sa uvádzajú odkazy podľa normy STN ISO 690–2 (01 0197) (Informácie a dokumentácia. Bibliografické citácie. Časť 2: Elektronické dokumenty alebo ich časti, dátum vydania 1. 12. 2001, ICS: 01.140.20). Odkazy sa môžu týkať knižných, časopiseckých a iných zdrojov informácií (zborníky z konferencií, patentové dokumenty, normy, odporúčania, kvalifikačné práce, osobná korešpondencia a rukopisy, odkazy cez sprostredkujúci zdroj, elektronické publikácie), ktoré boli v záverečnej práci použité.

Forma citácií sa zabezpečuje niektorou z metód, opísaných v norme STN ISO 690, 1998, s. 21. Podrobnejšie informácie nájdete na stránke <http://www.tuke.sk/anta/> v záložke Výsledky práce/Prehľad normy pre publikovanie STN ISO 690 a STN ISO 690-2.

Existujú dva hlavné spôsoby citovania v texte.

- Citovanie podľa mena a dátumu.
- Citovanie podľa odkazového čísla.

*Preferovanou metódou citovania* v texte vysokoškolskej a kvalifikačnej práce je podľa normy ISO 7144 citovanie podľa mena a dátumu. V tomto prípade sa zoznam použitej literatúry upraví tak, že za meno sa pridá rok vydania. Na uľahčenie vyhľadávania citácií sa zoznam vytvára v abecednom poradí autorov.

Druhý spôsob uvedenia odkazu na použitú literatúru je uvedenie len čísla tohto zdroja v hranatých zátvorkách bez mena autora (autorov) najčastejšie na konci príslušnej vety alebo odstavca.

Citácie sú spojené s bibliografickým odkazom poradovým číslom v tvare indexu alebo čísla v hranatých zátvorkách. Odkazy v zozname na konci práce budú usporiadané podľa týchto poradových čísel. Viacero citácií toho istého diela bude mať



rovnaké číslo. Odporúča sa usporiadať jednotlivé položky v poradí citovania alebo podľa abecedy.

Rôzne spôsoby odkazov je možné dosiahnuť zmenou voľby v balíku `natbib`:

```
% Citovanie podľa mena autora a roku
\usepackage[] {natbib} \citestyle {chicago}

% Možnosť rôznych štýlov citácií. Príklady sú uvedené
% v preambule súboru natbib.sty.

% Napr. štýly chicago, egs, pass, anngeo, nlinproc produkujú
% odkaz v tvare (Jones, 1961; Baker, 1952). V prípade, keď
% neuvedieme štýl citácie (vynecháme \citestyle{ }) v "options"
% balíka natbib zapíšeme voľbu "colon".
```

Keď zapneme voľbu `numbers`, prepneme sa do režimu citovania podľa odkazového čísla.

```
% Metoda číselných citácií
\usepackage [numbers] {natbib}
```

Pri zápise odkazov sa používajú nasledujúce pravidlá:

V odkaze na knižnú publikáciu (pozri príklad zoznamov na konci tejto časti):

- Uvádzame jedno, dve alebo tri prvé mená oddelené pomlčkou, ostatné vynecháme a namiesto nich napíšeme skratku *et al.* alebo *a i.*
- Podnázov sa môže zapísať vtedy, ak to uľahčí identifikáciu dokumentu. Od názvu sa oddeľuje dvojbodkou a medzerou.
- Dlhý názov sa môže skrátiť v prípade, ak sa tým nestratí podstatná informácia. Nikdy sa neskracuje začiatok názvu. Všetky vynechávky treba označiť znamienkami vypustenia „...“

Pri využívaní informácií z elektronických dokumentov treba dodržiavať tieto zásady:

- uprednostňujeme autorizované súbory solídnych služieb a systémov,
- zaznamenáme dostatok informácií o súbore tak, aby ho bolo opäť možné vyhľadať,
- urobíme si kópiu použitého prameňa v elektronickej alebo papierovej forme,
- za verifikovateľnosť informácií zodpovedá autor, ktorý sa na ne odvoláva.

Pre zápis elektronických dokumentov platia tie isté pravidlá, ako pre zápis „klasických“. Navyše treba uviesť tieto údaje:

- druh nosiča [online], [CD-ROM], [disketa], [magnetická páska]
- dátum citovania (len pre online dokumenty)
- dostupnosť (len pre online dokumenty)

Poradie prvkov odkazu je nasledovné: Autor. Názov. In Názov primárneho zdroja: Podnázov. [Druh nosiča]. Editor. Vydanie alebo verzia. Miesto vydania : Vydavateľ, dátum vydania. [Dátum citovania]. Poznámky. Dostupnosť. ISBN alebo ISSN.

## Príloha C

### Vytvorenie zoznamu skratiek a symbolov

Ak sú v práci skratky a symboly, vytvára sa *Zoznam skratiek a symbolov* (a ich dešifrovanie). V prostredí L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>Xu sa takýto zoznam ľahko vytvorí pomocou balíka `nomenc1`. Postup je nasledovný:

1. Do preambuly zapíšeme nasledujúce príkazy

```
\usepackage[slovak,noprefix]{nomenc1}
\makeglossary
```

2. V mieste, kde má byť vložený zoznam zapíšeme príkaz

```
\printglossary
```

3. V miestach, kde sa vyskytujú skratky a symboly ich definíciu zavedieme, napr. ako v našom texte, príkazmi

```
\nomenclature{$\upmu$}{mikro, $10^{-6}$}
\nomenclature{V}{volt, základná jednotka napätia v sústave SI}
```

a dokument „preL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>Xujeme“.

4. Z príkazového riadka spustíme program `makeindex` s prepínačmi podľa použitého operačného systému, napr. v OS GNU/Linux s distribúciou Ubuntu 10.04 a verziou `texlive 2009-7` napíšeme:

```
makeindex_tukedip.gls_s_nomenc1.ist_o_tukedip.gls
```

v OS Win XP s verziou TeXLive 2010 napíšeme:

```
makeindex_o_tukedip.gls_s_nomenc1.ist_tukedip.gls
```

5. Po opätovnom „preL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>Xovaní“ dokumentu sa na požadované miesto vloží *Zoznam skratiek a symbolov*.

## Curriculum vitae

Táto časť je nepovinná. Autor tu môže uviesť svoje biografické údaje, údaje o záujmoch, účasti na projektoch, účasti na súťažiach, získané ocenenia, zahraničné pobyty na praxi, domácu prax, publikácie a pod.