

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

## DIPLOMSKI RAD

ime prezime

ZAGREB, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD  
NASLOV DIPLOMSKOG RADA

Mentor:  
prof. dr. sc. ime prezime

Student:  
Moje ime i prezime

ZAGREB, 2024.

*To Donald E. Knuth . . . i druge zahvale . . .*

## **Izjava**

Izjavljujem da sam ovaj rad radio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zagreb, srpanj 2024.

Moje ime i prezime



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 24 - 06 / 1	
Ur.broj: 15 - 24 -	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Jurica Vučković**

JMBAG: 0035219927

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Modelsko prediktivno upravljanje mobilnim robotom**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Model predictive control of a mobile robot**

Opis zadatka:

U današnje doba sve je veća upotreba mobilnih robota. S jedne strane motivacija za ovo je njihova prikladnost za obavljanje zadataka u uvjetima koji su opasni za čovjeka, npr. u područjima s kontaminiranom atmosferom ili sa štetnim zračenjem. S druge strane, njihova primjena raste i u industrijskim postrojenjima i skladištima, gdje mogu efikasno zamijeniti neke ljudske djelatnosti, ali i u domaćinstvima, npr. autonomni usisivači prašine ili kosilice trave. Jedan od ključnih izazova kod primjene mobilnih robota je njihovo upravljanje, a razlozi za to su mnogobrojni, npr. nelinearna dinamika, kompleksnost okoline u kojoj se gibaju, proklizavanje kotača, šumovi u senzorima, niz fizikalnih i sigurnosnih ograničenja na gibanje.

U radu je potrebno ostvariti sljedeće:

- Napraviti matematički model diferencijalnog mobilnog robota koji je razvijen i napravljen u Regionalnom centru izvrsnosti za robotske tehnologije (CRTA) na FSB-u.
- Matematički formulirati problem modelskog prediktivnog upravljanja (*engl. Model Predictive Control, MPC*) mobilnog robota. Cilj željenog gibanja robota je:
  - a) iz početne pozicije i orijentacije robota doći do željene završne pozicije i orijentacije;
  - b) praćenje poznate referentne trajektorije.Ograničenja u matematičkoj formulaciji moraju reflektirati fizikalna ograničenja robota.
- Implementirati MPC regulator u ROS okruženju te ga primijeniti u robotskom sustavu u CRTA-i.
- Testirati rad upravljačkog algoritma. Stvarne trajektorije gibanja robota snimiti pomoću *OptiTrack* sustava kamera. Po potrebi predložiti metode poboljšanja upravljanja, npr. poboljšanje estimacije stanja robota za potrebe upravljanja.
- Na nizu prikladno odabranih primjera ilustrirati rad razvijenog upravljačkog sustava.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

9. svibnja 2024.

11. srpnja 2024.

15. – 19. srpnja 2024.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Andrej Jokić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

**SADRŽAJ**

<b>SADRŽAJ</b>	<b>v</b>
<b>POPIS SLIKA</b>	<b>vi</b>
<b>POPIS TABLICA</b>	<b>vii</b>
<b>POPIS OZNAKA</b>	<b>viii</b>
<b>SAŽETAK</b>	<b>ix</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>x</b>
<b>1. Uvod</b>	<b>1</b>
1.1. Primjer podpoglavlja . . . . .	1
1.1.1. Primjer dubljeg strukturiranja teksta . . . . .	1
<b>2. Teorija</b>	<b>3</b>
2.1. Opis modela . . . . .	3
2.2. Detalji modela . . . . .	3
2.2.1. Razrada . . . . .	4
<b>3. Rezultati</b>	<b>5</b>
3.1. Prikaz rezultata . . . . .	5
<b>4. Zaključak</b>	<b>7</b>
<b>A. Prvi prilog</b>	<b>8</b>
A.1. Malo poglavlje malog dodatka . . . . .	9
A.1.1. i još manje podpoglavlje . . . . .	9
A.2. Primjer podpoglavlja . . . . .	9
A.2.1. Još jedan podnaslov . . . . .	9
<b>LITERATURA</b>	<b>10</b>

---

**POPIS SLIKA**

1.1	Primjer slike – logo FSB-a; kod slika primijenjeno je zaglavlje s uvlačenjem, <i>višeće</i> zaglavlje s paketom <i>hangcaption</i> . . . . .	1
1.2	Primjer slike – logo Sveučilišta u Zagrebu. . . . .	1
2.1	Shema modela; izrađena primjenom TikZ paketa . . . . .	3
2.2	Primjer slike; UNIZG logo . . . . .	3
3.1	Primjer prikaza rezultat: ako neka oznaka/krivulja/podatak sa slike nije opisan na samoj slici može ga se opisati u ovom zaglavlju; napomena: $C_L$ i $C_m$ su bezdimenzionalne veličine . . . . .	5
A.1	Primjer slike u prilogu . . . . .	9

---

## POPIS TABLICA

1.1	Primjer tablice . . . . .	2
A.1	Primjer tablice u prilogu . . . . .	9



## POPIS OZNAKA

$A_k$	koeficijenti Fourierovog reda . . . . .	3
$C_L$	koeficijent uzgona uzgona letjelice . . . . .	6
$C_m$	koeficijent momenta propinjanja . . . . .	6
$V_\infty$	brzina neporemećene struje, [m/s] . . . . .	3
$a$	brzina zvuka, [m/s] . . . . .	9
$a_0$	gradijent koeficijenta sile uzgona po napadnom kutu . . . . .	3
$b$	raspon krila, [m] . . . . .	3
$c$	duljina tetive krila, [m] . . . . .	3
$c_l$	lokalni koeficijent uzgona, vidi jednadžbu (2.3) . . . . .	4
$\alpha$	napadni kut, [rad] . . . . .	3
$\alpha_0$	napadni kut nultog uzgona profila, [rad] . . . . .	3
$\Delta\alpha$	geometrijski kut uvijanja krila na promatranom rasponu, [rad] . . . . .	3
$\Gamma$	intenzitet cirkulacije, [m <sup>2</sup> /s] . . . . .	3
$\phi$	potencijal brzine, [m <sup>2</sup> /s] . . . . .	9
$\theta$	Glauertova varijabla za raspon, [rad] . . . . .	3

## Indeksi

$\infty$	značajke neporemećene struje . . . . .	3
$j$	$j$ -ti presjek na rasponu krila . . . . .	3

## Kratice

<i>FSB</i>	Fakultet strojarstva i brodogradnje . . . . .	1
<i>UNIZG</i>	Sveučilište u Zagrebu . . . . .	3

## SAŽETAK

Kratki sažetak rada na hrvatskom jeziku: najviše jedna stranica, zapisan u jednom paragrafu ... Tekst tekst tekst tekst tekst tekst.

**Ključne riječi:** popis ključnih riječi: maksimalno do deset ...

---

## SUMMARY

Short summary of the thesis in one foreign language (english): up to one page in single paragraph ... Tekst tekst tekst tekst tekst tekst.

**Keywords:** list of the keywords: up to ten words

## 1. UVOD

Ovo poglavlje poslužit će za uvod u problem koji se rješava u ovom radu, u slučaju doktorske disertacije ovdje se uobičajeno postavlja odgovarajuća hipoteza.

### 1.1. Primjer podpoglavlja

Korištena literatura se popisuje u popisu literature pod poglavljem “Literatura”, a svaka od njih mora biti citirana bar jednom u tekstu, kao npr.[1]. Literatura mora biti popisana po redoslijedu pojavljivanja u tekstu za što se brine sami L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X.

Tekst tekst tekst tekst tekst tekst primjer reference , i još jedan citat [2]. Tekst tekst tekst tekst tekst tekst.

#### 1.1.1. Primjer dubljeg strukturiranja teksta

Slijedi prvi primjer slike (pogl.sliku 1.1) Slijedi drugi mali primjer slike (pogledaj



Slika 1.1: Primjer slike – logo FSB-a; kod slika primijenjeno je zaglavlje s uvlačenjem, *višeće* zaglavlje s paketom *hangcaption*

sliku 1.2). U pravilu, na svaku se koja se pojavljuje treba pozvati u tekstu.



Slika 1.2: Primjer slike – logo Sveučilišta u Zagrebu.

Pored slike dan je i primjer tablice (1.1). Uobičajen je stil da se za tablice zaglavlje piše iznad same tablice (za razliku od slika).

Tablica 1.1: Primjer tablice

$x$	$i$
A	1
B	2
C	3
D	4

## 2. TEORIJA

U poglavlju nakon uvodnog uobičajeno se detaljnije opisuje metodologija koja će se primijeniti u rješavanju završnog zadatka/diplomskog rada, itd. Dakle navodi se opis primijenjenog modela, teorije, razrada konstrukcijskog zadatka i sl.

### 2.1. Opis modela

Slijedi opis modela, teoretskog, matematičkog, eksperimentalnog ili koji je već primijenjen u radu. Primjerice, model razmatran u radu prikazan je relacijom (2.1)

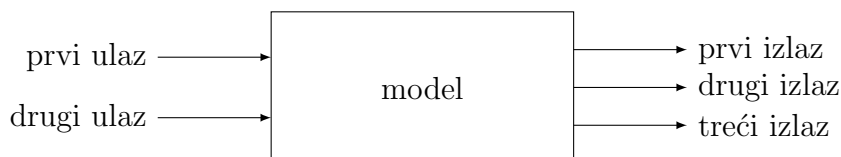
$$\sum_{k=1}^m \left( \sin n\theta_j + n \frac{c_j a_{0j}}{2} \frac{\sin n\theta_j}{\sin \theta_j} \right) \cdot A_k = \frac{c_j a_{0j}}{2} (\alpha + \Delta\alpha_j - \alpha_{0j}) , \quad j = 1, 2, \dots, m , \quad (2.1)$$

uz  $n = 2k - 1$ . Traženo rješenje za intenzitet cirkulacije  $\Gamma_j$  na promatranom rasponu  $j$  je

$$\frac{\Gamma_j}{2bV_\infty} = \sum_{k=1}^m A_k \sin n\theta_j , \quad n = 2k - 1 . \quad (2.2)$$

### 2.2. Detalji modela

Poželjno je koristiti i slike, kada to može doprinijeti preglednosti i uvidu u model (kao npr. slika 2.1).



Slika 2.1: Shema modela; izrađena primjenom TikZ paketa

Poželjno je sve slike koje se nalaze u radu pozvati u tekstu (kao ovdje na sliku 2.2).



Slika 2.2: Primjer slike; UNIZG logo

**2.2.1. Razrada**

Detaljnija razrada modela, metodologije, konstrukcijskog zadatka, kao npr. modela (2.1) mogu se opisati kao u (2.3)

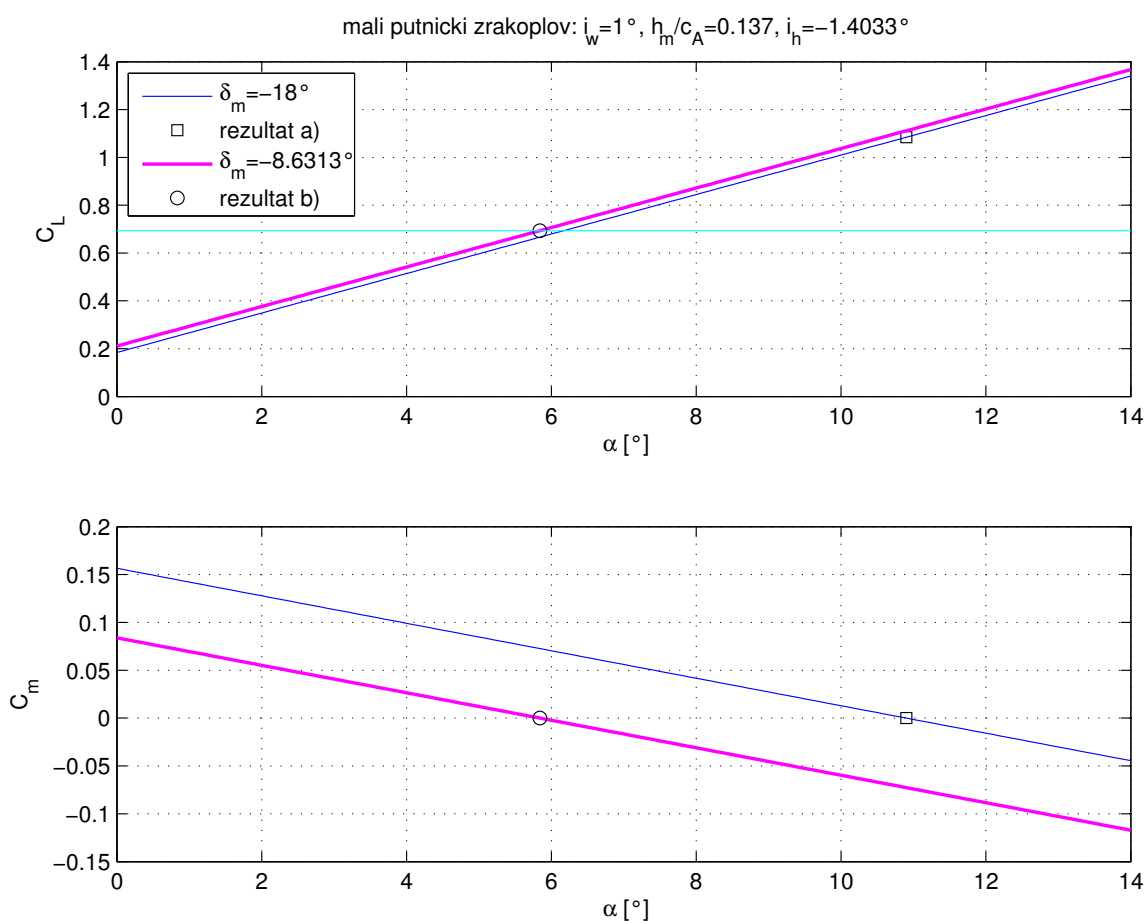
$$c_l(y) = \frac{2\Gamma(y)}{V_\infty c(y)} . \quad (2.3)$$

Pri tome treba imati mjeru i ne prenositi u tekstu nepotrebne izvode, ponavljanja iz udžbenika i sl.

### 3. REZULTATI

U jednom od poglavlja teksta, kako već ide konkretna struktura rada, nakon definiranja modela uobičajeno se navode rezultati. Bilo da se radi o numeričkim, eksperimentalnim rezultatima, rezultatima primjene neke analitičke metode ili rezultatima procesa konstruiranja i sl.

#### 3.1. Prikaz rezultata



Slika 3.1: Primjer prikaza rezultat: ako neka oznaka/krivulja/podatak sa slike nije opisan na samoj slici može ga se opisati u ovom zaglavlju; napomena:  $C_L$  i  $C_m$  su bezdimenzionalne veličine

Pri prikazu rezultata (kao npr. na slici 3.1) nužno je obratiti pažnju na jednoznačno označavanje, kako veličina koje se prikazuju tako i njenih jedinica (koje bi trebale biti u skladu sa SI sustavom, u rijetkim slučajevima i po potrebi uz njih moguće je dodati i neke druge jedinice koje su uvriježene u praksi, kao npr. imperijalne jedinice u zrakoplovstvu). Isto tako, za slučaj prikaza rezultata više varijabli i/ili u više varijanti potrebno ih je sve



označiti na samoj slici ili u njenom zaglavlju.

## **4. ZAKLJUČAK**

I na kraju u ovom poglavlju potrebno je istaknuti glavne rezultate rada i moguće smjernice za daljnji rad. Kod završnih i diplomskih radova korisno je u kratkim crtama ponoviti što je konkretno u radu napravljeno. Kod doktorske disertacije ovo poglavlje mora sadržavati i prikaz originalnog znanstvenog doprinosa pristupnika odgovarajućem znanstvenom području.

Tekst tekst tekst tekst tekst tekst.

## **A. PRVI PRILOG**

Ovdje dolazi prilog, odnosno dodatak tekstu (slike, tehnički crteži, podaci, kôd, detaljni opisi, tablice, ...)

## A.1. Malo poglavlje malog dodatka

### A.1.1. i još manje podpoglavljje

Ovo poglavlje poslužit će za dodatni opis koji nije nužan za sami tekst pa je stavljen kao prilog.

## A.2. Primjer podpoglavlja

Tekst tekst tekst tekst tekst tekst primjer reference [3], i još jedan [2]. Tekst tekst tekst tekst tekst tekst.

I ovdje mogu ići jednadžbe i pozivi na njih ((A.1))

$$\beta^2 \frac{\partial^2 \hat{\phi}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \hat{\phi}}{\partial z^2} = 0, \quad (\text{A.1})$$

pri čemu je  $\beta = \sqrt{1 - Ma^2}$  uz Machov broj  $Ma = V_\infty/a$ .

### A.2.1. Još jedan podnaslov

Primjer slike u prilogu – logo FSB-a (A.1)



Slika A.1: Primjer slike u prilogu

Pored slike dan je i primjer tablice (A.1).

Tablica A.1: Primjer tablice u prilogu

A	1
B	2
C	3
D	4

---

## LITERATURA

- [1] Roland Siegwart and Illah Reza Nourbakhsh. *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts; London, England, 2004.
- [2] [https://www.researchgate.net/figure/Train-Inspection-Monorail-TIM-in-the-Large-Had-fig1\\_366834059](https://www.researchgate.net/figure/Train-Inspection-Monorail-TIM-in-the-Large-Had-fig1_366834059), Svibanj 2024.
- [3] F. Rubio, F. Valero, and C. Llopis-Albert. A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 16(2), 2019.