

# Konstrukcija stabilnijeg kompaktnog cestovnog vozila na pogon snagom kotača

---

**Naglić, Matija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:377866>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-16**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Matija Naglič**

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

prof. dr. sc. Aleksandar Sušić

Student:

Matija Naglić

Zagreb, 2015.

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

*Zahvaljujem mentoru, prof. dr. sc. Aleksandru Sušiću na velikoj podršci tijekom pisanja rada, stručnom vodstvu te pomoći pri razvijanju ideja kao i kritikama koje su pomogle u izradi ovog rada.*

*Zahvaljujem se roditeljima na ukazanom povjerenju i strpljenju kroz sve godine studija te djevojci Nikolini na ukazanoj podršci tijekom izrade ovog rada.*

Matija Naglić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodogradarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Matija Naglič** Mat. br.: **0035170414**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Konstrukcija stabilnijeg kompaktnog cestovnog vozila na pogon snagom vozača**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of a more stable compact road vehicle powered by driver abilities**

Opis zadatka:

Svakodnevni prijevoz do odredišta otvara brojna pitanja, posebice u mjestima bez javnog prijevoza i uređenih pjašačkih i biciklističkih staza. Bicikl kao potencijalno rješenje nalazi svoju svestranu primjenu, no unatoč tome, neophodne psihomotoričke sposobnosti ipak mogu biti nepremostiva zapreka. Temelj upravljanja biciklom je održavanje ravnoteže, što je također slučaj i kod niza tome sličnih vozila, poput romobila. Upravo to može biti problem ukoliko postoje i drugi razlozi za otežano upravljanje. U tom su smislu posebno zanimljive populacije korisnika djeca i starije osobe za koje se nameću brojni kriteriji, ponajprije sigurnost i jednostavnost korištenja, te stabilnost.

U okviru ovog rada je potrebno pristupiti konstruiranju takvog prometala odnosno vozila koje omogućava stabilnu vožnju, jednostavno korištenje, te druge pogodnosti koje ciljanim skupinama korisnika mogu olakšati svakodnevnu uporabu, u što svakako spadaju i kompaktne dimenzije.

U radu je potrebno:

- Provesti analizu tržišta te utvrditi značajke postojećih rješenja;
- Utvrditi zahtjeve, ograničenja i željene značajke prometala;
- Izvršiti metodičku razradu te obuhvatiti različita konceptualna rješenja;
- Vrednovanje koncepta provesti uzimajući u obzir i ergonomske kriterije;
- Odabrano rješenje razraditi uz uporabu standardnih sklopova i dijelova, te oblikovanjem nestandardnih dijelova i sklopova;
- Pri konstrukcijskoj razradi paziti na tehnološkičnost oblikovanja dijelova;
- Izraditi računalni 3D model proizvoda.

Opseg konstrukcijske razrade, modeliranja i izrade tehničke dokumentacije dogovoriti tijekom izrade rada. Svu dokumentaciju izraditi pomoću računala. U radu navesti korištenu literaturu, kao i eventualnu pomoć.

Zadatak zadan:

7. svibnja 2015.


Rok predaje rada:

9. srpnja 2015.


Predviđeni datumi obrane:

15., 16. i 17. srpnja 2015.

Zadatak zadao:

  
Izv. prof. dr. sc. Aleksandar Sušić

Predsjednica Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD.....	1
2. ANALIZA PROBLEMA.....	8
2.1. Prednosti i nedostaci vožnje biciklom .....	8
2.1.1. Prednosti vožnje biciklom.....	8
2.1.2. Nedostaci vožnje biciklom.....	11
2.2. Biciklisti kao sudionici u prometu .....	12
2.2.1. Europska analiza "Traffic Safety Basic Facts 2012 - Cyclists" .....	12
2.3. Procjena rizičnosti biciklista u Hrvatskoj .....	17
2.4. Ergonomija bicikla .....	23
2.4.1. Primarna i sekundarna ergonomija .....	24
2.4.2. Dvostruki "S" oblik .....	25
2.4.3. Položaj sjedenja .....	28
2.4.4. Visina sjedala .....	29
2.4.5. Duljina poluge pedale .....	29
2.4.6. Ergonomija sjedala.....	30
2.4.7. Položaj sjedenja .....	30
2.5. Zahtjevi starijih korisnika .....	32
2.6. Tehnički nedostaci .....	34
2.7. Analiza tržišta .....	37
2.7.1. Bicikl sa spuštrenom ramom .....	37
2.7.2. Električni bicikli s pedalama.....	38
2.7.3. Tricikl.....	38
2.7.4. Ležeći bicikl.....	39
2.7.5. Scooter bicikl .....	40
2.8. Stabilnost vozila.....	41
2.8.1. Gibanje bicikla .....	42
2.8.2. Gibanje tricikla.....	45
3. KONSTRUKCIJSKA RAZRADA.....	53
3.1. Funkcijsko modeliranje proizvoda.....	54
3.2. Morfološka matrica .....	55
3.3. Koncepti .....	58
3.4. Koncept 1 .....	58
3.5. Koncept 2 .....	61
3.6. Koncept 3 .....	64
3.7. Vrednovanje koncepata.....	66

---

4. PRIJEDLOG KONSTRUKCIJE .....	68
5. ZAKLJUČAK.....	74
LITERATURA.....	77

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Stroj za hodanje .....	1
Slika 2.	Velosiped.....	2
Slika 3.	Bicikl s velikim prednjim kotačem .....	3
Slika 4.	Bicikl sa sigurnim kotačem .....	3
Slika 5.	Bicikl s lancem .....	4
Slika 6.	Bicikl s lancem .....	5
Slika 7.	Bicikl s pneumatskim gumama .....	5
Slika 8.	Gradski "City bike".....	7
Slika 9.	Brdski "Off road" bicikl .....	7
Slika 10.	MTB .....	7
Slika 11.	Odnos trajanja putovanja i udaljenosti za prijevozna sredstva [4].....	8
Slika 12.	Mogućnost smanjena emisije CO <sub>2</sub> u postotcima [4].....	10
Slika 13.	Dijagram broja smrtnih nesreća u odnosu na dob vozača [6] .....	14
Slika 14.	Broj nesreća po mjesecima [6] .....	14
Slika 15.	Mjesta najčešćih nesreća [6].....	15
Slika 16.	Najčešći uzroci nesreća [6].....	16
Slika 17.	Najčešći tipovi ozljeda biciklista [6] .....	16
Slika 18.	Grafički prikaz broja stradalih u prometu na cestama RH u 2013. ....	18
Slika 19.	Dijagram odnosa broja vozača i vozila u promatranom periodu [5].....	19
Slika 20.	Broj nesreća u promatranom periodu (zatamnjena polja označavaju bicikliste) [5] .....	19
Slika 21.	Broj nesreća sa smrtnim posljedicama u promatranom periodu (zatamnjena polja označavaju bicikliste) [5] .....	20
Slika 22.	Broj nesreća po mjesecima [5] .....	21
Slika 23.	Raspodjela opterećenja prilikom vožnje bicikla .....	23
Slika 24.	Dvostruki S oblik kralježnice .....	25
Slika 25.	Željeni i realni položaj nakon određenog vremena vožnje.....	26
Slika 26.	Raspodjela težine prema položaju .....	26
Slika 27.	Položaj ispravnog držanja i neispravnog uzrokovanog lošim sjedalom.....	27
Slika 28.	Trokut položaj .....	28
Slika 29.	Ispravan i neispravan položaj s obzirom na visinu sjedala .....	28
Slika 30.	Željeni kut koljena.....	29
Slika 31.	Ostvarivi nagib kod zdjelice muškarca i žene .....	30
Slika 32.	Teoretski, ispravan i uobičajeni položaj sjedenja.....	31
Slika 33.	Površina pritiska kod muške i ženske zdjelice .....	31
Slika 34.	Hijerarhijski model potreba starijih korisnika.....	32
Slika 35.	Bicikl sa spuštenom ramom .....	37
Slika 36.	Električni bicikl .....	38
Slika 37.	Tricikl .....	39
Slika 38.	Ležeći bicikl .....	40
Slika 39.	Scooter bicikl.....	40
Slika 40.	Komponente sila koje djeluju na sustav bicikl-vozač .....	41
Slika 41.	Parametri utjecaja na održavanje ravnoteže .....	43
Slika 42.	Zakretanje kotača .....	45
Slika 43.	Parametri utjecaja tricikla.....	46



---

Slika 44.	Određivanje točke naginjanja.....	46
Slika 45.	Ponašanje tricikla s dva stražnja (gore) i dva prednja (dole) kotača pri kočenju..	48
Slika 46.	Dijagram ovisnosti kuta nagiba i udaljenosti težišta sustava od centralnog kontakta s podlogom pri različitim brzinama.....	51
Slika 47.	Funkcijsko modeliranje proizvoda .....	54
Slika 48.	Bočni prikaz koncepta 1 .....	58
Slika 49.	Frontalni prikaz koncepta 1 .....	59
Slika 50.	Bočni prikaz koncepta 2 .....	61
Slika 51.	Frontalni prikaz koncepta 2 .....	62
Slika 52.	Odabrani koncept .....	68
Slika 53.	Širenje zone stabilnosti.....	69
Slika 54.	Nagib kotača.....	70
Slika 55.	Remeni prijenos.....	71
Slika 56.	Planetarni prijenosni mehanizam .....	72
Slika 57.	Disk kočnica .....	73

## POPIS TABLICA

Tablica 1.	Broj prometnih nesreća na području EU u periodu od 10 godina.....	12
Tablica 2.	Udio biciklističkih nesreća sa smrtnim posljedicama u odnosu na ukupan broj nesreća sa smrtnim posljedicama.....	13
Tablica 3.	Sudionici nesreća sa smrtnim posljedicama po spolu i dobi.....	13
Tablica 4.	Broj fatalnih nesreća u odnosu na promatrane parametre.....	20
Tablica 5.	Udio biciklističkih nesreća prema tipu nesreće.....	20
Tablica 6.	Podjela nesreća prema vremenu nesreće (sati).....	21
Tablica 7.	Morfološka matrica: Integritet konstrukcije osigurati.....	55
Tablica 8.	Morfološka matrica: Stabilnost vozila poboljšati.....	55
Tablica 9.	Morfološka matrica: Pogon ostvariti.....	56
Tablica 10.	Morfološka matrica: Amortizaciju omogućiti.....	56
Tablica 11.	Morfološka matrica: Upravljanje omogućiti.....	57
Tablica 12.	Morfološka matrica: Kočenje omogućiti.....	57
Tablica 13.	Morfološka matrica prvog koncepta.....	59
Tablica 14.	Morfološka matrica drugog koncepta.....	61
Tablica 15.	Morfološka matrica trećeg koncepta.....	63
Tablica 16.	Vrednovanje koncepata.....	66

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$b$	[mm]	horizontalna udaljenost od centra težišta sustava do kontakta s podlogom
$h_T$	[mm]	visina centra težišta sustava
$r$	[mm]	polumjer zakretanja kotača
$L$	[mm]	udaljenost centra težišta sustava od kontakta s podlogom
$z$	[mm]	duljina zone stabilnosti tricikla
$l$	[mm]	udaljenost između kotača bicikla
$t$	[mm]	udaljenost simetričnih kotača tricikla do centra težišta sustava
$u$	[mm]	udaljenost centra težišta sustava tricikla do stražnjeg kotača
$d$	[mm]	duljina tricikla
$v$	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$	brzina kretanja vozila
$g$	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$	gravitacija
$a_{CP}$	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$	centripetalna akceleracija
$m$	[kg]	masa sustava
$\theta$	[°]	kut nagiba bicikla
$\alpha$	[°]	kut zatvaranja stražnjeg kotača i simetričnih kotača tricikla
$\beta$	[°]	kut zakreta kotača bicikla
$\rho$	[°]	kut između težine i rezultantne sile tricikla
$F_R$	[N]	rezultantna sila
$F_h$	[N]	suma sila u horizontalnoj ravnini
$N$	[N]	sila podloge
$F_{CF}$	[N]	centrifugalna sila
$G$	[N]	težina

## SAŽETAK

U ovom radu je opisan konceptualni razvoj konstrukcije stabilnijeg cestovnog vozila na pogon snagom vozača. Prije pristupanja razvoju bilo je potrebno istražiti prednosti i nedostatke postojećih rješenja vozila pokretanih snagom čovjeka.

Prvi korak u razradi koncepta je bila analiza problema. Bilo je važno definirati gdje se ovakva vrsta vozila koristi, koja je njegova namjena i koje sve skupine korisnika ga koriste te s kojim se problemima suočavaju u svom svakodnevnom kretanju.

Nakon toga se provodi utvrđivanje ergonomskih zahtjeva na proizvod u svrhu osiguravanja ergonomije vozila kako bi nova konstrukcija pružala potrebnu udobnost i sigurnost vozača.

Idući korak je definiranje zahtjeva ciljane skupine korisnika nakon čega slijedi analiza tržišta i postojećih rješenja koja pruža pregled postojeće ponude na tržištu te jasno definiranje svih prednosti i nedostataka postojećih rješenja. Nakon definiranja zahtjeva na novi proizvod potrebno je napraviti funkcijsko modeliranje proizvoda te morfološku matricu koja iz toga proizlazi te time nastupa razrada koncepta.

Odabiranjem rješenja iz morfološke matrice dolazi se do tri potencijalna koncepta od kojih je svaki potrebno opisati. Nakon toga slijedi vrednovanje koncepata te odabir najboljeg koncepta koji ispunjava sve zahtjeve i kriterije postavljene na proizvod u smjernicama razvoja.

Na kraju se odabrani koncept koji je ocijenjen kao najbolje rješenje opisuje te slikovno potkrepljuje detaljnim slikovnim prikazima vozila.

Ključne riječi: bicikl, ergonomija, stabilnost, upravljivost, koncept

## **SUMMARY**

This work describes the conceptual development of construction of more stable road vehicles powered by drivers. Prior to starting the development it was necessary to explore the advantages and disadvantages of existing solutions of the vehicles powered by driver. The first step in the development of the concept was analyzing the problem. It was important to define where this type of vehicle is used, what is its purpose, which groups of users use it and with which problems they face in their daily movements. After that, detection of ergonomics requirements of the product is performed in order to ensure the ergonomics of the vehicle so that new construction provides necessary comfort and safety for the drivers.

The next step is to define the requirements of the targeted group of users followed by analysis of the market and existing solutions that provides an overview of existing offers on the market and clear definition on all the advantages of existing solutions. After defining the requirements for the new product it is necessary to make a functional product modeling and morphological matrix that comes from it and with that the elaboration of the concepts starts. Selecting solutions from morphological matrix leads to three potential concepts and every one of them is described. After that, the evaluation of the concept and selection of the best concept that meets all the requirements and criteria set out in the guidelines on product development is followed. At the end, the best rated solution is described with detailed images of the vehicle.

Key words: bicycle, ergonomy, stability, handling, concept

## 1. UVOD

Bicikl je cestovno vozilo izumljeno u ne tako davnoj prošlosti. Jednostavna konstrukcija bicikla i široka primjenjivost su osigurale njegovu upotrebu u svakodnevnom životu. Danas se procjenjuje da na svijetu ima preko 1 000 000 000 bicikala što ga čini najčešće korištenim prometnim sredstvom. U mnogim povijesnim knjigama se može pronaći podatak da su prvi izumitelji bicikla francuzi Pierre Lallement i Ernest Michaux. Mnogi povjesničari se ne slažu s tom tvrdnjom već tvrde kako otkriće bicikla nije vezano za jedno određeno vrijeme kao niti za konkretnog izumitelja, te kako kroz povijest postoje naprave koje, iako bitno drugačije od današnjeg koncepta bicikla se mogu smatrati biciklom.

### *Stroj za hodanje*

Godine 1817. njemački barun Karl von Drais izumio je "Stroj za hodanje" kako bi mu pomogao da brže obiđe kraljevske vrtove. Ovaj izum sastojao se od dva kotača iste veličine u istoj liniji, od kojih je prvi bio upravljiv. Bili su montirani na okvir na koji se moglo zajahati. Ovaj bicikl bio je u potpunosti izrađen od drveta i nije imao pedale. Vozač bi se jednostavno odgurivao nogama i "Stroj za hodanje" išao bi naprijed. Draisovo vozilo ("Draisienne") prvi put je izloženo na sajmu u Parizu 6. travnja 1818. godine. Maksimalna brzina bila je 15 km/h.



Slika 1. Stroj za hodanje

Dugo se vremena smatralo kako je 1839. godine izumljen prvi bicikl na pedale. Dizajnirao ga je Kirkpatrick MacMillan, škotski krojač, međutim ta je tvrdnja dovedena u sumnju.

### ***Velosiped***

Sljedeće pojavljivanje stroja na dva kotača bilo je 1865. godine kada su se pojavile pedale koje su bile montirane direktno na prednji kotač. Ovaj stroj je bio poznat kao "Velosiped" ("brza noga"), ali je popularno poznat bio i kao "Bone shaker" (mješač kostiju), budući da je također bio u cijelosti izrađen od drveta, a kasnije s metalnim kotačima. Kombinacija ovih elemenata od kojih je bicikl bio izrađen u kombinaciji s kamenim putovima bio je recept za iznimno neugodnu i bučnu vožnju. Ovi bicikli su također postali hit, a zatvorene akademije za vožnju, slično kao i današnji *skateboard* parkovi, mogli su se naći samo u velikim gradovima.



Slika 2. Velosiped

### ***Bicikl s velikim prednjim kotačem***

Godine 1870. pojavili su se prvi bicikli koji su u potpunosti bili izrađeni od metala. Prije ovoga razdoblja metalurgija nije bila dovoljno napredovala da bi mogla dati metal koji bi bio dovoljno jak za malene metalne dijelove. Pedale su se još uvijek spajale na prednji kotač bez mehanizma prijenosa. Gumeni kotači i duge žbice velikog prednjeg kotača doveli su do znatno mirnije vožnje od prethodnih modela. Taj prednji kotač je s vremenom postajao sve veći i veći jer su tadašnji inženjeri, Francuz Ernest Michaux sa svojim učenikom Pieere Lallementom, shvatili da što je veći kotač, to se dalje može putovati jednom rotacijom pedala. Mogli ste tako u to vrijeme kupiti kotač koji je toliko velik koliko vam to dopušta veličina vaše noge. Ovaj stroj je prvi stroj u povijesti koji je nazvan bicikl ("dva kotača"). Naročitu popularnost imao je među mlađim muškarcima, a stajao je otprilike šest mjesečnih plaća prosječno plaćenog radnika. Budući da je vozač sjedio tako visoko iznad težišta, ako se

prednji kotač naglo zaustavi zbog kamena ili rupe na cesti, ili pak iznenadnog istrčavanja djeteta ili psa, cijeli stroj bi se nagnuo naprijed prema prednjoj osovini, a vozač, s nogama zarobljenim pod upravljačem, bezobzirno bi padao na glavu. Premda je takvim biciklima bilo teško upravljati, popularnost bicikla je bila velika.



Slika 3. Bicikl s velikim prednjim kotačem

### *Bicikl sa sigurnim kotačem*



Slika 4. Bicikl sa sigurnim kotačem

Poboljšanja dizajna počela su biti vidljiva. Posebice se to odnosi na maleni prednji kotač koji je trebao eliminirati probleme s preprekama na putu. Jedan model promoviran je tako da ga je proizvođač vozio niz stube zgrade kongresa u Washingtonu DC.



### ***Bicikl s lancem***

Napredak u metalurgiji omogućio je sljedeću inovaciju: lanac i zupčanik. Dizajn bicikla vratio se na prethodne modele. Sada su oba kotača bila jednake veličine. Ipak, ovi bicikli i dalje su imali tvrde gume i vožnja je unatoč prijenosu snage ipak bila neugodna.



Slika 5. Bicikl s lancem

### ***Tricikl***

Dok su muškarci riskirali da slome vrat na biciklu s velikim prednjim kotačem, dame, zatvorene u svoje dugačke suknje i korzete, mogle su se voziti na triciklima. Naime, bicikl s velikim prednjim kotačem imao je nešto avanturističko u sebi upravo zbog toga jer je njime bilo teško i rizično upravljati. S druge pak strane, tricikl je pružao više dostojanstva za gospodu kao što su liječnici ili svećenici. Mnogi mehaničke inovacije sada povezane s automobilom su izvorno bile izmišljene upravo za tricikle. Primjerice, zupčanik, diferencijal, "bend" kočnica, da spomenemo samo neke.

Prvi proizvođač bio je Coventry Lever. Tricikl je postigao veliku popularnost zahvaljujući tome što ga je bilo lako naučiti voziti. Dva velika kotača održavala su balans, dok je manji, prednji služio za upravljanje. Bio je također opremljen lampicom za noćnu vožnju.



Slika 6. Bicikl s lancem

### ***Bicikl s pneumatskim gumama***

Pneumatske gume su prvi put postavljene na bicikl kada je Irski veteran pokušao svom sinu omogućiti ugodniju vožnju na njegovom triciklu. Njegovo ime je John Boyd Dunlop. Od 1888. bicikl je konačno s pneumatskim gumama dobio i sigurnost i udobnost. Tijekom 19. stoljeća bicikl je bio idealno sredstvo za radničku klasu koja se mogla brzo i jeftino prevesti na posao, a ljudima je dao mnogo veću fleksibilnost i slobodno vrijeme. Bicikli su također ubili korzete i predugačke suknje te su pokrenuli novi stil oblačenja žena i povećale njihovu mobilnost. Godine 1896. Susan B. Anthony rekla je da je "bicikl učinio više za emancipaciju žena nego bilo što drugo na svijetu".



Slika 7. Bicikl s pneumatskim gumama

Jedna od najpoznatijih radionica bicikala u Hrvatskoj nalazila se na današnjem Cvjetnom trgu i bila je u vlasništvu Ivana Dirnbarchera koji je za svoj bicikl "Croatia" 1896. godine osvojio nagradu na Tehničkoj izložbi u Londonu.

Dvije godine nakon završetka drugog svjetskog rata 1947.g, zrakoplovni inženjer, za kompaniju Tsu Factory, dizajnirao je bicikl od tvrdog aluminijskog aluminija. Prvi aluminijski model bio je temeljen na modelu koji se već koristio u Europi, ali već od druge serije krenulo se u proizvodnju sportskih bicikla „specijalke“. Tih godina je bicikl još uvijek smatran luksuzom, a njegova cijena je bila nešto što si osoba s prosječnom plaćom nije mogla priuštiti. 1956. godine počelo se s proizvodnjom „Smart lady“ bicikla posebno dizajniranog za žene. On je postigao veliki uspjeh. 1965. napokon je proizveden i dječji bicikl. Proizvodnja bicikla je znatno pojeftinila, te se započelo s masovnom proizvodnjom namijenjenoj „običnim“ ljudima. Danas su prema razlici u konstrukciji najčešće korišteni gradski bicikli (ovi bicikli često imaju dodatnu opremu radi udobnosti vožnje, kao što su blatobrani, svjetla, košara za stvari), cestovni bicikli (specifičnog savijenog oblika upravljača, najčešće vrlo tankih guma i oslobođen dodatne opreme radi smanjenja težine), brdski bicikli (s ravnim upravljačem, čvrstim kosturom najčešće od cijevi većeg profila nego li cestovni, u većini izvedbi i s prednjim i/ili stražnjim amortizerima koji amortiziraju udarce) i BMX (manjih kotača i jednostavne konstrukcije). Svaki od ovih bicikala se može pronaći na tržištu u raznim varijantama, prilagođen potrebama i ambicijama kupaca no niti jedna od dosadašnjih konstrukcija ne obuhvaća širu skupinu korisnika, poput djece i starijih osoba, koji spadaju u najugroženiju skupinu biciklista u prometu te koja bi im svojom jednostavnošću i mogućnošću prilagodbe njihovim antropometrijskim mjerama omogućila sigurniju i udobniju svakodnevnu uporabu.



Slika 8. Gradski "City bike"



Slika 9. Brdski "Off road" bicikl



Slika 10. MTB

## 2. ANALIZA PROBLEMA

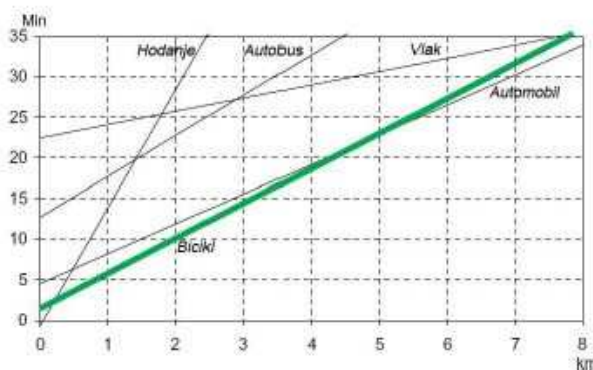
### 2.1. Prednosti i nedostaci vožnje biciklom

Bicikl se kao oblik prometovanja proširio iznimno brzo u razvijenim, ali i nerazvijenim zemljama. Ova vrsta aktivnosti postaje sve popularnija u Europi, a s obzirom na visoke cijene goriva očekivanje je da će se trend nastaviti povećavati. Bicikl je privlačan način prijevoza u svrhu transporta svih dobnih skupina ali i u svrhu tjelesne rekreacije i slobodnog vremena. Za upravljanje biciklom nije potrebna vozačka dozvola, a vozače čini mobilnima i neovisnima. No, za razliku od primjerice hodanja bicikl zahtijeva veću sposobnost kretanja kroz promet, višu razinu motoričkih i fizičkih sposobnosti, kognitivno funkcioniranje (donošenje odluka, vrijeme reakcije, pamćenje i multitasking) kao i senzoričku percepciju (slika i zvuk).

#### 2.1.1. Prednosti vožnje biciklom

##### *Bicikl kao prijevozno sredstvo*

Bicikl je idealno prijevozno sredstvo za kraće relacije, posebno u gradskim prometnim uvjetima. Bicikli zauzimaju malo prostora tijekom vožnje i dok su parkirani, utjecaj prometnih gužvi je praktično nepostojeći za bicikle pa ih to čini jednim od najbržih prijevoznih sredstava. Kada se u račun uzmu troškovi osobnih automobila, troškovi javnog prijevoza, bicikli su jeftin način prijevoza. Cijena bicikla i njegovog održavanja je u usporedbi s alternativnim mogućnostima prijevoza veoma niska. Na slici 11 je prikazan odnos trajanja putovanja i udaljenosti za različita prijevozna sredstva na udaljenosti od 8 km u vrijeme gradskih gužvi.



Slika 11. Odnos trajanja putovanja i udaljenosti za prijevozna sredstva [4]

### ***Vožnja bicikla kao doprinos zdravlju***

Iako većina ljudi bicikl koristi kao prijevozno sredstvo za dolazak s točke A na točku B nepobitan je učinak vožnje bicikla na fizičko i mentalno zdravlje osobe. Vožnja bicikla zahtijeva rad cijelog tijela pa je potpuna vježba za cijelo tijelo. Zglobovi, ruke, ramena, noge, leđni i trbušni mišići, bokovi su stalno u pokretu i moraju pratiti ritam vožnje.

Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije, nakon duhanskih proizvoda, nedovoljno kretanje je najveća prijetnja zdravlju. Nedovoljna tjelesna aktivnost među glavnim je uzročnicima smrti i brojnih bolesti u današnjem društvu. Nedostatak tjelesne aktivnosti osim toga je i uzročnik povećanih troškova zbog čestih bolovanja i izostanaka s radnog mjesta [4]. Kardiovaskularne bolesti su vodeći uzrok smrti u zapadnim civilizacijama, najviše visoki krvni tlak, arterioskleroza, infarkt mišićnog tkiva srca (miokard) i moždani udar.

Učinci vožnje bicikla na zdravlje su brojni, a neki od njih su:

- *kardiovaskularni sustav*: svakodnevna vožnja biciklom efikasna je aerobna vježba. Smanjuje rizik od brojnih bolesti kao što su bolesti srca, visoki krvni tlak, moždanog udara, arterioskleroze i dijabetesa.
- *kontrola tjelesne mase*: vožnja bicikla je dobar način skidanja suvišnih kilograma jer aktivira i ubrzava metabolizam te ubrzava izgaranje kalorija. Također, ovo je odličan način postizanja željene tjelesne muskulature i postizanja forme.
- *održavanje snage i koordinacije*: pomaže u povećanju izdržljivosti. Aktivnost vožnje bicikla uključuje rad cijelog tijela pa time poboljšava motoričke sposobnosti.
- *poboljšava raspoloženje*: ima pozitivan učinak na raspoloženje. Ublažava depresiju, smanjuje razinu stresa, poboljšava raspoloženje te podiže samopouzdanje i samopoštovanje.

### ***Očuvanje okoliša***

Planet Zemlja se nalazi u fazi klimatskih promjena. Politika i dio znanstvene zajednice smatraju da je uzrok tome sve veća emisija zagađenja plinom CO<sub>2</sub> te je na snazi provedba politike smanjena emisije plinova. Europska unija je 2008. donijela energetske-klimatski paket pod nazivom "EU 20-20-20" s ciljem da se do 2020. godine smanji emisija stakleničkih plinova za 20% u odnosu na 1990. godinu, da u ukupnoj energetskej potrošnji bude 20% udjela obnovljivih izvora energije te da se smanji potrošnja energije za 20% u odnosu na očekivanu potrošnju 2020. godine kada se ove mjere ne bi provodile. U tom smislu bicikl je idealan primjer kako smanjiti udio emisije CO<sub>2</sub> plinova i općenito kako očuvati prirodu oko

nas. Na dijagramu na slici 12 prikazane su mogućnosti smanjenja emisije CO<sub>2</sub> u postocima pri čemu je odabir bicikla kao prijevozno sredstvo najučinkovitiji oblik mogućih smanjenja.



Slika 12. Mogućnost smanjena emisije CO<sub>2</sub> u postocima [4]

U cijeloj Europi, 30% svih putovanja automobilom kraća su od tri kilometra, a 50% ih je kraće od 6 km. S obzirom da je potrošnja goriva u gradskoj vožnji, na kraćim relacijama znatno veća nego na otvorenoj cesti, kraće relacije u gradskim uvjetima uvelike doprinose povećanju emisije ispušnih plinova.

### **2.1.2. Nedostaci vožnje biciklom**

Kretanje biciklom može predstavljati problem u slučajevima zahtjevnih prometnih situacija, stvarnih i doživljenih opasnosti, nedostatka biciklističkih i pješačkih ruta, ponašanja drugih motoriziranih vozača, nedostatka sigurnih parkirnih mjesta, a u slučaju Hrvatske sigurno se tu može uvrstiti i kvaliteta samih prometnica. Tu su posebno ugrožena skupina djeca i stariji vozači. Dok kod djece kognitivne, fizičke, motoričke i vizualne sposobnosti još nisu dovoljno razvijene, kod vozača starije dobi one su u padu, tj. gube se s godinama no u suštini problemi i nesigurnosti s kojima se suočavaju su vrlo slični. Godine čine sve vrste sudionika u prometu ranjivijima no biciklisti su posebno ugrožena skupina. Kada se zagušenost prometa poveća, starije osobe kasne, a to može izazvati osjećaj nesigurnosti, tjeskobe i stresa. Stoga je važno raspoznati mogućnosti raznih dobnih skupina te kako se nose s poteškoćama koje ih zahvaćaju. Vožnja biciklom je zdrava navika za ljude svih dobnih skupina no što zbog opasnosti od prometnih situacija, što zbog oblika konstrukcije i njenih nedostataka koji smanjuju osjećaj sigurnosti i udobnosti pri vožnji rizik od pada i sudjelovanja u nesreći je velik, nerijetko s teškim ozljedama te nažalost i smrtnim posljedicama.

Stoga se kao izazov postavlja osmišljavanje drugačije konstrukcije bicikla koji bi obuhvatila širi raspon dobnih skupina i pružila nova konstrukcijska i tehnička rješenja kojima bi se neutralizirali postojeći nedostaci i izvori nesigurnosti vozača.



## 2.2. Biciklisti kao sudionici u prometu

Razvojem prometne infrastrukture i tehnološkim dostignućima bicikl kao prijevozno sredstvo je napredovao najmanje. Iako je broj biciklističkih nesreća u cijelom svijetu manji od broja nesreća motoriziranih vozila, visok stupanj ozljeda ga čini jednim od najopasnijih prometala. Percepcija okoline, kognitivne, fizičke i motoričke sposobnosti su ključne pri donošenju odluka u prometu. Prometna signalizacija, križanja, skretanja, sporazumijevanje s drugim sudionicima u prometu, uski prostori, nedostatak infrastrukture, moguće neočekivane prepreke su stvari s kojima se vozači bicikla svakodnevno susreću pri kretanju kroz urbana, prometno gusta mjesta i gradove. Biciklističke nesreće sa smrtnim posljedicama su u 2010. godini na području Europske unije sačinjavale 6,8% ukupnog broja nesreća na prometnicama sa smrtnim posljedicama.

### 2.2.1. Europska analiza "Traffic Safety Basic Facts 2012 - Cyclists"

#### Udio biciklističkih nezgoda

2012. godine EU je napravila veliku statističku analizu biciklističkih nesreća na području Europske unije koja obuhvaća vremenski period od 10 godina (2001.-2010.) pod naslovom "Traffic Safety Basic Facts 2012 - Cyclists" s ciljem dobivanja jasnijeg uvida u trendove prometnih nesreća.

**Tablica 1.** Broj prometnih nesreća na području EU u periodu od 10 godina [6]

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
EU	3.217	3.122	3.075	2.836	2.886	2.657	2.564	2.371	2.196	1.994
Godišnje smanjenje		3%	2%	8%	-2%	8%	4%	7%	7%	9%

Prema podacima dostupnima u tablici 1 jednostavno je zaključiti da se broj prometnih nesreća sa smrtnim posljedicama smanjivao po nekoliko postotaka iz godine u godinu izuzev 2005. godine što u rasponu od 10 godina čini smanjenje broja fatalnih nesreća za impresivnih 38% no kad se analizira tablica 2 koja prikazuje postotak biciklističkih prometnih nesreća s

fatalnim posljedicama u odnosu na ukupan broj fatalnih nesreća razloga za optimizam je manje pošto se udio biciklista smrtno stradalih u prometu ne mijenja bitno u odnosu na ukupan broj stradalih u prometu.

**Tablica 2.** Udio biciklističkih nesreća sa smrtnim posljedicama u odnosu na ukupan broj nesreća sa smrtnim posljedicama [6]

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
EU-20a	6,3%	6,2%	6,5%	6,4%	6,8%	6,6%	6,5%	6,6%	6,7%	6,8%

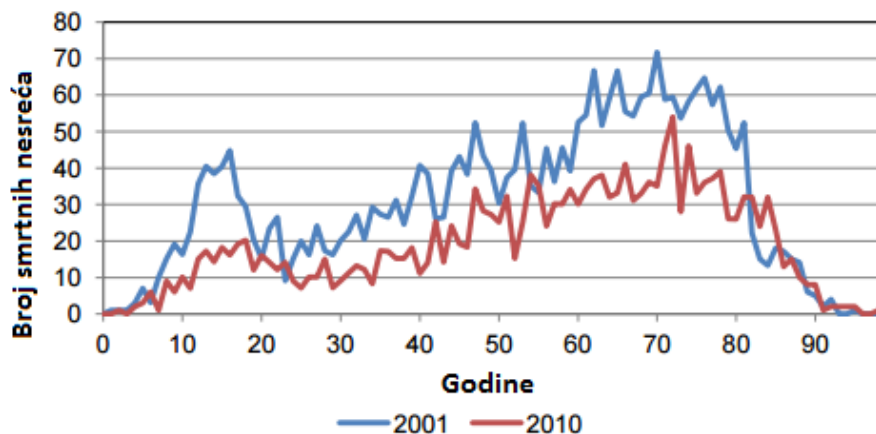
### **Sudionici po spolu i dobi**

U tablici 3 prikazan je broj biciklističkih nesreća po spolu i dobi unutar analiziranog perioda te prema dobivenim podacima muškarci čine većinu smrtno stradalih u prometu, čak 78% . Najveći udio žena stradalih u prometu imaju zemlje u kojima je biciklistička kultura razvijena, poput Nizozemske i Belgije, gdje je udio žena veći od 30%, a najmanji u Rumunjskoj (7%).

**Tablica 3.** Sudionici nesreća sa smrtnim posljedicama po spolu i dobi [6]

	0-14		15-24		25-39		40-59		60+		sve dobi		Ukupno
	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	
EU-23	1%	3%	2%	6%	2%	8%	6%	22%	11%	39%	22%	78%	2.029

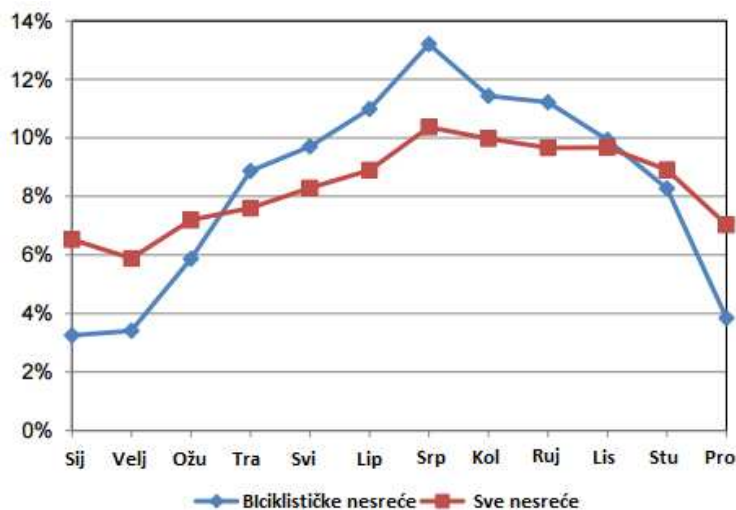
Prema analizi prvo kritično razdoblje svakog vozača je u dobi između 12. i 17. godine života kada djeca postaju neovisna i hrabra te sve češće samostalno sudjeluju u prometu. Nakon toga slijedi smanjivanje rizika do 30. godine života, a nakon 30. godine rizik kontinuirano raste uz sve veći rast rizika nakon 50 godine života. Iz podataka se jasno može zaključiti da su najugroženija skupina mladi i nezreli vozači te starije osobe čija je psihička i fizička snaga u padu (slika 13.)



Slika 13. Dijagram broja smrtnih nesreća u odnosu na dob vozača [6]

### *Nesreće po mjesecima*

Statistika analize je pokazala da nema jasnog trenda najvećeg i najmanjeg broja nesreća no očito je da dolaskom toplog vremena i početkom biciklističke sezone raste broj fatalnih nesreća sa svojim vrhuncem u srpnju (13%) kad je najtoplije te smanjivanjem broja nesreća s opadanjem temperature što je vidljivo na slici 14 u dijagramu.

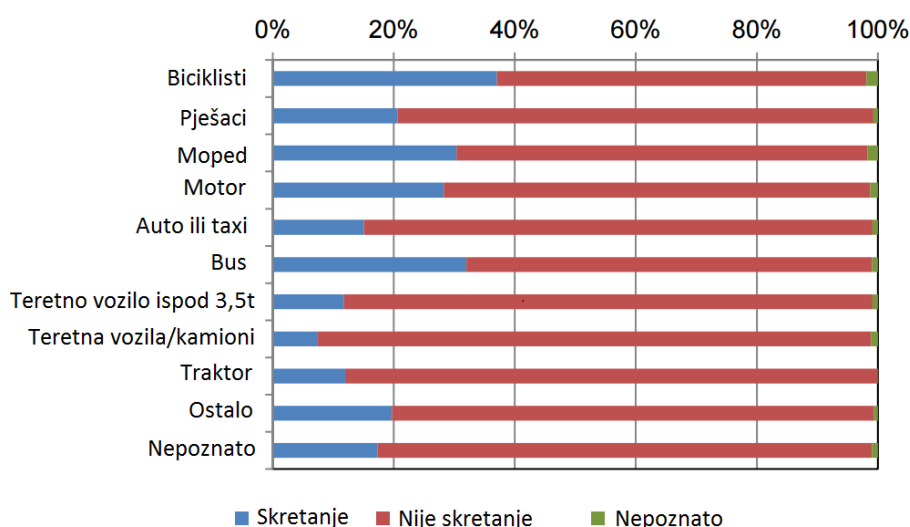


Slika 14. Broj nesreća po mjesecima [6]

### Mjesta nesreća

Nesreće sa smrtnim posljedicama se na području Europske unije događaju se najviše na području urbanih područja, otprilike oko 55% no podaci variraju od zemlje do zemlje. Tako primjerice u Rumunjskoj, gotovo 70% nesreća se dogodilo na urbanom području dok je u Španjolskoj to tek 26%.

Prema dostupnim podacima pokazalo se da se gotovo 40% nesreća sa smrtnim posljedicama dogodilo na skretanjima, tj. promjeni smjera kretanja ili uključivanju u smjer (slika 15).



Slika 15. Mjesta najčešćih nesreća [6]

### Uzroci nesreća

Uzroci nesreća su brojni, od nepoštivanja prometnih pravila, pogrešaka drugih sudionika u prometu do pogrešaka samih biciklista.

Prema policijskim podacima kao što je prikazano na slici 16, preuranjena reakcija je uzrok gotovo 25% svih nesreća, a manjak reakcije gotovo 20%. Ono što je zastrašujuće je što se otprilike 18% biciklista sudionika nesreća kretalo u suprotnom smjeru. Kretanje pogrešnim smjerom osim praćenja prometa krivim tračnim smjerom uključuje i skretanje u nedozvoljenom smjeru, rezanje linija itd. Kako bi poteškoće na koje nailaze biciklisti bolje razumjeli ove podatke je potrebno dublje analizirati i naći uzrok istih. Manjak samopouzdanja i sposobnosti biciklista u kritičnim prometnim situacijama, posebno izražen kod mlađih i starijih osoba uzrokuju ishitrene pokrete, manjak stabilnosti bicikla i vozača na njemu.

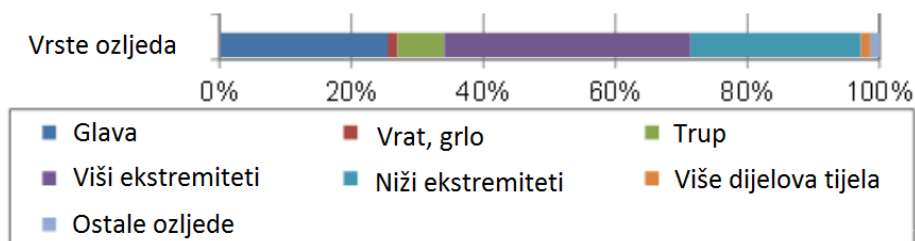
Biciklisti pokazuju sklonost prevelikoj brzini i sili kojom upravljaju biciklom što se većim dijelom odnosi na mlađe bicikliste, dok se kasne i preskočene akcije odnose na starije vozače.



Slika 16. Najčešći uzroci nesreća [6]

### Rizik od ozljeda

Iz podataka zaprimljenih pacijenata u bolnicama diljem EU se iščitava da su u nesrećama najizloženiji glava, niži i viši ekstremiteti. Karakteristika bicikla je da je vozač nezaštićen, jedina zaštita koju ima je kaciga. Iako većina zemalja nema propisano obvezno nošenje kacige ona bi morala biti obavezna. Najčešće ozljede pri padu s bicikla prema objavljenoj analizi su prijelomi, napuknuća i masnice, otvorene rane, istegnuća, dislokacije te potres mozga (slika 17).

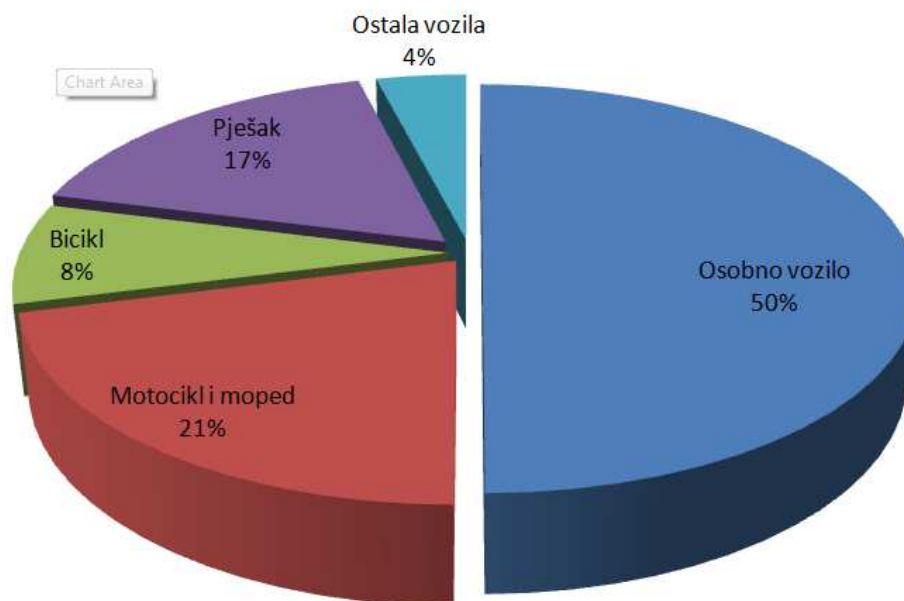


Slika 17. Najčešći tipovi ozljeda biciklista [6]

### 2.3. Procjena rizičnosti biciklista u Hrvatskoj

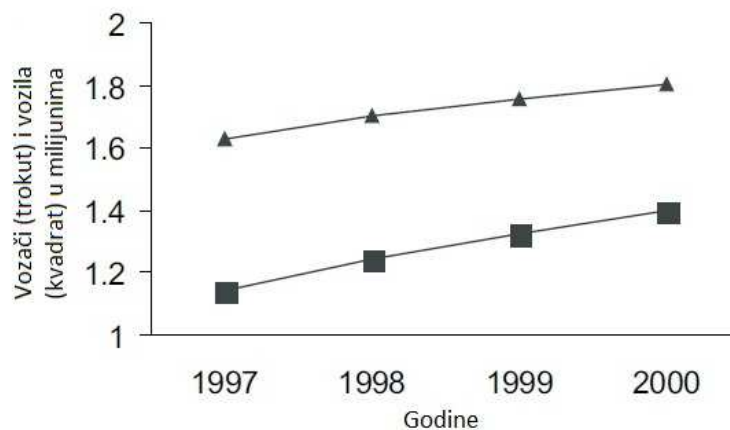
Biciklizam se danas promovira kao važan faktor u doprinosu zdravijem životu i fizičkoj kondiciji, a također ne zagađuju okoliš. Procjenjuje se da u svijetu ima prema 1 milijardi bicikala. Primjerice u Švedskoj, u periodu između 1980. i 1993. godine, broj biciklista između 25 i 64 godine života se udvostručio. Svaki treći Šveđanin stariji od 65 godina koristi bicikl kao prijevozno sredstvo barem jednom godišnje. Većina preventivnih programa se fokusiraju isključivo na sigurnost djece u biciklizmu iako je u periodu između 1967. i 1996. godine 47% poginulih biciklista bilo starije životne dobi. Najveći dio inicijativa u smislu smanjenja ozljeda biciklista ide prema politici nošenja zaštitne biciklističke kacige propisane zakonom. U Hrvatskoj je kaciga obvezna samo za vozače do 16. godine što u konačnici rezultira time da ih većina vozača ne koristi. Za usporedbu s drugim zemljama, po studiji iz 1995./1996., samo je 2,2% biciklista u Parizu (Francuska) nosilo kacigu naspram 31,5% biciklista u Bostonu (SAD). Zanimljivo je vidjeti da je u istom razdoblju čak 46,8% stanovnika Pariza imalo prednje ili zadnje svjetlo za vrijeme noćnih vožnji naspram samo 14,8% stanovnika Bostona. Rezultat tome je razlika u zakonskim propisima, zdravstvenim prioritetima, tipovima bicikla i procijenjenom riziku.

Udio biciklističkih nesreća u Europi i Europskoj uniji kreće se u prosjeku oko 6-7%. Više od polovice svih nesreća u koje su uključeni biciklisti događa se u urbanim sredinama, od čega polovina do 2/3 nesreća završava smrtnim ishodom. Nesreće u ruralnim sredinama nose daleko ozbiljnije posljedice. U Republici Hrvatskoj prema zadnjim dostupnim podacima sa Zavoda za statistiku, 2013. godine taj udio je iznosio 8%, kao što je prikazano na slici 18, dok se u glavnom gradu Zagrebu taj postotak penje do 10% što i nije čudno s obzirom na gušću naseljenost i veći prosječni broj biciklista u odnosu na druge krajeve. Biciklisti su brži od pješaka, a sporiji od motornih vozila i ponekad u prometu moraju slijediti pravila za vozače, a ponekad za pješake što im dodatno otežava situaciju u prometu. Nepravilno ponašanje biciklista i vozača motornih vozila je česti uzrok nesreća u prometu. Djeca se teško nose sa svim prometnim pravilima i propisima koji se pred njih postavljaju. Mladi biciklisti pokazuju što znaju i mogu napraviti s biciklom i takvim ponašanjem povećavaju rizik od nesreće. Stariji biciklisti su oprezniji, sporije reagiraju, teže održavaju ravnotežu i preferiraju razdvojene biciklističke staze od kolnika.



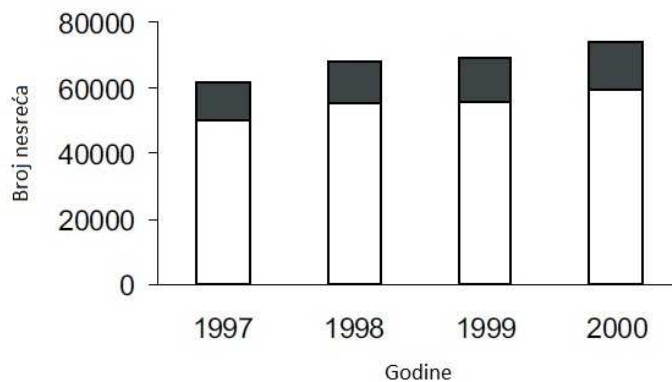
Slika 18. Grafički prikaz broja stradalih u prometu na cestama RH u 2013.

Profesor s fakulteta prometnih znanosti prof. dr. sc. Eduard Missoni u suradnji s Josipom Kem je napravio analizu procjene faktora rizika za bicikliste u Hrvatskoj s ciljem predstavljanja epidemiologije fatalnih biciklističkih ozljeda u prometnim nesrećama u Republici Hrvatskoj. U vremenskom razdoblju od 4 godine, od 1. siječnja 1997. godine do 31. prosinca 2000. godine dogodile su se 253 nesreće sa fatalnim posljedicama u Hrvatskoj. Podaci su prikupljeni od Ministarstva unutarnjih poslova, a pisani su na mjestu nesreće. Podaci su obrađeni koristeći deskriptivnu statistiku i poveznice između promatranih varijabli su testirane po značaju. Prema tome, broj registriranih vozača motornih vozila se povećao u razdoblju trajanja ove studije sa 1 628 919 u 1997. na 1 801 817 na kraju 2000. godine. Broj registriranih motornih vozila se također povećao sa 1 142 201 vozila u 1997. na 1.401,010 2000. godine, a vidi se iz sljedećeg dijagrama na slici 19.



Slika 19. Dijagram odnosa broja vozača i vozila u promatranom periodu [5]

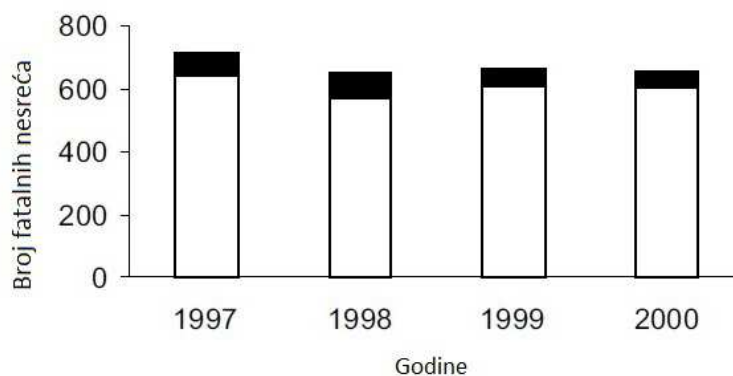
Sukladno tome, porastao je i broj prometnih nesreća sa 61 685 na početku studije na 73 387 nesreća na kraju studije. Broj nesreća s ozljedama po sudionike pokazuju isti trend 16 234 u 1997. na 20 501 u 2000. godini (slika 20).



Slika 20. Broj nesreća u promatranom periodu (zatamnjena polja označavaju bicikliste) [5]

Ukupan broj poginulih u tom razdoblju je bio najniži 1998. godine, a najviši 1997. što je vidljivo iz dijagrama na slici 21.





Slika 21. Broj nesreća sa smrtnim posljedicama u promatranom periodu (zatomnjena polja označavaju bicikliste) [5]

Učestalost fatalnih biciklističkih nesreća u periodu od 4 godine je otprilike bio 1,51 na 100 000 stanovnika. Tijekom godina, broj biciklističkih nesreća prema svakoj od statistika je pokazao opadajući trend, a posebno je vidljivo iz broja biciklističkih nesreća na 1000 nesreća i broju biciklističkih nesreća na milijun registriranih vozila (tablica 4).

Tablica 4. Broj fatalnih nesreća u odnosu na promatrane parametre [5]

Godina	Broj fatalnih nesreća na:			
	milijun registriranih vozila	100 000 novih registriranih vozila	milijun vozača	1000 smrtnih nesreća
1997	60.4	48.7	42.4	96.6
1998	60.4	65.3	44.1	116.1
1999	41.6	49.5	31.4	83.1
2000	38.5	47.5	30.0	81.2

Sudar automobil - bicikl je daleko najčešći tip nesreća. Postotak ove vrste nesreća varira od 74,7% do 81,3% od ukupnog broja biciklističkih nesreća koje su rezultirale smrću (tablica 5).

Tablica 5. Udio biciklističkih nesreća prema tipu nesreće [5]

Godina	Broj (%) prema tipu nesreće					
	sudar	lateralni sudar	udar glavom	ostalo	klizanje	Ukupno
1997	56 (81.3)	5 (7.2)	1 (1.4)	6 (8.7)	1 (1.4)	69 (100.0)
1998	56 (74.7)	3 (4.0)	10 (13.4)	2 (2.6)	4 (5.3)	75 (100.0)
1999	43 (78.2)	6 (10.9)	3 (5.5)	2 (3.6)	1 (1.8)	55 (100.0)
2000	41 (75.8)	3 (5.6)	1 (1.9)	5 (9.3)	4 (7.4)	54 (100.0)
Ukupno	196 (77.5)	17 (6.7)	15 (5.9)	15 (5.9)	10 (4.0)	253 (100.0)

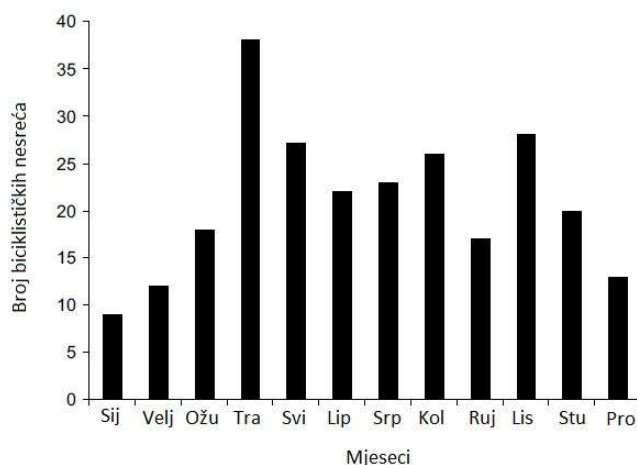
Po ovoj studiji može se zaključiti da je starosna skupina od 35 do 64 godine najčešće sudjeluje u nesrećama (46,2%) ali i broj vozača unutar te starosne skupine je najveći, prati ju

najstarija skupina biciklista 64+ (34,4%) te najmlađa skupina (19,4%). Potonja skupina obuhvaća heterogenu grupu djece predškolske dobi, školaraca, studenata i ostale mladosti. Iz dobivene studije se vidi jasna veza između starosne skupine i doba dana kada se nesreća dogodila. Stariji biciklisti su uglavnom nesreće doživjeli u ranijim satima, u periodu 6-12 h, dok se ostale starosne skupine najveći dio nesreća doživjele u periodu 18-21 h (tablica 6).

**Tablica 6. Podjela nesreća prema vremenu nesreće (sati) [5]**

Dob	Vrijeme nesreće (sati)					Ukupno
	21-06h	06-12h	12-15h	15-18h	18-21h	
<35	10 (20.4)	4 (8.2)	10 (20.4)	10 (20.4)	15 (30.6)	49 (19.4)
35-64	20 (17.1)	20 (17.1)	9 (7.7)	23 (19.7)	45 (38.5)	117 (46.3)
>65	8 (9.2)	37 (42.5)	12 (13.8)	16 (18.4)	14 (16.1)	87 (34.4)
Ukupno	38 (15.0)	61 (24.1)	31 (12.3)	49 (19.4)	74 (29.3)	253 (100.0)

Nesreće se događaju najčešće početkom biciklističke sezone, u travnju, s 38 smrtno stradalih biciklista i na kraju sezone, u listopadu sa 28 smrtonosnih nesreća. Manje nesreća je bilo u toku ljeta i početkom jeseni, a uvjerljivo najmanji broj nesreća je bio u zimskom razdoblju (slika 22).



Slika 22. Broj nesreća po mjesecima [5]

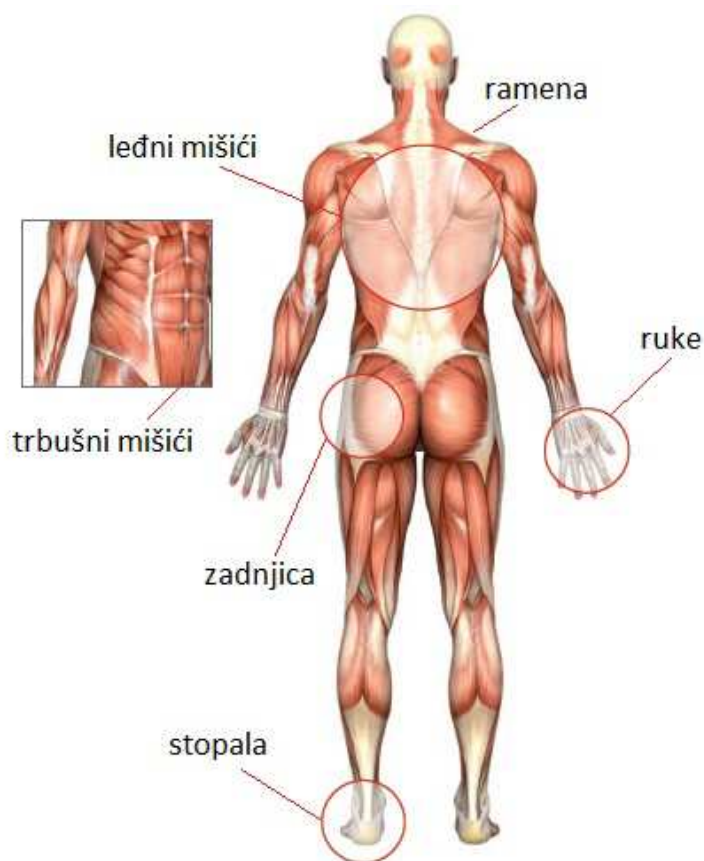
Rezultati studije pokazuju porazne podatke za muške bicikliste kao i europska analiza jer su muškarci sudjelovali u najvećem broju nesreća sa smrtnim posljedicama, čak 83%, dok ostatak nesreća od 17% uključuje žene. Uzrok nesreće je u 15% slučajeva bila sklizak kolnik, 46% zbog loše vidljivosti. 53% nesreća se dogodilo na lokalnim cestama. Skliska cesta i loša

vidljivost se direktno mogu dovesti u vezu s najvećim brojem nesreća na početku sezone, u proljeće, i na kraju sezone, u jesen.

Iako ne postoje analize s osvježenim podacima novijeg vremena može se zaključiti kako su problemi biciklista na hrvatskim cestama i dalje isti. Nedostatak biciklističke infrastrukture, nepoštivanje prometnih pravila od strane biciklista ali i drugih sudionika u prometu, manjak edukacije, loša kvaliteta prometnica, neprilagođenost bicikla raznim skupinama vozača i njihovim potrebama su i dalje najveći problemi s kojima se suočavaju vozači bicikla na našim cestama.

## 2.4. Ergonomija bicikla

Prilagođavanje i podešavanje bicikla potrebama svakog vozača zasebno je još uvijek nepoznanica za većinu korisnika ovog prijevoznog sredstva. Podešavanje bicikla potrebama vozača je kompromis između udobnosti vožnje i podizanja performansi. Kod gradskih vožnji performanse ne predstavljaju bitan faktor, dok udobnost i sigurnost vožnje bitno utječu na njihovo samopouzdanje i želju za korištenjem bicikla. Položaj tijela na biciklu utječe na to kako će se on voziti, koliko snage će noga prenositi na pedale, koliko će se vozač udobno osjećati, koliko će biti stabilan, brz ili spor. Položaj koji je najudobniji za vožnju vjerojatno neće biti i najbrži. Prije prilagodbe bicikla vozaču bitno je utvrditi koji dijelovi tijela su najopterećeniji prilikom vožnje (slika 23).



Slika 23. Raspodjela opterećenja prilikom vožnje bicikla

Na biciklu je cijelo tijelo aktivno, i to ne samo kod sportske vožnje već pri svakoj vožnji bicikla. Velik broj mišića je uključen, i aktivnost ili neaktivnost svakog od njih utječe na ostale. Na slici 23 se vidi da kod upravljanja biciklom djeluju leđni i trbušni mišići, mišići ramena, ruke, stražnjica te stopala.

**Leđni mišići** - stabiliziraju i izravnavaju kralježnicu te položaj zdjelice. Ublažuju utjecaj sila koje se prenose s tla i drže torzo i glavu u željenom položaju.

**Mišići ramena** - imaju važnu ulogu u podršci leđima i rukama. Smanjuju opterećenje na leđa i ruke i istovremeno ublažuju utjecaj terena.

**Ruke** - su posebno osjetljive na opterećenja i mogu podnijeti tek 20 % cjelokupnog opterećenja tijela.

**Stražnjica** - podnose do 50 % opterećenja tijela.

**Stopala** - uobičajeno nose 100 % težine tijela, a prilikom skokova mogu podnijeti i do 1000% težine tijela.

**Trbušni mišići** - su protuteža leđnim mišićima. Stabiliziraju zdjelicu i leđa. Bolovi koji se javljaju u leđima su uzrok slabih trbušnih mišića.

#### **2.4.1. Primarna i sekundarna ergonomija**

Postoje dva načina reduciranja pritiska, a to su primarna i sekundarna ergonomija. Smanjivanje sile pritiska se može postići gubitkom tjelesne mase no za to je potrebno vrijeme. Teže osobe imaju dosta problema s rukama jer mišići moraju podnijeti veća opterećenja koja se prenose na zglobove. Ako se prevozi teret poželjno je izbjegavati ruksake, tj. teret na leđima već je bolje koristiti bisage. Smanjivanje sile u vidu primarne ergonomije znači postići pravilnu distribucije mase tereta, a to se postiže isključivo pravilnom ergonomskom geometrijom bicikla. Povećanje površine poput ručki volana i sjedala je drugi korak koji se naziva sekundarna ergonomija. Dok prvi korak nije ispunjen ni drugi nema smisao.

### 2.4.2. Dvostruki "S" oblik

"Dvostruki S" oblik kralježnice štiti tijelo vozača dok mišići odrađuju svoju ulogu. Mišići su građeni tako da pomažu kralježnici podupirući ju kada se nalazi u "S" položaju (slika 24). Gubitkom "dvostrukog S" oblika neki će mišići biti previše rastegnuti i neće u dovoljnoj mjeri preuzeti namijenjenu ulogu te će se pojaviti bolovi. Drugi mišići će postati neprirodno kratki i takvi mogu ostati ukoliko se pogrešan položaj primjenjuje učestalo na duže dionice. Svaka krivulja može povećati elastičnost kralježnice i do dva puta nego kad krivulje nema. Elastičnost je nužna kako bi štitila leđa od ozljeda pri udarcima pa je time prirodna suspenzija tijela. "S" oblik omogućuje zakretanje gornjeg trupa za 180° kad je zdjelica fiksirana. Mišići lordoze moraju biti čvrsti kako bi držali kralježnicu u obliku slova S. Većina ljudi nemaju razvijene ove mišiće radi sjedećeg stila života, a to znači naginjanje tijela prema naprijed i podizanja glave. Za vožnju biciklom zbog rada nogu je potrebno zdjelicu uprti u sjedalo. Leđni mišići pomažu u držanju zdjelice mirnom, noge rade savršeno samo dok je zdjelica nepokretna jer im je potrebna stabilna točka za početak kretanja. Ukoliko bi se i zdjelica pomicala, izgubila bi se snaga pri kretanju nogama. Ako položaj na biciklu omogući mišićima opuštanje zaštita će nestati.



Slika 24. Dvostruki S oblik kralježnice

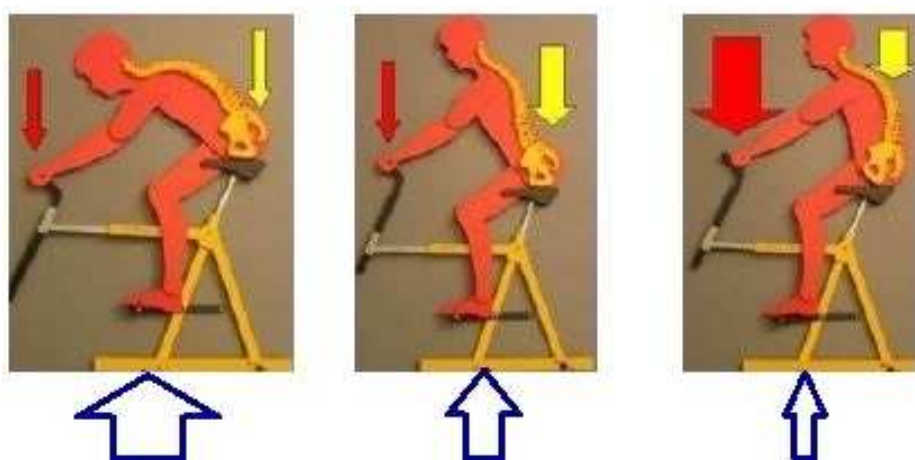
Poteškoća kod modernog gradskog bicikla je što njegov položaj omogućava opuštanje mišića. Razvoj gradskih bicikala je uzeo zamah u zadnjih 20-ak godina. Razvijan je s ciljem olakšavanja vožnje osoba koje imaju problema s leđima jer su preporuke doktora bile da



Slika 25. Željeni i realni položaj nakon određenog vremena vožnje

Kako bi vožnja na duge rute bila što udobnija važno je koristiti što veći broj mišića. Što je veći broj mišića uključen u upravljanju biciklom, svaki od njih će preuzeti nešto od opterećenja te tako postići da niti jedan od njih bude preopterećen (slika 25).

Postoje razlike u raspodjeli težine ovisno o položaju na biciklu (slika 26). Najmanje naprezanje je u trkaćem položaju, jedini položaj koji omogućuje donjem dijelu leđa konveksan oblik jer cijelo tijelo radi, a vozač izgleda kao da će preletjeti bicikl. Snaga se prenosi kružno, od upravljača prema nogama te leđima. Kod MTB bicikla je položajem omogućena dobra raspodjela težine jer se postiže poželjan kut od  $90^\circ$  između tijela i ruku.



Slika 26. Raspodjela težine prema položaju

Kao što je navedeno iznad, cilj je postići kut od  $90^\circ$  između ruku i gornjeg dijela tijela kako bi tijelo bilo u zdravom položaju. Ako je razmak između sjedala i volana premalen kut će biti manji od  $90^\circ$  no tijelo nađe način automatski kako da postigne taj kut. Kako bi se postigao željeni kut tijelo radi fleksiju leđa i kralježnica gubi "S" oblik što u konačnici vodi do klasičnih problema s bolovima u leđima. Isti problem nastupa ako je sjedalo loše. Ako je sjedalo tvrdo i stvara bolove u prednjem dijelu zdjelice automatski pokušavamo eliminirati bol na način da zdjelicu povlačimo unazad čime se formira konveksna krivulja u donjem dijelu tijela, glava je pognuta u vratu, a ramena rastegnuta.



Slika 27. Položaj ispravnog držanja i neispravnog uzrokovanog lošim sjedalom

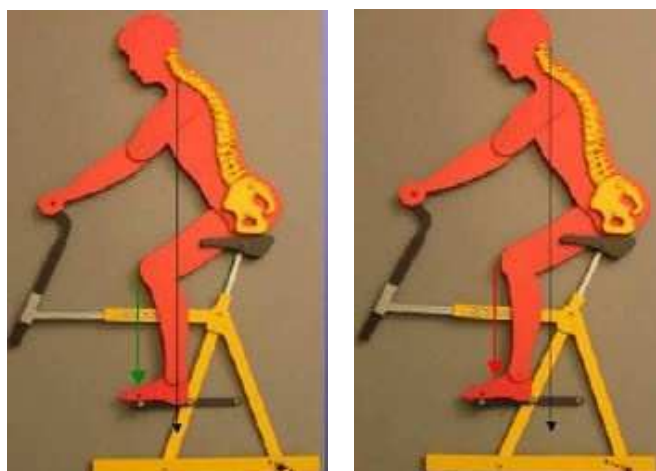
S obzirom na važnost postizanja kuta od  $90^\circ$  između ruku i gornjeg dijela tijela možemo zamisliti trokut s vrhovima u ramenu, ruci i zdjelici. Trokut je moguće rotirati i tako mijenjati nagib leđa. S obzirom da tijelo definira trokut duljina stranice između volana i sjedala, tj. šake i zdjelice sene smije mijenjati. Kako bi se postigao uspravniji položaj potrebno je samo podići volan no ne više od 10cm iznad razine sjedala. Odnos šaka, zdjelice i ramena prikazan je na slici 28.





Slika 28. Trokut položaj

### 2.4.3. Položaj sjedenja



Slika 29. Ispravan i neispravan položaj s obzirom na visinu sjedala

Okomica koljena mora biti točno iznad sredine pedale kad poluga pedale gleda prema naprijed. Težište tijela vuče prema naprijed i snaga se prenosi na prednju pedalu. Pomicanjem sjedala unazad točka težišta se premješta iza pedale umjesto ispred i velik dio snage se prenosi na zadnju pedalu pa je potrebno uložiti puno više snage da bi se bicikl pokretao željenom brzinom.

#### 2.4.4. Visina sjedala

Većina ljudi sjedi nisko na svojim biciklima jer smatraju da moraju nogama dodirivati tlo. Nažalost, to "pravilo" često nije moguće kombinirati s pravilnom visinom sjedala. Ispravna visina sjedala sprječava pruža najveću snagu pedaliranja i sprječava bolove u koljenu. Visinu sjedala je potrebno testirati dok se vozač nalazi na biciklu. Tijekom vožnje biciklist podiže pete dosta visoko te je stoga potrebno postaviti sjedalo dovoljno visoko.

#### 2.4.5. Duljina poluge pedale

Klasične dimenzije poluga pedale dolaze u duljinama 165 mm, 170 mm i 175 mm. Samo male i skupe tvrtke imaju specijalizirane druge dimenzije. Uobičajene veličine od 170 mm ili 175 mm odgovaraju ljudima visine između 170 cm do otprilike 190 cm. Osobe više od 190 cm mogu imati dulje poluge ali nisu nužne. Kraće poluge ne mogu biti smetnja. Veći problem je kod nižih osoba jer ako koriste poluge klasičnih dimenzija kut između potkoljenice i natkoljenice u najvišoj poziciji pedale će biti manji od  $90^\circ$  što će dovesti oštećenja koljena.



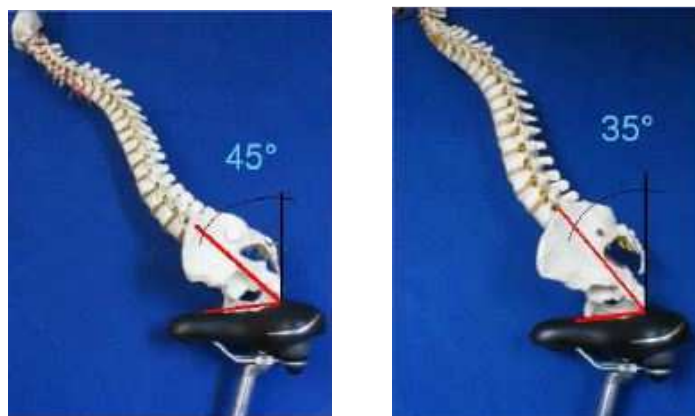
Slika 30. Željeni kut koljena

Niže osobe ove probleme pokušavaju ispraviti višim položajem sjedala kako koljeno ne bi bilo pod tako velikim kutom. U tom slučaju više voze na prstima nego uobičajeno kada je jedna od pedala u donjoj mrtvoj točki no to nije toliko bitno s obzirom da pedala u gornjem položaju preuzima veći dio snage. Vožnja na prstima daje veću slobodu koljenima. Koljeno nije jednostavan zglob, pomiče se u raznim smjerovima ovisno da li je zatvoren ili otvoren. Kako ne bi dolazilo do problema s koljenima važno je da zglob gležnja ne bude fiksiran.

Ukoliko je zglob fiksiran koljeno će se naći pod pritiskom sile koje će ga gurati u krivom smjeru. Stoga je potrebno prenositi silu na pedale s prednjim dijelom stopala, nipošto petom ili cijelim stopalom. Ako vozač vozi pogrešnom metodom vjerojatno sjedi prenisko. Preporučana frekvencija kadanice je između 80 i 100 okretaja u minuti.

#### 2.4.6. Ergonomija sjedala

Još jedna od ključnih stvari kod ergonomije bicikla je ergonomija sjedala. Neudobna sjedala izazivaju bolove, vozač mijenja položaje tijekom vožnje kako bi ublažio neugodan efekt nekvalitetnog ili krivog sjedala te time ugrožava ergonomiju bicikla. Ključna stvar je razumjeti kako zdjelica naliže na sjedalo dok je gornji dio tijela nagnut. Zdjelične kosti se razlikuju kod muškaraca i žena. Zdjelica muškarca ima manji kut pa u sportskom položaju na biciklu muškarci mogu postići puno dublji položaj od žena. Kada donji dio zdjelice ostvari potpuni kontakt sa sjedalom, muškarci mogu sjesti pod kutom od  $45^\circ$  dok žene ne mogu postići veći kut od  $35^\circ$ , a da ne dođe do gubitka S oblika kralježnice.



Slika 31. Ostvarivi nagib kod zdjelice muškarca i žene

#### 2.4.7. Položaj sjedenja

Postoje tri vrste načina sjedenja. Prvi, i samo teoretski položaj je da se točka pritiska nalazi na prednjem dijelu zdjelice no taj položaj je vrlo neugodan za vozače s obzirom da je to područje vrlo osjetljivo. Ispravan položaj sjedenja je ne predubok, donji dio zdjelice ostvaruje puni kontakt sa sjedalom i nagib gornjeg dijela tijela je unutar normalnog. Uobičajeni položaj kod većine vozača, ujedno i pogrešan je prebacivanje točke pritiska na stražnji dio zdjelice.

Takvom položaju odgovara i većina sjedala. Problem kod ovog načina je što su kosti zadnjeg dijela zdjelice malene pa ako se točka pritiska premjesti na stražnji kraj brzo se jave bolovi u tom dijelu jer su kosti preslabe. Osim toga, brzo se gubi S oblik kralježnice jer dolazi do opuštanja gornjeg dijela tijela.



Slika 32. Teoretski, ispravan i uobičajeni položaj sjedenja

Razlika u veličini i obliku zdjelice kod muškaraca i žena je ključna kod konstrukcije sjedala. Sjedalo dizajnirano za muškarce nije udobno za žene i obratno. Žene imaju širu i kraću zdjelicu od muškaraca, radi lakšeg rađanja. Razlika nije samo u širini već i u obliku donjeg dijela zdjelice. Kod muškaraca ona je ravnija i radi toga muškarci koriste puno više površine sjedala dok je kod žena konkavnog oblika i sjedalo za žene mora biti manje jer su noge bliže sjedalu.



Slika 33. Površina pritiska kod muške i ženske zdjelice

## 2.5. Zahtjevi starijih korisnika

Prije osmišljavanja nove konstrukcije bicikla za korisnike ili prilagodbe postojećeg proizvoda važno je znati koje su osnovne potrebe i zahtjevi ove grupe korisnika koje treba ispuniti. Prema istraživanju iz 2005. godine znanstvenice dr. Mariele Alfonzo, utemeljitelja platforme "State of Place" koja se bavi istraživanjem i analizom urbanih podataka napravljena je piramida hijerarhijskog modela, tzv. piramide zahtjeva starijih biciklista prikazanoj na slici 34.



Slika 34. Hijerarhijski model potreba starijih korisnika

1. *Dostupnost cijenom* - proizvod mora biti cijenom pristupačan širokoj masi korisnika. S obzirom na gospodarsko stanje u svijetu i da su stariji ljudi, iznad 65 godina većinom umirovljenici ovaj zahtjev može predstavljati zapreku inženjerskoj mašti.
2. *Izvodljivost* - vrlo je poželjno da proizvod ispunjava sve potrebe biciklista, od vožnje sa svrhom gdje se bicikl koristi kao prijevozno sredstvo od točke A do točke B, prijevoz tereta i slično do vožnje radi opuštanja u slobodno vrijeme.
3. *Funkcionalnost* - vezano za izvodljivost, bicikl kao prijevozno sredstvo koje omogućuje korisniku korištenje u različite svrhe mora obuhvatiti kvalitetu, kvantitetu, raznovrsnost i ostale elemente.
4. *Sigurnost* - izuzetno bitna stavka je osjećaj sigurnosti pri vožnji bicikla. Biciklisti nikad neće moći sudjelovati u prometu sa 100%-tnom sigurnošću po svoje zdravlje, bilo od namjernih ili nenamjernih opasnosti no za njihovo samopouzdanje pri korištenju bicikla je

važno postići osjećaj kod vozača da su koristi vožnje bicikla znatno veće od rizika ozljede ili nesreće.

5. *Udobnost* - faktori koji se odnose na udobnost su odnos između bicikla i vozača, bicikla i prometa, stanja biciklističkih trasa kao i cjelokupne infrastrukture. Udobnost se odnosi na razinu jednostavnosti, praktičnosti i zadovoljstva.

6. *Zadovoljstvo* - nema mjernu jedinicu i ovisi od vozača do vozača, od iskustva, želja i potreba. Ukoliko su ispunjeni uvjeti ispod ovog, vozač će vjerojatno biti zadovoljan s kupljenim proizvodom. Također, zadovoljstvo ne mora nužno biti vezano uz proizvod ukoliko je infrastruktura i općenito prostor kretanja nekvalitetan i demotivirajući.

Starije osobe često odustaju od bicikla kao prijevoznog sredstva zbog smanjenih sposobnosti i fizičke kondicije. Postojanje rizika i straha od pada i ozljeđivanja, opasnost od prometa, motoriziranog ili nemotoriziranog, neprilagođene infrastrukture su razlozi odustajanja od bicikla stoga je važno korisnicima ponuditi proizvod koji bi u što većoj mjeri umanjio potencijalno negativne strane vožnje bicikla. Ovi zahtjevi se mogu odnositi i na ostale dobne skupine korisnika, stoga je cilj ovog rada osmisliti koncept bicikla namijenjen svim dobnim skupinama uz istovremenu dostupnost cijenom.

## 2.6. Tehnički nedostaci

Bicikli se nisu bitno mijenjali svojom geometrijom od kraja 19. stoljeća kada je trajno usvojen oblik konstrukcije koji je zadržan do danas. Najopterećenija mjesta su i dalje ostala ramena, ruke i stražnjica jer se položaj vožnje nije značajno promijenio. Udobnost i sigurnost nisu na bitno višoj razini od "staromodnih" bicikala, visina s koje vozač pada je ista, a glava je kao i ostatak tijela izložena. Ako se pogleda napredak drugih prijevoznih sredstava u prometu, posebice unazad 50-ak godina očito je da su standardni bicikli napravili najmanji napredak. Švedska Vladina udruga VINNOVA je napravila analizu uz suradnju starije skupine biciklista s ciljem otkrivanja nedostataka postojećih konstrukcijskih rješenja.

### *Okvir bicikla*

Većina okvira (rama) neovisno o tipu bicikla su previsoki jer zahtijevaju sposobnost i koncentraciju starijih ljudi kako bi penjanje na bicikl ili silazak s njega bio bezbolan. Visoki okviri su u velikom broju uzrok nesreća kod starijih vozača. Takozvani "ženski" okviri sa spuštenom gornjom cijevi po dijagonali od volana prema vertikalnoj cijevi iz koje izlazi sjedalo su manje problematični od klasičnih "muških" okvira.

### *Položaj i visina sjedala*

Većina konvencionalnih bicikala ima previsok položaj sjedala naspram volana što je aerodinamički vrlo učinkovito no radi prevelika opterećenja na šake, ramena i stražnjicu. Uspravniji položaj je poželjan no ne u potpunosti uspravan jer kako je prikazano u poglavlju "Ergonomija" vertikalni položaj dovodi do opuštanja mišića i direktnog opterećenja kralježnice i stražnjice. Isto tako, bilo odlično kad bi vozači prilikom statičnog položaja bicikla mogli s obje noge doticati tlo bez da silaze sa sjedala jer bi im kretanje i stajanje bilo time znatno olakšano, a time i upravljivost te udobnost. Biciklisti su ugroženiji od pješaka jer biciklist postiže dva do tri puta veću kinetičku energiju od pješaka.

### *Sjedalo*

Kao što je već navedeno u prethodnim poglavljima razlika u anatomiji zdjelice između muškaraca i žena je značajna pa tako univerzalna sjedala ne mogu biti zdrava ni učinkovita za

нити jedan spol. Osim po spolu treba imati u vidu i razliku u načinu korištenja bicikla. Veći izbor pri odabiru sjedala je poželjan.

### ***Mehanizmi prihvata***

Mehanizmi prihvata poput sveopće prihvaćenog i praktičnog "quick release" sustava, ručice mjenjača i kočnica su za većinu korisnika, a posebno starijih prekruti. S godinama ruke postaju sve slabije pa otpuštanje ili zatezanje sustava poput "quick release-a" postaje problem. Prilagodba sustava za natezanje i napinjanje je smjer o kojem bi inženjeri trebali razmisliti.

### ***Individualna prilagodba***

Prilagodba bicikla raznim dobnim i spolnim skupinama vozača individualno bi trebala biti moguća. Sjedalo i volan bi se trebali moći podešavati prema željama i potrebama svakog vozača, od nagiba volana i ručki, visine i nagiba sjedala.

### ***Postupanje biciklom***

Bicikli moraju biti spremljeni na suho i sigurno pa ga njegovi vlasnici često moraju podizati, nositi, smjestiti u prostoriju itd. Masa bicikla ne bi smjela biti veća od 10-11 kilograma. Razvojem aluminijskih rama masa je znatno smanjena, daljnja poboljšanja mogu ići sa još lakšim materijalima i skidanjem mase s kotača, pedala, svjetlosnih sustava, kočnica i ostalih komponenti.

### ***Kočnice***

Blokiranje kotača bilo da se radi o kočionim diskovima ili klasični V-brake mehanizmu je prejednostavno. Instaliranje kočnica koje ne blokiraju kotače je vrlo poželjno. Blokiranje stražnjeg kotača uzrokuje nestabilnost stražnjeg kraja, a prednjeg rotiranje bicikla oko osi zablokiranog kotača i prelet vozača. Prioritet je na prednjem kotaču jer je njegovo blokiranje opasnije.

### ***Mijenjanje brzina***

Osim ergonomski oblikovanih ručica mjenjača postoji interes za sustavom automatskog mijenjanja brzina. Druga mogućnost je korištenje prijenosa ugrađenih u osovinu stražnjeg



kotača koji radi na principu planetarnog prijenosa. Takvim prijenosom bi se eliminirali mjenjači, sajle i vodilice zadnjeg mjenjača.

### ***Električni bicikli***

Bicikli potpomognuti snagom elektromotora na neravnim površinama i usponima su moguća alternativa. Baterija i motor ne bi smjeli biti teški i preglomazni kako se ne bi uništio osjećaj vožnje vlastitom snagom.

### ***Stabilnost i ravnoteža***

Bicikli na tri kotača su moguća zamjena za klasične bicikle s dva kotača čime bi se riješio problem balansa. Takva rješenja postoje već na tržištu i nisu polučila značajan uspjeh jer su preteški i nisu tako jednostavni za upravljanje, a i ponašanje u vožnji je drugačije. Također, međuosovinski razmak je prevelik, nespretni su za upravljanje gradskim ulicama te su radi nedostatka suspenzije pogodni samo za ravne površine.

### ***Osiguranje bicikla***

Problem krađe bicikala je također prisutan. Zaštita bicikla bi morala biti sigurnija od trenutnih rješenja. Jedan od sigurnijih sustava zaključavanja bicikla je takozvani U-lock sustav no to je dodatna oprema na koju korisnici moraju misliti, teški su i nepraktični za nošenje.

## 2.7. Analiza tržišta

Danas živimo u globaliziranom društvu. Informacije putuju neviđenom brzinom, a ljudi više nisu ograničeni na lokalnu komunikaciju. S obzirom kako planet Zemlja sve više postaje globalno selo, sukladno trendovima razvija se i tržište. Tako danas na tržištu postoje razne varijante vozila osnovanih na konstrukciji bicikla koji ciljaju jasno definirane starosne skupine korisnika. Iako je ponuda na svjetskom tržištu vozila namijenjenih starijim osobama relativno velika, većinu njih nije moguće vidjeti na hrvatskim cestama iz razloga što ponuđena rješenja uz ostvarene prednosti konstrukcije namijenjene ciljanoj skupini najčešće sa sobom donose i brojne nedostatke.

### 2.7.1. Bicikl sa spuštrenom ramom

Djeca i starije osobe nemaju dovoljno visok stupanj razvijenosti psihomotoričkih sposobnosti stoga im jednostavne radnje poput silaska s bicikla ili penjanja stvaraju velike probleme zbog opasnosti od gubitka ravnoteže. Bicikli sa spuštrenom ramom su dobro rješenje za zaobilazanje ove poteškoće no otklanjaju problem stabilnosti same vožnje.



Slika 35. Bicikl sa spuštrenom ramom

### 2.7.2. Električni bicikli s pedalama

Električni bicikli s mogućnošću korištenja pedala po želji su idejno dobro zamišljeno rješenje. Vozač pokreće bicikl snagom nogu no kada naiđe na uzbrdicu ili neravnine na cesti sav posao može prepustiti elektromotoru. U usporedbi s autima ili motociklima pokretanih motorima s unutrašnjim izgaranjem cijena po kilometru je znatno manja, a za ova vozila nije potrebno imati vozačku dozvolu niti plaćati registraciju. No iako su električni bicikli odlično zamišljen koncept uz njega dolaze i brojni nedostaci vezani uz proizvod no i uz druge parametre. Cijena takvog bicikla se kreće od 14 000 kn pa na više. S obzirom na njihovu vrijednost na tržištu ovakav proizvod nije dostupan širokim masama, a ujedno je i interesantan kradljivcima. Bateriju je potrebno puniti što stvara dodatan trošak održavanja bicikla. Masa takvog bicikla se kreće oko 40 kg što ga čini teškim i nespretnim za pomicanje i premještanje po na primjer, haustoru zgrade ili garaži ali i za samu vožnju jer osim vlastite mase vozač mora pokretati snagom nogu i bicikl koji je u prosjeku teži 25-30 kg od klasičnog bicikla.



Slika 36. Električni bicikl

### 2.7.3. Tricikl

Ovi bicikli su veoma interesantni starijim vozačima iako postoje brojne verzije i u kategoriji dječjih bicikala. Tricikl vozaču pruža stabilnu platformu te minimizira ili čak neutralizira poteškoće s balansom. U pravilu dolaze s nisko postavljenim oblikom okvira pa ne predstavljaju problem kod uspona na bicikl ili silasku s njega. Problema sa zamjenskim dijelovima nema jer se koriste standardni dijelovi za bicikle. Pogodni su za odlaske do dućana i prijevoz manjih tereta. Nedostaci ovog bicikla su što nisu prilagođeni svim uvjetima. Kotači

ne djeluju zasebno već su povezani na zajedničko vratilo pa su pogodni isključivo za vožnju po ravnom. Kad se kotači nađu na bočnom nagibu cijelo vozilo se nagnje zajedno s vozačem te postoji opasnost od pada ili čak prevrtanja. Također, razmak između kotača je velik pa nisu jednostavni za upravljanje uskim gradskim prostorima te je potrebno osigurati puno prostora za sigurno garažiranje.



Slika 37. Tricikl

#### **2.7.4. Ležeći bicikl**

Ležeći bicikli su zamišljeni kao alternativa klasičnim biciklima jer oblik okvira omogućuje vozaču opušteniji položaj te je pritisak na leđa, stražnjicu i ruke znatno manji nego kod klasičnog bicikla. Pedale se nalaze ispred vozača, a ne ispod njega. Najčešće dolaze u verziji s tri kotača jer kombinacija s tri kotača rješava problem balansa, a dvostruki kotači mogu biti smješteni ispred i iza vozača. Nedostatak im je što se masa vozača radi položaja vožnje ne može iskoristiti pri usponu uz brdo, vozilo je relativno široko što predstavlja problem u gradskim uvjetima, a položaj vožnje bi mogao biti uzrok za povećanje broja nesreća, a ne obratno. Ovakva vozila mogu doći u verziji s nagnjanjem simetričnih kotača pri skretanju.



Slika 38. Ležeći bicikl

#### 2.7.5. Scooter bicikl

Ovo vozilo je osmišljeno kao kombinacija tricikla i električnog bicikla. Ima pedale kako bi vozač mogao upravljati vlastitom snagom, sjedalo je na povišenom položaju te više podsjeća na vozila za invalide nego svakodnevno prometalo. Težak je i nezgrapan stoga nije prava alternativa biciklima.



Slika 39. Scooter bicikl

## 2.8. Stabilnost vozila

Nakon provedene analize uzroka biciklističkih prometnih nesreća, zahtjeva korisnika u svrhu unaprjeđenja vozila, analize postojećih rješenja na tržištu te nedostataka istih rješenja, stabilnost vozača i vozila kao cjeline, tj. održavanje ravnoteže prilikom vožnje je identificirano kao najveća zapreka s kojom se rizične skupina vozača susreću. Konstrukcija novog vozila, s većom stabilnošću i anuliranjem nedostataka postojećih rješenja se postavilo kao izazov pri razvoju novih koncepata no prethodno je potrebno objasniti dinamiku bicikla u vožnji.

Promatranjem vozača i bicikla kao jednog sustava, sile koje djeluju na taj sustav se mogu podijeliti u dvije skupine, vanjske i unutrašnje sile. Vanjske sile nastaju kao uzrok djelovanja gravitacije, inercije, kontakta vozila s podlogom i atmosferom dok su unutarnje sile prouzrokovane vozačem i interakcijom između komponenti (slika 40).



Slika 40. Komponente sile koje djeluju na sustav bicikl-vozač

## Vanjske sile

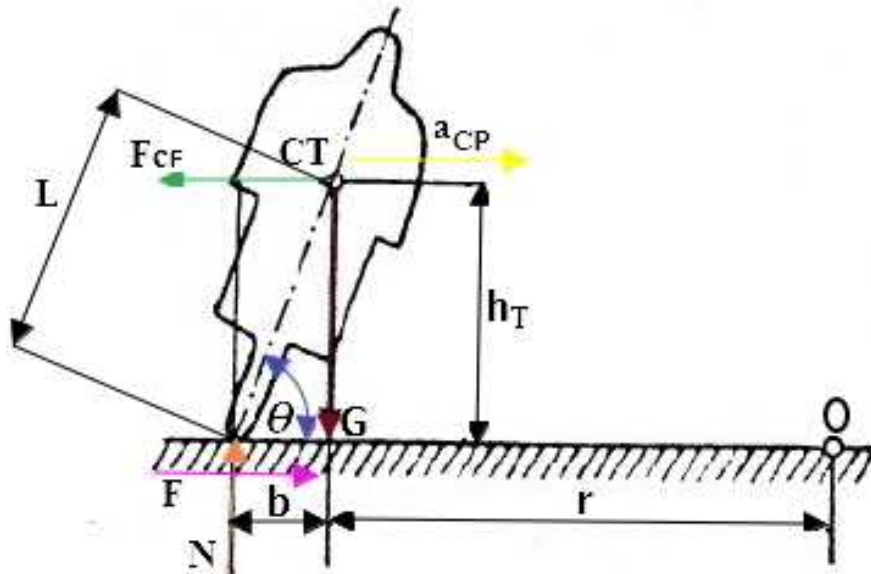
Kao i kod svake mase, gravitacija vozača i bicikl vuče prema zemlji. Na svaki kotač u dodiru s podlogom djeluje reakcija podloge sa vertikalnim i horizontalnim silama. Okomite sile reakcije se opiru gravitaciji i njihova veličina ovisi o ubrzavanju i kočenju. Horizontalne komponente koje se javljaju su otpor gibanju kotaču i djeluju u suprotnom smjeru od kretanja sustava te otpori koji se javljaju uslijed skretanja, kočenja te pogonskih sila. Otpor zraka se javlja uslijed djelovanja atmosfere te sile mogu djelovati iz svih kutova. Otpor zraka je ujedno i najveća sila otpora kretanju vozila koja se javlja kod biciklista, s većom brzinom kretanja važnost otpora zraka postaje veća. Sile skretanja djeluju u suprotnom smjeru od gibanja kotača i vozila, definiramo ih kao centrifugalne sile koje nastaju balansiranjem vozača pri skretanju ili inercijom u stacionarnom stanju. Na rotirajuće dijelove poput kotača, pogona i prijenosa djeluju žiroskopske sile.

## Unutarnje sile

Unutarnje sile nastaju kao rezultat trošenja svih pokretnih dijelova. Trošenje se javlja kod svih dijelova u pokretu poput pogona, mehanizma skretanja i okvira, prijenosa, kotača, kočnica i kotača itd.

### 2.8.1. *Gibanje bicikla*

Svako tijelo se kreće na željeni način ako na njega djeluje pravilna kombinacija vanjskih sila i momenata. Objekt je dinamički stabilan ako mala promjena vanjskih sila i momenata uzrokuje malu oscilaciju željenog gibanja. Dinamička stabilnost vozila ovisi o dizajnu vozila i brzini kretanja. Bicikli su dinamički stabilni pri skretanju unutar širokog raspona brzina i polumjera zakretanja. Bicikl će ostati uspravan dok se njime upravlja kako bi sile reakcije podloge balansirale sve unutarnje i vanjske utjecaje sila, poput gravitacije pri naginjanju, inercije ili centrifugalne sile kod skretanja, žiroskopskih sila kod rotirajućih dijelova te otpora zraka. Stabilnost ovisi o nekoliko faktora, geometriji, distribuciji mase i brzine kretanja bicikla. Manji utjecaj mogu imati i gume, suspenzija te fleksija okvira bicikla. U stanju mirovanja vozač i bicikl su u labilnoj ravnoteži. Ako se vozač pokuša nagnuti s biciklom u statičnom položaju doći će do pomicanja centra težišta cijelog sustava izvan linije kotača, stvara se moment koji izaziva prevrtanje kao što se vidi na slici 41.



Slika 41. Parametri utjecaja na održavanje ravnoteže

Vozača pada s bicikla u statičnom položaju ukoliko se ispuni uvjet:

$$G \cdot b > 0 \quad (1)$$

Kotači u vožnji djeluju kao zvrkovi, što se naziva žiroskopskim efektom jer se opiru promjeni položaja svoje osi. Tijekom vožnje nužno je nagnuti se u zavoj kako bi se kompenzirao efekt centrifugalne sile.

Moment centrifugalne sile:

$$F_{CF} \cdot h_T = \left( \frac{G \cdot v^2}{g \cdot r} \right) \cdot h_T \quad (2)$$

Kad se vozač ne bi nagnuo u zavoj pri skretanju, utjecaj centrifugalne sile bi izvrnuo bicikl i vozača. Istovremeno centrifugalna sila sprječava da pri nagnjanju vozač "potone" u zavoj.

Uvjet koji mora biti ispunjen kako ne bi došlo do prevrtanja sustava vozač-bicikl glasi:



$$F_{CF} \cdot h_T = G \cdot b \quad (3)$$

S obzirom da u vertikalnom smjeru nema akceleracije suma sila u vertikalnom smjeru je:

$$N = m \cdot g \quad (4)$$

Primjena Newtonovog drugog zakona u horizontalnoj ravnini:

$$F_h = m \cdot a_{CP} = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad (5)$$

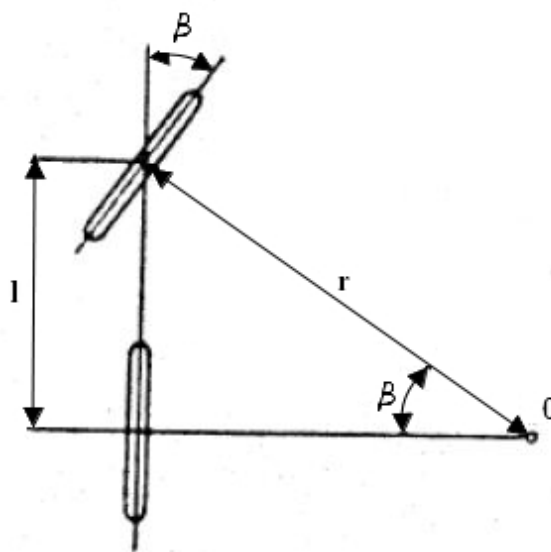
Suma momenata oko centra težišta:

$$N \cdot \cos\theta \cdot L - F \cdot \sin\theta \cdot L = 0 \quad (6)$$

Kombinacijom (4), (5) i (6) dobije se kut nagiba:

$$\tan\theta = \frac{r \cdot g}{v^2} \quad (7)$$

Kut nagiba nezavisan je od težine bicikl+vozač, a veća brzina i manji promjer zavoja zahtijevaju jače nagnjanje.



Slika 42. Zakretanje kotača

Polumjer zaokreta ovisi samo od brzine i vrste podloge (slika 42).

Kako ne bi došlo do proklizavanja, polumjer zakreta pri brzini  $v$  manji od:

$$r_{min} = \frac{v^2}{\mu \cdot g} \quad (8)$$

S manjim osnim razmakom postiže se manji polumjer zakretanja bicikla:

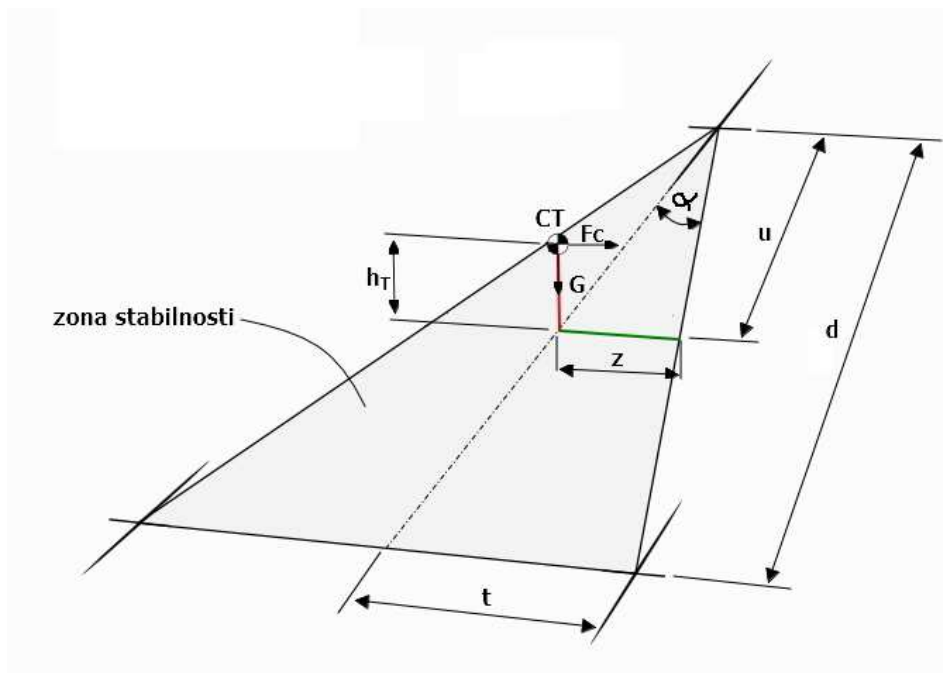
$$r = \frac{l}{\sin\beta} \quad (9)$$

### 2.8.2. Gibanje tricikla

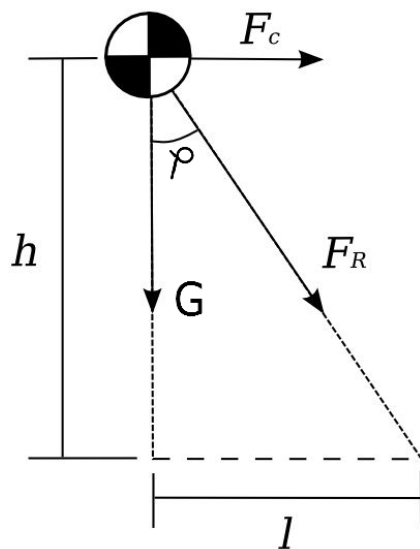
Tricikl je vozilo je bicikl s tri kotača. Dolazi u izvedbe s dva prednja i dva stražnja kotača. Prije razvoja koncepta potrebno je definirati parametre koji utječu na stabilnost i upravljivost ove vrste vozila (slika 49.). Tricikli su statički stabilna vozila jer postoje tri dodirne točke s podlogom koje kreiraju zonu stabilnosti. Dinamički su nestabilni jer ne pružaju mogućnost nagnjanja te vozač mora biti na oprezu kako ne bi došlo do prevrtanja te se kao izazov pred inženjera riješiti ovaj nedostatak.

### Centar težišta sustava

Statički stabilno vozilo znači da vozač u mirovanju i vožnji po pravcu ne mora voditi brigu o održavanju ravnoteže. Dinamički stabilno vozilo znači da se pri naginjanju u zavoje vozač može neometano "baciti" u zavoj jer dok se težište sustava vozač-bicikl nalazi unutar zone stabilnosti ne može doći do prevrtanja.



Slika 43. Parametri utjecaja tricikla



Slika 44. Određivanje točke naginjanja

Izračun zone stabilnosti od centra težišta:

$$z = u \cdot \tan \alpha \quad (10)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{t}{d} \right) \quad (11)$$

$$z = \frac{u \cdot t}{d} \quad (12)$$

Rezultantna sila centra težišta je vektor dobiven zbrajanjem dvije ortogonalne sile i projicirane duljine na tlu:

$$F_R = \sqrt{G^2 + F_C^2} \quad (13)$$

$$\rho = \tan^{-1} \left( \frac{F_C}{G} \right) \quad (14)$$

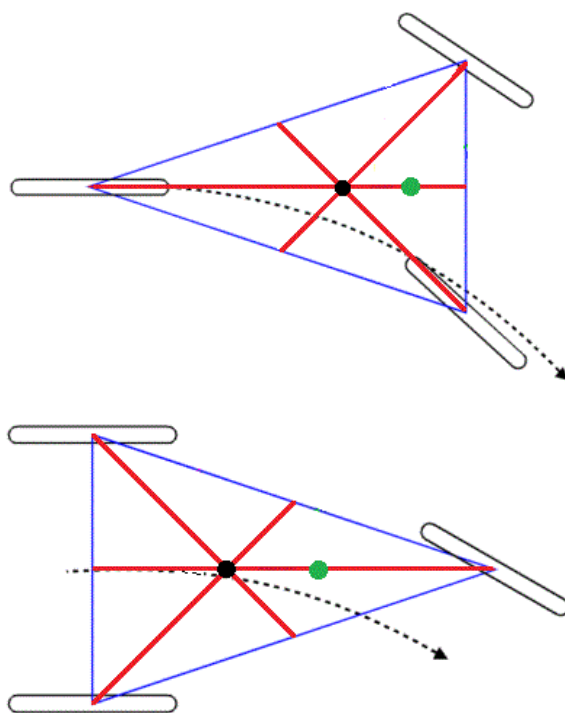
$$d = h_T \cdot \tan(\rho)$$

$$d = h_T \cdot \tan(\tan^{-1}(a))$$

$$d = h_T \cdot a \quad (15)$$

Prema tome slijedi:

- kada je  $d < z$  = vozilo je stabilno
- kada je  $d = z$  = točka početka naginjanja vozila
- kada je  $d > z$  = vozilo izvan zone stabilnosti i nastupilo naginjanje na dva kotača

**Kočenje i stabilnost pri skretanju**

Slika 45. Ponašanje tricikla s dva stražnja (gore) i dva prednja (dole) kotača pri kočenju

Prilikom vožnje po pravcu, tricikl može ubrzavati i kočiti. Položaj centra težišta je ključan faktor funkcionalnosti jedne od moguće dvije varijante vozila. Položaj centra težišta mora biti nizak i što bliži dva simetrična kotača kako bi se izbjeglo prevrtanje. Istovremeno, ne smije biti preblizu simetričnim kotačima da ne dođe do naginjanja preko prednjih ili stražnjih kotača, ovisno koju varijantu želimo koristiti. Ubrzavanjem se centar težišta pomiče unazad dok je kod kočenja obrnuto. Skretanje i kočenje u kombinaciji može biti vrlo snažno te je varijanta tricikla s dva prednja kotača bolje rješenje s obzirom da se centar težišta pomiče unaprijed i ulazi u sve širi prostor zone sigurnosti. Kod varijante s prednjim kotačem centar težišta se pomiče u sve užu prostor zone sigurnosti i opasnost od bočnog proklizavanja i prevrtanja je znatno veća (slika 45).

## Zona stabilnosti

Idućim računskim primjerom prikazana je usporedba ostvarivanja nagiba vozača na biciklu i triciklu.

Za primjer je uzeta antropomjera osobe kod koje udaljenost centra težišta sustava vozač-bicikl na konstantnoj udaljenosti od 1,2 metar do kontakta s podlogom. Cilj je prikazati prema navedenim jednadžbama koji kut vozač mora ostvariti na biciklu pri različitim brzinama i polumjerima zakretanja da ne bi došlo do pada te koliko se pri tome centar težišta pomakne od kontakta bicikla s podlogom i zatim dobivene vrijednosti usporediti sa zonom stabilnosti tricikla.

## Bicikl

### Primjer 1.

$$v = 10 \frac{km}{h} = 2,78 \frac{m}{s}$$

$$r = 10 \text{ m}$$

---

$$\tan\theta = \frac{r \cdot g}{v^2}$$

$$\theta = 86^\circ$$

$$\cos\theta = \frac{b}{L}$$

$$b = 0,084 \text{ m}$$

**Primjer 2.**

$$v = 20 \frac{km}{h} = 5,56 \frac{m}{s}$$

$$r = 15 \text{ m}$$

---

$$\tan\theta = \frac{r \cdot g}{v^2}$$

$$\theta = 78^\circ$$

$$\cos\theta = \frac{b}{L}$$

$$\mathbf{b = 0,25 \text{ m}}$$

**Primjer 2.**

$$v = 30 \frac{km}{h} = 8,33 \frac{m}{s}$$

$$r = 20 \text{ m}$$

---

$$\tan\theta = \frac{r \cdot g}{v^2}$$

$$\theta = 71^\circ$$

$$\cos\theta = \frac{b}{L}$$

$$\mathbf{b = 0,39 \text{ m}}$$

## Tricikl

Za primjer su uzete prosječne dimenzije današnjih tricikla. Duljina bicikla iznosi 1,5 metar, a razmak između kotača 1 metar. Položaj težišta sustava nalazi na 0,5 metara od zadnjeg stražnjeg kontakta s podlogom. Iz navedenih jednadžbi, za odabrane vrijednosti potrebno je prikazati duljinu zone stabilnosti.

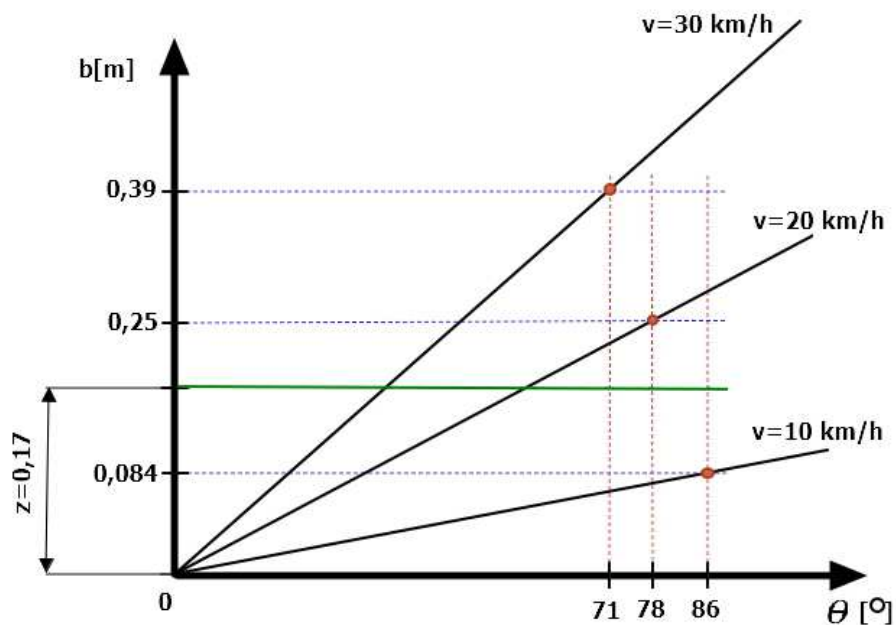
$$d = 1,5 \text{ m}$$

$$2t = 1 \text{ m} \Rightarrow t = 0,5 \text{ m}$$

$$u = 0,5 \text{ m}$$

$$z = \frac{u \cdot t}{d}$$

$$z = 0,17 \text{ m}$$



Slika 46. Dijagram ovisnosti kuta nagiba i udaljenosti težišta sustava od centralnog kontakta s podlogom pri različitim brzinama



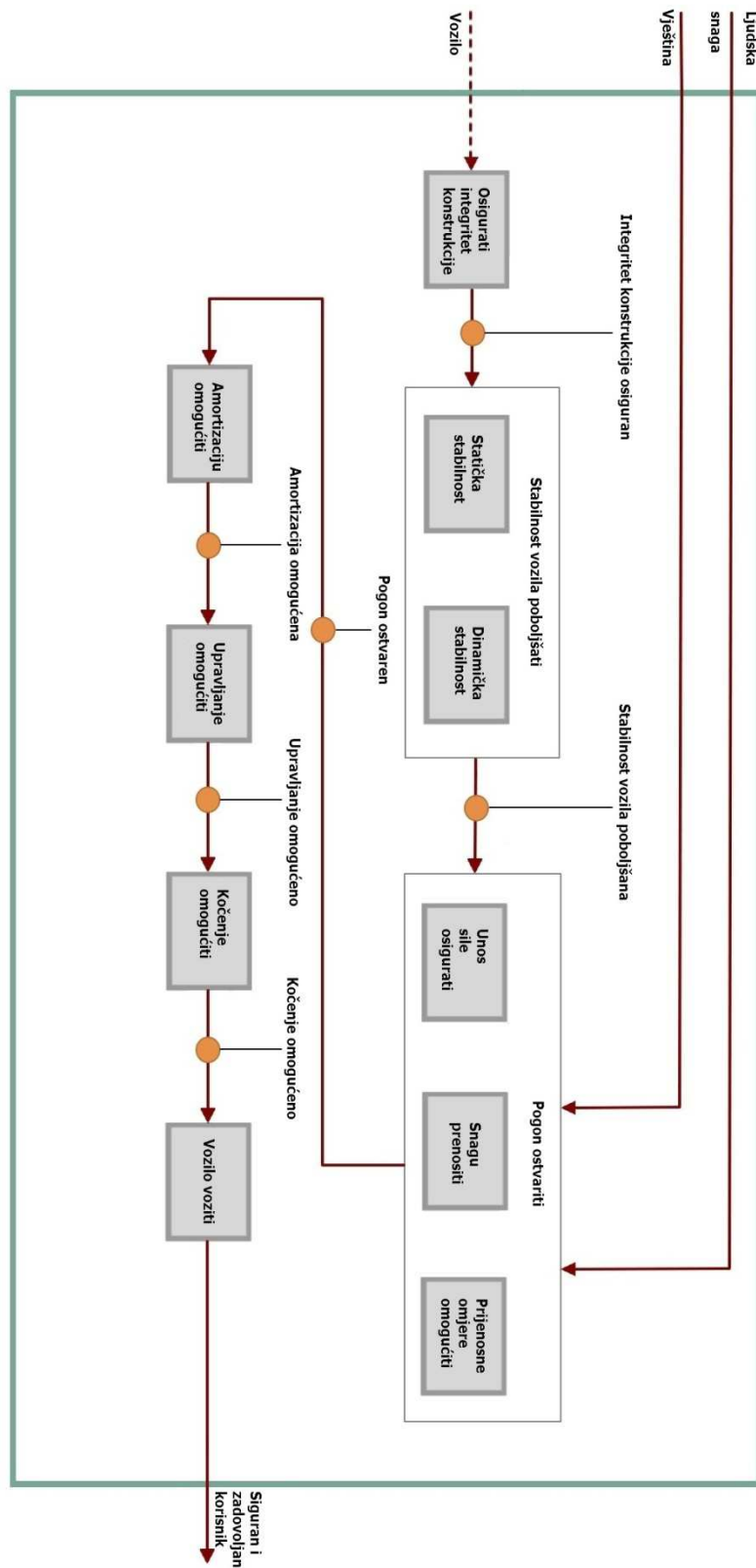
Iz dobivenih vrijednosti i dijagrama na slici 46 je vidljivo da se postavljanjem dva simetrična kotača ostvaruje zona stabilnosti unutar koje se vozač može neometano gibati bez straha od gubitka stabilnosti dok mu se centar težišta nalazi unutar površine zone stabilnosti. Tek pri većim brzinama je potrebno ostvarivanje dodatnog nagiba radi savladavanja zavoja gdje centar težišta napušta zonu stabilnosti. Omogućavanjem naginjanja tricikla otvorila bi se mogućnost dodatnog povećanja zone stabilnosti te bi takvo vozilo ostvarilo visoku statičku i dinamičku stabilnost.

Poželjno je da težište bude postavljeno što niže jer iako vozač s višeg položaja lakše balansira vozilom stabilnost je znatno manja. Položaj težišta u longitudinalnoj ravnini je jednako bitan radi raspodjele mase na kotače. Kako je već spomenuto, radi što sigurnije vožnje je poželjno da se težište primakne bliže simetričnim kotačima ali opet ne preblizu da ne bi utjecalo na stabilnost vozila pri ubrzavanjima i kočenjima. Ispravno smješteno težište osigurava odličnu trakciju, skretanje i stabilnost pri kočenju. Uzevši sve parametre u razmatranje, konstrukcija s dva prednja kotača je bolje rješenje u svrhu postizanja veće sigurnosti.

### **3. KONSTRUKCIJSKA RAZRADA**

Konstruktivna razrada koncepta uključuje izradu funkcijskog modela proizvoda, tj. definiranje zahtjeva na proizvod. Nakon je potrebno izraditi morfološku matricu te odabirom rješenja iz morfološke matrice razviti tri nova potencijalna koncepta te ih opisati. Zatim slijedi vrednovanje koncepta te odabir najboljeg koncepta koji ispunjava sve zahtjeve i kriterije postavljene na proizvod.

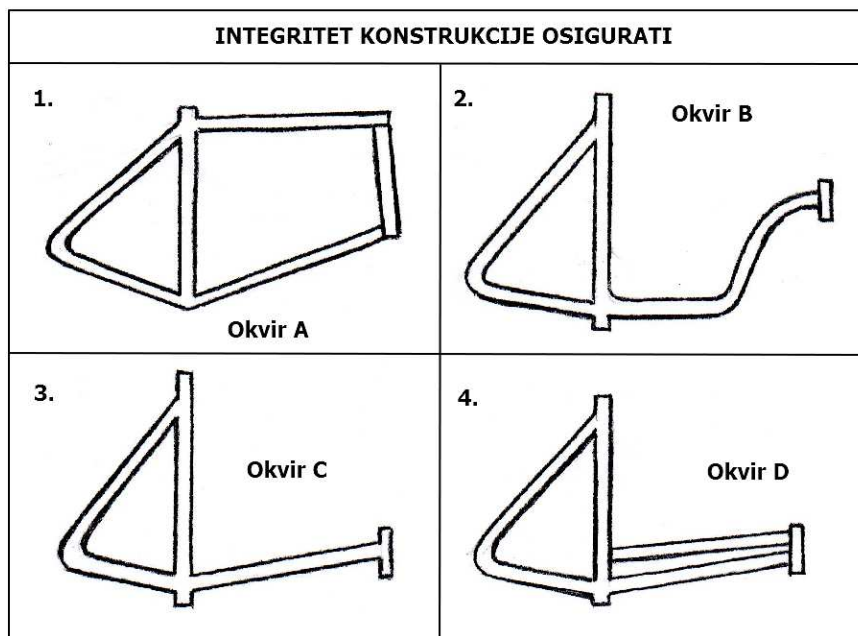
### 3.1. Funkcijsko modeliranje proizvoda



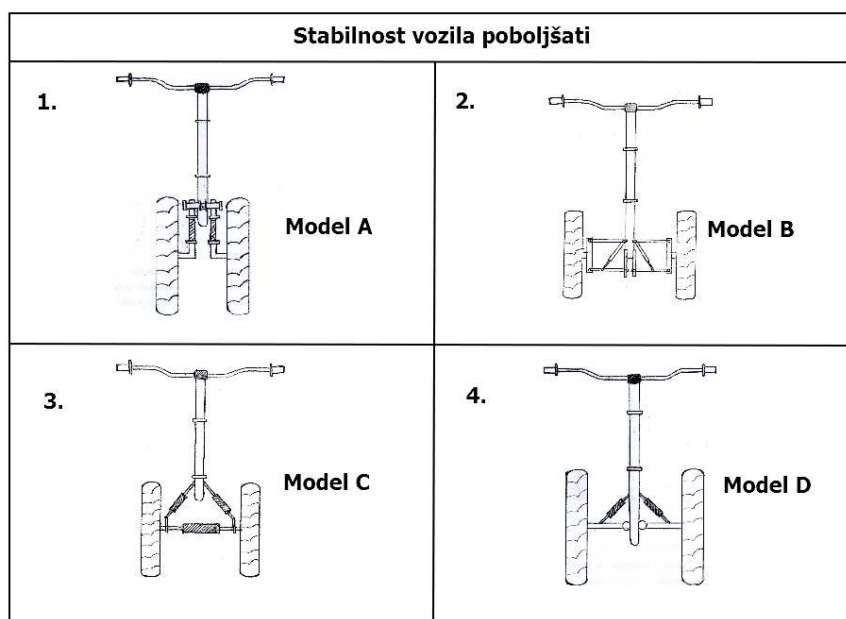
Slika 47. Funkcijsko modeliranje proizvoda

### 3.2. Morfološka matrica

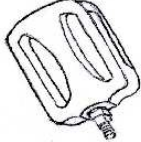
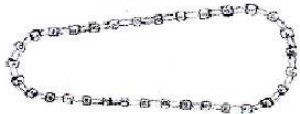
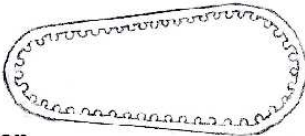
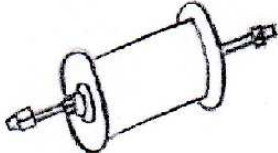
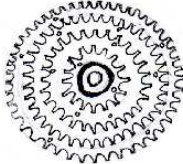
**Tablica 7.** Morfološka matrica: Integritet konstrukcije osigurati



**Tablica 8.** Morfološka matrica: Stabilnost vozila poboljšati



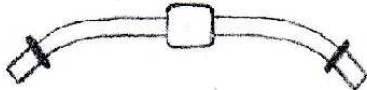
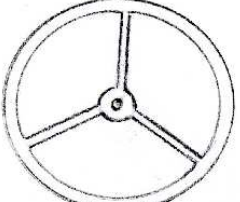
**Tablica 9.** Morfološka matrica: Pogon ostvariti

POGON OSTVARITI	
Unos sile ostvariti	
1.	Pedale
Snagu prenositi	1.  2. 
Lanac	Remen
Prijenosne omjere omogućiti	2. 
1. 	Planetarni prijenosni omjeri
Zupčanci	

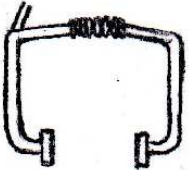
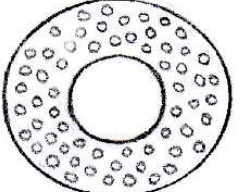
**Tablica 10.** Morfološka matrica: Amortizaciju omogućiti

AMORTIZACIJU OMOGUĆITI	
1. Amortizer s elastomerom	2. Hidraulični amortizer
3. Zračni amortizer	4. Amortizer ulje/zrak

**Tablica 11.** Morfološka matrica: Upravljanje omogućiti

UPRAVLJANJE OMOGUĆITI	
1.  Model A	2.  Model B

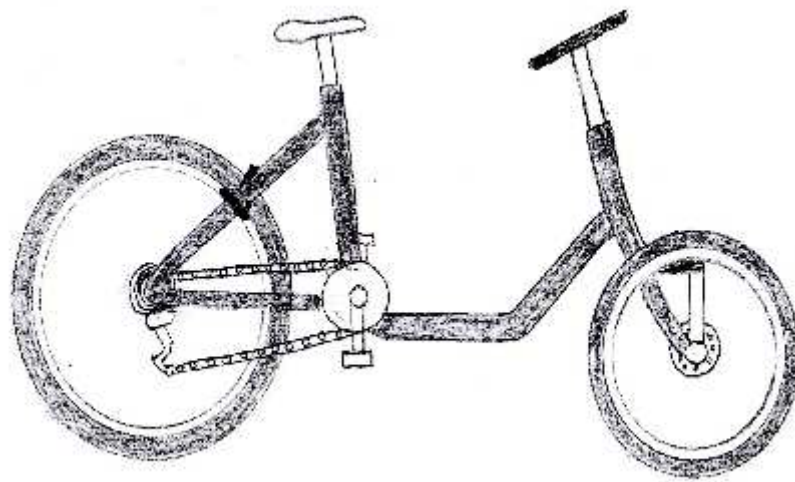
**Tablica 12.** Morfološka matrica: Kočenje omogućiti

KOČENJE OMOGUĆITI	
1.  V-brake	2.  Disk

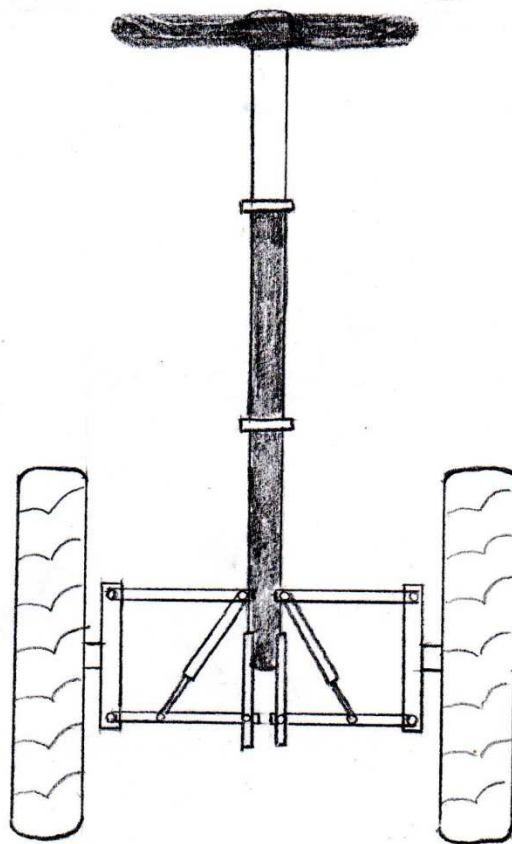
### 3.3. Koncepti

#### 3.4. Koncept 1

Za prvi koncept odabran je okvir B za osiguravanje integriteta funkcije jer spuštenu profil okvira omogućuje jednostavniji uspon i silaz s vozila. Stabilnost je poboljšana B modelom. Ovaj model osigurava znatno poboljšava statičku stabilnost vozila pošto je dodir s podlogom u tri točke. U vožnji se kotači paralelno nagnju te na taj način vozač izvan zone stabilnosti može kombiniranjem vanjskih i unutarnjih sila ostvariti dodatan kut nagiba kojim se stvara odmak izvan zone stabilnosti te pruža prirodniji osjećaj vožnje za razliku od klasičnih tricikla. Unos sile je ostvaren klasičnim pedalama, prijenosni omjeri su omogućeni sustavom zupčanika, te je uključen lančani prijenos. Za kočnice je odabran V-brake sustav kočenja zadnjeg kotača, dok su diskovi na prednjim kotačima, a upravljanje upravljajem automobilskeg oblika, model B. Amortizacija je ostvarena hidrauličnim amortizerom.



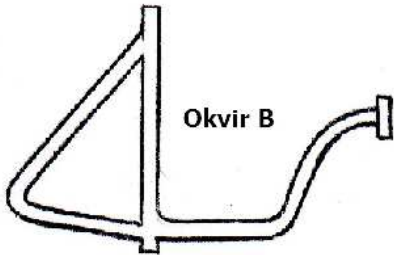
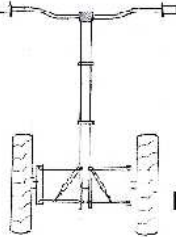
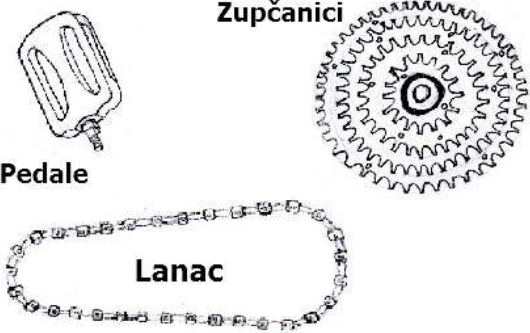
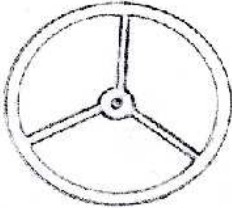
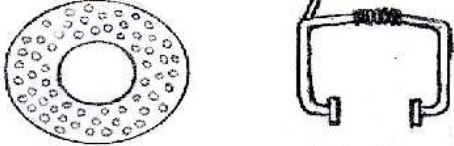
Slika 48. Bočni prikaz koncepta 1



Slika 49. Frontalni prikaz koncepta 1

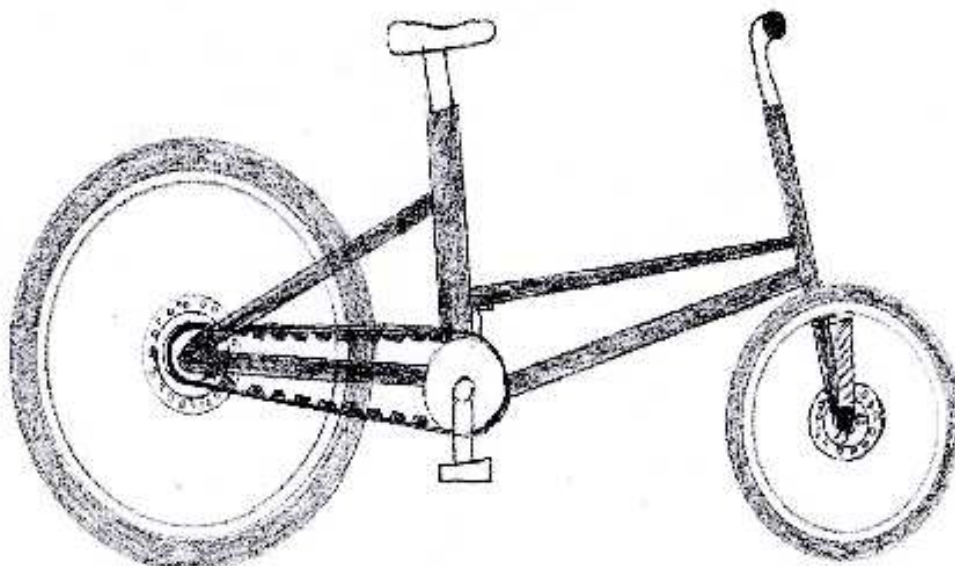


Tablica 13. Morfološka matrica prvog koncepta

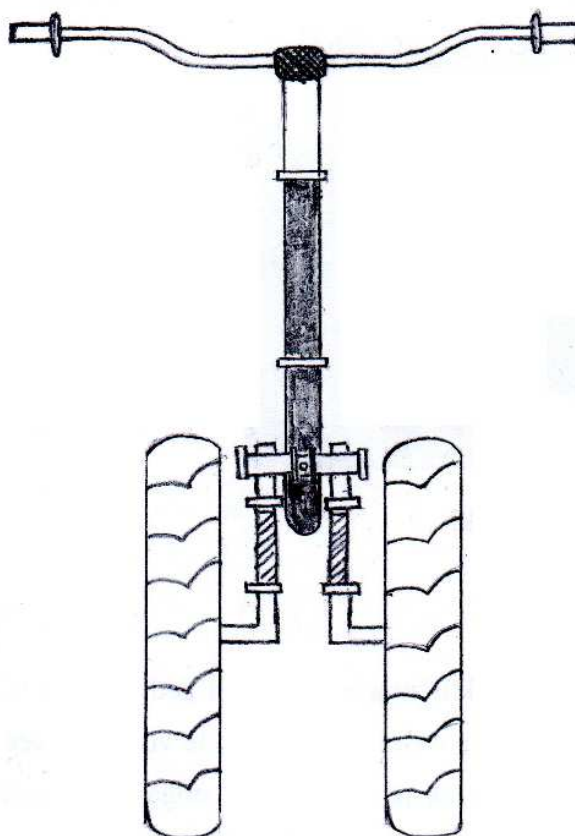
INTEGRITET FUNKCIJE OSIGURATI	STABILNOST VOZILA POBOLJŠATI
 <p>Okvir B</p>	 <p>Model B</p>
POGON OSTVARITI	AMORTIZACIJU OMOGUĆITI
 <p>Pedale</p> <p>Zupčanici</p> <p>Lanac</p>	<p>Hidraulični amortizer</p>
UPRAVLJANJE OMOGUĆITI	KOČENJE OMOGUĆITI
 <p>Model B</p>	 <p>Disk</p> <p>V-brake</p>

### 3.5. Koncept 2

Kod ostvarivanja funkcijskih zahtjeva drugog koncepta je odabran okvir D, takozvana ženska rama iz istog razloga kao i kod prvog koncepta, s ciljem olakšavanja pristupa sjedalu. U svrhu poboljšanja stabilnosti je odabran model A. Ovaj model nema mogućnost nagiba kotača no na svakom od njih je ostvarena zasebna amortizacija. Takvo rješenje vozaču omogućuje naginjanje u zavojima te kao i kod prvog koncepta ostvaruje visoku statičku i bolju dinamičku stabilnost. Unos sile je omogućen također klasičnim pedalama, a prijenos lančani. Za prijenosne omjere je odabran sustav zatvorenih prijenosnih omjera, tj. planetarni prijenosni omjeri. Prednost ovog sustava je što je zatvoren, nema mogućnosti ulaza nečistoća te vozač ne mora voditi posebnu brigu. Upravljanje je omogućeno klasičnim bicikl upravljačem, model A. Kočenje je ostvareno disk kočnicama jer su snažnije od klasičnog V-brake-a. Zračni amortizeri su montirani na dva simetrična kotača jer su jeftiniji od hidrauličnog.

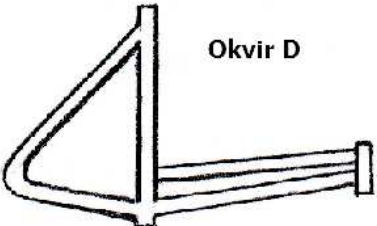
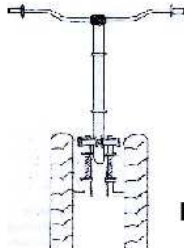
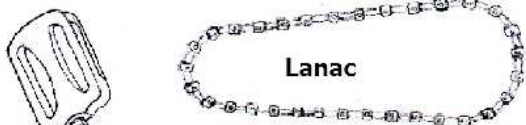
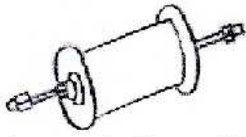
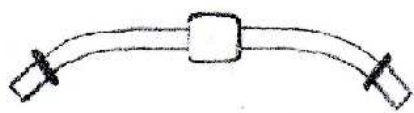
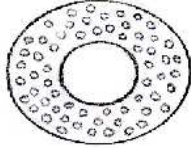


Slika 50. Bočni prikaz koncepta 2



Slika 51. Frontalni prikaz koncepta 2

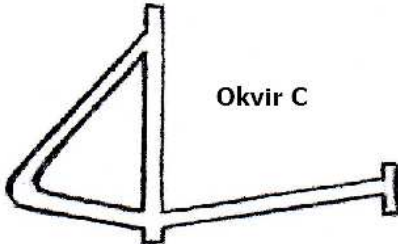
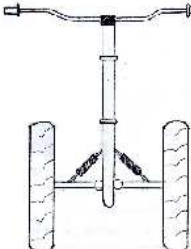
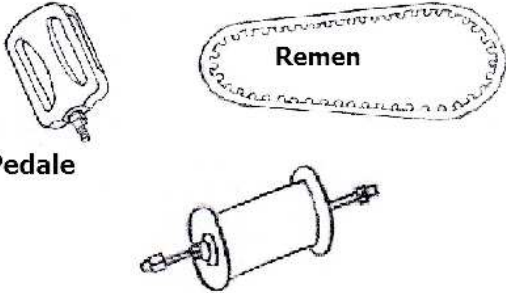
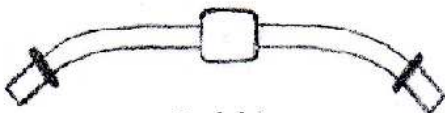
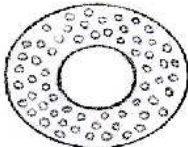
Tablica 14. Morfološka matrica drugog koncepta

INTEGRITET FUNKCIJE OSIGURATI	STABILNOST VOZILA POBOLJŠATI
 <p>Okvir D</p>	 <p>Model A</p>
POGON OSTVARITI	AMORTIZACIJU OMOGUĆITI
 <p>Pedale</p> <p>Lanac</p>  <p>Planetarni prijenosni omjeri</p>	<p>Zračni amortizer</p>
UPRAVLJANJE OMOGUĆITI	KOČENJE OMOGUĆITI
 <p>Model A</p>	 <p>Disk</p>

### 3.6. Koncept 3

Okvir C je odabran u ovom konceptu za osiguravanje integriteta funkcije. Niski položaj dijagonalne cijevi koja se spaja u dvije točke je jednostavno rješenje koje pruža kao i prethodna dva modela jednostavan pristup sjedalu vozila. U svrhu poboljšanja statičke i dinamičke stabilnosti je odabran model D. Ovaj model se razlikuje od prethodna dva jer pri naginjanju na jednu stranu opterećeni kotač preko zglobnog sustava odmiče od drugog kotača te na taj način povećava razmak među njima i širi se zona stabilnosti. Kad je vozilo statički stabilno kotači su paralelni. Amortizacija je ostvarena amortizerom s elastomerom. Pogon je također ostvaren klasičnim pedala, planetarni sustav prijenosnih omjera je odabran, a za prijenos snage je odabran remen radi lakšeg održavanja vozila. Vozilom se upravlja klasičnim volanom bicikla, tj. model A. Kočenje je omogućeno sustavom disk kočnica.

Tablica 15. Morfološka matrica trećeg koncepta

INTEGRITET FUNKCIJE OSIGURATI	STABILNOST VOZILA POBOLJŠATI
 <p>Okvir C</p>	 <p>Model D</p>
POGON OSTVARITI	AMORTIZACIJU OMOGUĆITI
 <p>Pedale</p> <p>Remen</p> <p>Planetarni prijenosni omjeri</p>	<p>Amortizer s elastomerom</p>
UPRAVLJANJE OMOGUĆITI	KOČENJE OMOGUĆITI
 <p>Model A</p>	 <p>Disk</p>

### 3.7. Vrednovanje koncepata

**Tablica 16.** Vrednovanje koncepta

ZNAČAJKE	KONCEPTI		
	1	2	3
Stabilnost vozila	3	2	5
Jednostavnost izrade	1	4	4
Jednostavnost upravljanja	3	4	4
Dimenzije	2	5	4
Masa	2	4	4
Održavanje	2	3	5
Razlika između spolova	3	3	3
Cijena	2	4	4
<b>Ukupno</b>	<b>2,25</b>	<b>3,63</b>	<b>4,13</b>

Prvi koncept, iako omogućuje naginjanje vozača pri skretanju je suviše kompliciran da bi se koristio u svakodnevnoj uporabi. Također, od sva tri koncepta zahtjeva najveći razmak između dva simetrična kotača te time nije prikladan dimenzijama za svakodnevnu gradsku vožnju uskim prostorima, a i masa mu je veća od preostala dva koncepta. Sustav V-brake kočnica je slabiji od disk kočnica, pa kombiniranje prednjeg diska i stražnjeg V-brake nije prihvatljiva opcija. Upravljač automobilske oblika može biti privlačan, posebno mlađim vozačima no upitna je njegova svrha. Hidraulična amortizacija je skuplja opcija te traži održavanje, što kod posebno starijih vozača predstavlja problem te je iz navedenih razloga ovaj koncept odbačen.

Drugi koncept je bolje rješenje od prvog. Sustav amortizacije svakog kotača zasebno bez mogućnosti naginjanja samih kotača s naginjanjem vozila omogućuje znatno manji razmak među njima je te je pogodan za gradsku vožnju. No postavlja se pitanje koliko se zaista dobilo na stabilnosti s ovakvim modelom. Statička stabilnost je ostvarena s dodiranjem u tri točke no zbog malog razmaka kotača površina zone stabilnosti je malena. Sustav lančanog prijenosa zahtjeva brigu i održavanje. Koncept je također odbačen.

Treći koncept pruža visoku statičku i dinamičku stabilnost vozila. Povećanjem razmaka između dva simetrična kotača zona stabilnosti se dodatno širi s naginjanjem vozila te se vozač u svakom trenu osjeća sigurno. Istovremeno, razmak između dva kotača ne mora biti velik tako da je vozilo s ovakvim sustavom pogodno za gradske uvjete vožnje. Amortizer s elastomerom je povoljno, a funkcionalno rješenje. Remeni prijenos vozaču omogućuje bezbrižnu vožnju u svim uvjetima bez suviše brige o podmazivanju ili čišćenju radi nakupljenih nečistoća, pa je održavanje svedeno na minimum, a cijena proizvoda u rangu s cijenom drugog koncepta. Treći koncept je odabran kao najbolje rješenje.



#### 4. PRIJEDLOG KONSTRUKCIJE



Slika 52. Odabrani koncept

Odabrani koncept prikazan na slici 52 ispunjava sve zahtjeve funkcijske strukture te eliminira nedostatke postojećih rješenja do sada viđenih na tržištu. Postavljeni zahtjevi na proizvod su bili da bude siguran i funkcionalan, udoban, da korisniku pruža osjećaj zadovoljstva te da bude dostupan svim skupinama ljudi.

### *Upravlјivost*

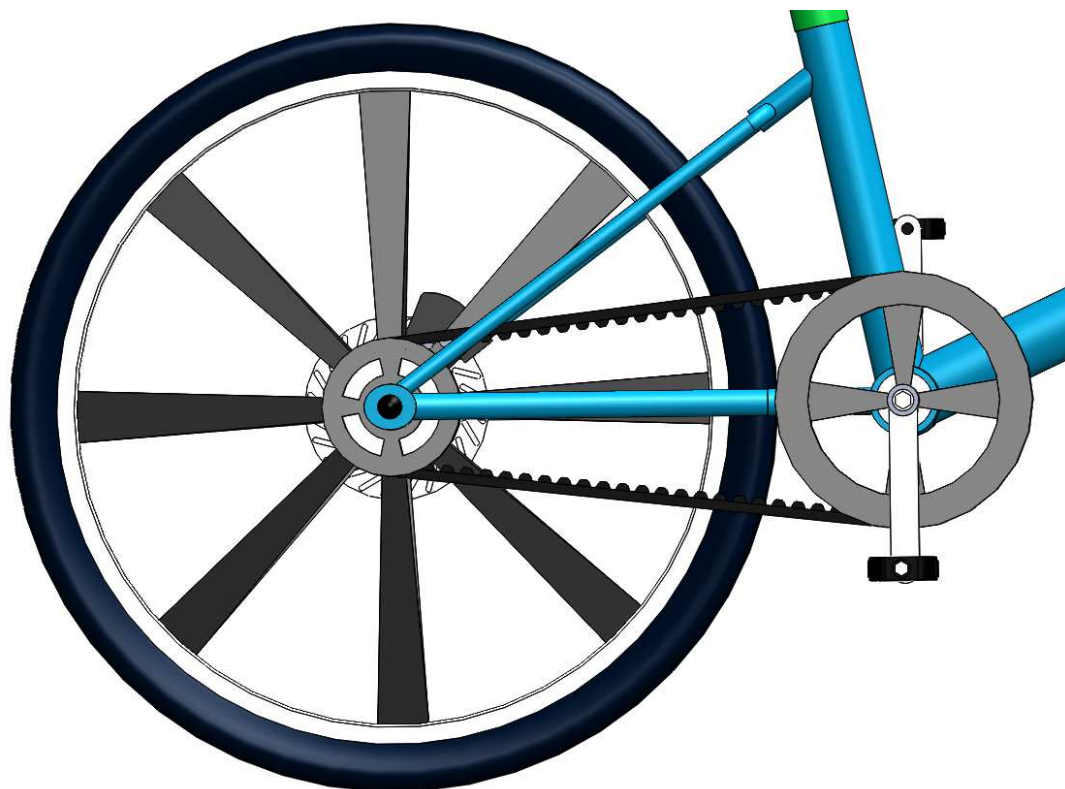


Slika 53. Širenje zone stabilnosti

Ostvarivanje naginjanja kotača jednostavnim zglobnim mehanizmom ostvareno je u tri točke. Amortizer je učvršćen na bazu okvira vozila na jednom kraju te polugu učvršćeno na bazni stup okvira. Hod amortizera je uvjetovan s dva parametara, a to je duljina poluge koja je na jednom kraju zgloбно vezana na okvir, a na drugom ima ulogu nosača kotača te veličinom kotača. Kotači se mogu prilagoditi dobroj skupini, a njihova veličina ne bi trebala biti veća od 12-14 inča. Kako je navedeno, skretanjem, tj. naginjanjem vozač vrši opterećenje unutarnjeg kotača na kojeg se oslanja velik dio težine sustava te se time opruga sabija pa u suradnji s zglobnim vezama odmiče od drugog kotača koji ostaje u vodoravnom položaju čime se širi zona stabilnosti. Važno je napomenuti da je s obzirom na otpor nagnutog kotača pri skretanju potrebno jače zakrenuti upravljač nego kod klasičnog bicikla ili tricikla.



Slika 54. Nagib kotača

**Prijenos**

Slika 55. Remeni prijenos

Remeni prijenos nije potrebno podmazivati pa je time održavanje minimalno ili gotovo nepostojeće. Ne hrđa za razliku od lanca pa je pogodan za sve uvjete. Pruža tiši i finiji rad od lančanog prijenosa, a i vijek trajanja mu je gotovo dvostruki dulji. Remen se ne može koristiti kod klasičnih zupčanika pa je potrebno osigurati planetarni zatvoreni prijenos. Planetarni prijenos je prepoznat na tržištu te je idealan za gradske vožnje gdje nije cilj postizati visoke brzine i trpjeti grube vožnje. Dolaze u verzijama s tri, četiri, sedam i osam brzina. Održavanje nije potrebno, a cijeli sklop je zatvoreni u glavčini stražnjeg pogonskog kotača pa je otporan na vanjske utjecaje.

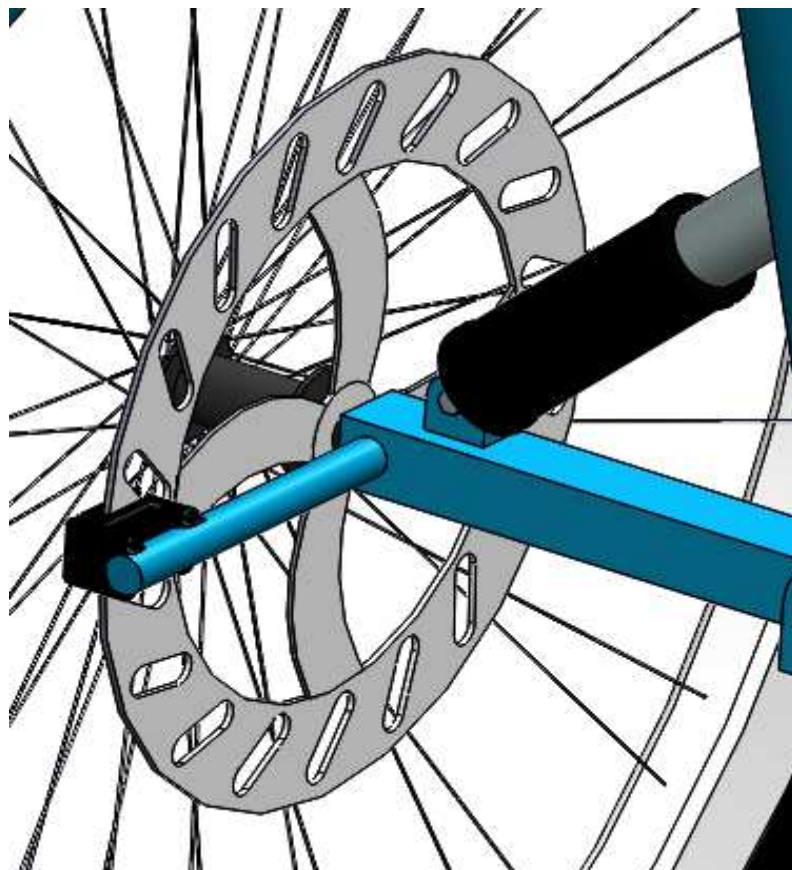


Slika 56. Planetarni prijenosni mehanizam

### ***Kočenje***

Disk kočnice su ugrađene na sva tri kotača. Snažnije su od klasičnih V-brake kočnica, mokri uvjeti ne utječu na kvalitetu kočenja u mjeri kao kod V-brakea i kočenje ne zagrijava obruč kotača, U slučaju konstrukcijske razrade koncepta disk se ponudio kao najjednostavnije rješenje. Naime, kod tricikla ne postoji kao kod klasičnog bicikla bazni stup okvira rame ispod kojeg se nalazi kotač pa je ugradnja V-brake-a komplicirana s obzirom da je kočiona površina vanjski rub obruča kotača. Kako je prikazano na slici 53, sustav disk kočnica je konstrukcijski jednostavno za izvesti.





Slika 57. Disk kočnica

## 5. ZAKLJUČAK

Iako se koristi u svim prigodama i mogućnostima, detaljnom analizom kretanja biciklista kako na području Europe tako i na području Republike Hrvatske utvrdio sam da prosječan biciklist bicikl koristi najčešće kao prijevozno sredstvo za izbjegavanje prometnih gužvi, što se u pravilu odnosi na gradove dok se u ruralnim područjima koristi u svrhe povezivanja nedovoljno prometno povezanih mjesta. Europska analiza korištenja bicikla u prometu je pokazala da u vrijeme najvećih prometnih gužvi u gradovima, u vremenskom periodu od 35 minuta biciklist prođe veću udaljenost od pješaka i gradskog autobusa. Automobil prevali približno jednaku udaljenost kao i bicikl no za takvu vrstu vožnje je potrebno puno više novca i živaca. S obzirom da se bicikl najviše koristi u gradovima, tu spada i najveći broj nesreća koje se događaju. Interesantno je usporediti rezultate zemalja Europske unije poput Španjolske u kojoj na nesreće u urbanim područjima otpada tek 26% svih nezgoda, dok je u Rumunjskoj taj postotak gotovo 70%. Takvi podaci se mogu pripisati iznimno razvijenoj biciklističkoj kulturi u Španjolskoj gdje su gradske prometnice prilagođene biciklistima te suprotne situacije u Rumunjskoj. Analiza je dalje pokazala da su muškarci ugroženija skupina od žena jer na nekim mjestima postotak nesreća u kojima sudjeluju muškarci dolazi do gotovo 75%. Pretpostavka je da muških vozača ipak ima više nego žena no također i da su žene oprezniji vozači, manje ulaze u rizik. Mlađe generacije su sklonije promoviranju i neustrašive su, dok su stariji korisnici neoprezni i bojažljivi te su ove dvije skupine biciklista najugroženije. Preuranjene reakcije su prepoznate kao najveći uzrok nesreća te je ovaj podatak bio iznimno važan u daljnjem utvrđivanju zahtjeva.

Analizom zahtijevane ergonomije sustava bicikla-vozač utvrđeni su već poznati zahtjevi koje vozilo mora ispuniti kako bi vožnja bila što ugodnija i kako ne bi preopteretila pojedine dijelove tijela više nego je potrebno jer kako je navedeno, šake, ramena, leđa i stražnjica su najopterećeniji dijelovi tijela i bilo kakva ergonomska odstupanja mogu uzrokovati velike probleme po zdravlje, a ujedno i sigurnost vozača.

Definiranje poteškoća s kojima se susreću starije osobe pri svakodnevnoj uporabi bicikla su mi pomogla u postavljanju smjernica daljnjeg razvoja bicikla. Iako su se neki od zahtjeva pokazali pomalo futuristički ili jednostavno preskupi, zahtjevi poput prilagođavanja okvira

konstrukcije, poboljšanja stabilnosti vozila i zahtjeva za što jednostavnijim održavanjem su zahtjevi koji su dali ideju za daljnju konstrukciju razradu proizvoda.

Analiza tržišta je pokazala da su postojeća rješenja u ponudi na tržištu puna nedostataka poput nekompaktnih dimenzija, prevelike mase te ponuđena rješenja za jedan problem otvaraju prostor otvaranja novih nedostataka. U tom smislu, odgovor za rješavanje statičke nestabilnosti bicikla se nudi tricikl no ponuđena rješenja otvaraju problem dinamičke nestabilnosti.

Nakon provedenih analiza definirao sam probleme, ciljeve i daljnje smjernice razvoja. Povećanje stabilnosti, jednostavnost upravljanja, jednostavno održavanje su glavni zahtjevi za novi proizvod, uz istovremeno cijenovnu dostupnost svim društvenim skupinama. Nakon definiranja zahtjeva na proizvod osmislio sam tri koncepta s ciljem ispunjavanja istih. Iako svaki od konceptata nudi novo rješenje konstrukcije i eliminira postojeće nedostatke klasičnih tricikla, nakon provedenog vrednovanja konceptata, koncept broj 3 je odabran za najbolje konceptualno rješenje.

Vozilo na tri kotača anulira statičku nestabilnost no uvođenjem amortizacije dva simetrična kotača tricikl postaje dinamički stabilnije vozilo. Zglobni mehanizam sastoji se od tri točke. Poluga kotača u kojoj se nalazi osovina zglobno je pričvršćena za stupni dio okvira konstrukcije, a amortizer zglobno vezan na stupni okvir konstrukcije na jednom kraju i polugu na drugom omogućuje da se kotač pod opterećenjem nagne gornjim dijelom prema biciklu, dok se donji dio udaljava od njega. Ispravnim odabirom duljine hoda amortizera kotaču se onemogućuje dodir s ramom pri pomaku kotača prema gore, dok pomak prema dole onemogućuje graničnik zglobnog spoja poluge i okvira. Ovakav sustav omogućuje vozaču naginjanje vozila što nije slučaj kod klasičnih tricikla. Jačim naginjanjem opterećenog kotača dodirna površina između dva simetrična kotača postaje sve veća te se time širi zona stabilnosti vozila. Za vozača to konkretno znači visoki stupanj sigurnosti ali i prirodniji osjećaj vožnje. Ono što je bitno napomenuti da se iako je princip upravljanja zadržan kao i kod klasičnih bicikla, pri upravljanju vozilom potrebno je jače zakrenuti volan nego kod običnog bicikla, tj. tricikla jer nagnuti kotač pruža otpor pri skretanju. Uvođenjem planetarnog prijenosa te izbacivanjem lanca i dodavanjem remena vlasniku pruža bezbrižno korištenje s obzirom da je planetarni prijenos zatvoren u glavčini kotača i nije ga potrebno podmazivati i čistiti, a remen je dovoljno samo isprati vodom po potrebi. Disk kočnice omogućuju brzo i efikasno zaustavljanje te su konstrukcijski lakše i oku ugodnije rješenje od klasičnog V-brake sustava.



Cijena ovakvog proizvoda kad bi izašao na tržište o više faktora. Sam proizvod u suštini ne odstupa od ostalih ponuda bicikla ili tricikla na tržištu jer su većinom korišteni standardni dijelovi. Ono što mu podiže cijenu je planetarni prijenos koji je nešto skuplji od klasičnih zatezača no važno je napomenuti da u uvjetima gradske vožnje krajnja brzina nije cilj pa se tako Nexus Shimano može naći po cijeni od 450 kn na hrvatskom tržištu. Dolazi u verzijama s 3, 4, 7 i 8 brzina. Također, tu je i faktor remenice umjesto lanca. Remen dolazi u definiranim veličinama i nije prilagodljiv, tj. nije ga moguće produžiti ili skratiti po potrebi te postoji mogućnost problematike zamjene remena u smislu dostupnosti i cijene. Kotači su manjih dimenzija, stražnji kotač ne mora biti veći od 20 inča, dok veličina prednjih se može kretati oko 12 do 14 inča. Cijena proizvoda bi se mogla kretati u rasponu od 3500 do 5000 kuna ovisno o kvaliteti korištenih i potrebama za vozilom na tržištu što ne smatram prevelikom iznosom ukoliko proizvod ispunjava zahtjeve i korisnika čini sigurnijim, odlučnijim i na posljetku zadovoljnim.

## LITERATURA

- I. <http://netmobil.net.hr/vijesti/kratka-povijest-bicikla>
- II. [http://www.zagreb.hr/UserDocsImages/PRESTO\\_Vodic\\_Opci\\_okvir\\_Infra\\_Promocija\\_El\\_bic.pdf](http://www.zagreb.hr/UserDocsImages/PRESTO_Vodic_Opci_okvir_Infra_Promocija_El_bic.pdf)
- III. VINNOVA - Better Cycles; Krister Spolander
- IV. [http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/pdf/statistics/dacota/bfs20xx\\_dacota-swov-cyclists.pdf](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/statistics/dacota/bfs20xx_dacota-swov-cyclists.pdf)
- V. Croatian Medical Journal; Fatality Risk Factors for Bicyclists in Croatia; Missoni, Kem
- VI. Bike Ergonomics for All People - Juliane Neuss
- VII. Danski kotači - Zagreb, Tehnički muzej, 10. svibnja 2012., Gordan Krpanec
- VIII. <http://cll.qc.ca/Professeurs/Mecanique/ethierp/3-wheels/stabil1.htm>
- IX. <http://www.deferredprocrastination.co.uk/blog/2010/tricycle-stability/>
- X. <http://www.real-world-physics-problems.com/bicycle-physics.html>
- XI. [https://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle\\_and\\_motorcycle\\_dynamics](https://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_and_motorcycle_dynamics)
- XII. Statistički pregled temeljnih sigurnosti pokazatelja i rezultata u 2014. godini, MUP Hrvatska
- XIII. Goal, Growing Older, staying mobile: Transport needs for an ageing society: Older people walkin and cycling