

PROJEKTIRANJE I IZRADA GO-KARTA S BENZINSKIM ČETVERTAKTNIM MOTOROM

Horvat, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:093069>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-08**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

JOSIP HORVAT

**Projektiranje i izrada Go-karta s
benzinskim četverotaktnim motorom**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2023.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

JOSIP HORVAT

**Projektiranje i izrada Go-karta s
benzinskim četverotaktnim motorom**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

dr.sc. Vladimir Tudić, prof. Struč stud.

KARLOVAC, 2023.

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad samostalno izradio primjenom stečenih znanja tijekom studija i prakse, znanjima prikupljenim iz domaće i strane literature te informacijama i podacima prikupljenim s interneta. Zahvaljujem se svom mentoru dr.sc. Vladimiru Tudiću na stručnoj pomoći, vremenu i savjetima u izradi ovoga završnog rada. Također se zahvaljujem profesoru dr.sc. Josipu Hosteru na pomoći i savjetima u izradi završnog rada te svojim kolegama i obitelji.

Karlovac, 10.7.2023.

Josip Horvat

SAŽETAK

Go-kart opisan je kao vrsta automobila koji se može koristiti u različite svrhe. Projektiranje Go-karta ovisi o tome u kojoj namjeni će se koristiti. Mogu se pronaći u izvedbama s vrlo jednostavnom konstrukcijom i izvedbom, sa slabijim motorom ili bez motora, ali također isto tako postoje trkački kartovi visokih performansi sa vrlo kompleksnom i složenim šasijom.

Projektiranje i izrada karta u ovom radu obavlja se s ciljem da se kart može kretati po cesti i okolnim putevima. Dizajniran je na način kako bi bio primjenjem različitim uzrastima te različitim proporcijama vozača. Kao pogonski element izabran je četverotakti benzinski motor prema kojemu je izračunata maksimalna brzina i okretni moment. Također proračunate su sile koje djeluju na osovinu zbog zadovoljavanja uvjeta savijanja. Projektiranje šasije prilagođeno je svim odabranim elementima. Geometrija skretanja kotača karta ostvarena je pomoću Ackermannove geometrije skretanja kako ne bi došlo do proklizavanja prednjih kotača tokom skretanja. Pored mehaničkog dijela Go-karta, ukomponiran je i elektronički dio. Elektronički dio obuhvaća izradu inovativnog sustava za mjerenje brzine vozila pomoću mikrokontrolera Arduino UNO.

Ključne riječi: Go-kart, benzinski motor, Ackermannov efekt, brzinomjer

SUMMARY

A go-kart is described as a type of car that can be used for a variety of purposes. The design of Go-karts depends on the purpose for which they will be used. They can be found in versions with a very simple construction and performance, with a weaker engine or without an engine, but there are also high-performance racing karts with a very complex and complex chassis.

The design and creation of the maps in this work is done with the goal that the map can move on the road and surrounding roads. It is designed in such a way that it can be used by different ages and different proportions of drivers. A four-stroke gasoline engine was chosen as the driving element, according to which the maximum speed and torque were calculated. The forces acting on the shaft due to meeting the bending conditions were also calculated. The design of the chassis is adapted to all the selected elements. The steering geometry of the kart wheels is realized using the Ackermann steering geometry in order to prevent the front wheels from slipping during the turn. In addition to the mechanical part of the Go-kart, an electronic part is also incorporated. The electronic part includes the creation of an innovative system for measuring vehicle speed using the Arduino UNO microcontroller.

Keywords: Go-kart, gasoline engine, Ackermann effect, speedometer

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORETSKI DIO – POGONSKI AGREGAT	2
2.1. Benzinski četverotaktni motor	2
2.2. Proračun potrebnog motora	2
2.3. Provjera odabranog motora	4
3. TEORETSKI DIO – PRORAČUN VRATILA.....	7
3.1. Proračun vratila	7
3.1.1. Proračun horizontalnih sila vratila	8
3.1.2. Proračun vertikalnih sila vratila	9
3.1.3. Ukupni proračun promjera vratila.....	11
4. EKSPERIMENTALNI DIO – DIZAJN I IZRADA GO-KARTA.....	14
4.1. Dizajn	15
4.2. Geometrija skretanja.....	18
4.2.1. Pozicija volana	19
4.2.2. Ackermannov princip skretanja.....	22
4.3. Inovativni sustav mjerenja brzine vozila	26
ZAKLJUČAK.....	33
LITERATURA	34
PRILOZI	35

POPIS SLIKA

Slika 1 Ekperimentalni Go-kart	1
Slika 2 Četverotaktni motor Honda G200	4
Slika 3 Centrifugalna spojka [20]	6
Slika 4 SKF lančanik [20]	6
Slika 5 Skica horizontalnih sila vratila [Izvorno autor]	8
Slika 6 Skica vertikalnih sila vratila [Izvorno autor]	9
Slika 7 SKF ležaj dimenije [20]	13
Slika 8 SKF ležaj model [20]	13
Slika 9 Primjer šasije [21]	15
Slika 10 Primjer šasije [22]	15
Slika 11 Sklopni 2D crtež šasije [Izvorno autor]	16
Slika 12 3D model šasije [Izvorno autor]	16
Slika 13 Predodžba izrađene šasije od bešavnih cijevi [Izvorno autor]	17
Slika 14 Crtež pozicije nosača volana [Izvorno autor]	19
Slika 15 Crtež pozicije nosača volana [Izvorno autor]	20
Slika 16 Pozicija nosača volana [Izvorno autor]	20
Slika 17 Nosač volana [Izvorno autor]	20
Slika 18 Pomoćna pločica [Izvorno autor]	21
Slika 19 Povezana pločica i šipke [Izvorno autor]	21
Slika 20 Ackermannov princip skretanja	22
Slika 21 Crtež kuta nosača [Izvorno autor]	23
Slika 22 Kut nosača [Izvorno autor]	23
Slika 23 Crtež kuta nosača [Izvorno autor]	23
Slika 24 Kut nosača [Izvorno autor]	24
Slika 25 Kut nosača [Izvorno autor]	24
Slika 26 Uzdužni nagib osi zakreta kotača [23]	25
Slika 27 Bočni nagib osi zakreta kotača [24]	25
Slika 28 Ackermannov princip skretanja [Izvorno autor]	25
Slika 29 Mikrokontrolerska pločica Arduino UNO [23]	26
Slika 30 IR senzor [24]	26
Slika 31 LCD display [25]	26
Slika 32 Postavljen IR senzor [Izvorno autor]	27
Slika 33 Shema spojava hardverskih komponenti [Izvorno autor]	28
Slika 34 Spoj hardverskih komponenti [Izvorno autor]	29
Slika 35 Postavljen sustav za mjerenje brzine [Izvorno autor]	30
Slika 36 Postavljen sustav za mjerenje brzine [Izvorno autor]	30
Slika 37 Izrađen Go-kart [Izvorno autor]	31
Slika 38 Izrađen Go-kart [Izvorno autor]	31
Slika 39 Izrađen Go-kart [Izvorno autor]	32
Slika 40 Izrađen Go-kart [Izvorno autor]	32

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
m	kg	masa
D_k	mm	promjer kotača
C		koeficijent otpora kotrljanja
c_d		koeficijent otpora zraka
ρ	kg/m ³	gustoća zraka
A	m ²	površinja prednjeg dijela karta
H		korisnost prijenosa snage
F_{OK}	N	sila otpora kotrljanja
F_{OZ}	N	sila otpora zraka
v	m/s	brzina vozila
P	W	snaga vozila
T	Nm	okretni moment vozila
a	m/s ²	akceleracija
n_M	o/min	okretaji motora
T_M	Nm	okretni moment motora
i_p		omjer lančanika motora i vratila
n	o/min	okretaji vratila
G_K	N	težina kotača s njegovim nosačem
G_D	N	težina diska s njegovim nosačem
G_L	N	težina lančanika s nosačem
G_{GK}	N	težina Go-karta na ležaju
F_N	N	sila normale
F_R	N	sila otpora kretanja
F_L	N	sila na lančaniku
D_L	mm	promjer lančanika
e_r		korisnost prijenosa snage
ω_W	s ⁻¹	kutna brzina
p_d	mm	promjer koraka lančanika

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
R_{AH}	N	sila na ležaju
R_{BH}	N	sila na ležaju
R_{VA}	N	sila na ležaju
R_{VB}	N	sila na ležaju
M_H	Nm	moment horizontalnih sila
M_V	Nm	moment vertikalnih sila
M_S	Nm	moment savijanja vratila
M_e	Nm	moment savijanja i uvijanja
d	mm	promjer vratila
a_0		reducirani moment

1. UVOD

Go-kart, u skladu s definicijom koju je dala Međunarodna komisija za karting – Međunarodna automobilska federacija (CIK–FIA), je kopнено vozilo sa ili bez karoserije, sa četiri istaknuta kotača u kontaktu s tlom, od kojih se dvama upravlja pomoću kola upravljača, dok druga dva prenose snagu. Osim motora i spojenih kotača, šasija Go-karta obično se sastoji od okvira tijela sastavljenog od čeličnih cijevi koje su međusobno zavarene. Go-kart je trkaće vozilo, malo i lagano, uglavnom pogonjeno motorom s unutarnjim izgaranjem (ICE), bez vozača ili jedna osoba u njemu bez ovjesa. Go-kart je posebno dizajniran za utrke i ima vrlo mali razmak od tla u usporedbi s drugim vozilima. Provedene su mnoge studije na “kartingu” [1–3]. Ovo uključuje studije o dizajnu okvira ili šasije go-karta; na primjer, istraživači su bili zabrinuti oko odabira materijala za strukturu, jednostavnosti analize strukture, sigurnost i stabilnost strukture. Zajednički dijelovi go-karta su motor, kotači, upravljač, gume, osovine i šasije [4–6]. U radu je još naznačen način i inovativni sustav za mjerenje brzine vozila.



Slika 1 Go-kart

2. TEORETSKI DIO – POGONSKI AGREGAT

2.1. Benzinski četverotaktni motor

Kao izvor energije u ovom radu koristiti će se benzinski četverotaktni motor Honda G200. Kod izrade sportskih kartova najčešće se koristi benzinski dvotaktni motori zbog razvijanja većih brzina, ali prednosti četverotaktnih motora u odnosu na dvotaktne je ta što imaju bolji stupanj iskoristivosti, što znači da se veća količina energije iz goriva pretvara u korisnu mehaničku energiju. Također velika prednost četverotaktnih motora je ta što imaju bolji okretni moment pri nižim obrtajima, a to omogućava bolju vučnu snagu u normalnim uvjetima vožnje. U daljnjem tekstu proračunate su potrebne i željene sile, okretni moment i brzina te provjera izabranog četverotaktnog motora Honda G200.

2.2. Proračun potrebnog motora

Pri određivanju potrebnog motora u projektiranju Go-karta potrebno je odrediti konstantne vrijednosti koje su potrebne pri proračunu. Masa Go-karta izmjerena je pomoću uređaja za mjerenje težine, a masa vozača iznosi 80 kg, što je prosječna težina osobe koja upravlja. U nastavku su opisane konstantne vrijednosti.

$m = \text{vozač} + \text{Go-kart} = 143 \text{ [kg]} \sim \text{ukupna masa}$

$D_K = 410 \text{ [mm]} \sim \text{promjer kotača}$

$c = 0,02 \sim \text{koeficijent otpora kotrljanja}$

$c_d = 0,8 \sim \text{koeficijent otpora zraka}$

$\rho = 1,3 \text{ [kg/m}^3] \sim \text{gustoća zraka}$

$A = 0,624 \text{ [m}^2] \sim \text{površina prednjeg dijela Go-karta s vozačem}$

$\eta = 0,9 \sim \text{korisnost prijenosa snage}$

Kako bih se izračunala potrebna snaga za pokretanje vozila pri nekoj brzini, potrebno je izračunati sile koje se suprotstavljaju gibanju vozila. Sile koje se suprotstavljaju gibanju vozila u ovom radu su sila otpora kotrljanja i sila otpora zraka. Koeficijent otpora kotrljanja raste s porastom brzine, ali se ovdje radi o malim brzinama i nema velikih promjena brzina pa se zato uzima da je koeficijent konstantan.

Sila otpora kotrljanja izračunava se prema izrazu [7]:

$$F_{OK} = m \cdot g \cdot c \text{ [N]} \sim \text{sila otpora kotrljanja} \quad (1)$$

$$F_{OK} = 143\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 \cdot 0,02$$

$$F_{OK} = 28,06 \text{ [N]}$$

Sila otpora zraka [8] ovisi o brzini, površini prednjeg dijela vozila s vozačem i o koeficijentu otpora zraka. Brzina kojom se pokreće vozilo proizvoljno je izabrana te sukladno tome iznosi $40\text{km/h} = 11,11\text{m/s}$.

$$F_{OZ} = \frac{1}{2} \cdot c_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 \text{ [N]} \sim \text{sila otpora zraka} \quad (2)$$

$$F_{OZ} = \frac{1}{2} \cdot 0,8 \cdot 0,624\text{m}^2 \cdot 1,3\text{kg/m}^3 \cdot 11,11^2\text{m/s}$$

$$F_{OZ} = 40,05 \text{ [N]}$$

Snagu potrebnu za pokretanje vozila dobivamo iz izraza [9] koji predstavlja omjer sume sila otpora kotrljanja i sile otpora zraka pri određenoj brzini koje su pomnožene s tom brzinom s stupnjem korisnosti prijenosa snage.

$$P = \frac{(F_{OK} + F_{OZ}) \cdot v}{\eta} \text{ [W]} \sim \text{potrebna snaga za pokretanje vozila} \quad (3)$$

$$P = \frac{(28,06\text{N} + 40,05\text{N}) \cdot 11,11\text{m/s}}{0,9}$$

$$P = 840,78 \text{ [W]}$$

Sljedeći korak određivanja potrebnog motora predstavlja određivanje okretnog momenta. Ukoliko znamo ukupnu težinu vozila potreban okretni moment za pokretanje vozila možemo izračunati na način tako da odaberemo iznos akceleracije. Prosječna vozila imaju vrijednost akceleracije između $3 - 4 \text{ m/s}^2$. U ovom radu cilj je postići vrijednost akceleracije od $1,4 \text{ m/s}^2$.

Matematički opisano moment možemo dobiti uz pomoć 1. Newtonovog zakona $F = m \cdot a$ [N]. Ako znamo da sila potrebna za pokretanje vozila djeluje na rubu kotača onda možemo moment izraziti kao umnožak te sile i polumjera kotača vozila: $T = F \cdot r_K$ [Nm] što nam daje izraz za moment [10]:

$$T = \frac{1}{2} \cdot D_K \cdot m \cdot a \text{ [Nm]} \sim \text{okretni moment} \quad (4)$$

$$T = \frac{1}{2} \cdot 410\text{mm} \cdot 143\text{kg} \cdot 1,4\text{m/s}^2$$

$$T = 41,04 \text{ [Nm]}$$

2.3. Provjera odabranog motora

Kao što je već spomenuto, odabrani motor u ovom radu je benzinski četverotaktni motor Honda G200 te će se provjeriti zadovoljava li odabrani motor stvarne uvjete vožnje.



Slika 2 Četverotaktni motor Honda G200

$P = 4 \text{ [kW]} = 4000 \text{ [W]} \sim \text{snaga motora}$

$n_M = 3600 \text{ [o/min]} \sim \text{maksimalni okretaji motora}$

Iz tehničkih podataka motora može se očitati moment motora, ali ovdje je još jednom proveden proračun iz izraza [11] :

$$T_M = \frac{30 \cdot P}{\pi \cdot n_M} \text{ [Nm]} \sim \text{okretni moment motora} \quad (5)$$

$$T_M = \frac{30 \cdot 4000\text{W}}{\pi \cdot 3600\text{o/min}}$$

$$T_M = 10,61 \text{ [Nm]}$$

Izračunati okretni moment motora odgovara okretnom momentu iz tehničkih podataka benzinskog motora. Nadalje računamo moment na vratilu [12] u slučaju akceleracije $1,4m/s^2$.

$$T = \frac{1}{2000} \cdot m \cdot a \cdot D \text{ [Nm]} \sim \text{moment na vratilu} \quad (6)$$

$$T = \frac{1}{2000} \cdot 143kg \cdot 1,4m/s^2 \cdot 410mm$$

$$T = 41,04 \text{ [Nm]}$$

Da bi se postigao traženi moment T potrebno je izračunati omjer između lančanika motora i lančanika na vratilu. Omjer možemo izračunati prema izrazu [13]:

$$i_p = \frac{T}{T_M} \sim \text{omjer lančanika motora i lančanika vratila} \quad (7)$$

$$i_p = \frac{41,04Nm}{10,61Nm}$$

$$i_p = 3,87 \rightarrow 4$$

Izračunati omjer između lančanika motora i vratila iznosi 3,87 što znači da se omjer zaokružuje na prvi veći cijeli broj te tako uzimamo omjer $i = 4$.

Dobivanjem omjera možemo izračunati maksimalnu brzinu vozila kroz izraz [14]:

$$v = \frac{3 \cdot D \cdot \pi \cdot n}{5 \cdot 10^4} \text{ [km/h]} \sim \text{brzina vozila}$$

(8)

$$n = \frac{n_M}{i} \text{ [o/min]} \sim \text{okretaji vratila} \quad (9)$$

$$n = \frac{3600o/min}{4}$$

$$n = 900 \text{ [o/min]}$$

$$v = \frac{3 \cdot 410mm \cdot \pi \cdot 900o/min}{5 \cdot 10^4}$$

$$v = 69,55 \text{ [km/h]}$$

Iz dobivenih vrijednosti zaključujemo da izabrani motor zadovoljava sve uvjete koje smo izračunali u poglavlju 2.2. Također ostaje dosta prostora za povećavanje brzine i okretnog momenta na kartu.

Prijenos snage s osovine motora na vratilo ostvareno je pomoću lančanika i lanca. Na motor je namontirana centrifugalna spojka na kojoj se nalazi lančanik s 10 zubaca. Centrifugalna spojka zamjenjuje mjenjač za mjenjanje brzina na način da pri nižim brzinama ne pokreće lančanik. Nakon što se doda gas na kartu, povećavaju se okretaji motora te se opruge u centrifugalnoj spojci šire, a sukladno tome se pokreće lančanik koji pokreće vratilo. Centrifugalna spojka zapravo predstavlja isti proces kretanja vozila kao kod automobila s automatskim mjenjačem.



Slika 3 Centrifugalna spojka [20]

Kako bih se postigao dobiveni omjer $i = 4$ izabran je lančanik s glavčinom na kojem se nalazi 40 zubaca. Odabrani lančanik je SKF PHS 08B-1B40. Na lančaniku će biti potrebno istokariti centralni provrt s 16mm na 25mm što je promjer vratila koji će biti izračunat u poglavlju 3.1. Korak zubaca iznosi 12.7mm što je i više nego dovoljno za podnošenje sila koje će također biti proračunate u poglavlju 3.1.



Slika 4 SKF lančanik [20]

3. TEORETSKI DIO – PRORAČUN VRATILA

3.1. Proračun vratila

Vratila za Go-kartove često su izrađena od čvrstih materijala punih presjeka. Montiraju se horizontalno preko prednjih i/ili zadnjih kotača vozila. Kada se vozilo naginje pri skretanju, vratilo prenosi silu sa strane vozila na suprotnu stranu stvarajući moment oko vertikalne osi. Vratila se mogu podešavati po tvrdoći i debljini ovisno o karakteristikama i uvjetima vožnje za koje je Go-kart namijenjen. Ako je vratilo izrađeno od mekšeg materijala, više će se uvijati, a ako je vratilo izrađeno od tvrdog materijala dobit će se na većoj stabilnosti vozila. Pogrešno proračunato vratilo može dovesti do nepoželjnih efekata koji utječu na upravljivost i sigurnost vozila. U daljnjim poglavljima proračunate su horizontalne i vertikalne sile koje djeluju na vratilo te je iz dobivenih vrijednosti proračunata potrebna debljina vratila.

Pri izračunu vratila ustanovljene su određene konstantne vrijednosti:

$G_K = 18,67$ [N] ~ Težina kotača s njegovim nosačem

$G_D = 5,13$ [N] ~ Težina diska s njegovim nosačem

$G_L = 23,05$ [N] ~ Težina lančanika s njegovim nosačem

$G_{GK} = 701,15$ [N] ~ Težina Go-karta na ležaju ako se uzme da je raspored težina 50/50 u odnosu naprijed/nazad i ako je raspored opterećenja 50/50 lijevo/desno

$F_N = 701,15$ [N] ~ Sila normale uz istu pretpostavku kao za G_{GK}

$F_R = 27,04$ [N] ~ Sila otpora kotrljanja uz pretpostavku da je sila otpora jednaka zbroju $\frac{1}{4}$ sile otpora kotrljanja i $\frac{1}{2}$ sile otpora zraka

$D_L = 161,87$ [mm] ~ Promjer lančanika

$T = 41,04$ [N] ~ Moment na vratilu

$e_r = 0.9$ ~ Korisnost prijenosa snage

$v = 69,55 \frac{km}{h} = 19,32$ m/s [m/s] ~ Ograničena brzina vozila

Izračunata je vrijednost sile na lančaniku pod djelovanjem momenta T kao konstantna vrijednost koja se dobije iz izraza [15]:

$$F_L = \frac{P \cdot e_r}{\omega_W \cdot p_d} \text{ [N]} \sim \text{Sila na lančaniku pod djelovanjem momenta T} \quad (10)$$

Nepoznate vrijednosti koje nedostaju za izračun su kutna brzina (ω_W) i promjer koraka lančanika (p_d) koje su proračunate iz već ranije poznatih vrijednosti [16].

$$\omega_W = \frac{2 \cdot v}{D_k} [\text{s}^{-1}] \sim \text{Kutna brzina} \quad (11)$$

$$\omega_W = \frac{2 \cdot 19,32 \text{ m/s}}{410 \text{ mm}}$$

$$\omega_W = 94,24 [\text{s}^{-1}]$$

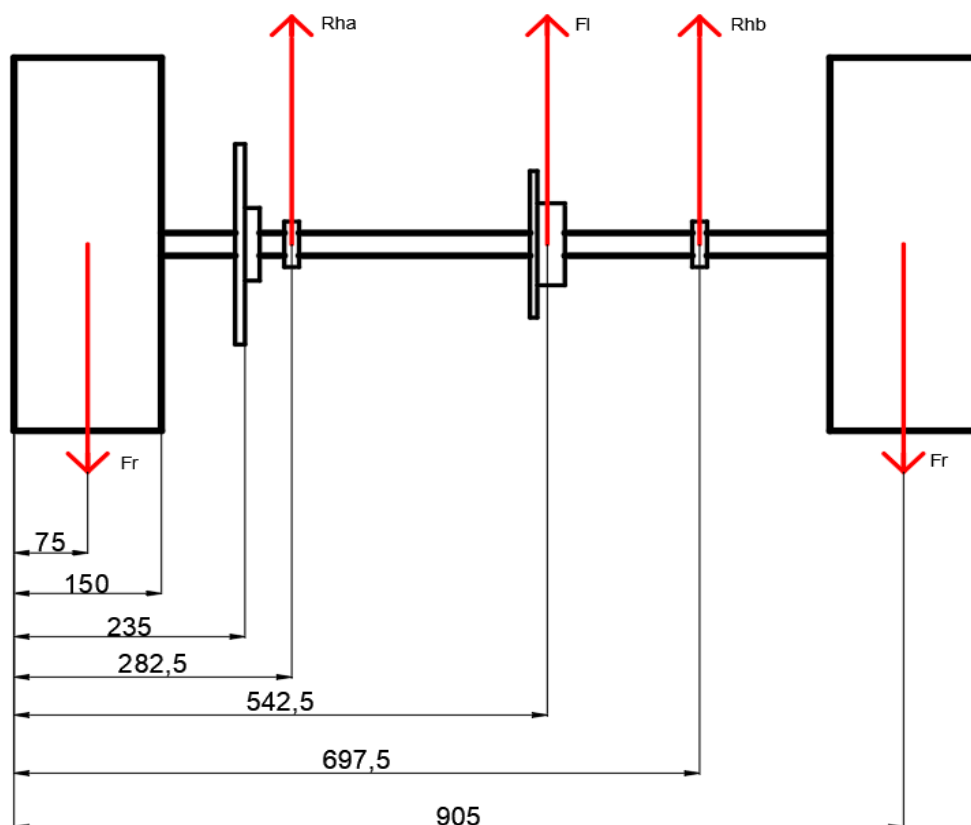
$$p_d = \frac{4}{\sin(0,5 \cdot 360/40)} [\text{mm}] \sim \text{Promjer koraka lančanika} \quad (12)$$

$$p_d = 50,98 [\text{mm}]$$

$$F_L = \frac{4000 \text{ W} \cdot 0,9}{94,24 \text{ s}^{-1} \cdot 50,98 \text{ mm}}$$

$$F_L = 749,32 [\text{N}]$$

3.1.1. Proračun horizontalnih sila vratila



Slika 5 Skica horizontalnih sila vratila [Izvorno autor]

Reakcijske horizontalne sile ležaja proračunate su iz izraza izvedenih sa skice:

$$R_{HA} = 2F_R - F_L - R_{HB} \text{ [N]} \quad (13)$$

$$R_{HB} = 2F_R - F_L - R_{HA} \text{ [N]} \quad (14)$$

Ukoliko postoje dvije nepoznanice u izrazima, uspostavljen je moment sile oko odabrane točke iz koje je dobivena jedna vrijednost te izračunata druga. U ovom slučaju uspostavljen je moment oko točke A.

$$\sum M_A = 0 \text{ [Nm]} \quad (15)$$

$$F_L \cdot 0,260m + R_{HB} \cdot 0,415m - F_R \cdot 0,622m + F_R \cdot 0,207 = 0$$

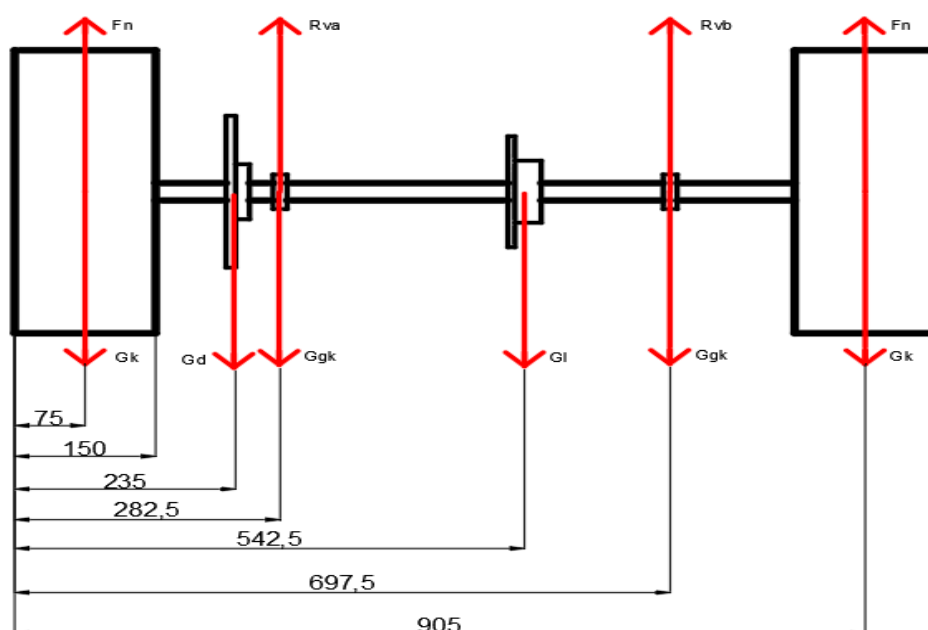
$$R_{HB} = \frac{-749,32N \cdot 0,260m + 46,48N \cdot 0,622m - 46,48N \cdot 0,207}{0,415}$$

$$R_{HB} = -422,97 \text{ [N]}$$

$$R_{HA} = 2 \cdot 46,48N - 749,32N - (-422,97N)$$

$$R_{HA} = -233,39 \text{ [N]}$$

3.1.2. Proračun vertikalnih sila vratila



Slika 6 Skica vertikalnih sila vratila [Izvorno autor]

Reakcijske vertikalnih sile ležaja proračunate su iz izraza izvedenih sa skice:

$$R_{VA} = 2G_{GK} + G_D + 2G_K + G_L - 2F_N - R_{VB} \text{ [N]} \quad (16)$$

$$R_{VB} = 2G_{GK} + G_D + 2G_K + G_L - 2F_N - R_{VA} \text{ [N]} \quad (17)$$

Kod izračuna vertikalnih sila također postoje dvije nepoznanice kao i u proračunu horizontalnih sila te je isti postupak izračuna. U ovom slučaju moment je uspostavljen oko točke A.

$$\sum M_A = 0 \text{ [Nm]} \quad (18)$$

$$-G_L \cdot 0,260m - G_{GK} \cdot 0,415m + R_{VB} \cdot 0,415m - G_K \cdot 0,622m + F_N \cdot 0,622m + \\ G_D \cdot 0,475m + G_K \cdot 0,207m - F_N \cdot 0,207m = 0$$

NAPOMENA: Zbog složenosti momenta sila izračun je podijeljen u dva dijela, drugi dio je samo nastavak prvome.

$$R_{VB} = \frac{23,05N \cdot 0,260m + 701,15N \cdot 0,415m + 18,67N \cdot 0,622m - 701,15N \cdot 0,622m -}{0,415m}$$

$$R_{VBNAS} = \frac{5,13N \cdot 0,475m - 18,67N \cdot 0,207m + 701,15N \cdot 0,207m}{0,415m}$$

$$R_{VB} = 27,24 \text{ [N]}$$

$$R_{VA} = 2 \cdot 701,15N + 5,13N + 2 \cdot 18,67N + 23,05N - 2 \cdot 701,15N - 27,24N$$

$$R_{VA} = 38,28 \text{ [N]}$$

3.1.3. Ukupni proračun promjera vratila

Još jedan korak pri izračunu ukupnog promjera vratila je taj da je određen ukupni moment horizontalnih i ukupni moment vertikalnih sila vratila.

M_H [Nm] ~ Ukupni moment horizontalnih sila

$$M_H = F_R \cdot 0,075m - R_{HA} \cdot 0,282m - F_L \cdot 0,542m - R_{HB} \cdot 0,697m + F_R \cdot 0,905m \quad (19)$$

$$M_H = 46,48N \cdot 0,075m - (-233,39N) \cdot 0,282m - 749,32N \cdot 0,542m - (-422,97N) \cdot 0,697m + 46,48N \cdot 0,905m$$

$$M_H = 0,05 \text{ [Nm]}$$

M_V [Nm] ~ Ukupni moment vertikalnih sila

$$M_V = -F_N \cdot 0,075m + G_K \cdot 0,075m + G_D \cdot 0,235m + G_{GK} \cdot 0,282m - R_{VA} \cdot 0,282m + G_L \cdot 0,545m + G_{GK} \cdot 0,697m - R_{VB} \cdot 0,697m + G_K \cdot 0,905m - F_N \cdot 0,905m \quad (20)$$

$$M_V = -701,15N \cdot 0,075m + 18,67N \cdot 0,075m + 5,13N \cdot 0,235m + 701,15N \cdot 0,282m - 38,28 \cdot 0,282m + 23,05N \cdot 0,545m + 701,15N \cdot 0,697m - 27,24N \cdot 0,697m + 18,67N \cdot 0,905m - 701,15N \cdot 0,905m$$

$$M_V = 1,58 \text{ [Nm]}$$

Ukupni moment savijanja vratila [17]:

$$M_S = \sqrt{M_V^2 + M_H^2} \text{ [Nm]} \sim \text{Ukupni moment savijanja vratila} \quad (21)$$

$$M_S = \sqrt{1,58^2 Nm + 0,05^2 Nm}$$

$$M_S = 1,58 \text{ [Nm]}$$

Za materijal vratila odarban je materijal S275JR. Potrebni podatci iz tehničkog lista za odabrani materijal:

$$\sigma_{fDN} = 190 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad \tau_{tDI} = 160 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau_{tDN} = 140 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad R_m = 420 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Reducirani moment savijanja i uvijanja na vratilu [18]:

$$a_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,75 \cdot \tau_{tDI}} \quad (22)$$

$$a_0 = \frac{190 \text{ N/mm}^2}{1,75 \cdot 160 \text{ N/mm}^2}$$

$$a_0 = 0,68$$

$$M_e = \sqrt{M_S^2 + 0,75 \cdot (a_0 \cdot T)^2} \text{ [Nm]} \sim \text{Moment savijanja i uvijanja} \quad (23)$$

$$M_e = \sqrt{1,58^2 \text{ Nm} + 0,75 \cdot (0,68 \cdot 41,04 \text{ Nm})^2}$$

$$M_e = 24,22 \text{ [Nm]}$$

Izraz za promjer vratila [19]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_e}{\pi \cdot \sigma_{fDN}}} \text{ [mm]} \quad (24)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 24,22 \text{ Nm}}{\pi \cdot 190 \text{ N/mm}^2}} \text{ [mm]}$$

$$d = 10,9 \text{ [mm]}$$

Nakon izračuna promjera vratila odabrano je vratilo promjera 25 [mm] kako bih se ostavilo prostora za daljnu nadogradnju Go-karta po želji.

Kod montiranja ležajeva, diska s njegovim nosačem, lančanika s nosačem i kotača s njihovim nosačima korištena je tehnika tokarenja na „nulu“ te ubacivanje klina između vratila i postavljenom elementa. Tehnika tokarenja na „nulu“ izvodi se na način da je

promjer vratila te provrt nosača jednake dimenzije. Elementi su postavljeni postupkom djelovanja temperature na materijal u svrhu mijenjanja njegove mikrostrukture i time mijenjanja njegovih svojstava. Vratilo se hladilo u hladnjaku kako bi se materijal stisnuo, a nosači su bili zagrijavani kako bi se materijal raširio kako bih se lakše namontiralo. Nakon postavljanja elemenata na vratilo uprešan je klin između vratila i postavljenog elementa kako bih se postigao čvrsti dosjed koji osigurava dodatnu sigurnost i otpor koji sprječava aksijalne pomake vratila.

Ležajevi odabrani u radu su SKF 6205 TN9/C3 čije tehničke karakteristike odgovaraju proračunatim naprezanjima Go-karta.

$d = 25$ [mm] ~ unutarnji promjer ležaja

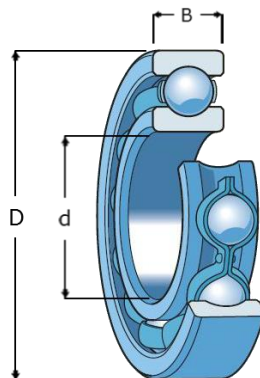
$D = 52$ [mm] ~ vanjski promjer ležaja

$B = 15$ [mm] ~ širina ležaja

$C = 14,8$ [kN] ~ ograničenje dinamičkog opterećenja

$C_0 = 7,8$ [kN] ~ ograničenje statičkog opterećenja

$n_{max} = 18\ 000$ [o/min] ~ maksimalan broj okretaja



Slika 7 SKF ležaj dimenije [20]



Slika 8 SKF ležaj model [20]

4. EKSPERIMENTALNI DIO – DIZAJN I IZRADA GO-KARTA

Šasija Go-karta služi kao temelj koji drži sve komponente karta zajedno, uključujući motor, kotače, sustav upravljanja i sjedalo. Ima presudnu ulogu u određivanju karakteristika upravljanja, stabilnosti i performansi karta na stazi kojoj je namijenjen. Go-kart šasije mogu se projektirati kroz različite konfiguracije koje određuju konačni dizajn. Svaka šasija prilagođena je različitoj vrsti staze i stilovima vožnje.

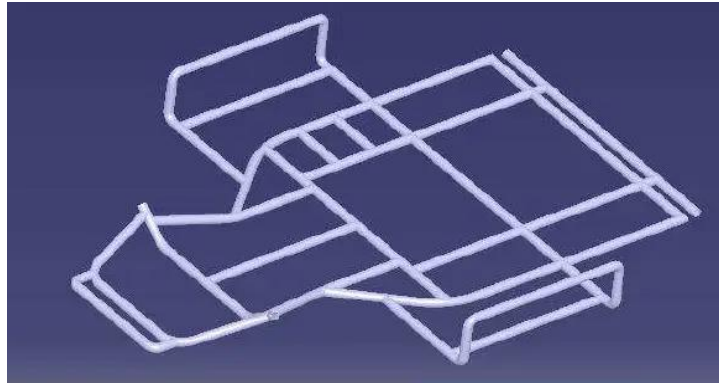
Ključni elementi koji određuju dizajn karta uključuju:

- Materijal okvira – Okviri šasije obično su izrađeni od čelika, aluminija ili drugih laganih i izdržljivih materijala. Odabir materijala može utjecati na težinu, krutost te ukupnu izvedbu Go-karta
- Međuosovinski razmak – Udaljenost između prednje i stražnje osovine poznata je kao međuosovinski razmak. Duži međuosovinski razmak može osigurati stabilnost, dok kraći nudi bolju upravljivost.
- Širina – Širina šasije, zajedno s položajem osovina, utječe na ravnotežu Go-karta i na sposobnost skretanja.
- Fleksibilnost – Fleksibilnost šasije je sposobnost okvira da se lagano savija i tako utječe na prijanjanje Go-karta na stazi tokom vožnje. Fleksibilnija šasija može pružiti bolju trakciju na neravnim površinama i stazama.
- Prilagodljivost – Mnoge moderne šasije dizajnirane su da budu podesive. Vozači i mehaničari mogu promjeniti konfiguracije šasije kao što su visina samog karta, nagib kotača te krutost kako bi se postigle što bolje performanse Go-karta na temelju uvjeta na stazi i vještina vozača.
- Vrste staze – Postoje različite vrste utrka te samim time zahtijevaju se različite postavke šasije za određenu utrku. Za brze i zavojite staze šasije su prilagođene za brzo i direktno upravljanje, dok šasije za duže staze zahtijevaju ravnotežu između brzine i stabilnosti.
- Težina vozača – Raspodjela težine Go-karta, uključujući težinu vozača utječe na to kako se upravlja kartom. Neki modeli šasija prilagođeni su za teže i lakše vozače.
- Veličina guma – Veličina guma te njihov kontakt s površinom staze utječu na prijanjanje, trakciju te ukupnu izvedbu.

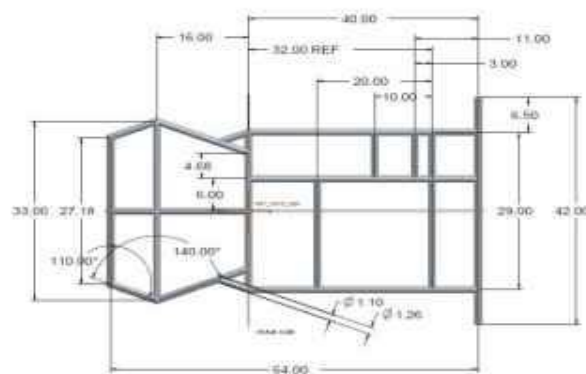
4.1. Dizajn

Kvantitativnom i kvalitativnom projektiranju šasije pristupljeno je proučavanjem standarda, literature i pozitivnih primjera iz prakse.

Primjeri projektiranih šasija Go-karta prikazani su na slijedećim slikama:



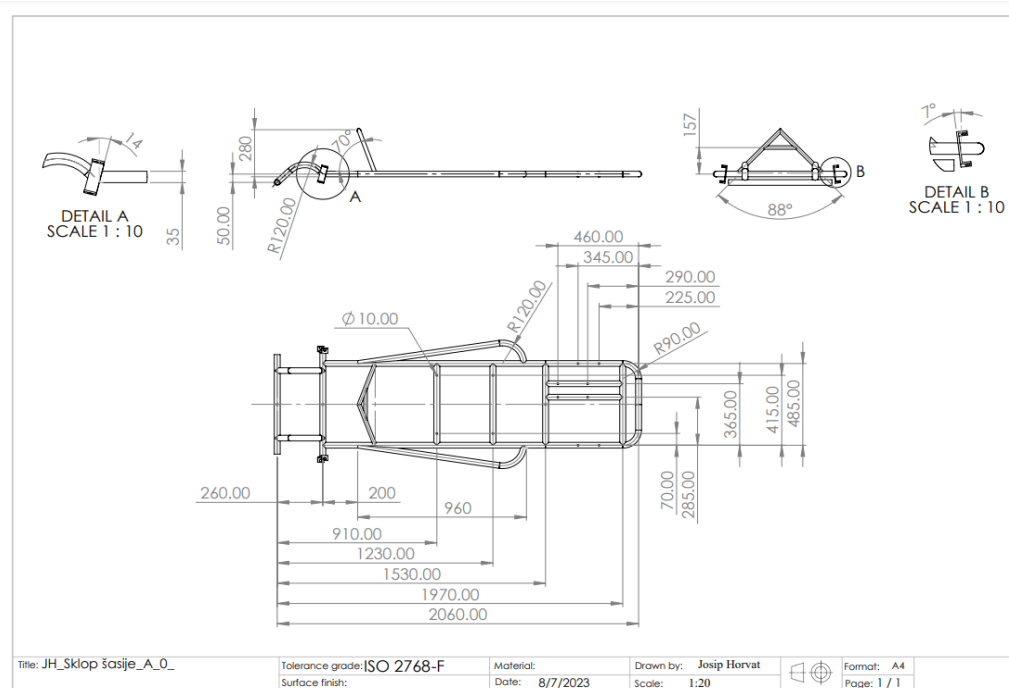
Slika 9 Primjer šasije [21]



Slika 10 Primjer šasije [22]

Prvi korak kod odabira dizajna za šasiju je skiciranje nekoliko modela šasije na način da u obzir uzmemo sve elemente koje ćemo koristiti u izvedbi Go-karta. Nakon odabira konačnog dizajna šasije, drugi korak je projektiranje i crtanje u nekom od CAD programa. U ovom radu korišten je program *SolidWorks*. Kod izrade tehničkog crteža u *SolidWorksu* korištene su razne tehnike pri radu kako bih se u 3D modelu dobio maksimalno točan dizajn šasije sa svim dimenzijama.

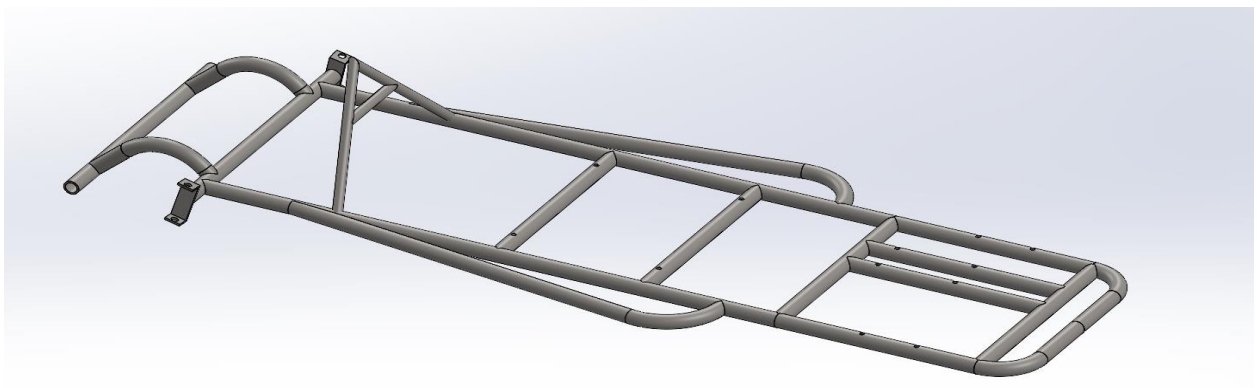
Projektiranje u *SolidWorksu* odrađeno je na način da je prvo nacrtan osnovni sklopni 2D crtež uz nekoliko neophodnih detalja.



Slika 11 Sklopni 2D crtež šasije [Izvorno autor]

Šasija je dizajnirana tako da je visina od površine veća nego kod uobičajenih kartova. Međusovinski razmak također je veći nego kod uobičajenih Go-kartova, a razlog tome je podešavanje sjedala za različite dobi i uzraste vozača. Kod projektiranja uzeto je u obzir ostavljanje dovoljnog prostora za sve slijedeće komponente i elemente koji se montiraju na šasiju kako bi se dobila kompatna i funkcionalna cijelina.

Završetkom 2D modela, izrađen je sklopni 3D model koji pobliže određuje šasiju. Kod izrade 3D modela u obzir moramo uzeti materijal od kojeg se izrađuje te promjere cijevi te debljine njihovih stijenki. U ovom radu materijal odabran za izradu šasije je S275JR. Promjer cijevi od kojih je izrađena šasija iznosi 35 [mm] dok je debljina njihove stijenke 2 [mm].



Slika 12 3D model šasije [Izvorno autor]

Nakon projektiranja kompletne šasije, slijedeći korak je sama izrada. Kod izrade šasije prvi korak je rezanje cijevi na zadane duljine kod kojih je potrebno obratiti pažnju pod kojim kutem se određena cijev reže. Daljni korak je bušenje krajeva cijevi metalnom krunom kako bih se cijevi kompaktno naslonile jedna od drugu, što nam olakšava postupak varenja. Kada su sve cijevi pripremljene, slijedeći korak u izradi šasije je postupak varenja. Postupak varenja odrađen je tehnikom MIG/MAG ili poznatije kao zavarivanje plinom CO_2 . Odabir MIG/MAG postupka varenja daje nam nekoliko prednosti. Najveća prednost je visoka produktivnost, a razlog tome je brz proces jer je dovod žice kontinuiran, što omogućuje duže zavarivanje bez zaustavljanja. Također ovakav postupak je vrlo svestran te se tako može koristiti za varenje različitih metala. Vrlo važna prednost je sama jednostavnost korištenja, što omogućuje početnicima da vrlo brzo savladaju tehniku. Zaštitni plin pomaže u proizvodnji čistih i glatkih zavra s minimalnim prskanjem materijala, a to nam za krajnji rezultat daje čiste zavra uz minimalnu količinu brušenja.

Konačan rezultat nakon obrade metala i postupka zavarivanja vidljiv je na slici 12.



Slika 13 Predodžba izrađene šasije od bešavnih cijevi [Izvorno autor]

4.2. Geometrija skretanja

Sustav upravljanja go-karta kritična je komponenta go-karta koja vozaču omogućuje kontrolu smjera vozila. Sustav upravljanja omogućuje vozaču manevriranje go-kartom u zavojima, navigaciju kroz staze i održavanje kontrole nad putanjom vozila. Nekoliko je ključnih elemenata i komponenti uključenih u tipični upravljački sustav go-karta:

- Upravljač – Upravljač je sučelje između vozača i sustava upravljanja. Vozač se drži za upravljač kako bi zakrenuo Go-kart u željenom smjeru.
- Stup upravljača – Stup upravljača povezuje kolo upravljača s ostatkom sustava upravljanja. Prenosi vozačev okret na komponente koje upravljaju prednjim kotačima.
- Spojne šipke – To su šipke koje povezuju upravljačke zglobove na prednjim kotačima s mehanizmom upravljanja. Kada vozač okreće upravljač, spone prenose kretanje na kotače, uzrokujući njihovo okretanje.
- Upravljački mjenjač – Poznatiji kao letva upravljača koja predstavlja mehaničku komponentu koja pretvara rotacijsko gibanje kola upravljača u linearno gibanje. Odgovorna je za pomicanje spona i prednjih kotača.
- Upravljački zglobovi – To su komponente koje drže prednje kotače na mjestu i omogućuju im da se zakreću kada vozač okreće upravljač. Spojeni su na spone i druge komponente ovjesa.
- Ackermannova geometrija – Sustav upravljanja Go-karta obično koristi Ackermannovu geometriju, koja osigurava da se unutarnji i vanjski kotači okreću pod različitim kutovima u zavoju. Ova geometrija pomaže Go-kartu da glatko prolazi kroz zavoje smanjujući trenje guma i održavajući bolju kontrolu.
- Poluga upravljača – Uključuju sve spojne komponente, kao što su zglobovi, poluge, osovine, koje prenose upravljački signal s kola upravljača na kotače.
- Osovina upravljača - Povezuje kolo upravljača s mjenjačem upravljača. Obično se sastoji od zglobova i osovina koje omogućuju fleksibilnost tijekom prijenosa gibanja.
- Glavčina upravljača – Glavčina upravljača je središnjidio kola upravljača koji se pričvršćuje na osovinu upravljača.

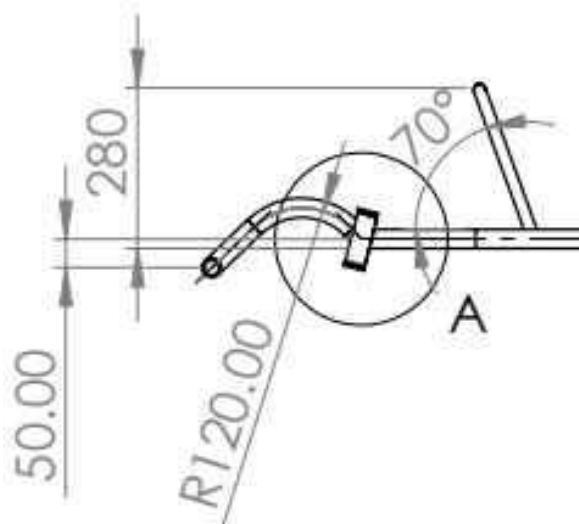
- Prilagodljivost – Mnogi kartovi imaju podesive sustave upravljanja koji vozačima omogućuju prilagodbu kuta i položaja upravljača kako bi odgovarali njihovim željama i udobnosti

Važno je napomenuti da sustavi za upravljanje Go-kartom mogu varirati u dizajnu ovisno o vrsti Go-karta, njegovoj namjeni (rekreacijska, trkaća, off-road itd.) i specifikacijama proizvođača. Pravilno održavanje i redoviti pregled upravljačkog sustava ključni su za osiguravanje sigurnosti i optimalnih performansi tijekom upravljanja Go-kartom.

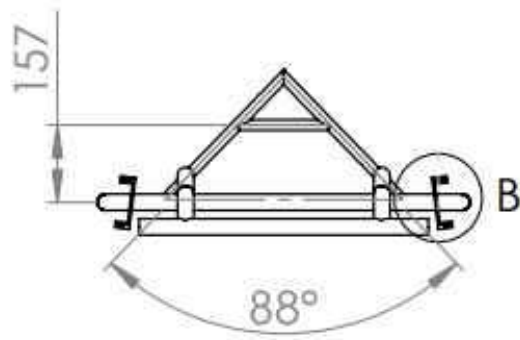
4.2.1. Pozicija volana

U Go-kart trkama pozicija volana igra ključnu ulogu u efikasnosti vožnje, udobnosti i kontroli. Prilikom projektiranja pozicije volana u ovom radu pozornost je usmjerena na nekoliko osnovnih parametara. Pozicija volana određena je proizvoljno nakon postavljanja sjedala kako bi se dobila što bolja slika o udaljenosti do volana, visini volana, nagibu volana te da položaj sjedenja ostane udoban. Volan nije podesiv po visini i nagibu, ali je moguće podešavanje udaljenosti volana pomicanjem sjedala naprijed-nazad.

Na slici 13 prikazane su proizvoljno odabrane dimenzije visine te kuta nagiba nosača volana. U ovom slučaju visina nosača iznosi 280 [mm], a kut nosača iznosi 70° u odnosu na centar cijevi šasije što možemo vidjeti na crtežu. Kut nosača od 70° određuje kut šipke volana od 45° tako da je šipka uprešana u ležaj koji se nalazi na cijevi šasije na kojoj se nalaze nosači prednjih kotača, a šipka i dodatno prolazi kroz ležaj koji se nalazi na nosaču volana.



Slika 14 Crtež pozicije nosača volana [Izvorno autor]



Slika 15 Crtež pozicije nosača volana [Izvorno autor]



Slika 16 Pozicija nosača volana [Izvorno autor]



Slika 17 Nosač volana [Izvorno autor]

Nakon što je stup volana s nosačem namješten, spaja se s kotačima na način da se povezuju preko pločice koja je zavarena za šipku volana. Pomoću pločice ostvarena je rotacija kotača u željenom smjeru. Izgled i dimenzije pločice konstruirane su proizvoljno kako bi izvršavali svoju ulogu te kako bi pločica bila funkcionalna. Širina pločice iznosi 35 [mm], a dužina 80 [mm]. Centar provrta na koji se povezuju šipke koje su spojene sa nosačima kotača smješten je 17,5 [mm] po širini, te 60 [mm] po dužini. Konačan izgled pločice vidljiv je na slici 17.



Slika 18 Pomoćna pločica [Izvorno autor]

Pomoćna pločica i šipke sa skretanje povezane su vijkom kako bi se dobila funkcionalna cjelina.

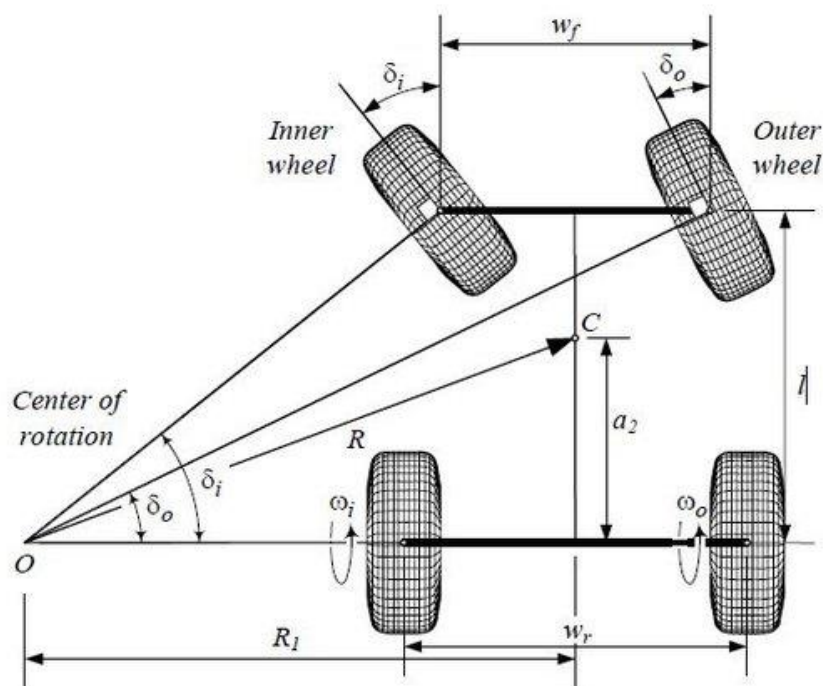


Slika 19 Povezana pločica i šipke [Izvorno autor]

4.2.2. Ackermannov princip skretanja

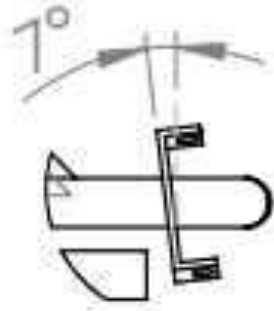
Princip Ackermannovog skretanja je osnovno pravilo koje se primjenjuje na konstrukciju sistema upravljanja vozilom, posebno kod vozila sa prednjim točkovima koja koriste sistem upravljanja pomoću volana. Ovaj princip osigurava da se sva četiri kotača vozila kreću po optimalnim putanjama prilikom skretanja, što pomaže u smanjenju trošenja guma i poboljšava stabilnost vozila tokom manevara.

Osnovna ideja iza ovog principa je da se prednji kotači okreću pod različitim kutovima tijekom skretanja, čime se postiže željeni efekt zakretanja i omogućava da sva četiri kotača prate različite putanje. Kada bi svi kotači bil postavljeni pod istim kutem tokom skretanja, to bi rezultiralo nepravilnim putanjama za unutarnji i vanjski kotač tokom zakretanja, što bi dovelo do poteškoća u upravljanju, nejednakog trošenja guma i smanjene stabilnosti. Nakon primjenjenog Ackermannovog pricipa sketanja unutarnji kotač vozila nakon ulaza u zavoj prijeći će manji put od vanjskog kotača vozila kako bi se dobila pravilna putanja vozila.



Slika 20 Ackermannov princip skretanja

Prvi korak ostvarivanja Ackermannovog efekta u ovom slučaju je da se cijev šasije na koju se zavaruje nosač kotača odreže pod kutem od 7° , kao što je prikazano na crtežu.



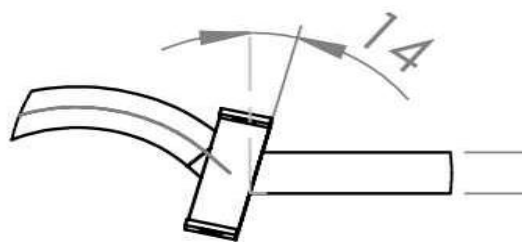
Slika 21 Crtež kuta nosača [Izvorno autor]



Slika 22 Kut nosača [Izvorno autor]

Slika 22 prikazuje zavaren nosač na lijevoj strani nagnut prema desno pod kutem od 7° , s desne strane nosač se nalazi pod istim kutem, samo nagnut prema lijevo.

Kutevi pod kojima se nosač nalazi određuju kut pod kojim će biti osovina oko okretnog dijela i kuteve pločice kojom se skreće. U ovom radu osovina je na okretni dio nagnuta po kutem od 14° kako je i prikazano na crtežu.



Slika 23 Crtež kuta nosača [Izvorno autor]

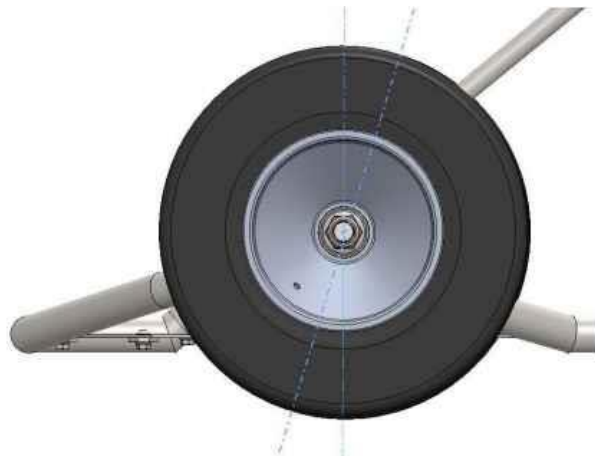


Slika 24 Kut nosača [Izvorno autor]

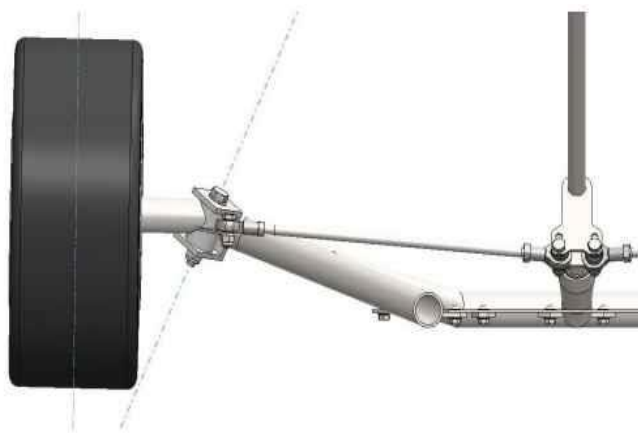


Slika 25 Kut nosača [Izvorno autor]

Kutevi pod kojima se nalazi nosač kotača te proizvoljno dizajniran oketni dio kotača omogućuju uspješno postignut Ackermannov princip skretanja na način da unutrašnji kotač prilikom ulaza u zavoj prijeđe manji put od vanjskog kotača. Takav princip skretanja funkcionalan je zbog postignutog uzdužnog nagiba osi zakreta kotača te bočnog nagiba osi zakreta kotača. Uzdužni nagib osi zakreta kotača povećava stabilnost, a njegov trag daje veću senzibilnost tokom skretanja te omogućuje njegov povratak u ravni položaj. Bočni nagib osi zakreta kotača stvara polumjer zakreta kotača na način da kada kotač gleda ravno on je tada u najvišoj poziciji, a kada se vozilo skreće lijevo taj dio vozila će „pasti“, a desni dio će se „dignuti“ od tla.



Slika 26 Uzdužni nagib osi zakreta kotača [23]



Slika 27 Bočni nagib osi zakreta kotača [24]

Postignut rezultat u ekperimentu prikazan je na slici 28.



Slika 28 Ackermannov princip skretanja [Izvorno autor]

4.3. Inovativni sustav mjerenja brzine vozila

Završni korak u izradi Go-karta je izrada inovativnog sustava mjerenja brzine vozila koji je postignut i upravljan pomoću mikrokontrolera Arduino UNO. Arduino UNO je popularna mikrokontrolerska pločica koja se koristi u širokim primjenama u svrhu stjecanja osnovnih znanja iz elektronike i programiranja. Arduino sukladno tome sadrži hardverske i softverske komponente koje su dizajnirane za ostvarivanje procesa stvaranja i programiranja računalnih ugradbenih sustava.



Slika 29 Mikrokontrolerska pločica Arduino UNO [23]

U ovom radu za izradu sustava za mjerenje brzine osim mikrokontrolerske pločice Arduino UNO koristile su se dodatne komponente kao što su potencijometar, LCD display, infracrveni senzor (IR senzor), prototipska pločica za proširenje mikrokontrolerske pločice te izvor energije.



Slika 30 IR senzor [24]



Slika 31 LCD display [25]

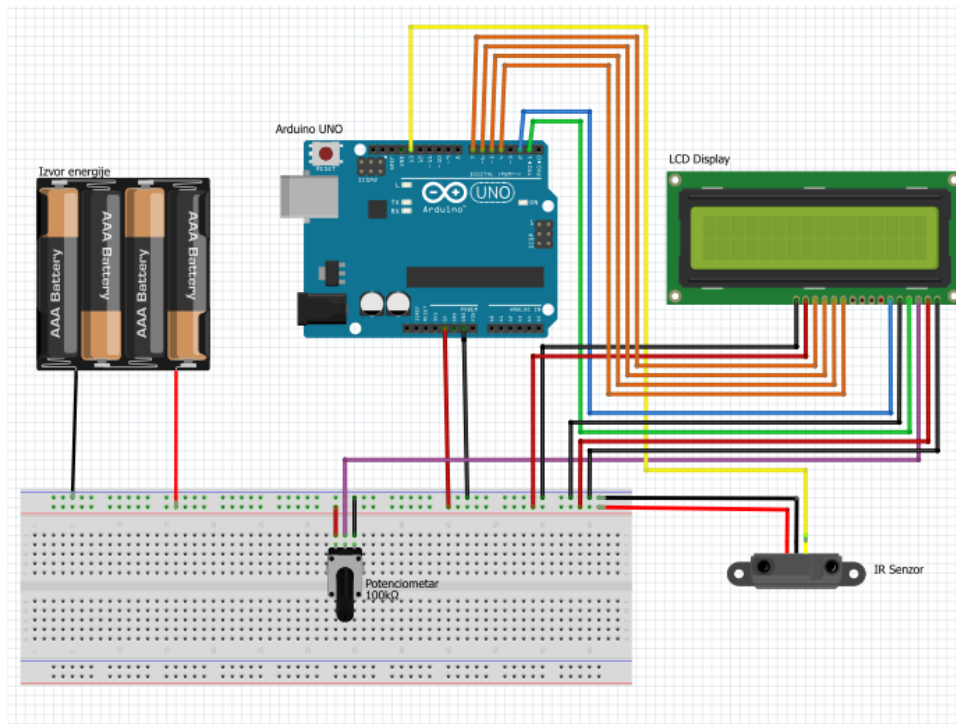
IR senzor koji se koristi u ovom radu je TCRT 5000. Pomoću ovog senzora mjerenje udaljenosti je vrlo jednostavno. Infracrvena zraka se prenosi do objekta, a reflektiranu infracrvenu zraku upija fotodioda. Fotodioda mjeri intenzitet svjetla, a osjetljiva je i na vidljivo svjetlo i boje. Intenzitet IR svjetlosti snimljen fotodiodom predstavlja udaljenost između objekta i senzora, a također i razliku u boji.

Sustav za mjerenje brzine vozila zamišljen je na način da se na kotaču Go-karta oboja crta bijele boje široka 1 [cm] kako bih se dobio kontrast između bijele crte i crnog kotača. IR senzor koji ujedno šalje i prima infracrvene zrake na taj način detektira boje i udaljenost. Svaki okret kotača IR senzor prepoznaje po kontrastu između bijele i crne boje te na taj način dobivamo signal koji je potreban za izračun brzine kretanja vozila. Točna brzina kretanja vozila izračunata je pomoću formula upisanih u program, a prikazuje se na LCD displayu.



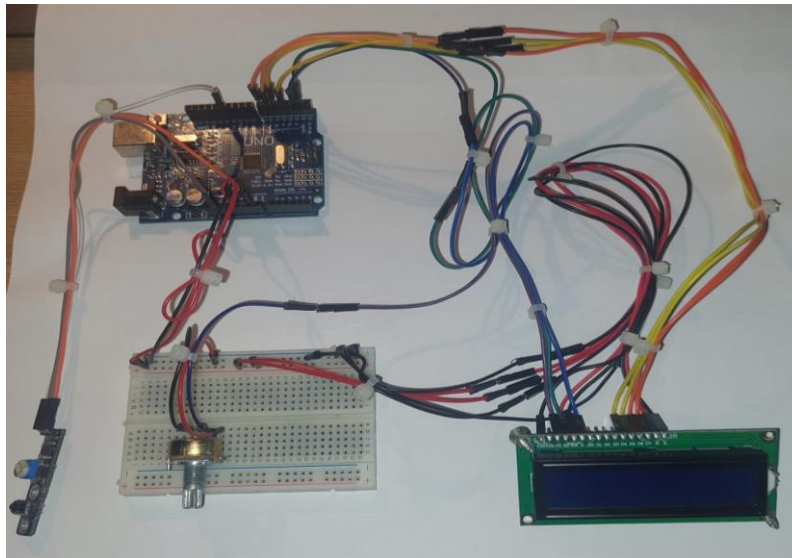
Slika 32 Postavljen IR senzor [Izvorno autor]

Prvi korak pri izradi sustava za mjerenje brzine vozila je ožičavanje hardverskih komponenata kako bih došli do softverskog dijela (programiranja). Na slici 33 prikazana je shema spoja svih hardverskih komponenti. Shema spoja komponenti nacrtana je u programu *Fritzing*.



Slika 33 Shema spoja hardverskih komponenti [Izvano autor]

Postupak ožičavanja proveden je tako da je IR senzor spojen na napajanje (VCC+ ; GND), a njegov digitalni signal spojen je na digitalni ulaz (12). LCD display spojen je prema osnovnom principu koji se nalazi na službenoj stranici Arduino kontrolera. Anoda i katoda spojene su na napajanje, digitalni pinovi spojeni su na digitalne ulaze (4, 5, 6, 7), *Enable* pin spojen je na digitalni ulaz (2), *Register select* pin na digitalni ulaz (1), *Read/Write* pin na GND, *Display contrast* pin spojen je s potencijetrom te je krug zatvoren s napajanjem. U krugu s LCD displayem spojen je potencijetrom koji služi za podešavanje kontrasta boja na LCD ekranu podešavajući napon od 0 [V] do 5 [V].



Slika 34 Spoj hardverskih komponenti [Izvorno autor]

Nakon spoja hardverskih komponenti sljedeći korak u izradi je softverski dio, odnosno programiranje. Programiranje Arduina popularan je način stvaranja i razvoja ugradbenih računalnih sustava i elektroničkih projekata. Arduino je platforma otvorenog koda koja pruža razvojno okruženje prilagođeno korisniku te ima širok raspon mikrokontrolerskih ploča koje se mogu izabrati. Programiranje se odvija u programu *Arduino IDE* koji pruža skup funkcija i biblioteka koje izbacuju mnoge složenosti hardvera te ga tako čine dostupnim početnicima i iskusnim programerima. Programski jezik koji *Arduino IDE* program koristi je zapravo pojednostavljena verzija C/C++ programskog jezika.

Programiranje je provedeno tako su uključene sve potrebne biblioteke, definirani svi digitalni ulazi i potrebne varijable. Glavni dio programa možemo opisati kao slijedni proračun iz kojeg proračunavamo konačnu brzinu vozila. Cijeli program s komentarima dostupan je u prilogima.

Krajnji rezultat izrade i postavljanja sustava za mjerenje brzine kretanja vozila prikazan je na slikama 35 i 36.



Slika 35 Postavljen sustav za mjerenje brzine [Izvorno autor]



Slika 36 Postavljen sustav za mjerenje brzine [Izvorno autor]

U ovom poglavlju u nekoliko slika prikazan je i krajnji rezultat izrade Go-karta s inovativnim sustavom za mjerenje brzine vozila. Završen ekperimentalni dio ovog rada prikazan je na slijedećim slikama.



Slika 37 Izrađen Go-kart [Izvorno autor]



Slika 38 Izrađen Go-kart [Izvorno autor]



Slika 39 Izrađen Go-kart [Izvorno autor]



Slika 40 Izrađen Go-kart [Izvorno autor]

ZAKLJUČAK

Kroz Završni rad prikazana je sinteza ključnih spoznaja i zaključaka dobivenih tijekom istraživanja i procesa izrade samog Go-karta. Cilj ovog istraživanja bio je detaljno proučiti proces izrade Go-karta s posebnim naglaskom na konstrukciju i tehničke komponente te analizirati utjecaj različitih dizajnerskih i inženjerskih faktora na performanse vozila. Također postignuta je optimalna kombinacija performansi i sigurnosti na način da su sagledani različiti uvjeti vožnje i sposobnosti vozača. Rad također naglašava važnost kontinuiranog učenja i istraživanja iz područja izrade Go-karta kako bi se postigle inovacije i unapređenja u budućnosti.

Izrada inovativnog sustava za mjerenje brzine vozila zahtjeva sveobuhvatan pristup koji obuhvaća elektroniku, senzore, programiranje i integraciju s vozilom kategorije Go-kart. U ovom radu postignut je inovativan pristup mjerenja brzine vozila s ciljem razvoja postojećih sustava za mjerenje brzine kako bi se postiglo preciznije i naprednije mjerenje.

Zadana tema Projektiranje i izrada Go-karta s benzinskim četverotaknim motorom i inovativnim sustavom mjerenja brzine vozila izvršena je kroz ovaj Završni rad pod uputama mentora dr.sc. Vladimira Tudića i komentora dr.sc. Josipa Hostera. Sukladno tome izrađeno je vozilo kategorije Go-kart prikladno adekvatnim standardima, preporukama iz literature i primjerima dobre prakse naznačenih u radu.

LITERATURA

- [1] Ehsani, M.; Gao, Y. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles Fundamentals, Theory and Design; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2005; pp. 142–154. <https://doi.org/10.1201/9781420054002>
- [2] Cardoso, C.; Ferreira, J.; Alves, V.; Araújo, R.E. The design and implementation of an electric go-kart for educational in motor control. In Proceedings of the International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, SPEEDAM 2006, Taormina, Italy, 2006. <https://doi.org/10.1109/SPEEDAM.2006.1650003>
- [3] Vitols, K.; Reinberg, N.; Sokolovs, A.; Galkins, I. Drive Selection for Electric Kart. In Proceedings of the 14th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC), Ohrid, Macedonia, 6–8 September 2010. <https://doi.org/10.1109/EPEPEMC.2010.5606882>
- [4] Heffernan, B.; Duke, R.; Zhang, R.; Gaynor, P.; Cusdin, M. A go-cart as an electric vehicle for undergraduate teaching and assessment. In Proceedings of the 20th Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), Christchurch, New Zealand, 5–8 December 2010A; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2010. ISBN 978-1-4244-8380-8
- [5] Burrige, M.; Alahakoon, S. The Design and Construction of a Battery Electric Vehicle Propulsion System—High Performance Electric Kart Application. In Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy Engineering, Perth, Australia, 12–14 June 2017; Volume 73. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/73/1/012016>
- [6] Krishnamoorthi, S.; Prabhu, L.; Shadan; Raj, H.; Akram, N. Design and analysis of electric Go-Kart. Mater. Today Proc. 2020, 45, 5997–6005, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.413>
- [8-10;11-19] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [10;23;24] Toni Kralj, Projektiranje Go-Karta na električki pogon, Veleučilište u Karlovcu, 2018.
file:///C:/Users/JOSIP/Downloads/toni_kralj.pdf
- [20] <https://set-bjelovar.hr/>
- [21] https://www.academia.edu/34866749/DESIGN_AND_ANALYSIS_OF_GO_KART_C_HASSIS
- [22] https://www.ripublication.com/ijaerspl2019/ijaerv14n9spl_10.pdf
- [23-25] <https://www.arduino.cc/>

PRILOZI

1. Programski kod sustava za mjerenje brzine vozila

```
Sustav_za_mjerenje_brzine_vozila | Arduino 1.8.10
File Edit Sketch Tools Help

Sustav_za_mjerenje_brzine_vozila

#include<LiquidCrystal.h> //uključivanje biblioteke LCD displaya

LiquidCrystal lcd(1,2,4,5,6,7); //postavljanje pinova LCD displaya

int speedSensor = 12; //kreiranje cijelobrojne varijable za IR senzor spojen na digitalni ulaz (12)

float startTime = 0; //kreiranje decimalne varijable početnog vremena
float endTime = 0; //kreiranje decimalne varijable krajnjeg vremena
float Time = 0; //kreiranje decimalne varijable ukupnog vremena trajanja

void setup() {

  lcd.setCursor(0,0); //postavljanje pozicije na LCD displayu
  lcd.print("Speed: "); //ispis teksta na LCD displayu

}

void loop() {

  int x; //kreiranje cijelobrojne pomoćne varijable
  int y; //kreiranje cijelobrojne pomoćne varijable

  x = digitalRead(12); //pridruživanje vrijednosti očitane na senzoru
  delay(1); //određeno vrijeme čekanja
  y = digitalRead(12); //pridruživanje vrijednosti očitane na senzoru

  Done compiling.
  Sketch uses 3896 bytes (12%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
  Global variables use 77 bytes (3%) of dynamic memory, leaving 1971 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.
  52 Arduino/Genuino Uno on COM4

Sustav_za_mjerenje_brzine_vozila | Arduino 1.8.10
File Edit Sketch Tools Help

Sustav_za_mjerenje_brzine_vozila

  x = digitalRead(12); //pridruživanje vrijednosti očitane na senzoru
  delay(1); //određeno vrijeme čekanja
  y = digitalRead(12); //pridruživanje vrijednosti očitane na senzoru

  float Speed = 0; //kreiramo decimalnu varijablu za konačnu brzinu kretanja vozila
  float RPM = 0; //kreiramo decimalnu varijablu za okretaje vozila
  float distance = 0; //kreiramo decimalnu varijablu za prijeđenu udaljenost vozila

  if (x == 1 && y == 0) { //postavljanje uvjeta pod kojima se izvršava program

    startTime = millis(); //očitanje vrijednosti početnog vremena
    Time = (startTime - endTime)/3600000; //izračun ukupnog vremena (h)
    RPM = 1/Time; //izračun okretaja vozila (o/min)
    distance = RPM * 41; //izračun prijeđene udaljenosti vozila (cm)
    distance = distance * 0.0006; //izračun okretaja vozila (km)
    Speed = distance/Time; //izračun okonačne brzine kretanja vozila (km/h)

    lcd.setCursor(8,0); //postavljanje pozicije na LCD displayu
    lcd.print(Speed); //ispis vrijednosti brzine kretanja vozila na LCD displayu
    lcd.setCursor(10,0); //postavljanje pozicije na LCD displayu
    lcd.print(" Km/h"); //ispis teksta na LCD displayu

    endTime = millis(); //očitanje vrijednosti krajnjeg vremena

    delay(500); //određeno vrijeme čekanja

  Done compiling.
  Sketch uses 3896 bytes (12%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
  Global variables use 77 bytes (3%) of dynamic memory, leaving 1971 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.
  52 Arduino/Genuino Uno on COM4
```