

# Robot za skupljanje loptica za golf

---

**Marić, Domagoj**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*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:235:666306>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-05-17**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

## DIPLOMSKI RAD

**Domagoj Marić**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

## DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Neven Pavković, dipl. ing.

Student:

Domagoj Marić

Zagreb, 2023.

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

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Nevenu Pavkoviću na pomoći i suradnji tijekom izrade diplomskog rada.

Također se zahvaljujem obitelji i prijateljima na strpljenju i podršci tijekom diplomskog studija.

Domagoj Marić



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, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodostrojarski

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 23 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 23 -	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Domagoj Marić** JMBAG: 0035204280

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Robot za skupljanje loptica za golf**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Robot for collecting golf balls**

Opis zadatka:

Na terenima za golf postoje mjesta za vježbanje udaraca na kojima se u kratkom vremenu brzo nakupi veća količina loptica koje je mukotrpno ručno sakupljati. Stoga je prepoznata potreba za razvojem robotskih uređaja.

U radu je potrebno koncipirati i konstruirati autonomno robotsko vozilo za prikupljanje loptica na terenu za golf. Predmet ovog rada je razvoj konstrukcije robotskog vozila odnosno njegovog pogona i mehanizma za dohvaćanje i polaganje loptica u spremnik. Sustav traženja i prepoznavanja loptica te s njime povezano automatsko upravljanje vozilom na terenu nisu predmet ovog rada. Pogon robota treba biti baterijski pri čemu kapacitet treba odrediti sukladno postojećim uređajima na tržištu. Također istraživanjem tržišta treba približno odrediti i kapacitet spremnika za loptice.

U radu treba:

- Analizom tržišta, pregledom postojećih patenata i metodičkom razradom obuhvatiti različita konceptijska rješenja.
- Koncipirati više varijanti rješenja, usporediti ih i vrednovanjem odabrati najpovoljnije.
- Odabran projektno rješenje uređaja razraditi s potrebnim proračunima nestandardnih dijelova.
- Izraditi računalni model uređaja i tehničku dokumentaciju u 3D CAD sustavu.

Pri konstrukcijskoj razradi obratiti pozornost na tehnološko oblikovanje dijelova. Analizirati kritična mjesta. Opseg konstrukcijske razrade, modeliranja i izrade tehničke dokumentacije dogоворити током izrade rada.

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

Zadatak zadan:

4. svibnja 2023.

Datum predaje rada:

6. srpnja 2023.

Predviđeni datumi obrane:

17. – 21. srpnja 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Neven Pavković

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY .....	X
1. UVOD.....	1
1.1. Golf .....	1
1.2. Golf teren .....	2
1.3. Prikupljanje loptica .....	3
2. ANALIZA TRŽIŠTA .....	4
2.1. Patenti.....	4
2.1.1. Patent US7462010B1: Golf ball collection apparatus with reversal protection ...	4
2.1.2. Patent US3227298A: Rollable retriever for golf balls and the like .....	5
2.1.3. Patent US3989151A: Golf ball retriever.....	6
2.2. Postojeći proizvodi.....	7
2.2.1. Korechi Pik'r.....	7
2.2.2. Range Servant Robotic Picker .....	8
2.2.3. Golf Robotics Range Collector.....	9
2.2.4. Steele Robotics G-Bot.....	10
2.2.5. Echo Robotics Golf Ball Picker.....	11
3. KONCIPIRANJE PROIZVODA .....	13
3.1. Ciljevi razvoja .....	13
3.2. Tehničke karakteristike .....	13
3.3. Funkcijska dekompozicija.....	14
3.4. Morfološka matrica .....	16
3.5. Koncepti .....	19
3.5.1. Koncept 1 .....	19
3.5.2. Koncept 2 .....	20
3.5.3. Koncept 3 .....	21
3.6. Vrednovanje i odabir finalnog koncepta.....	22
4. RAZRADA I PRORAČUN FINALNOG KONCEPTA .....	23
4.1. Spremnik za loptice.....	23
4.1.1. Volumen spremnika .....	23
4.1.2. Masa tereta u spremniku .....	24
4.2. Odabir motora i reduktora.....	24
4.2.1. Ustaljena vožnja .....	24
4.2.2. Ubrzjanje na ravnoj podlozi .....	25
4.2.3. Vožnja uz nagib .....	26
4.2.4. Odabir motora .....	27
4.2.5. Odabir reduktora .....	28

4.3.	Odabir baterije.....	29
4.3.1.	Kapacitet baterije .....	29
4.3.2.	Maksimalna struja pražnjenja .....	30
4.3.3.	Vrijeme punjenja baterije.....	31
4.4.	Odabir spojke .....	31
4.5.	Proračun i odabir ležaja vratila .....	32
4.6.	Proračun vratila .....	33
4.7.	Proračun pera .....	35
4.8.	Odabir linearног aktuatora.....	36
4.9.	Proračun svornjaka linearнog aktuatora.....	37
4.9.1.	Svornjak sa strane konstrukcije.....	37
4.9.2.	Svornjak sa strane sklopa košare .....	38
4.10.	Proračun svornjaka sklopa košare .....	39
4.11.	Odabir ležaja osovine valjka .....	40
4.12.	Odabir prednjih kotača.....	41
4.13.	Odabir upravljačkog sklopa i ostale elektronike.....	42
5.	OPIS PROIZVODA .....	43
5.1.	Tehničke specifikacije uređaja.....	43
5.2.	Opis uređaja .....	44
6.	ZAKLJUČAK.....	48
	LITERATURA.....	49
	PRILOZI.....	50

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Najpoznatiji golfer Tiger Woods u zamahu .....	1
Slika 2.	Karta igrališta s 18 rupa.....	2
Slika 3.	Pucalište.....	3
Slika 4.	Priklučak za skupljanje loptica za golf vozilo.....	3
Slika 5.	Patent US7462010B1 .....	4
Slika 6.	Patent US3227298A .....	5
Slika 7.	Patent US3989151A .....	6
Slika 8.	Korechi Pik'r .....	7
Slika 9.	Range Servant Robotic Picker.....	8
Slika 10.	Golf Robotics Range Collector .....	9
Slika 11.	Steele Robotics G-Bot.....	10
Slika 12.	Echo Robotics Golf Ball Picker .....	11
Slika 13.	Skica koncept 1 .....	19
Slika 14.	Princip rada koncept 1 .....	20
Slika 15.	Skica koncept 2 .....	20
Slika 16.	Princip rada koncept 2 .....	21
Slika 17.	Skica koncept 3 .....	21
Slika 18.	Shema sila na nagibu .....	26
Slika 19.	Motor Maxon EC 45.....	28
Slika 20.	Reduktor Maxon GP 62 A .....	29
Slika 21.	Baterija .....	31
Slika 22.	Spojka.....	32
Slika 23.	Shema sila na vratilo .....	32
Slika 24.	Kritični presjek vratila.....	33
Slika 25.	Linearni aktuator .....	37
Slika 26.	Svornjak sa strane konstrukcije.....	37
Slika 27.	Svornjak sa strane sklopa košare.....	38
Slika 28.	Klizni ležaj Igus iglidur G .....	39
Slika 29.	Ležaj osovine valjka.....	41
Slika 30.	Prednji kotač uređaja .....	42
Slika 31.	Mini računalo Raspberry Pi.....	42
Slika 32.	3D model uređaja .....	43
Slika 33.	Detalji kamere i kontakta za punjenje .....	44
Slika 34.	Pogled ispod poklopca.....	44
Slika 35.	Uredaj bez pokrova .....	45
Slika 36.	Prikupljanje loptica.....	45
Slika 37.	Pražnjenje spremnika .....	46
Slika 38.	Valjak u podignutom i spuštenom položaju.....	46
Slika 39.	Pogonski sklop jednog kotača .....	47
Slika 40.	Brtva kabela.....	47

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Podaci o robotu Korechi Pik'r.....	8
Tablica 2. Podaci o robotu Range Servant Robotic Picker .....	8
Tablica 3. Podaci o robotu Golf Robotics Range Collector .....	9
Tablica 4. Podaci o robotu Steele Robotics G-Bot.....	10
Tablica 5. Podaci o robotu Echo Robotics Golf Ball Picker .....	11
Tablica 6. Usporedba postojećih proizvoda .....	12
Tablica 7. Morfološka matrica .....	16
Tablica 8. Ocjenjivanje koncepata .....	22
Tablica 9. Specifikacije motora Maxon EC 45 .....	27
Tablica 10. Specifikacije reduktora Maxon GP 62 A .....	29
Tablica 11. Specifikacije baterije .....	30
Tablica 12. Specifikacije spojke.....	31
Tablica 13. Specifikacije linearnog aktuatora .....	36
Tablica 14. Specifikacije ležaja osovine .....	40
Tablica 15. Specifikacije prednjih kotača .....	41
Tablica 16. Tehničke specifikacije razvijenog uređaja .....	43

**POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

DM-00-00-00	Prikupljač golf loptica
DM-10-00-00	Sklop košara
DM-10-00-01	Košara
DM-10-20-00	Sklop valjak
DM-10-20-01	Disk
DM-10-30-00	Sklop konstrukcija košara
DM-20-00-01	Pokrov
DM-30-00-00	Sklop pogon
DM-30-00-01	Kotač
DM-30-00-02	Vratilo
DM-30-10-00	Sklop konstrukcija

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$a$	mm	širina spremnika, širina uške
$b$	mm	duljina spremnika
$b_1$	/	faktor veličine strojnog dijela
$b_2$	/	faktor kvalitete obrade površine
$c$	mm, /	dubina spremnika, faktor otpora kotrljanja
$c_1$	/	faktor zareznog djelovanja kod savijanja
$c_2$	/	faktor zareznog djelovanja kod uvijanja
$C$	Ah	potrebnii kapacitet baterije
$C_b$	Ah	kapacitet baterije
$d$	mm	promjer pogonskog kotača, promjer vratila, promjer svornjaka
$F$	N	sila vožnje
$F_1$	N	sila pri ustaljenoj vožnji
$F_2$	N	sila pri akceleraciji
$F_3$	N	sila pri vožnji uzbrdo
$F_A$	N	sila na aktuator
$F_K$	N	sila na kotač
$F_L$	N	sila na ležaj
$F_R$	N	sila na vratilo reduktora
$F_t$	N	obodna sila
$g$	$m/s^2$	gravitacijsko ubrzanje
$h$	mm	visina pera
$i$	/	prijenosni omjer reduktora, broj pera po obodu
$I_{max}$	A	maksimalna struja pražnjenja
$I_p$	A	maksimalna struja pražnjenja
$k$	/	gradijent moment/brzina vrtnje
$k_M$	$mNm/A$	momentna konstanta motora
$l_1$	mm	krak sile
$l_2$	mm	krak sile
$l_t$	mm	nosiva duljina pera

$m_L$	g	masa jedne loptice
$m_S$	kg	masa tereta u spremniku
$m_U$	kg	masa uređaja s baterijama
$M$	Nm	moment savijanja
$M_{red}$	Nm	reducirani moment
$n_1$	$\text{min}^{-1}$	potreban broj okretaja pri ustaljenoj vožnji
$n_2$	$\text{min}^{-1}$	potreban broj okretaja pri vožnji uzbrdo
$n_{m3}$	$\text{min}^{-1}$	potreban broj okretaja motora pri vožnji uzbrdo
$n_N$	$\text{min}^{-1}$	nazivna brzina vrtnje motora
$p$	$\text{N/mm}^2$	bočni tlak
$p_{dop}$	$\text{N/mm}^2$	dopušteni bočni tlak
$P$	W	snaga
$P_1$	W	snaga pri ustaljenoj vožnji
$P_2$	W	snaga pri akceleraciji
$P_3$	W	snaga pri vožnji uzbrdo
$P_m$	W	potrebna snaga motora
$r$	mm	polumjer
$S$	/	faktor sigurnosti
$S_{post}$	/	postojeća sigurnost
$S_{potr}$	/	potrebna sigurnost
$t$	s	vrijeme ubrzanja
$T$	h	zahtijevano vrijeme rada uređaja
$T_1$	Nm	potreban moment pri ustaljenoj vožnji
$T_2$	Nm	potreban moment pri akceleraciji
$T_3$	Nm	potreban moment pri vožnji uzbrdo
$T_b$	h	potrebno vrijeme punjenja
$T_K$	$\text{mNm}$	moment motora pri vožnji uzbrdo
$T_m$	Nm	moment motora pri ustaljenoj vožnji
$T_{m2}$	Nm	potreban moment u slučaju ubrzavanja
$T_{m3}$	Nm	moment motora pri vožnji uzbrdo
$T_N$	$\text{mNm}$	nazivni moment motora
$T_{R1}$	Nm	zahtijevani moment na reduktoru pri ustaljenoj vožnji

$T_{R3}$	Nm	zahtijevani moment na reduktoru pri vožnji uzbrdo
$v$	m/s	brzina vožnje
$v_1$	m/s	brzina pri ustaljenoj vožnji
$v_2$	m/s	brzina pri vožnji uzbrdo
$V_s$	L	stvarni volumen spremnika
$V_z$	L	potrebni volumen spremnika
$W$	mm <sup>3</sup>	moment otpora
$x$	/	broj loptica
$\alpha$	°	nagib uzbrdice
$\alpha_0$	/	faktor čvrstoće materijala
$\beta_{kf}$	/	faktor zareznog djelovanja kod savijanja
$\beta_{kf2}$	/	faktor zareznog djelovanja kod savijanja
$\beta_{kt}$	/	faktor zareznog djelovanja kod uvijanja
$\beta_{kt1,4}$	/	faktor zareznog djelovanja kod uvijanja
$\eta$	/	faktor iskoristivosti prostora, faktor korisnosti reduktora
$\sigma_f$	MPa	naprezanje na savijanje svornjaka
$\sigma_{fDI}$	MPa	trajna dinamička čvrstoća pri istosmjernom savijanju
$\sigma_{fDN}$	MPa	trajna dinamička čvrstoća za naizmjenično promjenjivo naprezanje pri savijanju
$\sigma_{red}$	MPa	reducirano naprezanje
$\tau_a$	MPa	naprezanje na odrez
$\tau_{adop}$	MPa	dopušteno naprezanje na odrez
$\tau_{tDI}$	MPa	trajna dinamička čvrstoća pri istosmjernom uvijanju
$\varphi$	/	faktor udara

**SAŽETAK**

Tema ovog diplomskog rada je koncipiranje i konstruiranje uređaja za skupljanje golf loptica. U radu su navedene opće informacije o golfu i golf terenima, te su istraženi relevantni patenti i konkurentni uređaji na tržištu. Postavljeni su ciljevi razvoja i tehnička specifikacija. Određene su funkcije uređaja i načini ispunjavanja tih funkcija, uz pomoć metode funkcijске dekompozicije i morfološke matrice. Napravljena su tri koncepta od kojih je vrednovanjem izabran najbolji koncept za detaljnu razradu. U razradi je napravljen odabir komponenti te provjera dijelova s obzirom na mehaničku čvrstoću. Naposljetku, pomoću 3D modela uređaja izrađenog u CAD softveru, opisane su komponente uređaja i princip rada, te je izrađena tehnička dokumentacija.

Ključne riječi: razvoj proizvoda, golf loptica, uređaj za skupljanje, baterija

**SUMMARY**

The topic of this master's thesis is design and development of a device for collecting golf balls. The paper provides general information about golf and golf courses, and researches relevant patents and competitive devices on the market. Firstly, development goals and technical specification were set. The functions of the device and the ways of fulfilling these functions were determined, with the help of the functional decomposition and the morphological matrix methods. Three concepts were created, from which the best concept was selected for detailed development. During the development, the selection of components was made and the key elements were checked with regard to mechanical strength. Finally, using a 3D model of the device created in CAD software, the components of the device and the principle of operation were described, and the technical documentation was created.

Key words: product development, golf ball, collecting device, battery

## 1. UVOD

### 1.1. Golf

Golf je sportska igra s palicom i lopticom u kojoj igrači pokušavaju sa što manje udaraca ubaciti lopticu u rupu. S obzirom na udaljenost od rupe, vrstu udarca i položaj loptice, koristi se više palica, koje se razlikuju prema materijalu, težini veličini i obliku glave [1].

Prvi zapisi o igri nalik na golf su iz doba starog Rima, gdje se igrala igra zvana paganica, koja se igra sa zakriviljenim štapom i kožnom lopticom [2]. Moderni golf kakav se danas igra se razvio u 15. stoljeću u Škotskoj. Danas je golf rasprostranjen po cijelom svijetu, a najviše se igra u SAD-u, Velikoj Britaniji i Australiji. U tim državama se održavaju i 4 glavna prvenstva u golfu: The Masters, US Open i PGA prvenstvo u SAD-u, te Britanski otvoreni u Velikoj Britaniji [3].

Prvi teren za golf u Hrvatskoj je postojao već 1922. na Brijunima, a prvi klub je osnovan 1929. godine u Zagrebu. Hrvatski golf savez je osnovan 1992., a prvo državno prvenstvo je održano 1993. godine.



Slika 1. Najpoznatiji golfer Tiger Woods u zamahu

## 1.2. Golf teren

Golf tereni se najčešće sastoje od igrališta i vježbališta. Igralište se sastoji od niza rupa, a na svakoj rupi se nalazi početno područje, green – područje vrlo kratke trave (do 5 mm), fairway područje gdje je visina trave do 5 do 20 mm, grubo područje te područje divlje trave izvan igre. Osim travnatih područja, postoje i takozvane opasnosti koje služe kao prepreke, poput jezera, potoka, područja s pijeskom i sl. Standardno golf igralište ima 18 rupa, no neka igrališta imaju po 9 ili čak manje rupa. Prosječna veličina golf igrališta je oko 65 hektara [4].



Slika 2. Karta igrališta s 18 rupa

Vježbalište se sastoji područja za vježbanje kratkih udaraca i ubacivanja loptice u rupu te pucališta tj. područja za vježbanje dugih udaraca. Vježbanje dugih udaraca može također biti i zasebna aktivnost za amaterske golfere koji nemaju vremena za igranje pune partije golfa. Iz tog razloga, pucališta su ponekad zasebni objekti, odvojeni od igrališta. Prosječna veličina pucališta je oko 10 hektara [5].



Slika 3. Pucalište

### 1.3. Prikupljanje loptica

Na golf igralištu igrači skupljaju svoje loptice, tako da su jedine loptice koje djelatnici golf terena trebaju prikupljati one koje su izgubljene ili napuštene. S druge strane, na pucalištu golferi unajme broj loptica koje žele ispučati te ne skupljaju te loptice već je to zadaća djelatnika golf terena. Stoga je potreba za efikasnim prikupljanjem loptica puno veća na pucalištu. Najčešća rješenja za prikupljanje loptica trenutno su kolica koja djelatnici ručno guraju te priključci za golf vozila. Zbog repetitivnosti i zamornosti posla, kao i opasnosti od udara loptice ako djelatnik skuplja loptice za radno vrijeme pucališta, javlja se potreba za razvijanjem autonomnog rješenja.



Slika 4. Priklučak za skupljanje loptica za golf vozilo

## 2. ANALIZA TRŽIŠTA

### 2.1. Patenti

Pregledom baze patenata uz pomoć Google Patents i Espacenet tražilica možemo pronaći razne ideje i inspiraciju za izvedbu mehanizama potrebnih za rad stroja. U nastavku su navedeni najinteresantniji i najrelevantniji patenti.

#### 2.1.1. Patent US7462010B1: Golf ball collection apparatus with reversal protection

FIG. 1

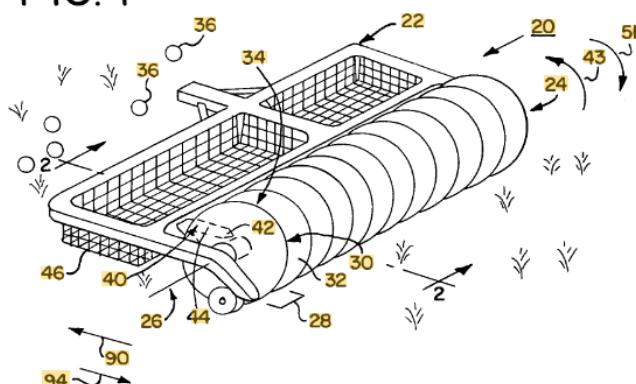
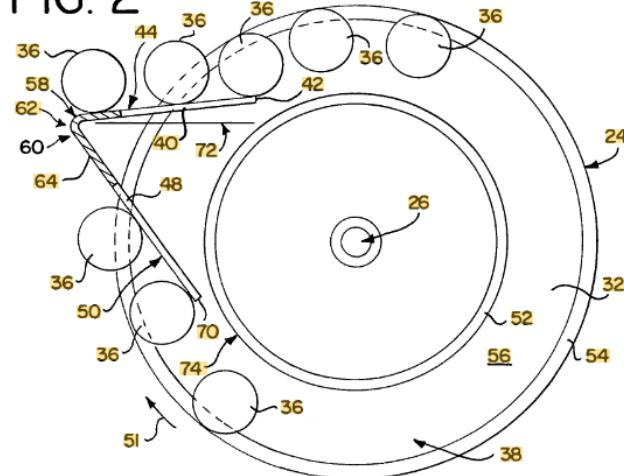


FIG. 2



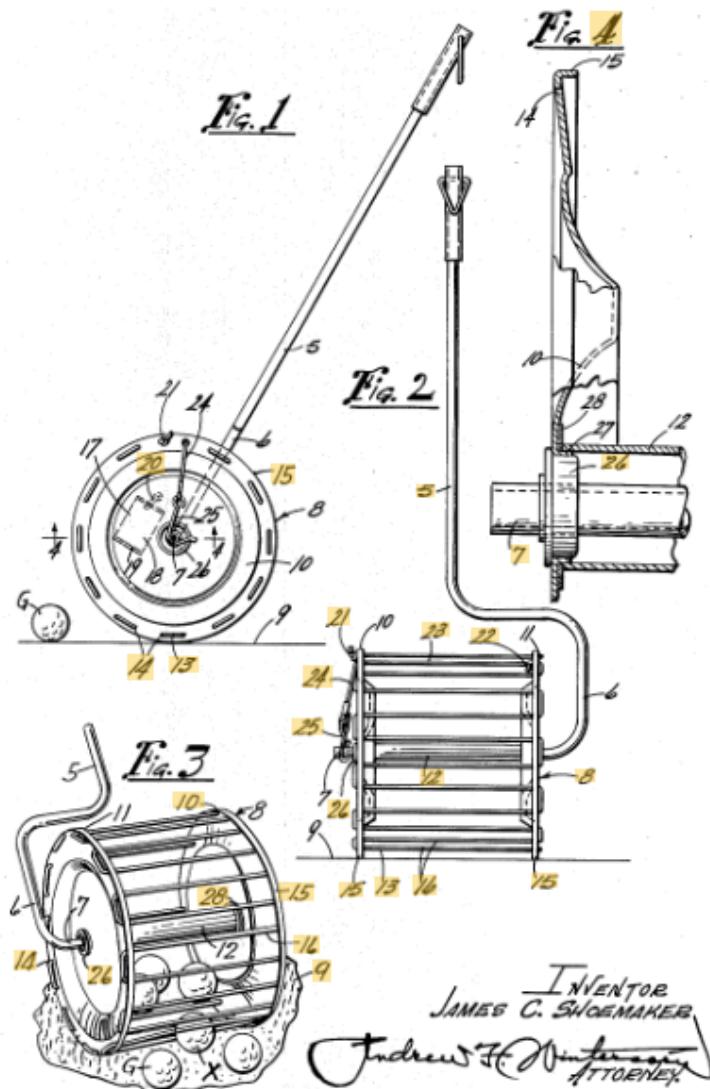
Slika 5. Patent US7462010B1

Prvi patent pokazuje način skupljanja loptica pomoću valjka s elastičnim diskovima, što je glavna metoda skupljanja loptica među postojećim proizvodima. Valjak se kotrlja i prelazi preko loptica koje zapnu između dva elastična diska. Razmak između diskova mora biti dovoljno širok da loptica može s relativnom lakoćom ući u prostor između diskova te dovoljno

uzak da loptica ne ispadne van dok ne dođe do „prstiju“ koji će je izbaciti iz valjka u spremnik.

Patent je prijavljen 2006. godine od strane tvrtke Wittek Golf Supply Co Inc [6].

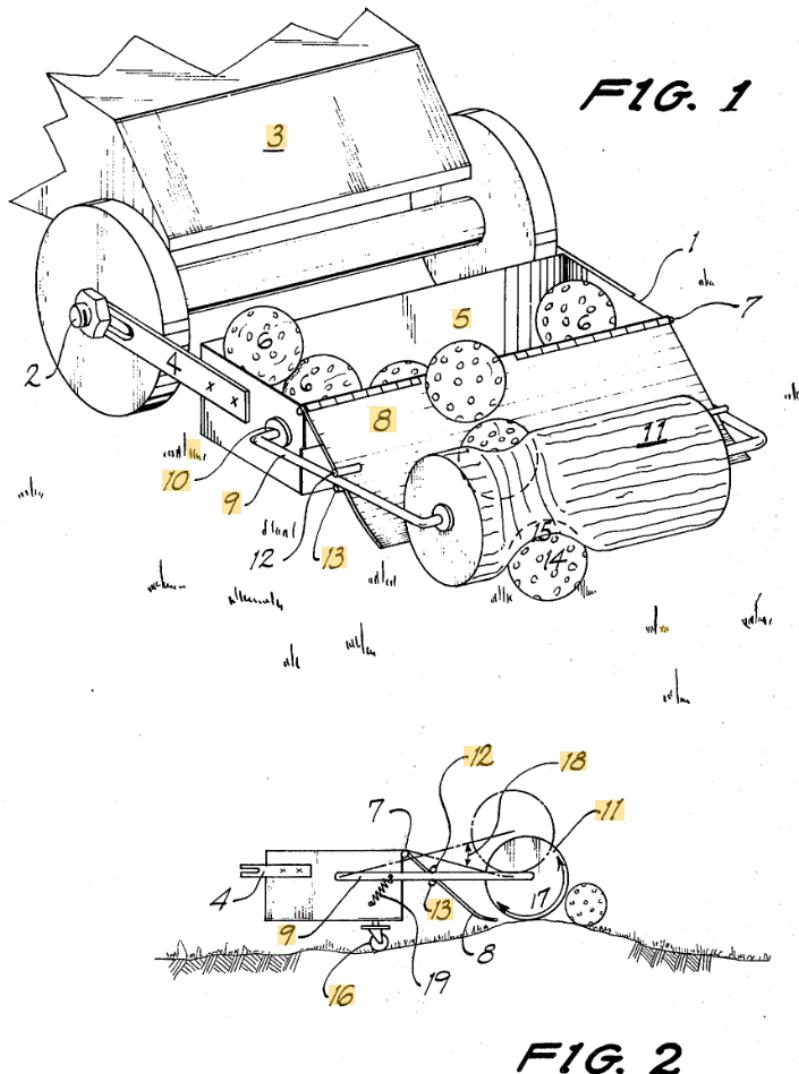
### 2.1.2. Patent US3227298A: Rollable retriever for golf balls and the like



Slika 6. Patent US3227298A

Ovaj patent opisuje mehanizam za skupljanje golf loptica pomoću valjka s elastičnim štapovima. Mehanizam je sličan mehanizmu iz prvog patentata, opet otvor između štapova moraju biti dovoljno široki da loptica uđe u valjak, tj. da se ne zabije u tlo, a s druge strane dovoljno uski da loptice koje su ušle u valjak ne ispadnu van. Pražnjenje ovakvog spremnika je definitivno manje zgodno nego pražnjenje spremnika uređaja iz prvog patentata. Ovaj patent je prijavljen 1964. godine od strane James C Shoemaker [7].

### 2.1.3. Patent US3989151A: Golf ball retriever



Slika 7. Patent US3989151A

Posljednji interesantan i relevantan patent prikazuje uređaj za prikupljanje golf loptica pomoću četkastog mekanog valjka. Valjak se deformira i „zagrabi“ lopticu te ju nabaci na nagnutu ploču koja loptice vodi do spremnika. Upitna je funkcionalnost mehanizma u slučaju veće trave ili kada su loptice blago zabijene u zemlju. Također, ploča koja vodi loptice u spremnik bi trebala imati letvice sa strane kako se ne bi loptice prosipale prije nego li dođu do spremnika. Patent je prijavljen 1975. godine od strane tvrtke Lawrence Peska Associates Inc [8].

## 2.2. Postojeći proizvodi

Pregledom tržišta pronađeno je više proizvoda koji rade na relativno sličan način. Neki uređaji su dostupni za prodaju odmah, a neki su još u razvojnoj fazi.

### 2.2.1. Korechi Pik'r



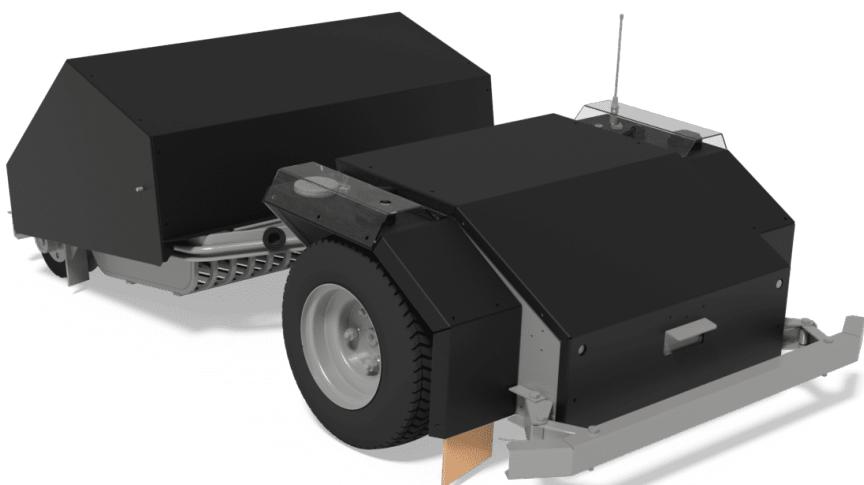
Slika 8. Korechi Pik'r

Robot Pik'r kompanije Korechi je prema navodima firme prvi robot za skupljanje golf loptica na svijetu, predstavljen 2019. godine. Radi se o autonomnom vozilu pogonjenom litij ionskim baterijama koji gura 3 ili 5 modula za skupljanje golf loptica. Motivacija firme za plasiranje ovakvog proizvoda na tržište je ublažavanje posljedica manjka radne snage u industriji i povećanje sigurnosti u poslovima. Pik'r je opremljen s GNSS RTK sustavom s dvije antene koji mu omogućuje pozicioniranje preciznosti ispod jednog centimetra. Za izbjegavanje kolizije s preprekama koristi kamere i umjetnu inteligenciju. Povezan je s internetom te ga je moguće kontrolirati od bilo kuda u svijetu. Pokreće se pomoću dva pogonska kotača s 18 inčnim gumama za kosilice i 2 pomoćna zakretna kotača. Također, prema potrebama kupca može biti opremljen s dodatcima poput dodatnih baterija, LED svjetala, mjesta za montažu dodatnih senzora, a i može se čak izabrati i boja uređaja [9]. U nastavku su prikazane specifikacije koje uređaj s 5 modula za skupljanje golf loptica.

**Tablica 1. Podaci o robotu Korechi Pik'r**

Dimezije	2100x1400x900
Masa	390 kg
Maksimalna brzina	7 km/h
Pokriveno područje	28328 m <sup>2</sup> /h
Veličina spremnika	4000 loptica
Baterija	13 sati autonomije

### 2.2.2. Range Servant Robotic Picker

**Slika 9. Range Servant Robotic Picker**

Robotic Picker tvrtke Range Servant je još jedan električni robot za skupljanje golf loptica koji se od prethodnog robota razlikuje najviše po dimenzijama. Ovaj robot ima samo jedan modul za skupljanje loptica pa zbog toga ima višestruko manji spremnik za loptice te manje potencijalno područje skupljanja loptica. Loptice skuplja na isti način kao i prethodni robot, pomoću valjka s fleksibilnim diskovima. Za rad koristi GPS i senzore blizine, preciznost pozicioniranje je ispod 2 cm, te može raditi danju i noću. Jedna dodatna funkcija ovog robota je da može izbaciti loptice u uređaj za pranje loptica kojeg ista tvrtka također proizvodi. Zanimljivo je i to da ovaj robot nije dostupan za prodaju nego samo za mjesecni najam [10]. U nastavku su navedene bitnije specifikacije uređaja.

**Tablica 2. Podaci o robotu Range Servant Robotic Picker**

Kapacitet spremnika	500 loptica
Loptica skupljenih u danu	20400 loptica
Preciznost pozicioniranja	2cm

### 2.2.3. Golf Robotics Range Collector



**Slika 10. Golf Robotics Range Collector**

Robot Range Collector tvrtke Golf Robotics je zasad najkompaktniji uređaj na ovoj listi konkurenata. To postiže na način da integrira modul za skupljanje loptica u tijelo uređaja. Opet se radi o električnom uređaju koji se kreće pomoću 2 pogonska kotača te loptice skuplja sa valjkom s fleksibilnim diskovima. Skretanje je omogućeno pomoću motoriziranog zakretnog prednjeg kotača. Robot također može izbacivati loptice u uređaj za pranje loptica. Masa uređaja je ispod 25 kilograma, a proizvođač tvrdi da je to važno zbog smanjenja uništavanja terena i zabijanja loptica u tlo. Za razliku od Robotic Picker-a, ovaj uređaj je dostupan i za prodaju i za najam [11]. Najbitniji podaci su prikazani u sljedećoj tablici.

**Tablica 3. Podaci o robotu Golf Robotics Range Collector**

Maks. veličina radnog područja	45000 m <sup>2</sup>
Brzina	5 km/h
Autonomija	4 sata
Brzina punjenja	90 min
Zapremnina spremnika	500 loptica
Težina	25 kg
Dimenzije	1050x900x300
Cijena	\$9500 jednokratno / \$450 mjesечно

## 2.2.4. Steele Robotics G-Bot



**Slika 11. Steele Robotics G-Bot**

G-Bot je još jedan vrlo kompaktan i lagan skupljač golf loptica, no modul za golf loptice je odvojiv i može se zamijeniti sa drugim modulom (poput košare). Tvrta ga predstavlja kao prvog robota za skupljanje golf loptica sa open source softwareom što znači da korisnik, ukoliko je vješt u programiranju, može promijeniti ponašanje robota, a također su moguće i nadogradnje softwarea od strane kompanija koje nisu u vezi s proizvođačem robota. Kreće se pomoću dva prednja pogonska kotača i stražnjeg malog zakretnog kotača. Za razliku od prethodna 2 uređaja, G-Bot nema mogućnost ispuštanja golf loptica na referentnoj točki [12]. Specifikacije su navedene u sljedećoj tablici.

**Tablica 4. Podaci o robotu Steele Robotics G-Bot**

Brzina	10 km/h
Autonomija	4,5-6 sati
Brzina punjenja	90 min
Zapremnina spremnika	500 loptica
Težina	20 kg
Maks. kut uspona	45°

### 2.2.5. Echo Robotics Golf Ball Picker



**Slika 12. Echo Robotics Golf Ball Picker**

Robot za skupljanje golf loptica tvrtke Echo Robotics je još jedan uređaj pokretan elektromotorima koji skuplja loptice valjkom s diskovima. Ono po čemu se razlikuje od ostalih je to da ima 4 kamere koje gledaju prema naprijed i vjerojatno daju uređaju bolju percepciju dubine. Naprijed ima 3 zakretna kotačića te ima dvije bočne letve koje usmjeravaju loptice prema valjku radi boljeg pokrivanja područja u jednom prolazu. Skretanje je omogućeno pomoću stražnja dva pogonska kotača s zasebnim motorima. Uz robot dolazi i stanica za punjenje. Osim robota za skupljanje golf loptica tvrtka nudi i robota za košnju trave te je njihov rad kontroliran iz iste aplikacije te si zbog toga neće prepriječiti put (neće se kositi trava tamo gdje loptice nisu pokupljene i sl.) [13]. Više specifikacija je navedeno u sljedećoj tablici.

**Tablica 5. Podaci o robotu Echo Robotics Golf Ball Picker**

Kapacitet spremnika	300 loptica
Maks. prikupljenih loptica na dan	12500 loptica
Maks. površina područja prikupljanja	24281 m <sup>2</sup>
Brzina	3.5 km/h
Širina prikupljanja	1034 mm
Težina (s baterijama)	85.3 kg
Dimenzije	1189x1311x488 mm

### 2.3. Usporedba postojećih proizvoda

Pregledom svih postojećih proizvoda možemo uvidjeti da su uređaji više slični nego različiti. Svi su električni, svi skupljaju loptice pomoću valjka s elastičnim diskovima, svi se kreću pomoću kotača te skreću razlikom brzina okretanja tih kotača. Najveće razlike su u veličinama samih uređaja, kao i u tome je li modul za skupljanje loptica odvojen ili integriran u tijelo uređaja. Iako su proizvođači dosta oskudni s podacima koje o svojim uređajima navode, kada se svi podaci različitih uređaja okupe, može se dobiti bolja slika o tome kakav bi novi konkurentni proizvod na tržištu trebao biti.

**Tablica 6. Usporedba postojećih proizvoda**

	Pik'r	Robotic Picker	Range Collector	G-Bot	Golf Ball Picker
Dimenzije	2100x1400x 900	/	1050x900x 300	/	1189x1311x 488
Težina	390 kg	/	25 kg	20 kg	85.3 kg
Maks. brzina	7 km/h	/	5 km/h	10 km/h	3.5 km/h
Učinak	28 328 $m^2/h$	20400 loptica dnevno	12000 loptica dnevno	/	12500 loptica dnevno
Veličina spremnika	4000 loptica	500 loptica	500 loptica	500 loptica	300 loptica
Baterija	13 h	/	4 h Punjene: 90 min	4.5-6 h Punjene: 90 min	/
Cijena	/	Mjesečna preplata	\$9500 jednokratno / \$450 mjesečno	/	/

### 3. KONCIPIRANJE PROIZVODA

#### 3.1. Ciljevi razvoja

Kako bi se moglo uopće početi s stvaranjem koncepta proizvoda, ciljevi razvoja moraju biti jasno zadani. Do ciljeva razvoja se dolazi razmišljanjem o najbitnijim pitanjima na koje proizvod mora odgovoriti, poput glavne zadaće uređaja, kome je namijenjen, koje uvjete mora zadovoljiti, koji su limiti itd. Na taj način dobiveni ciljevi razvoja su slijedeći:

- autonomno i efikasno skupljanje golf loptica
- izbacivanje golf loptica u referentnoj točki
- sigurnost svih ljudi u blizini uređaja
- jednostavno korištenje
- tihi rad
- kompaktne dimenzije
- mala masa
- minimalan utjecaj na teren

#### 3.2. Tehničke karakteristike

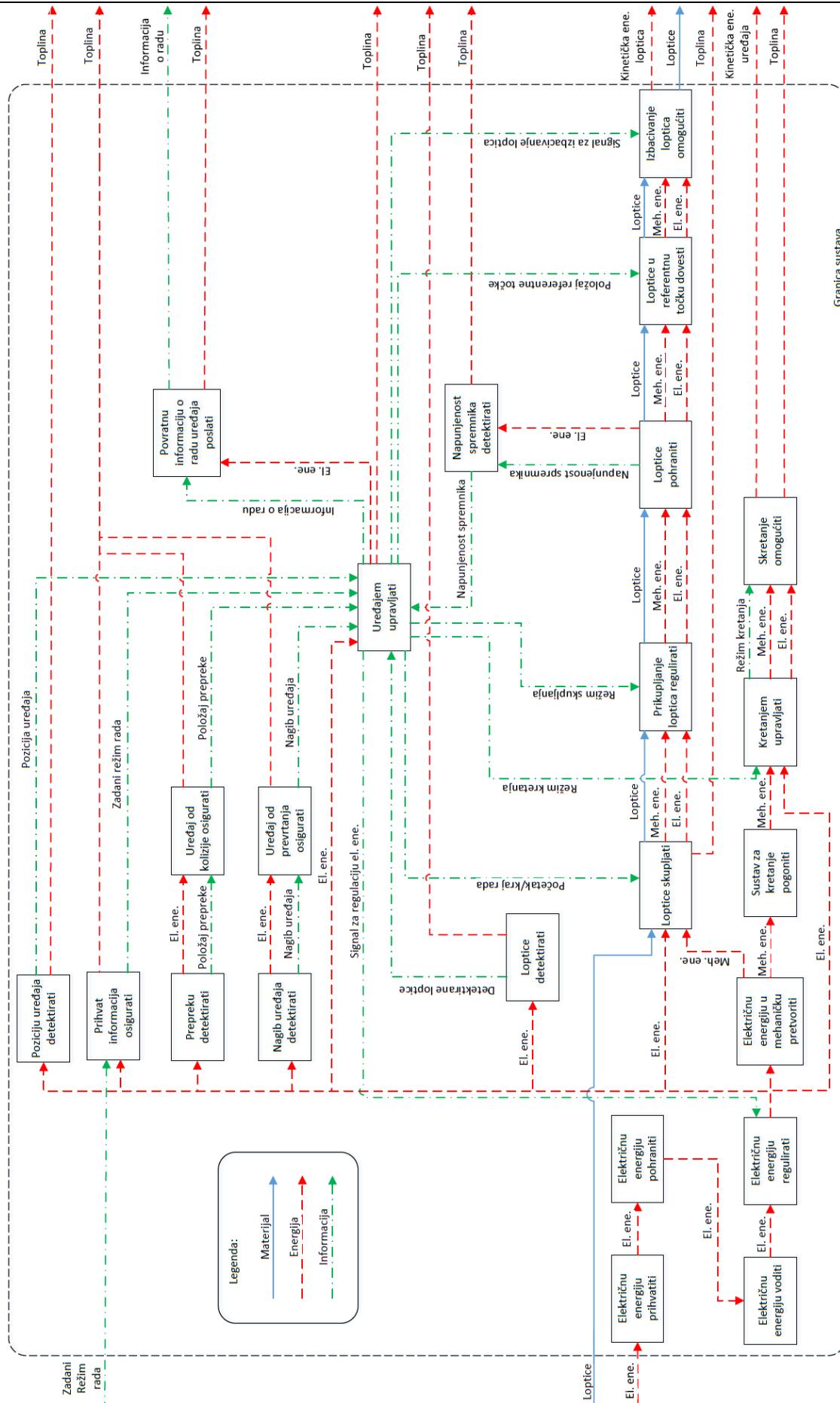
Potrebno je definirati zahtijevane karakteristike uređaja kako bi bio konkurentan na tržištu. Postojeće proizvode možemo svrstati u dvije kategorije, velike uređaje koji imaju jako velik spremnik za loptice i mogu dnevno veliku površinu pokriti, te manje uređaje s malim spremnicima. Odlučeno je razvijati uređaj koji će biti konkurentan manjim postojećim robotima iz par razloga. Manji uređaji baš zbog svoje manje veličine manje ometaju korisnike golf terena te ne izgledaju kao da bi im mogli ugroziti sigurnost. Također, manja veličina robota znači i manju masu, a manja masa smanjuje uništavanje trave na terenu. S obzirom na to da su roboti za skupljanje golf loptica relativno nov izum i da većina golf terena i dalje ručno skuplja golf loptice, razumno je prepostaviti da ako se golf teren i odluči nabaviti takav uređaj, da će on biti u većini slučajeva manjih dimenzija. Naposljetku, pametnom organizacijom puta robota se može kompenzirati njegov manjak kapaciteta, npr. određivanjem područja na kojem je inače najveća koncentracija loptica kao površinu koju treba češće prijeći, dok područja gdje loptice rijetko završe robot može obići rjeđe.

Odabirom razvoja manjeg uređaja, od konkurenata su relevantna 3 robota: Range Collector, G-Bot i Golf Ball Picker. Detaljnijim pregledom navedenih specifikacija uređaja i fotografija, uočeno je da dva roboata, Range Collector i G-Bot imaju specifikacije koje su relativno nerealne. Na primjer, da bi se postigla masa manja od 20 kg, konstrukcija uređaja mora biti izvedena cijela od plastike, te je pouzdanost tih uređaja upitna. Ne pomaže ni to što je tvrtkama tih roboata to jedini proizvod, pa je zapravo upitno postoje li uopće ti roboti u stvarnosti. Preostaje još treći robot, Golf Ball Picker kompanije Echo Robotics. Robot ima metalnu konstrukciju te je zbog toga težak 85 kg. Također, tvrtka osim ovog proizvoda nudi i autonomnu kosilicu trave koja je već na tržištu što znači da je veća vjerojatnost da su navedene specifikacije realne. Iz tog razloga, tražene specifikacije novog proizvoda će se odrediti tako da budu konkurentne robotu Golf Ball Picker te su one sljedeće:

- Kapacitet spremnika: 500 loptica
- Okvirne dimenzije: 1200x1000x400 mm
- Maksimalna brzina: 5 km/h
- Težina: < 85 kg
- Trajanje baterije: 6 h
- Maksimalni kut uspona: 30°

### 3.3. Funkcijska dekompozicija

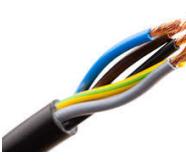
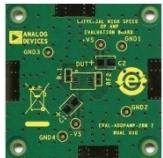
Sada kada je jasno koje zadaće proizvod mora ispunjavati, potrebno je razložiti te zadaće na pojedinačne funkcije kako bi smo lakše odlučili koje sve komponente uređaj mora sadržavati. U tu svrhu primjenjujemo metodu funkcijске dekompozicije.

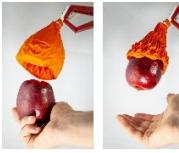


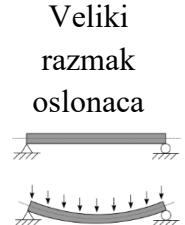
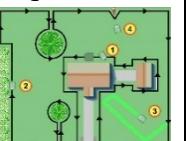
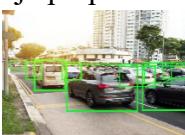
### 3.4. Morfološka matrica

Nakon prepoznavanja osnovnih funkcija u funkcijskoj dekompoziciji, potrebno je pronaći što više načina na koje se te funkcije mogu izvesti, bez obzira na praktičnost i realističnost rješenja. Pronađena rješenja navedena su u morfološkoj matrici.

Tablica 7. Morfološka matrica

Funkcije	Rješenja				
	a	b	c	d	e
1. El. en. prihvati	Utičnica 	Utikač 	Indukcija 		
2. El. en. pohraniti	Baterija 	Kondenzator 	Gorivi članci 	Zamašnjak 	Spremnik pod tlakom 
3. El. en. voditi	Vodič 	Bežično 	Razdjelnik 	Tiskana pločica 	Razvodna kutija 
4. El. en. regulirati	Inverter 	Regulator napona 	Tranzistor 	Potenciometar 	Frekvencijski pretvarač 
5. El. en. u mehaničku pretvoriti	Elektromotor 				
6. Kretanje ostvariti	Kotači 	Gusjenice 	Propeler 	Noge 	Zračni jastuk 

<b>7. Loptice skupljati</b>	Robotska ruka 	Vakuum 	Rešetkasti valjak 	“disk” valjak 	Jednosmjerna cijev 
<b>8. Loptice pohraniti</b>	Običan spremnik 	Vreća 	Mreža 	Rešetkasti spremnik 	
<b>9. Izbacivanje loptica omogućiti</b>	Odvojivi spremnik 	Pokretna traka 	Kiper mehanizam 	Pužni konvejer 	Otvor na dnu 
<b>10. Napunjenost spremnika detektirati</b>	Senzor težine 	Brojač loptica 	Optički senzor 		
<b>11. Uredajem upravljati</b>	PLC 	Mikrokontroler 	Računalo 		
<b>12. Loptice detektirati</b>	Videokamera 	Lidar 	Radar 	Ultrazvučni senzor 	
<b>13. Prepreke detektirati</b>	Videokamera 	Lidar 	Radar 	Ultrazvučni senzor 	

<b>14. Prihvati informaciju osigurati</b>	GSM antena 	WiFi 	Bluetooth 	Žično 	
<b>15. Nagib uređaja detektirati</b>	Žiroskop 	Magnetometar 	Digitalna libela 	Akcelerometar 	
<b>16. Uredaj od prevrtanja osigurati</b>	Nisko težište 	Veliki razmak oslonaca 	Pokretljivi uteg 	Pomoćni kotač 	
<b>17. Povratnu informaciju o radu uređaja poslati</b>	GSM antena 	WiFi 	Bluetooth 	Žično 	
<b>18. Poziciju uređaja detektirati</b>	GPS 	Videokamera 	Mapiranje prostora 		
<b>19. Uredaj od kolizije osigurati</b>	Branici 	Prepoznavanje je prepreka 			

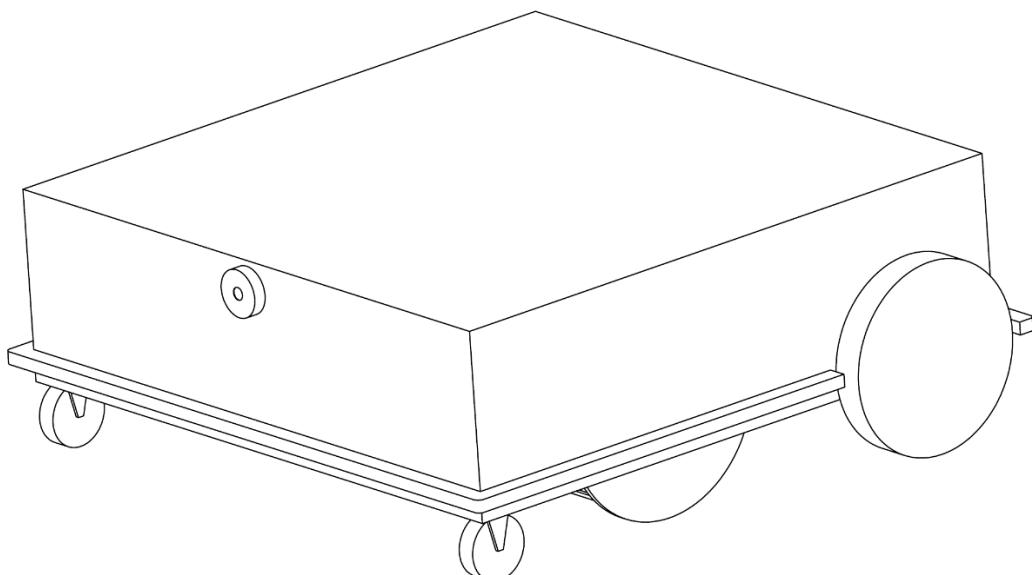
### 3.5. Koncepti

Iako su u morfološkoj matrici navedena svakakva kreativna rješenja bez obzira koliko nepraktična bila, koncepti će biti izvedeni na realan način kako bi finalni koncept za razradu bio što bolji. Stoga će određeni elementi biti zajednički svim konceptima, poput pohrane električne energije u baterijama, akcelerometar za detektiranje nagiba, računalo za upravljanje uređaja itd.

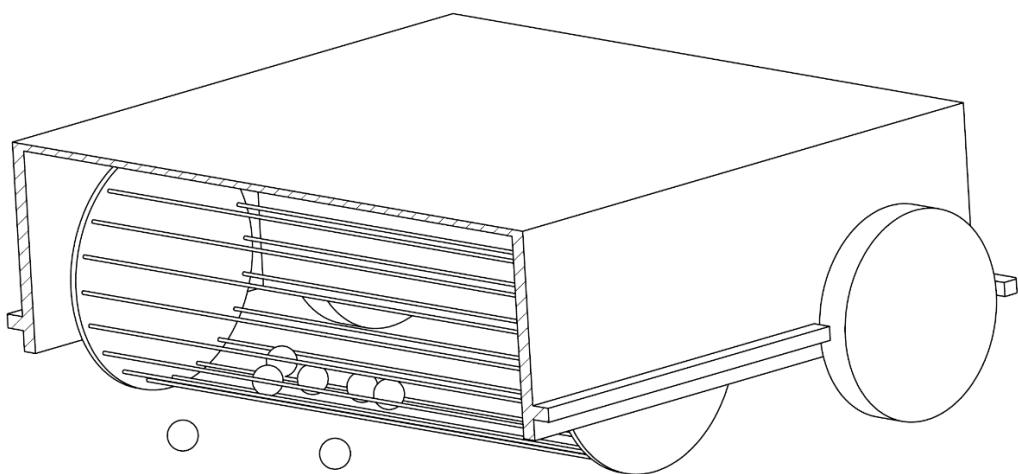
#### 3.5.1. Koncept 1

Koncept 1 se kreće pomoću kotača. Otraga ima dva pogonska kotača od kojih svaki ima svoj zaseban elektromotor. Naprijed se nalaze dva zakretna kotačića. Skretanje uređaja se ostvaruje razlikom brzina okretanja stražnja dva kotača. Prikupljanje loptica se ostvaruje pomoću rešetkastog valjka koji se nalazi unutar tijela robota. Robot je opremljen videokamerom s kojom pomoću strojnog učenja može prepoznavati golf loptice i prepreke. Napunjeno spremnika se prati brojanjem svih loptica koje videokamera vidi i odredi da će ih robot pokupiti. Područje rada se unaprijed zadaje putem mobilne aplikacije. Za bežičnu komunikaciju uređaj je opremljen WiFi modulom.

Kao dodatnu zaštitu od kolizije uređaj ima gumeni branik sa svih strana. Od prevrtanja je osiguran niskim težištem. Uređaj se puni žično i potrebno ga je ručno priključiti.



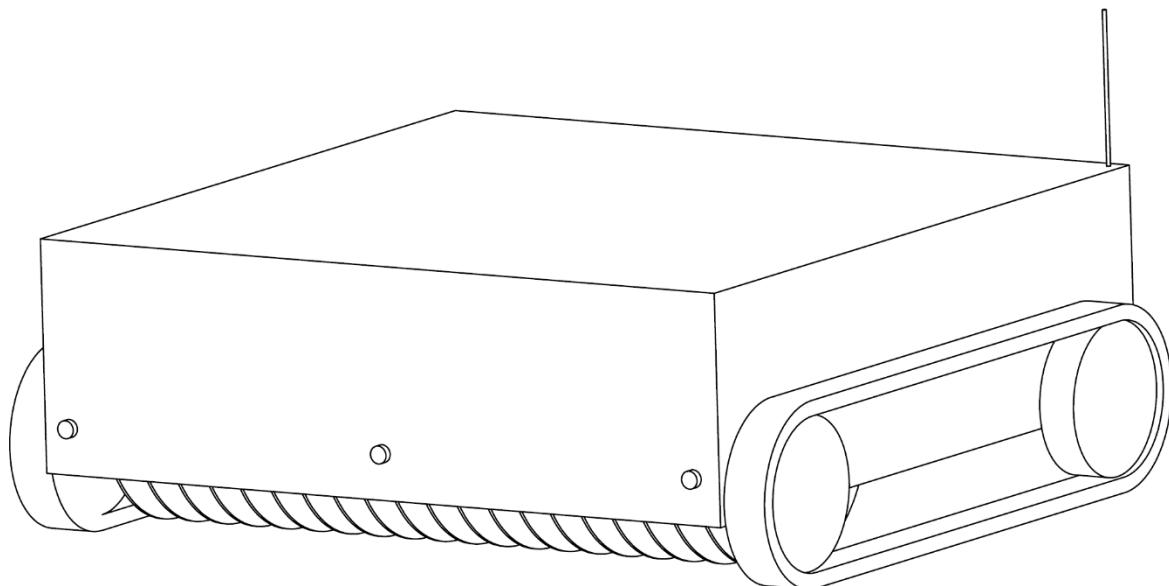
Slika 13. Skica koncept 1



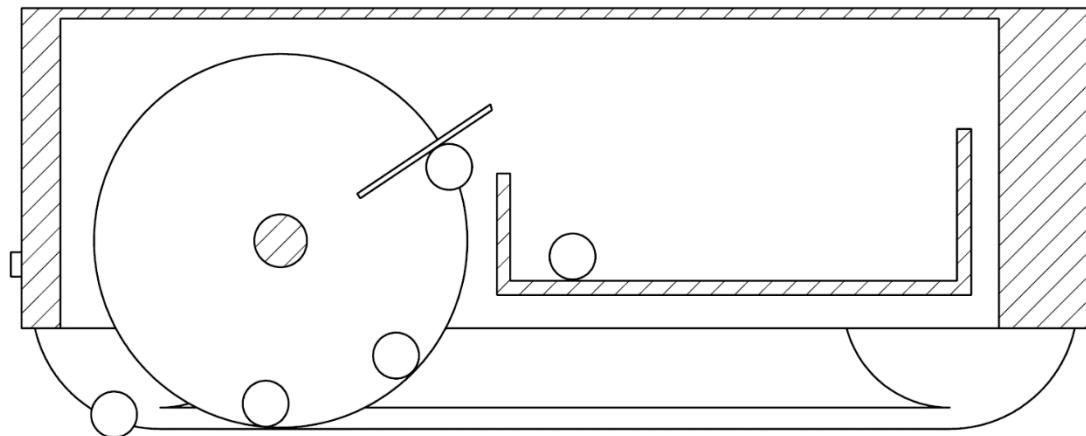
**Slika 14. Princip rada koncept 1**

### 3.5.2. Koncept 2

Koncept 2 se kreće pomoću gusjenica pokretanih s 2 elektromotora. Kao mehanizam za skupljanje loptica koristi valjak s fleksibilnim diskovima. Loptice se skupljaju u spremnik koji ima vrata na dnu zbog mogućnosti pražnjenja spremnika u referentnoj točki. Napunjenoš spremnika se detektira optičkim senzorom. Uređaj je opremljen ultrazvučnim senzorima za detekciju prepreka, a prikupljanje golf loptica se vrši prema predodređenoj ruti u aplikaciji. Robot je opremljen GSM antenom i GPS modulom tako da ga je moguće kontrolirati od bilo gdje na svijetu. Punjenje je automatsko i bežično u baznoj stanici.



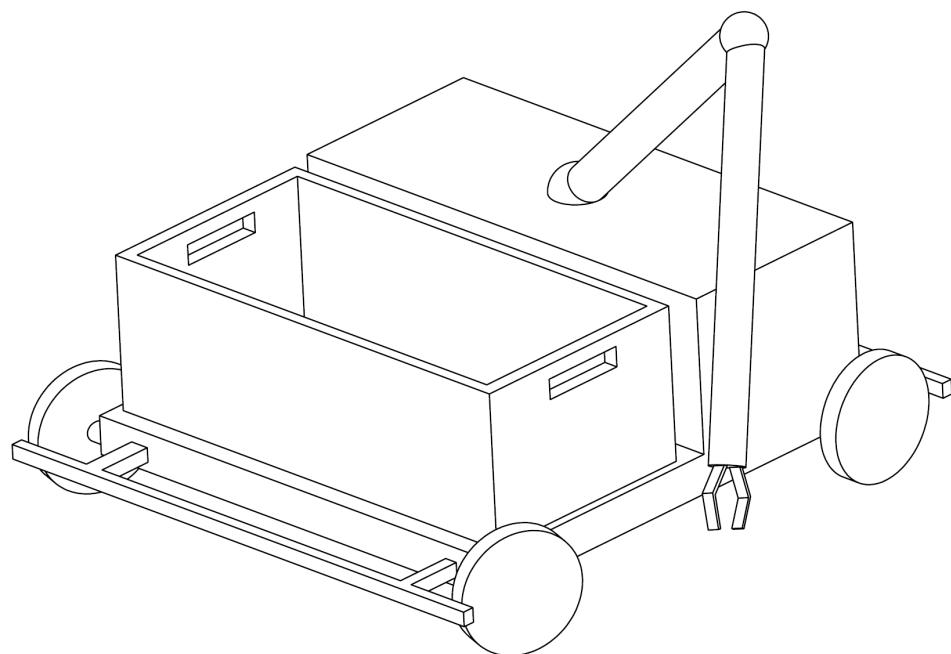
**Slika 15. Skica koncept 2**



Slika 16. Princip rada koncept 2

### 3.5.3. Koncept 3

Koncept 3 se kreće pomoću kotača. Jedan elektromotor pogoni stražnje kotače, a skretanje je omogućeno zakretanjem prednjih kotača. Loptice se skupljaju pomoću robotske ruke u spremnik koji je odvojiv tako da korisnik može samo zamijeniti napunjeni spremnik s praznim. Napunjenost spremnika se detektira s senzorom težine. Uređaj nema opremu za bežičnu komunikaciju, već ga se pri prvom korištenju provede po granici područja gdje treba skupljati loptice. Nakon toga uređaj za svaki put zapamti granice područja, a za snalaženje unutar tih granica koristi videokameru i algoritme za prepoznavanje prepreka i loptica. Uređaj je od prevrtanja osiguran smještanjem kotača na rubove uređaja. Također, kao zaštita uređaja od udaraca, s prednje i stražnje strane je gumeni branik.



Slika 17. Skica koncept 3

### 3.6. Vrednovanje i odabir finalnog koncepta

Najbolji koncept izabrat će se prema kriterijima koji proizlaze iz definiranja cilja razvoja. Ocjene su u rasponu od 1 do 5 gdje je 1 najlošije, a 5 najbolje. Finalni rezultat dobiva se zbrajanjem ocjena, a odabire se koncept s najvećim ukupnim zbrojem.

**Tablica 8. Ocjenjivanje koncepata**

Kriterij	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3
Efikasnost skupljanja loptica	4	5	2
Brzina rada	5	5	1
Sigurnost korisnika	5	5	4
Jednostavnost korištenja	2	5	4
Cijena izrade	5	5	1
Jednostavnost izrade	5	4	3
Kompaktne dimenzije	5	5	3
Mala masa	5	4	3
<b>Ukupno bodova</b>	<b>36</b>	<b>38</b>	<b>21</b>

Iz tablice možemo uvidjeti da je koncept 3 daleko najgori koncept. Skupljanje loptica pomoću robotske ruke je sporo i neefikasno, te je sama robotska ruka kompleksno i skupo rješenje. Koncept 1 i 2 su vrlo blizu prema ocjenama. Koncept 1 je malo bolji jer su kotači jednostavnije i lakše rješenje od gusjenica, ali mehanizam skupljanja loptica pomoću rešetkastog valjka ima ozbiljan nedostatak. Skupljači loptica koji rade na taj način su inače namijenjeni za ručnu uporabu, tj. kada je potrebno praznjenje spremnika, korisnik ručno razmakne rešetke i istrese loptice van. Također, veličina spremnika je limitirana veličinom valjka te vrlo brzo može doći do prosipanja loptica zbog prepunjjenja. Koncept 3 ima najbolji način skupljanja loptica, ali ga sputavaju gusjenice kao način pokretanja.

Prema zbroju ocjena, pobijedio je koncept 2. No, kada se pogledaju ocjene pojedinih stavki, može se uvidjeti da je najbolja kombinacija sustav kretanja od koncepta 1 i sustav prikupljanja loptica od koncepta 2, tako da će finalni koncept biti kombinacija ta dva koncepta.

## 4. RAZRADA I PRORAČUN FINALNOG KONCEPTA

Nakon određivanja najboljeg koncepta, potrebno ga je detaljno razraditi. Prvo će se odrediti potrebna masa loptica i dimenzije spremnika kako bi to mogli uzeti u obzir prilikom dimenzioniranja motora. Nakon određivanja snage motora slijedi određivanje potrebnih specifikacija baterije, spojki, dimenzija vratila i sl. Također će u razradi biti navedene specifikacije svih izabralih kupovnih komponenti.

### 4.1. Spremnik za loptice

#### 4.1.1. Volumen spremnika

Za izračunati potreban volumen za pohranu golf loptica, potrebno je znati volumen loptica i volumen praznog međuprostora. Maksimalna popunjenošć volumena napunjene sferama utvrđena je matematički i iznosi 78%, no u stvarnosti zbog neurednog slaganja loptica ona iznosi od 60% do 65% [14]. Iz toga slijedi potreban volumen spremnika

$$V_Z = x \cdot \frac{4 \cdot r^3 \pi}{3 \cdot \eta} = 500 \cdot \frac{4 \cdot 21,5^3 \pi}{3 \cdot 0,6} = 34,69 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \approx 35 \text{ L.} \quad (1)$$

gdje je

$r = 21,5 \text{ mm}$  – polumjer golf loptice,

$x = 500$  – zahtijevani broj loptica,

$\eta = 0,6$  – faktor iskoristivosti prostora.

Stvarni volumen spremnika iznosi

$$V_S = a \cdot b \cdot c = 1015 \cdot 350 \cdot 101 = 35,88 \text{ L,} \quad (2)$$

gdje je

$a = 1015 \text{ mm}$  – širina spremnika,

$b = 350 \text{ mm}$  – duljina spremnika,

$c = 101 \text{ mm}$  – dubina spremnika.

Spremnik volumenom zadovoljava!

#### 4.1.2. Masa tereta u spremniku

Masu tereta u spremniku čine masa golf loptica i sve nečistoće koje završe u spremniku uz loptice, poput zemlje i trave, koje ćemo uzeti u obzir s faktorom sigurnosti. Iz toga slijedi ukupna masa tereta

$$m_S = x \cdot m_L \cdot S = 500 \cdot 46 \cdot 1,1 = 25,3 \text{ kg}, \quad (3)$$

gdje je

$$\begin{aligned} m_L &= 46 \text{ g} && - \text{masa jedne loptice,} \\ S &= 1,1 && - \text{faktor sigurnosti zbog nečistoća.} \end{aligned}$$

#### 4.2. Odabir motora i reduktora

Za određivanje potrebne snage motora, razmatrati će se zahtjevi na motor u 3 slučaja: u slučaju ustaljene vožnje, u slučaju ubrzavanja te u slučaju vožnje uz nagib od 30 stupnjeva. Za odabir motora i reduktora će se uzimati u obzir najkritičnije vrijednosti.

##### 4.2.1. Ustaljena vožnja

Potrebna snaga motora računa se prema izrazu

$$P = \frac{F \cdot v \cdot S}{\eta}, \quad (4)$$

gdje je

$$\begin{aligned} F &\quad - \text{sila koju je potrebno savladati u vožnji,} \\ v_1 &= 5 \text{ km/h} \quad - \text{zahtijevana brzina kretanja robota na ravnoj podlozi,} \\ S &= 1,1 \quad - \text{faktor sigurnosti zbog gubitka u ležajevima i ostalih gubitaka,} \\ \eta &= 0,7 \quad - \text{faktor korisnosti reduktora.} \end{aligned}$$

Zbog malih brzina vožnje, u računanju sile potrebne za vožnju zanemareni su utjecaji vjetra i aerodinamike, stoga glavni utjecaj ima otpor kotrljanju. Otpor kotrljanju malih kotača na travi golf terena bi trebalo eksperimentalno utvrditi, no zasad možemo prepostaviti njegov iznos prema istraživanju otpora kotrljanju traktorskih kotača i kotača ATV vozila u dugoj i kratkoj travi [15]. Izraz za silu pri ustaljenoj vožnji je

$$F_1 = (m_S + m_U) \cdot g \cdot c = (25,3 + 61,6) \cdot 9,81 \cdot 0,1 = 85,22 \text{ N}, \quad (5)$$

gdje je

$$m_U = 61,6 \text{ kg} \quad - \text{masa uređaja s baterijama},$$

$$c = 0,1 \quad - \text{faktor otpora kotrljanja}.$$

Stoga slijedi

$$P_1 = \frac{85,32 \cdot 1,39 \cdot 1,1}{0,7} = 186 \text{ W}. \quad (6)$$

Za odabir motora potrebni su nam i izlazni moment i broj okretaja vratila pa ti izrazi glase

$$T_1 = F_1 \cdot \frac{d}{2} \cdot S = 85,22 \cdot \frac{350}{2} \cdot 1,1 = 16,41 \text{ Nm}, \quad (7)$$

$$n_1 = \frac{v_1}{\pi \cdot d} = \frac{1,39}{\pi \cdot 350} = 75,8 \text{ min}^{-1}, \quad (8)$$

gdje je

$$d = 350 \text{ mm} \quad - \text{promjer pogonskog kotača}.$$

#### 4.2.2. Ubrzanje na ravnoj podlozi

Snaga potrebna pri ubrzavanju uređaja će biti veća nego pri ustaljenoj vožnji jer osim sile otpora kotrljanja postoji i komponenta ubrzavanja masa. Izraz za silu u ovom slučaju je

$$F_2 = (m_S + m_U) \cdot g \cdot c + (m_S + m_U) \cdot \frac{v_1}{t} \quad (9)$$

$$F_2 = (25,3 + 61,6) \cdot 9,81 \cdot 0,1 + (25,3 + 61,6) \cdot \frac{1,39}{5} = 109,36 \text{ N}.$$

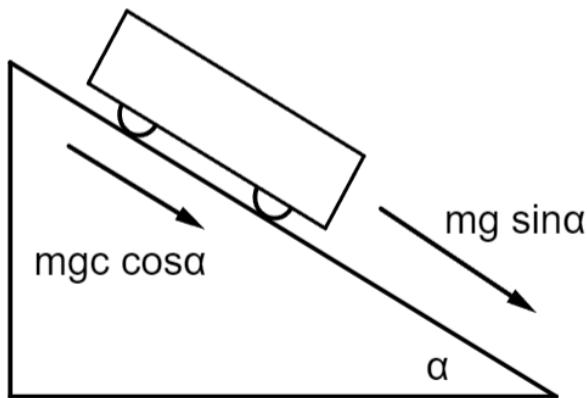
Iz toga slijedi potrebna snaga

$$P_2 = \frac{109,36 \cdot 1,39 \cdot 1,1}{0,7} = 239 \text{ W}, \quad (10)$$

te potrebni moment

$$T_2 = 109,36 \cdot \frac{350}{2} \cdot 1,1 = 21,05 \text{ Nm}. \quad (11)$$

### 4.2.3. Vožnja uz nagib



Slika 18. Shema sila na nagibu

Na pucalištu, za koje je ovaj uređaj prvenstveno namijenjen, teren je velikom većinom ravan, no moguće su kratke uzbrdice. Iz tog razloga treba proračunati potrebnu snagu za kratkotrajno savladavanje nagiba. Također, za vrijeme penjanja uzbrdo bit će zahtijevana manja brzina vožnje. Izraz za silu će osim komponente otpora kotrljanja imati i komponentu utjecaja gravitacije.

$$\begin{aligned} F_3 &= (m_S + m_U) \cdot g \cdot c \cdot \cos\alpha + (m_S + m_U) \cdot g \cdot \sin\alpha \\ F_3 &= (25,3 + 61,6) \cdot 9,81 \cdot 0,1 \cdot \cos 30^\circ + (25,3 + 61,6) \cdot 9,81 \cdot \sin 30^\circ \\ F_3 &= 499,9 \text{ N}, \end{aligned} \quad (12)$$

gdje je

$$\alpha = 30^\circ \quad - \text{nagib uzbrdice.}$$

Potrebna snaga motora tada iznosi

$$P_3 = \frac{F_3 \cdot v_2 \cdot S}{\eta} = \frac{499,9 \cdot 0,56 \cdot 1,1}{0,7} = 436 \text{ W}, \quad (13)$$

gdje je

$$v_2 = 2 \text{ km/h} \quad - \text{zahtijevana brzina vožnje na uzbrdici.}$$

Izrazi za potreban moment i broj okretaja vratila glase

$$T_3 = 499,9 \cdot \frac{350}{2} \cdot 1,1 = 96,23 \text{ Nm}, \quad (14)$$

$$n_2 = \frac{v_2}{\pi \cdot d} = \frac{0,56}{\pi \cdot 350} = 30,3 \text{ min}^{-1}. \quad (15)$$

#### 4.2.4. Odabir motora

Dobiveni iznosi momenta i broja okretaja vratila su vrijednosti zahtijevane na izlaznom vratilu reduktora, tako da ih trebamo svesti na vratilo motora. Također, zahtijevane vrijednosti treba preploviti jer je uređaj pogonjen s dva pogonska motora. Zahtijevane karakteristike motora onda iznose

$$P_m = \frac{P_3}{2} = \frac{436}{2} = 218 \text{ W.} \quad (16)$$

Potreban moment i broj okretaja motora pri ustaljenoj vožnji:

$$T_m = \frac{T_1}{2 \cdot i \cdot \eta} = \frac{16,41}{2 \cdot 71 \cdot 0,7} = 165 \text{ mNm,} \quad (17)$$

$$n_m = n_1 \cdot i = 75,8 \cdot 71 = 5382 \text{ min}^{-1}, \quad (18)$$

gdje je

$$i = 71 \quad - \text{prijenosni omjer reduktora.}$$

Potreban moment i broj okretaja motora pri vožnji uz nagib:

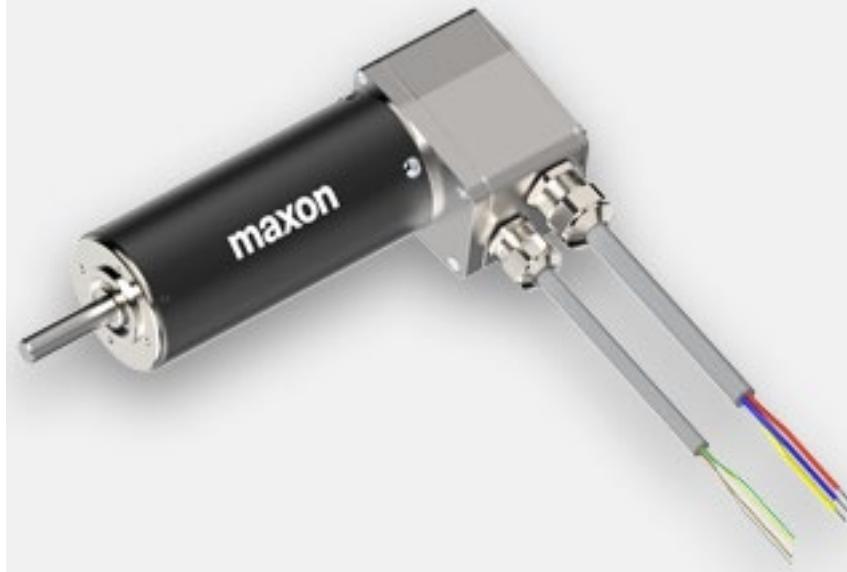
$$T_{m3} = \frac{T_3}{2 \cdot i \cdot \eta} = \frac{96,23}{2 \cdot 71 \cdot 0,7} = 968 \text{ mNm,} \quad (19)$$

$$n_{m3} = n_3 \cdot i = 30,3 \cdot 71 = 2151 \text{ min}^{-1}. \quad (20)$$

Odabran je motor EC 45 tvrtke Maxon. Specifikacije su navedene u slijedećoj tablici [16].

**Tablica 9. Specifikacije motora Maxon EC 45**

Proizvođač	Maxon
Model	EC 45
Nazivni napon	48 V
Snaga	250 W
Brzina vrtnje u praznom hodu	6160 min <sup>-1</sup>
Nazivna brzina	5490 min <sup>-1</sup>
Nazivni moment	347 mNm
Nazivna jakost električne struje	4.86 A
Maks. efikasnost	87%
Masa	1150g



**Slika 19. Motor Maxon EC 45**

Iz specifikacija je vidljivo da motor može isporučiti potreban moment pri ustaljenoj vožnji. Potrebno je provjeriti može li isporučiti moment potreban pri vožnji uz nagib.

$$T_K = T_N + \frac{n_N - n_{m3}}{k} = 347 + \frac{5490 - 2151}{1,76} = 2244 \text{ mNm}, \quad (21)$$

gdje je

$T_N = 347 \text{ mNm}$  – nazivni moment motora,

$n_N = 5490 \text{ min}^{-1}$  – nazivna brzina vrtnje motora,

$k = 1,76$  – gradijent moment/brzina vrtnje.

Motor zadovoljava!

#### 4.2.5. Odabir reduktora

Za reduktor će biti zahtijevani izlazni moment pri kontinuiranom radu i pri kratkoročnom radu koji iznose

$$T_{R1} = \frac{T_1}{2} = \frac{16,41}{2} = 8,21 \text{ Nm}, \quad (22)$$

$$T_{R3} = \frac{T_3}{2} = \frac{96,23}{2} = 48,12 \text{ Nm}. \quad (23)$$

Odabran je reduktor GP 62 A tvrtke Maxon. Specifikacije su navedene u slijedećoj tablici [17].

**Tablica 10. Specifikacije reduktora Maxon GP 62 A**

Proizvođač	Maxon
Model	GP 62 A
Prijenosni omjer	71
Maks. kontinuirani moment	38,5 Nm
Maks. kratkoročni moment	57,7 Nm
Maks. efikasnost	70%
Masa	1472 g

**Slika 20. Reduktor Maxon GP 62 A**

### 4.3. Odabir baterije

Zahtjevi prema kojima će se birati baterija su kapacitet i jakost struje. Pri odabiru prednost će se dati najlakšoj bateriji koja zadovoljava zahtjeve.

#### 4.3.1. Kapacitet baterije

Kako bi odredili potreban kapacitet baterije, potrebno je pretpostaviti koliko će vremena uređaj provesti u kojem režimu rada. Za daljnje računanje pretpostaviti će se da uređaj provede 90% vremena u ustaljenoj vožnji, 5% vremena ubrzava na ravnoj podlozi, te 5% vremena vozi uz nagib. Stoga, izraz za određivanje potrebnog kapaciteta baterije glasi

$$C = S \cdot \left( 0.9 \cdot \frac{T_m}{k_M} + 0.05 \cdot \frac{T_{m2}}{k_M} + 0.05 \cdot \frac{T_{m3}}{k_M} \right) \cdot T, \quad (24)$$

gdje je

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| $S = 1,1$                  | – faktor sigurnosti zbog aktuatora i ostale elektronike, |
| $k_M = 73,9 \text{ mNm/A}$ | – momentna konstanta motora,                             |
| $T = 6 \text{ h}$          | – zahtijevano vrijeme rada uređaja.                      |

Potrebno je još odrediti potrebnii moment u slučaju ubrzavanja

$$T_{m2} = \frac{T_2}{2 \cdot i \cdot \eta} = \frac{21,05}{2 \cdot 71 \cdot 0,7} = 212 \text{ mNm}. \quad (25)$$

Stoga, kapacitet iznosi

$$C = 1,1 \cdot \left( 0.9 \cdot \frac{165}{73,9} + 0.05 \cdot \frac{212}{73,9} + 0.05 \cdot \frac{968}{73,9} \right) \cdot 6 = 18,53 \text{ Ah}. \quad (26)$$

#### 4.3.2. Maksimalna struja pražnjenja

Potrebno je odrediti maksimalnu struju pražnjenja, koja će biti prisutna prilikom uspona uređaja uz nagib. Izraz za određivanje glasi

$$I_{max} = 2 \cdot S \cdot \frac{T_{m3}}{k_M} = 2 \cdot 1,1 \cdot \frac{968}{73,9} = 28,82 \text{ A}. \quad (27)$$

Odabrana je baterija 48V 20Ah tvrtke Aegis. Specifikacije su navedene u slijedećoj tablici [18].

**Tablica 11. Specifikacije baterije**

Proizvođač	Aegis
Nazivni napon	48 V
Kapacitet	20 Ah
Maks. kontinuirana struja pražnjenja	20 A
Maks. vršna struja pražnjenja	40 A
Maks. struja punjenja	5 A
Vijek trajanja	1000+ ciklusa
Dimenzije	255x155x70 mm
Masa	5,2 kg



Slika 21. Baterija

#### 4.3.3. Vrijeme punjenja baterije

Izraz za vrijeme punjenja baterije je

$$T_b = \frac{C_b}{I_p} = \frac{20}{5} = 4 \text{ h}, \quad (28)$$

gdje je

- |                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| $C_b = 20 \text{ Ah}$ | – kapacitet baterije,    |
| $I_p = 5 \text{ A}$   | – maks. struja punjenja. |

#### 4.4. Odabir spojke

Potrebno je odabrati spojku radi ublažavanja udarnog opterećenja koje se prenosi na sklop reduktora i motora, a i radi funkcije spajanja vratila različitih dimenzija. Spojka mora moći prenesti maksimalni mogući moment koji iznosi 48,12 Nm. Odabrana je spojka MOR tvrtke NBK. Specifikacije su navedene u slijedećoj tablici [19].

Tablica 12. Specifikacije spojke

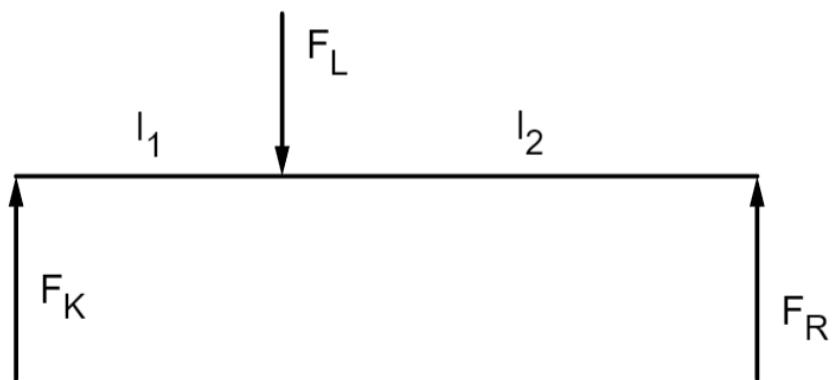
Proizvođač	NBK
Model	MOR-55K-14-25
Tip spojke	Oldham
Maks. moment	100 Nm
Maks brzina vrtnje	11000 min <sup>-1</sup>
Materijal	EN AW-2017 + Poliacetal
Maks. ekscentričnost	4 mm
Maks. kutno odstupanje	3°



Slika 22. Spojka

#### 4.5. Proračun i odabir ležaja vratila

Potrebno je odrediti sile na ležaj i izlazno vratilo reduktora. Za određivanje sila će pomoći sljedeća shema.



Slika 23. Shema sila na vratilo

Iako je uređaj na 4 kotača, pretpostaviti će se opterećenje jednog pogonskog kotača u iznosu pola mase cijelog uređaja, sa spremnikom punim loptica. Iz toga slijedi izraz za određivanje sile na kotač

$$F_K = \frac{(m_S + m_U) \cdot g}{2} = \frac{(25,3 + 61,6) \cdot 9,81}{2} = 426,24 \text{ N.} \quad (29)$$

Iz sume momenata oko točke L dobivamo

$$F_R = \frac{F_K \cdot l_1}{l_2} = \frac{426,24 \cdot 55,5}{84,5} = 279,96 \text{ N} < 520 \text{ N,} \quad (30)$$

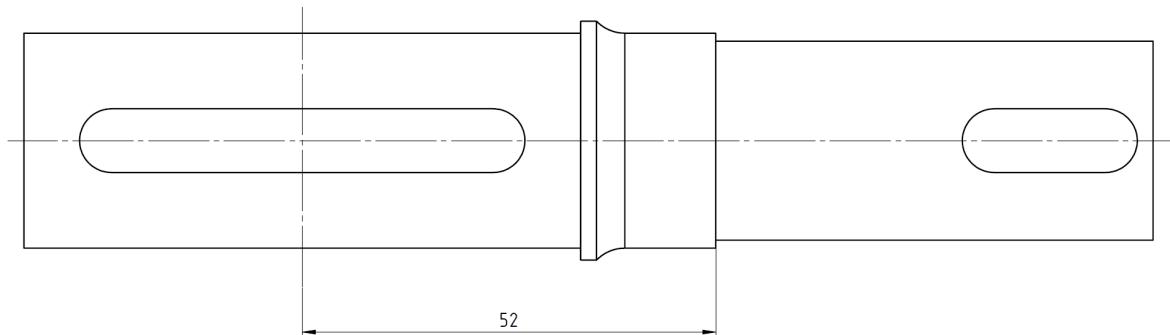
a iz sume sile u smjeru osi z

$$F_L = F_K + F_R = 426,24 + 279,96 = 706,2 \text{ N} < 4360 \text{ N}. \quad (31)$$

Prema proizvođaču reduktora, dozvoljeno radijalno opterećenje izlaznog vratila je 520 N stoga možemo zaključiti da zadovoljava. Za ležaj je izabran ležaj SKF 61805-2RS1. Ležaj prema SKF- katalogu [20] može podnести 4.36 kN radijalne sile. S obzirom da aksijalne sile nema, a nosivost ležaja je skoro red veličine veća od sile na ležaj, možemo reći da ležaj zadovoljava.

#### 4.6. Proračun vratila

Potrebno je provjeriti vratilo u kritičnom presjeku. Vratilo je opterećeno torzijski od strane reduktora, te savojno od sile na pogonski kotač. Kritični presjek se nalazi na mjestu naslona ležaja, jer dolazi do promjene promjera vratila, mali radijus uzrokuje zarezno djelovanje, te je krak sile na kotač koja uzrokuje savijanje vratila najveći.



Slika 24. Kritični presjek vratila

Vratilo proračunavamo prema formuli

$$S_{post} = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\varphi \cdot \sigma_{red}} \geq S_{potr}, \quad (32)$$

gdje je

- $b_1 = 0,93$  – faktor veličine strojnog dijela, očitano prema [21],
- $b_2 = 0,95$  – faktor kvalitete obrade površine, očitano prema [21],
- $\sigma_{fDN} = 190 \text{ MPa}$  – trajna dinamička čvrstoća za naizmjenično promjenjivo naprezanje pri savijanju, za S235JR,
- $\varphi = 1,1$  – faktor udara, odabранo prema [21],
- $\sigma_{red}$  – reducirano naprezanje,
- $S_{potr} = 2$  – potrebna sigurnost, odabранo prema [21].

Izraz za moment otpora presjeka vratila glasi

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot d^3 = \frac{\pi}{32} \cdot 25^3 = 1534 \text{ mm}^3, \quad (33)$$

gdje je

$$d = 25 \text{ mm} \quad - \text{ promjer vratila na kritičnom presjeku.}$$

Reducirani moment određuje se iz izraza

$$M_{red} = \sqrt{(M \cdot \beta_{kf})^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot T \cdot \beta_{kt})^2}, \quad (34)$$

gdje je

$\beta_{kf}$  – faktor zareznog djelovanja kod savijanja,

$\alpha_0$  – faktor čvrstoće materijala,

$\beta_{kt}$  – faktor zareznog djelovanja kod uvijanja.

Faktor zareznog djelovanja kod savijanja određuje se iz izraza

$$\beta_{kf} = 1 + c_1(\beta_{kf2} - 1) = 1 + 0,25(2,5 - 1) = 1,375, \quad (35)$$

gdje je

$c_1 = 0,25$  – faktor zareznog djelovanja kod savijanja, očitano prema [21],

$\beta_{kf2} = 2,5$  – faktor zareznog djelovanja kod savijanja, očitano prema [21].

Faktor čvrstoće materijala određujemo prema formuli

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDI}}{1,73 \cdot \tau_{tDI}} = \frac{260}{1,73 \cdot 140} = 1,073, \quad (36)$$

gdje je

$\sigma_{fDI} = 260 \text{ MPa}$  – trajna dinamička čvrstoća pri istosmjernom savijanju,

$\tau_{tDI} = 140 \text{ MPa}$  – trajna dinamička čvrstoća pri istosmjernom uvijanju.

Faktor zareznog djelovanja kod uvijanja određuje se iz izraza

$$\beta_{kt} = 1 + c_2(\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 0,45(1,8 - 1) = 1,36, \quad (37)$$

gdje je

$c_2 = 0,45$  – faktor zareznog djelovanja kod uvijanja, očitano prema [21],

$\beta_{kt1,4} = 1,8$  – faktor zareznog djelovanja kod uvijanja, očitano prema [21].

Moment uslijed sile na kotač iznosi

$$M = F_K \cdot 52 = 426,24 \cdot 52 = 22 \text{ Nm.} \quad (38)$$

Slijedi iznos reduciranoog momenta

$$M_{red} = \sqrt{(22 \cdot 1,375)^2 + 0,75(1,073 \cdot 48,12 \cdot 1,36)^2} = 67,92 \text{ Nm.} \quad (39)$$

Izraz za reducirano naprezanje je

$$\sigma_{red} = \frac{M_{red}}{W} = \frac{67920}{1534} = 44,28 \text{ MPa.} \quad (40)$$

Konačno, postojeća sigurnost iznosi

$$S_{post} = \frac{0,93 \cdot 0,95 \cdot 190}{1,1 \cdot 44,28} = 3,45 \geq S_{potr} = 2. \quad (41)$$

Vratilo zadovoljava!

#### 4.7. Proračun pera

Potrebno je proračunati pero koje povezuje spojku s vratilom. Pero koje povezuje reduktor sa spojkom se neće proračunavati jer tvrtke oba proizvoda tvrde da mogu podnesti zahtijevani moment. Pero koje veže kotač s vratilom se također neće proračunavati jer je pod istim opterećenjem kao pero između spojke i vratila, ali ima puno veće dimenzije. Pera se proračunavaju na bočni tlak prema [22]. Izraz za bočni tlak glasi

$$p = \frac{F_t}{0,5 \cdot h \cdot l_t \cdot i} \leq p_{dop}. \quad (42)$$

gdje je

$F_t$  – obodna sila na vratilu,

$h = 7 \text{ mm}$  – visina pera,

$l_t = 13 \text{ mm}$  – nosiva duljina pera,

$i = 1$  – broj pera po obodu,

$p_{dop} = 100 \text{ N/mm}^2$  – dopušteni bočni tlak, prema [22].

Izraz za obodnu silu je

$$F_t = \frac{2 \cdot T_{R3}}{d} = \frac{2 \cdot 48,12}{0,025} = 3849,6 \text{ N.} \quad (43)$$

Stoga, bočni tlak iznosi

$$p = \frac{3849,6}{0,5 \cdot 7 \cdot 13 \cdot 1} = 84,6 \text{ N/mm}^2 \leq p_{dop} = 100 \text{ N/mm}^2. \quad (44)$$

Pero zadovoljava!

#### 4.8. Odabir linearog aktuatora

Potrebno je odabrati linearni aktuator koji će služiti za podizanje i spuštanje sklopa s valjkom i košarom. S obzirom da su dva aktuatora, u najgorem slučaju će svaki aktuator biti opterećen s pola mase sklopa košare i valjka, kada je košara puna loptica. Također, pošto su aktuatori izloženi vanjskim elementima, potreban je aktuator s IP certifikatom.

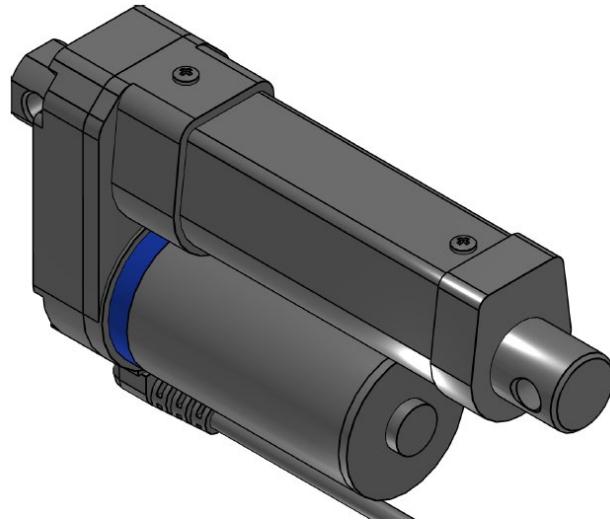
Maksimalno opterećenje aktuatora određuje se iz izraza

$$F_A = \frac{(m_S \cdot m_U) \cdot g}{2} = \frac{(25,3 \cdot 24,4) \cdot 9,81}{2} = 244 \text{ N.} \quad (45)$$

Odabran je aktuator CAHB tvrtke Ewellix. Specifikacije su navedene u sljedećoj tablici [23].

**Tablica 13. Specifikacije linearog aktuatora**

Proizvođač	Ewellix
Model	CAHB-10-B4A-050158-ABBAHA-000
Napon	24 V
Maks. sila	750 N
IP zaštita	IP69K/IP66S
Prednji priključak	Cilindar s provrtom 8 mm
Stražnji priključak	Cilindar s provrtom 8 mm
Vreteno	TR12

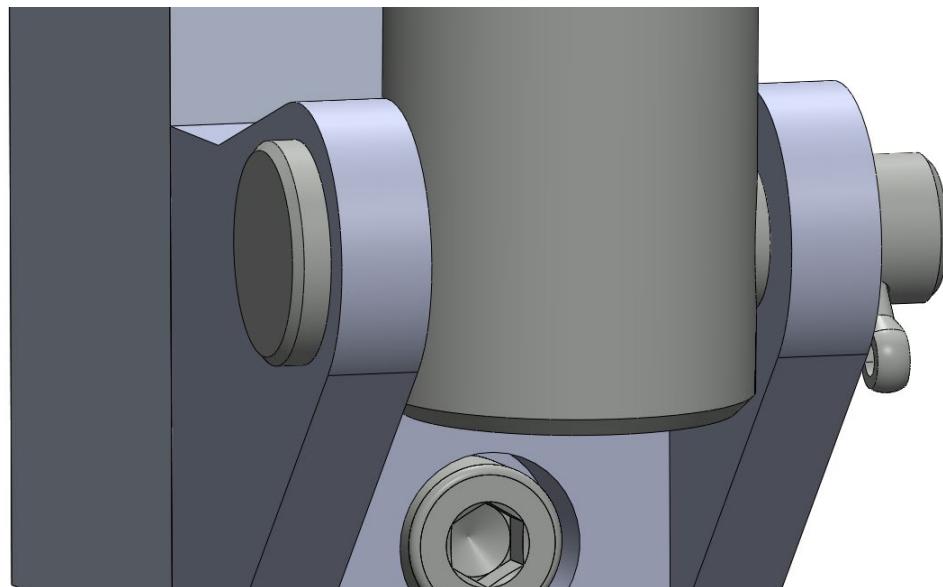


**Slika 25. Linearni aktuator**

#### 4.9. Proračun svornjaka linearног aktuatora

Potrebno je proračunati svornjake koji povezuju linearni aktuator sa konstrukcijom. Svornjake treba proračunati na savijanje, tlak i odrez.

##### 4.9.1. Svornjak sa strane konstrukcije



**Slika 26. Svornjak sa strane konstrukcije**

Izraz za određivanje naprezanja na savijanje je

$$\sigma_f = \frac{0.5 \cdot F_A \cdot 0.5 \cdot a}{0.1 \cdot d^3} = \frac{0.5 \cdot 244 \cdot 0.5 \cdot 5}{0.1 \cdot 8^3} = 5,96 \text{ MPa} \leq \sigma_{f\text{dop}} = 48 \text{ MPa}, \quad (46)$$

gdje je

- |                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| $a = 5 \text{ mm}$ | – širina uške,       |
| $d = 8 \text{ mm}$ | – promjer svornjaka. |

Izraz za određivanje tlaka je

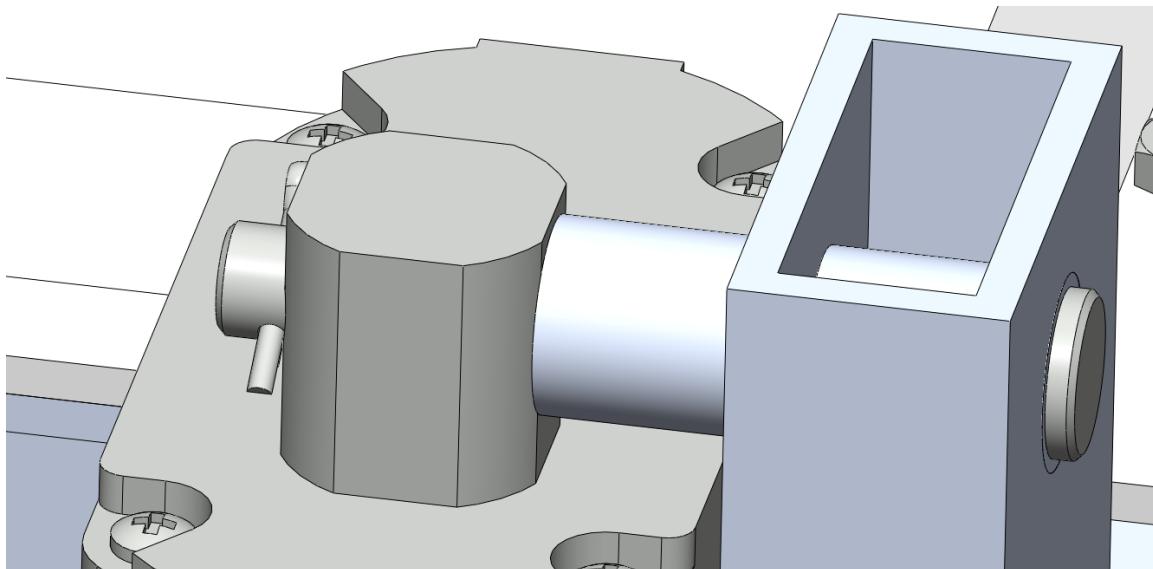
$$p = \frac{F}{2a \cdot d} = \frac{244}{2 \cdot 5 \cdot 8} = 3,05 \text{ MPa} \leq p_{dop} = 12 \text{ MPa}. \quad (47)$$

Izraz za određivanje naprezanja na odrez je

$$\tau_a = \frac{4F}{d^2 \pi} = \frac{4 \cdot 244}{8^2 \cdot \pi} = 4,85 \text{ MPa} \leq \tau_{adop} = 20 \text{ MPa}. \quad (48)$$

Svornjak linearног aktuatora sa strane konstrukcije zadovoljava!

#### 4.9.2. Svornjak sa strane sklopa košare



Slika 27. Svornjak sa strane sklopa koшare

Izraz za određivanje naprezanja na savijanje je

$$\sigma_f = \frac{F_A \cdot 0.5 \cdot b}{0.1 \cdot d^3} = \frac{244 \cdot 0.5 \cdot 18}{0.1 \cdot 8^3} = 42,89 \text{ MPa} \leq \sigma_{fdop} = 48 \text{ MPa}, \quad (49)$$

gdje je

- |                     |                              |
|---------------------|------------------------------|
| $b = 18 \text{ mm}$ | – širina cilindra aktuatora, |
| $d = 8 \text{ mm}$  | – promjer svornjaka.         |

Izraz za određivanje tlaka je

$$p = \frac{F}{b \cdot d} = \frac{244}{18 \cdot 8} = 1,69 \text{ MPa} \leq p_{dop} = 12 \text{ MPa.} \quad (50)$$

Izraz za određivanje naprezanja na odrez je

$$\tau_a = \frac{4F}{d^2 \pi} = \frac{4 \cdot 244}{8^2 \cdot \pi} = 4,85 \text{ MPa} \leq \tau_{adop} = 20 \text{ MPa.} \quad (51)$$

Svornjak linearog aktuatora sa strane sklopa košare zadovoljava!

#### 4.10. Proračun svornjaka sklopa košare

Potrebno je proračunati svornjake koji povezuju sklop košare sa konstrukcijom. Za silu će se pretpostaviti ista sila kao u linearном aktuatoru. Sklop košare se u odnosu na konstrukciju često miče pomoću linearnih aktuatora tako da je moguće trošenje. Zbog moguće pojave trošenja između svornjaka i prvrta za svornjake su stavljeni klizni ležaji tvrtke Igus. Dopušteni tlak kliznog ležaja je 78 MPa što je značajno više nego za svornjak tako da će svornjak i dalje biti limitirajući faktor kojeg treba proračunati.



Slika 28. Klizni ležaj Igus iglidur G

Izraz za određivanje naprezanja na savijanje je

$$\sigma_f = \frac{F_A \cdot 0.5 \cdot b}{0.1 \cdot d^3} = \frac{244 \cdot 0.5 \cdot 11}{0.1 \cdot 14^3} = 4,89 \text{ MPa} \leq \sigma_{fdop} = 48 \text{ MPa,} \quad (52)$$

gdje je

- |                     |                          |
|---------------------|--------------------------|
| $b = 11 \text{ mm}$ | – širina ležajnog mesta, |
| $d = 14 \text{ mm}$ | – promjer svornjaka.     |

Izraz za određivanje tlaka je

$$p = \frac{F}{b \cdot d} = \frac{244}{11 \cdot 14} = 1,58 \text{ MPa} \leq p_{dop} = 12 \text{ MPa}. \quad (53)$$

Izraz za određivanje naprezanja na odrez je

$$\tau_a = \frac{4F}{d^2\pi} = \frac{4 \cdot 244}{8^2 \cdot \pi} = 1,59 \text{ MPa} \leq \tau_{adop} = 20 \text{ MPa}. \quad (54)$$

Svornjak sklopa košare zadovoljava!

#### 4.11. Odabir ležaja osovine valjka

Potrebno je odabrati ležajeve za osovinu valjka koji skuplja loptice. S obzirom da je valjak u kontaktu sa tlom, u najgorem slučaju, prilikom naleta na kamen ili nekakvu prepreku, cijela težina uređaja se može prenesti na valjak. S obzirom da su dva ležaja, jedan na svakom kraju osovine, svaki preuzima pola mase uređaja, ali zbog mogućeg udarnog opterećenja uzet će se faktor sigurnosti 2. Slijedi izraz za iznos radikalne sile na ležaj

$$F_A = \frac{(m_S \cdot m_U) \cdot g}{2} \cdot S = \frac{(25,3 \cdot 24,4) \cdot 9,81}{2} \cdot 2 = 488 \text{ N}. \quad (55)$$

Odabran je ležaj PBT25 tvrtke MISUMI. Specifikacije su navedene u slijedećoj tablici [24].

**Tablica 14. Specifikacije ležaja osovine**

Proizvođač	MISUMI
Model	PBT25
Promjer provrta	25 mm
Statička nosivost	5800 N
Dinamička nosivost	10100 N
Materijal	Lijev, legura s cinkom
Način pričvršćivanja na osovinu	Zatični vijak



**Slika 29. Ležaj osovine valjka**

#### 4.12. Odabir prednjih kotača

Potrebno je odabrati prednje pomoćne kotače uređaja. S obzirom da uređaj skreće pomoću razlike u brzinama okretanja stražnjih kotača, prednji kotači se moraju moći okretati. Također, poželjno je da je materijal polimerni radi smanjenja mase i otpornosti na koroziju. Pretpostaviti će se isto opterećenje kao i na pogonski kotač tj. u najgorem slučaju pola mase cijelog uređaja s punim spremnikom loptica. Opterećenje na kotač iznosi

$$F_K = 426,24 \text{ N.} \quad (56)$$

Odabran je kotač tvrtke Blickle čije su specifikacije navedene u tablici [25].

**Tablica 15. Specifikacije prednjih kotača**

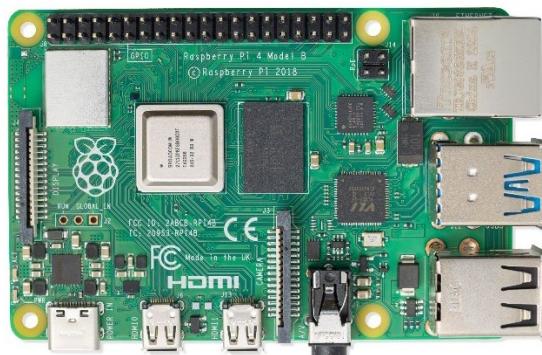
Proizvođač	Blickle
Model	LWGX-TPA 101G-GSX10
Promjer kotača	100 mm
Širina kotača	32 mm
Statička nosivost	2500 N
Nosivost pri 3 km/h	1000 N
Tvrdoća gume	85 Shore A



Slika 30. Prednji kotač uređaja

#### 4.13. Odabir upravljačkog sklopa i ostale elektronike

Iako razrada elektronike nije dio teme ovog rada, u ovom poglavlju će se dati preporuke kako bi se moglo dalje nastaviti s razvojem elektronike. S obzirom na to da su proizvodi ovog tipa relativno novi na tržištu, razumno je pretpostaviti da će potencijalni kupci biti takozvani rani usvajači (eng. early adopters). Rani usvajači ovakvih proizvoda su često tehnološki entuzijasti te vole prilagoditi uređaje sami sebi. Stoga bi kupcima vjerojatno odgovarala open source platforma. Kao glavno računalo uređaja može se izabrati Raspberry Pi, na koji se može instalirati operativni sustav imena Robot Operating System (ROS). Taj operativni sustav podržava rad aplikacijskog programskog sučelja Ardupilot, koje služi kao autopilot i može planirati rute uređaja. No, za podršku Ardupilota nam treba hardversko sučelje, poput NAVIO2. Uređaj ima na prednjoj strani predviđeno mjesto za kameru, koja može biti npr. Raspberry Pi camera module 3. Jedino što treba napraviti „in house“ je strojno naučiti uređaj prepoznavati loptice, prepreke i slične relevantne pojave na golf terenu. Kao korisničko sučelje bi vjerojatno bila najbolja Android i iOS aplikacija, a s uređajem se povezuje preko WiFi-ja, Bluetooth-a ili Interneta.



Slika 31. Mini računalo Raspberry Pi

## 5. OPIS PROIZVODA

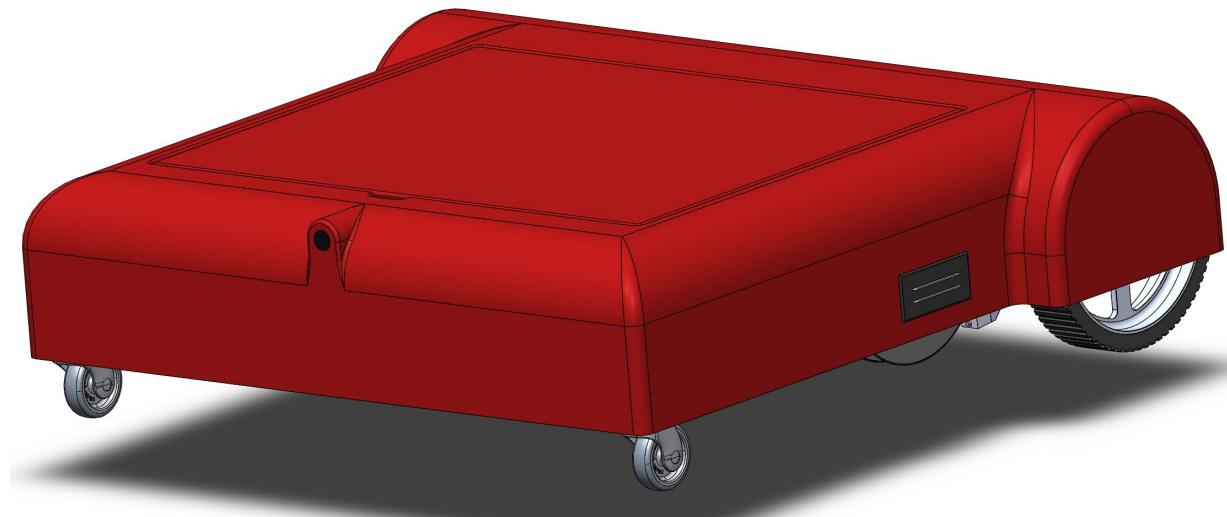
U ovom poglavlju bit će biti navedeni tehnički podaci o uređaju te će biti opisan rad uređaja pomoću 3D modela modeliranog u Solidworks-u.

### 5.1. Tehničke specifikacije uređaja

U tablici ispod su navedene tehničke specifikacije uređaja. Također su navedeni ciljane tehničke specifikacije prije početka razrade, kao i specifikacije najbližeg konkurenta. Može se uočiti da je uređaj ispunio sve zahtjeve postavljene prije razrade. Također, uređaj je kompaktniji, lakši, brži te može pohraniti više loptica od najrelevantnijeg konkurenta.

**Tablica 16. Tehničke specifikacije razvijenog uređaja**

	Tehnička specifikacija prije razrade	Razvijeni proizvod	Golf Ball Picker
Dimenzije	1200x1000x400	1190x1320x365	1189x1311x488
Težina	< 85 kg	61,6 kg	85,3 kg
Maks. brzina	5 km/h	5 km/h	3,5 km/h
Veličina spremnika	500 loptica	500 loptica	300 loptica
Baterija	6 h Punjjenje: 2 h	6 h Punjjenje: 2 h	/
Maks. kut uspona	30°	30°	/



**Slika 32. 3D model uređaja**

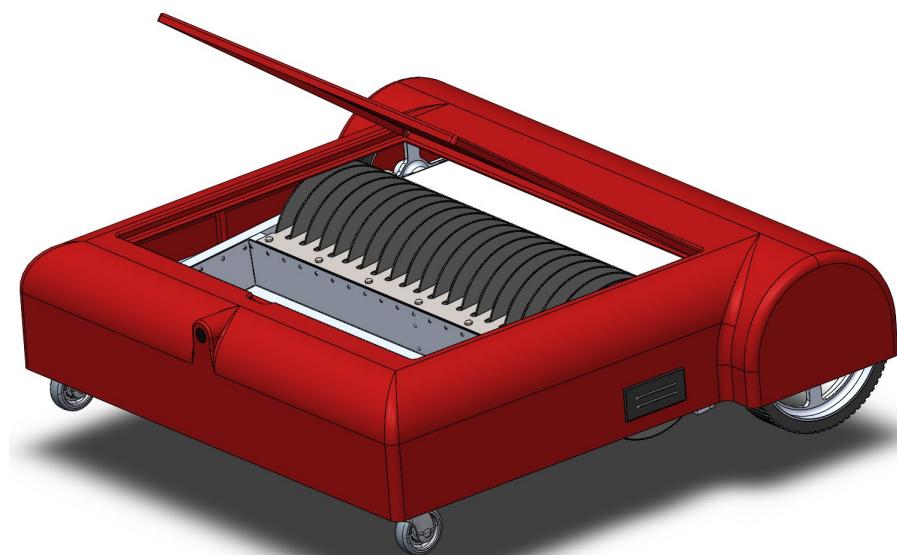
## 5.2. Opis uređaja

Uređaj je zaštićen od vanjskih utjecaja pomoću plastičnog kućišta koje ga prekriva. Na kućištu su interesantna 3 detalja. Prvi detalj je kamera koja se nalazi na prednjoj strani uređaja. Njena svrha je da uočava golf loptice, prepreke i sve drugo relevantno za rad uređaja. Također, pošto nema nikakvih senzora napunjenoosti spremnika, uređaj pomoću kamere broji preko koliko je loptica prešao te pomoću tog podatka dolazi do napunjenoosti spremnika. Drugi detalj je kontakt na bočnoj stranici uređaja. Preko tog kontakta se uređaj može samostalno puniti u baznoj stanici.



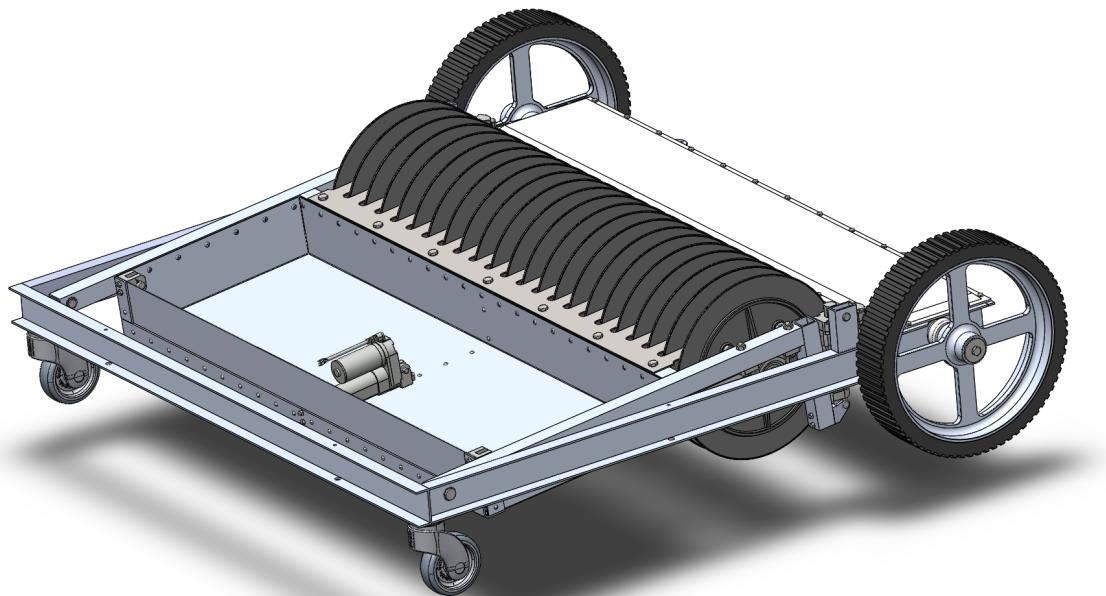
**Slika 33. Detalji kamere i kontakta za punjenje**

Posljednji detalj na kućištu je poklopac s gornje strane uređaja. Glavna svrha poklopca je olakšano vršenje inspekcije uređaja, ili rutinski ili kada nešto pođe po zlu.



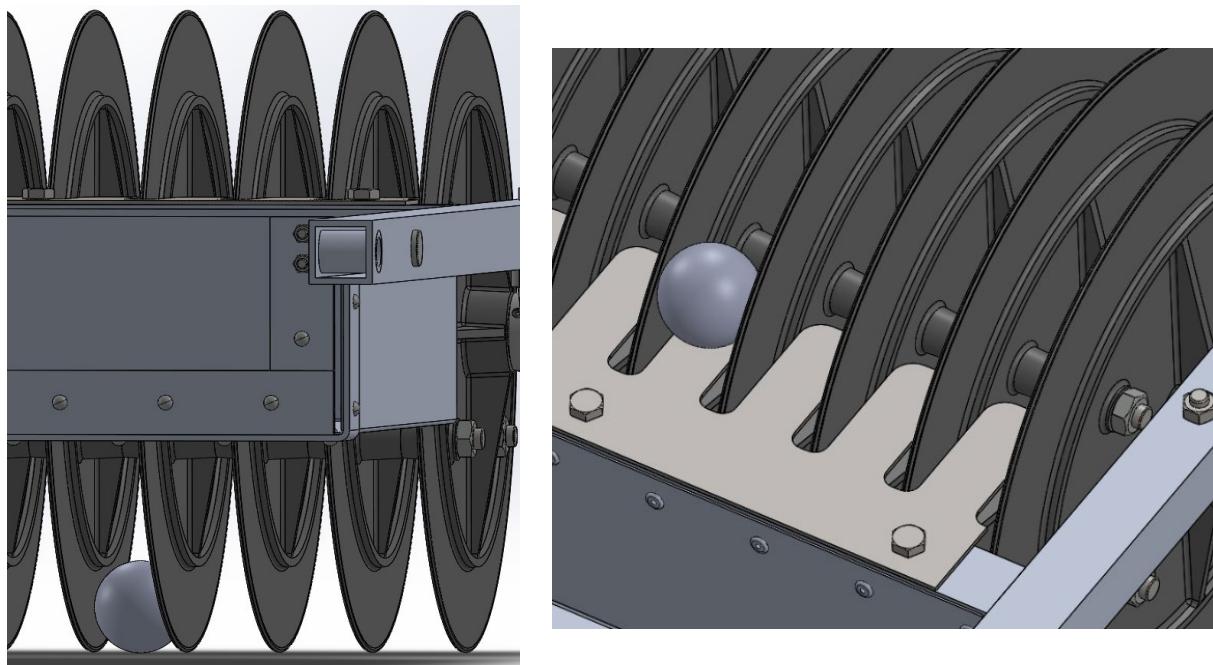
**Slika 34. Pogled ispod poklopca**

Kada se skine pokrov, može se vidjeti puno više komponenti uređaja.



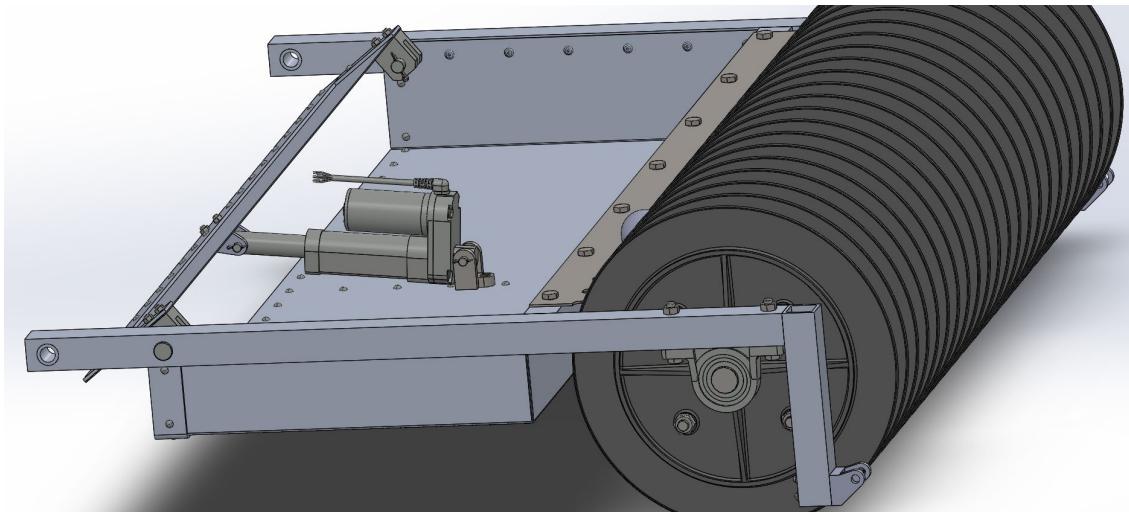
Slika 35. Uredaj bez pokrova

Uredaj je postavljen na 4 kotača, stražnja dva pogonska, te prednja dva pomoćna zakretna. Uredaj skuplja loptice na način da ih pregazi valjkom koji se sastoji od elastičnih diskova. Loptice se zabiju između diskova te se nastave vrtjeti unutar valjka dok ne dođu do češljja. Češalj sa svojim prstima izbacuje loptice iz valjka u spremnik.



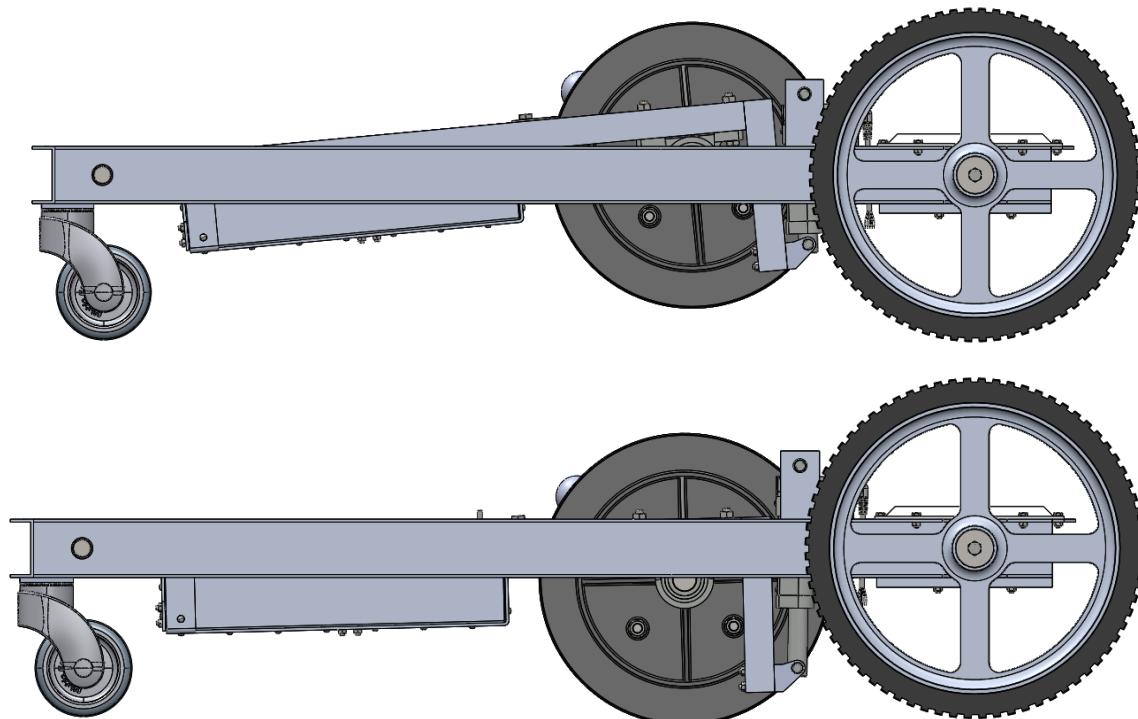
Slika 36. Prikupljanje loptica

Kada se spremnik loptica napuni, uređaj ode na mjesto predviđeno za izbacivanje loptica, najčešće kod uređaja za pranje loptica, te izbaci loptice otvaranjem vrata spremnika pomoću linearnog aktuatora.



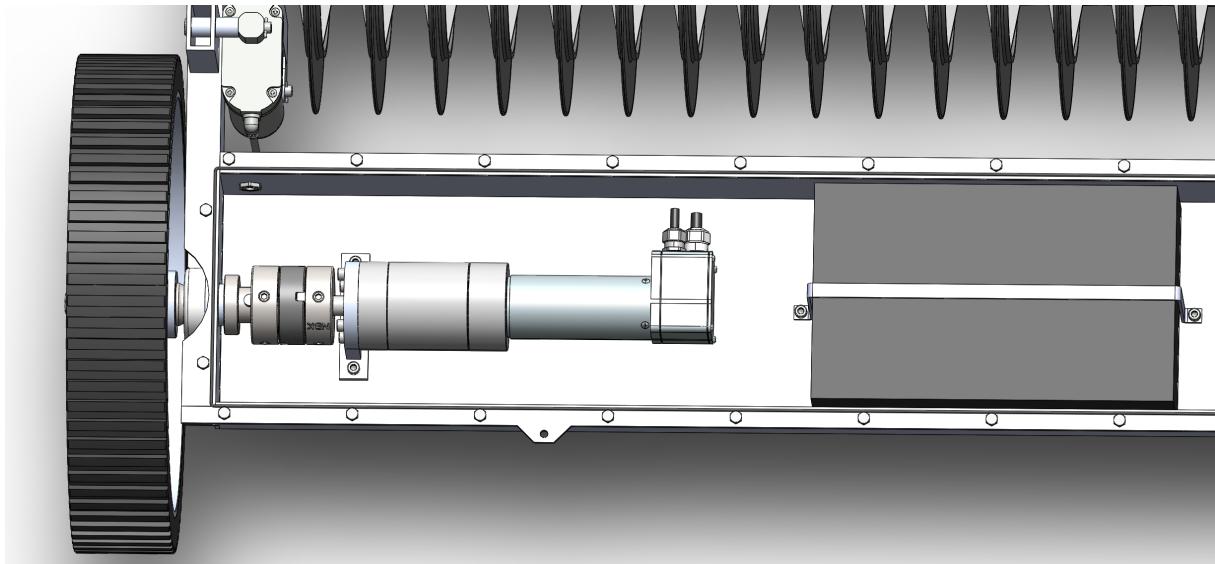
**Slika 37. Pražnjenje spremnika**

Uređaj ima sposobnost sruštati i podizati valjak za skupljanje loptica, iz više razloga. Prvo, kada uređaj mora skrenuti, npr. okretanje za  $180^\circ$ , valjci se podižu, jer dok se oni nalaze na tlu, skretanje je otežano. Drugo, da bi se mogla regulirati visina valjka dok skuplja loptice, a ta visina može ovisiti o duljini trave ili nepravilnostima u terenu. Posljednje, da bi se spremnik mogao nagnuti za vrijeme pražnjenja loptica kako bi sve loptice napustile spremnik.

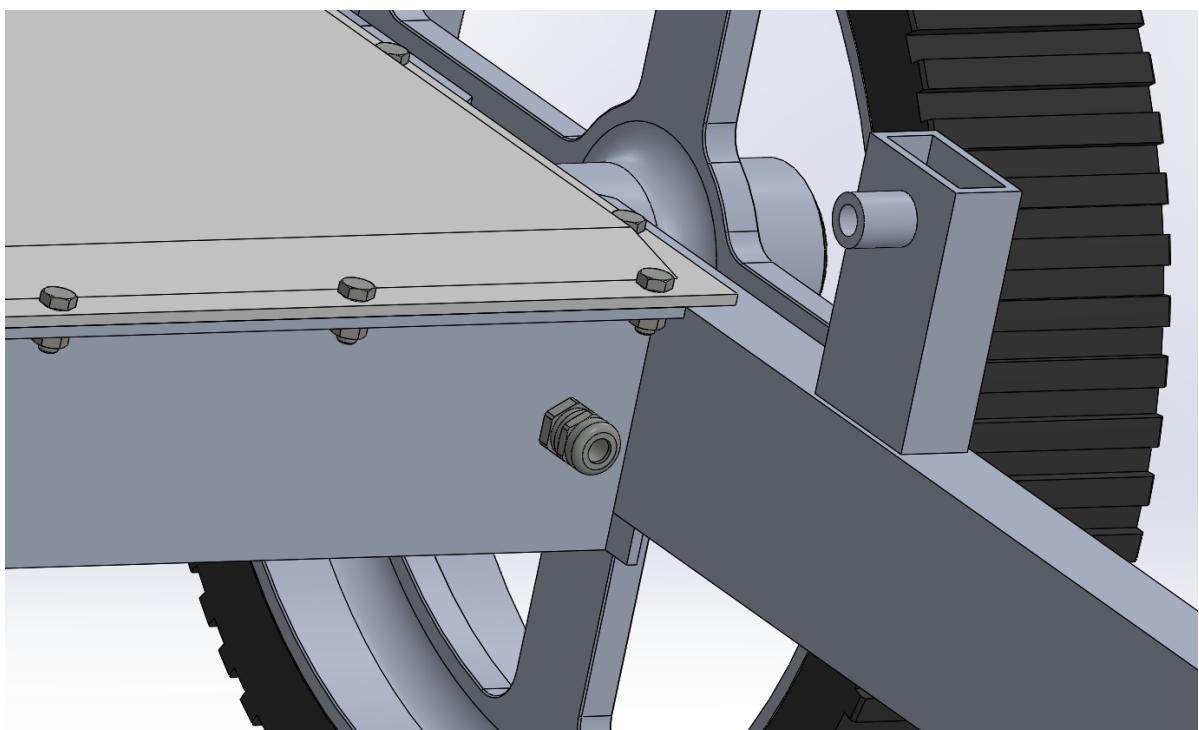


**Slika 38. Valjak u podignutom i spuštenom položaju**

Kao što je već spomenuto, uređaj je pogonjen s dva pogonska kotača. Skretanje se ostvaruje razlikom brzina pogonskih kotača. Svaki kotač ima svoj motor. Motor je za kotač vezan preko reduktora, Oldham spojke i vratila. Između motora se nalazi litij ionska baterija. Kućište u kojem se nalaze motori i ostala elektronika je brtvljeno, a kablovi izlaze van kućišta kroz brtvu kablova.



Slika 39. Pogonski sklop jednog kotača



Slika 40. Brtva kabela

## 6. ZAKLJUČAK

Skupljanje golf loptica na golf terenima je posao koji je star kao i sama igra golf, no ideja da se loptice skupljaju pomoću autonomnog uređaja se pojavila tek u proteklih par godina. Kako je u radu pokazano, konkurentnih uređaja nema puno, te je funkcionalnost nekih od njih upitna. Ako se još uzme u obzir i geografska pozicija tvrtki koje proizvode konkurentne uređaje, može se uvidjeti da u Europi postoji velika rupa koja predstavlja potencijalno tržište za novi proizvod.

U ovom radu je koncipiran i konstruiran novi uređaj za skupljanje golf loptica, te je napravljen 3D model i tehnička dokumentacija. Prilikom usporedbe s konkurentnim proizvodom najsličnijim prema funkcionalnosti, može se uvidjeti da je novi uređaj brži, lakši, kompaktniji te ima veću zapremninu spremnika za loptice. Iako specifikacije već sada izgledaju obećavajuće, ima još puno mjesta za napredak.

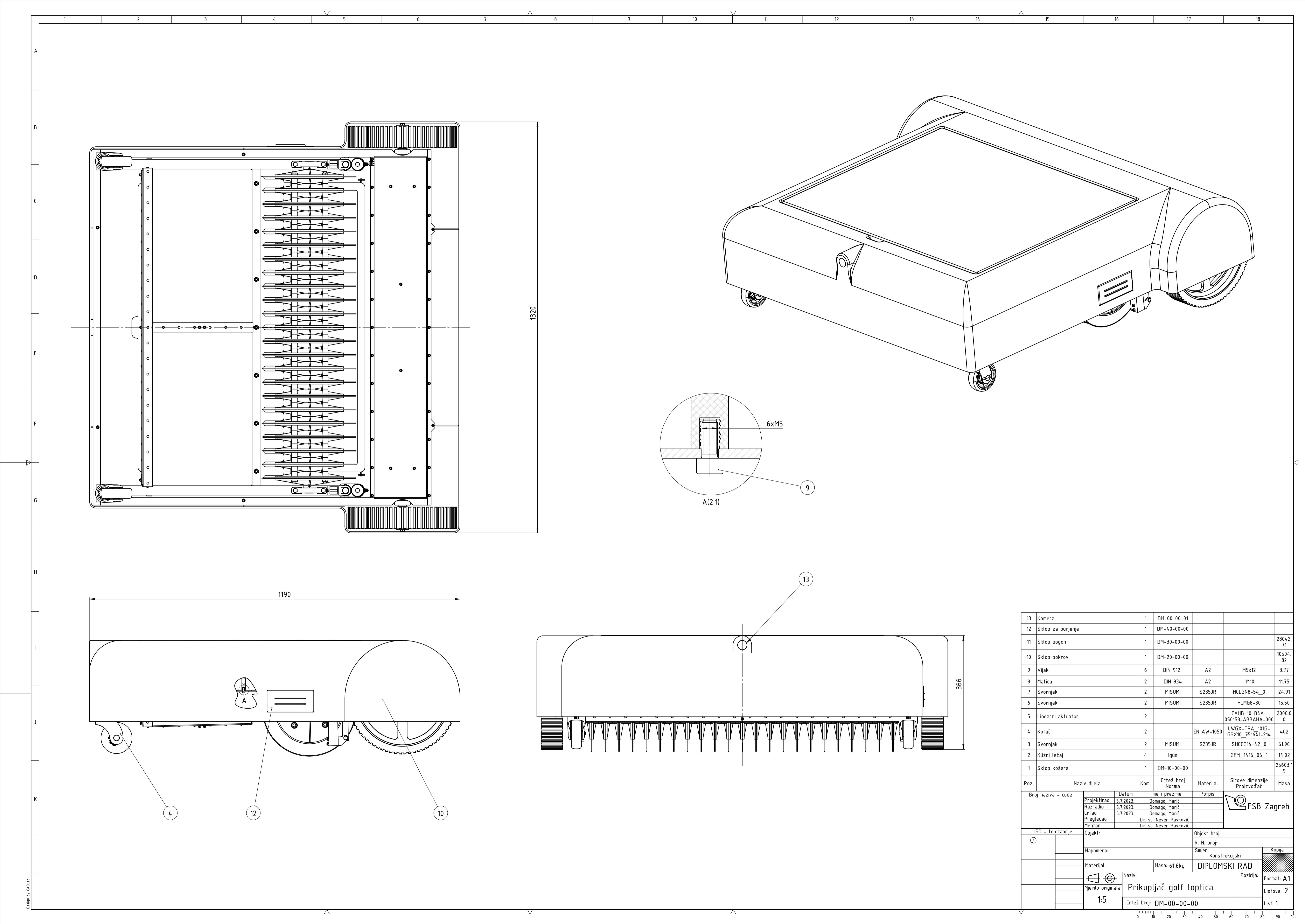
Sljedeći korak u razvoju uređaja bi bila izrada prototipa te testiranje. Glavni parametri koji se moraju odrediti testiranjem su razmak između diskova te debljina diskova. Oni moraju biti takvi da valjak ne zabija loptice u tlo, a s druge strane da loptice ne ispadnu iz valjka prije nego li dođu do češlja. Također, treba provjeriti stvarnu potrebnu snagu pogonskih motora i vrijeme rada uređaja na jednom punjenju, jer u proračunu ima previše pretpostavljenih vrijednosti te je uređaj vjerojatno predimenzioniran. Konačno, masa uređaja se može drastično smanjiti zamjenom metalnih dijelova za polimerne ili kompozitne materijale, uz detaljno testiranje i ispitivanje, kako ne bi bilo utjecaja na pouzdanost uređaja.

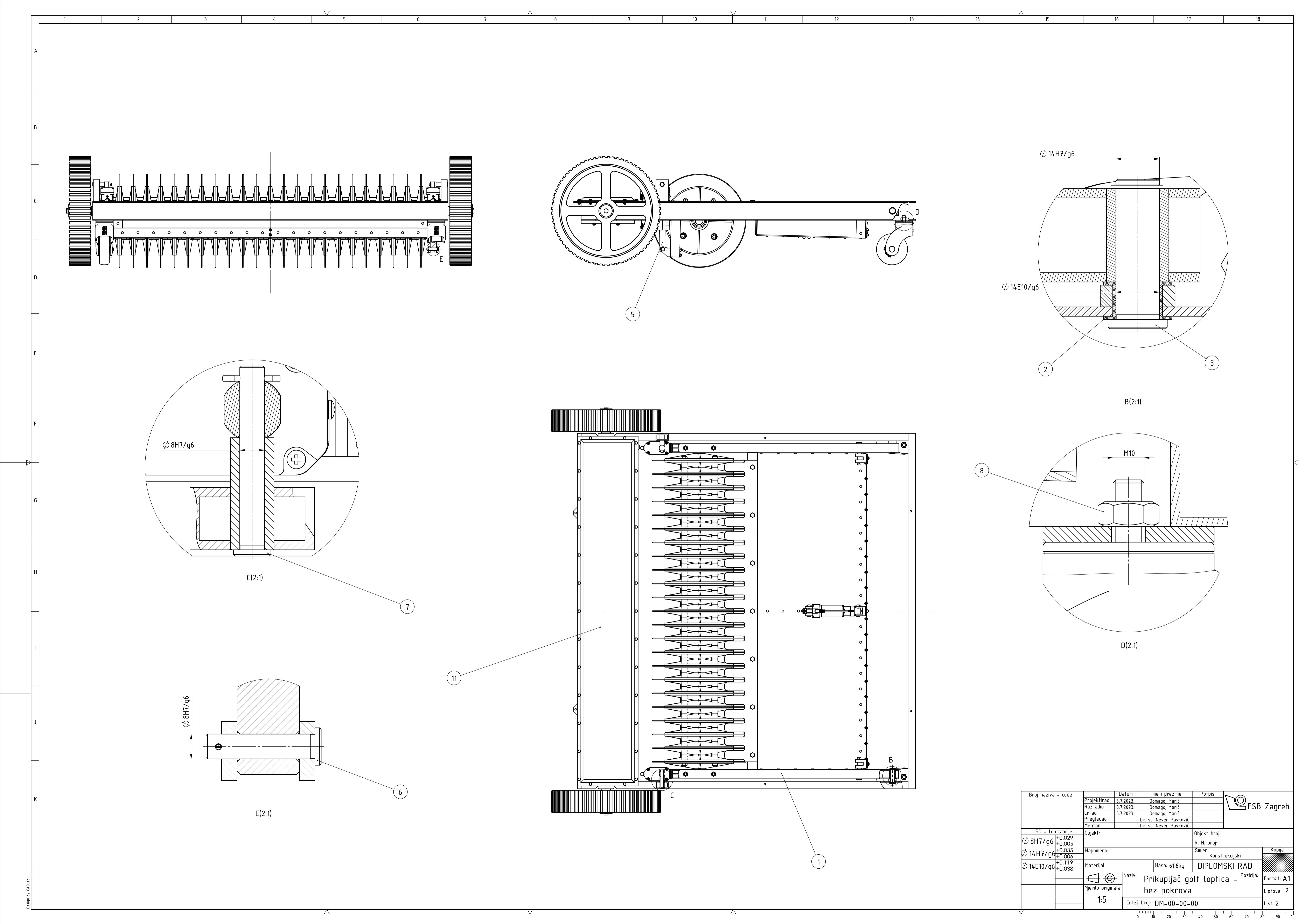
## LITERATURA

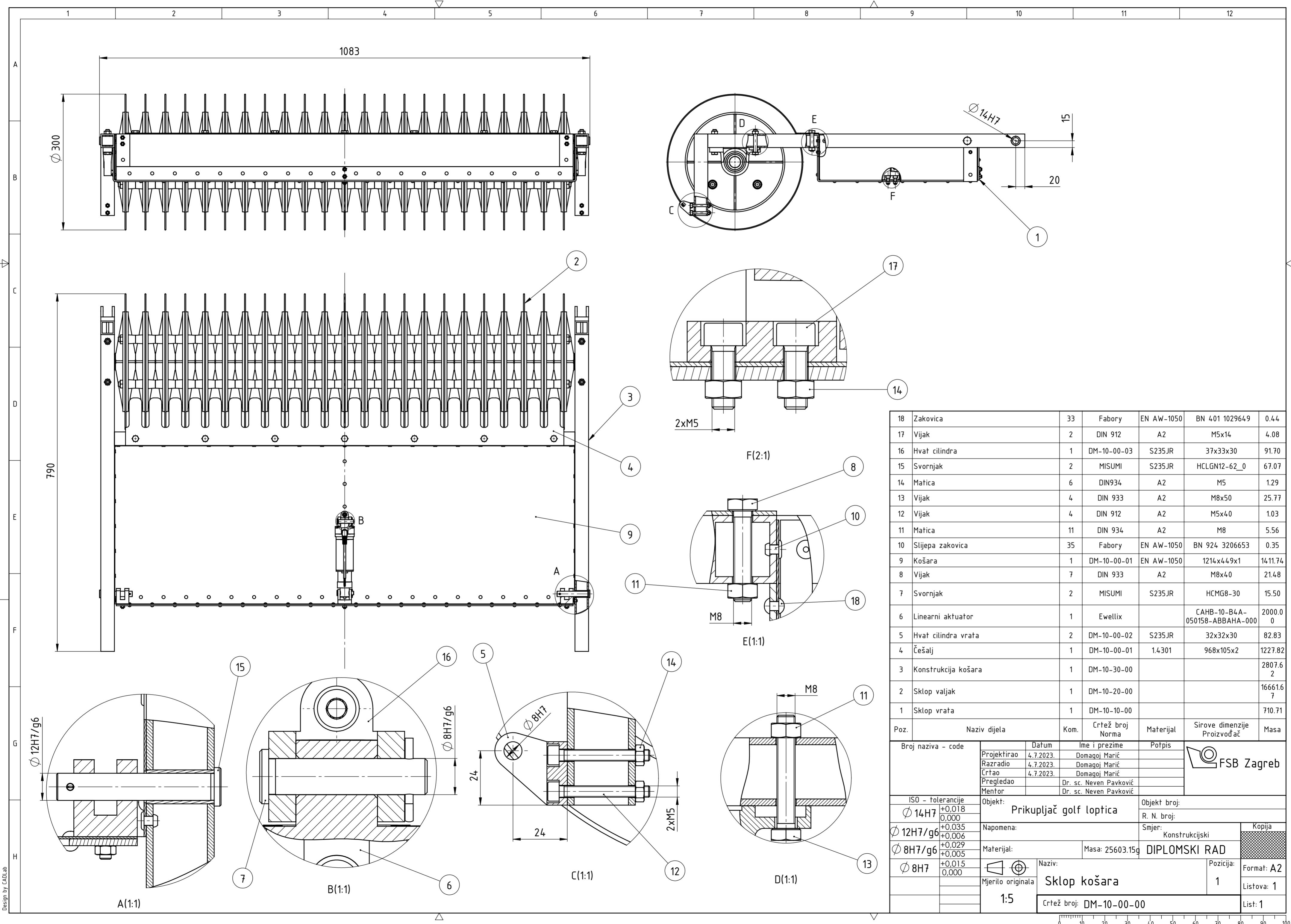
- [1] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=22556> (24.6.2023.)
- [2] <https://www.britannica.com/sports/paganica> (24.6.2023.)
- [3] <https://hr.eferrit.com/golf-majori/> (24.6.2023.)
- [4] <https://www.golfspan.com/how-many-acres-is-a-golf-course> (24.6.2023.)
- [5] <https://www.profitableventure.com/how-many-acres-driving-range> (24.6.2023.)
- [6] <https://patents.google.com/patent/US7462010> (24.6.2023.)
- [7] <https://patents.google.com/patent/US3227298> (24.6.2023.)
- [8] <https://patents.google.com/patent/US3989151> (24.6.2023.)
- [9] <https://korechi.golf> (24.6.2023.)
- [10] <https://www.rangeservant.com/product/robot-picker/> (24.6.2023.)
- [11] <https://golf-robotics.com/> (24.6.2023.)
- [12] <https://www.steelerobotics.com/projects> (24.6.2023.)
- [13] <https://echorobotics.com/en/garden-robot-solutions/robotic-golf-ball-collector/> (24.6.2023.)
- [14] <https://mathworld.wolfram.com/SpherePacking.html> (24.6.2023.)
- [15] Petterson T.C., Gooch S.D.: Rolling resistance of ATV tyres in agriculture
- [16] <https://www.maxongroup.com/maxon/view/product/136209> (24.6.2023.)
- [17] <https://www.maxongroup.com/maxon/view/product/gear/planetary/gp62/110501> (24.6.2023.)
- [18] <https://www.aegisbattery.com/collections/48-volt-nmc-li-ion-batteries/products/48v-20ah-li-ion-battery-pvc> (24.6.2023.)
- [19] <https://www.nbk1560.com/en-US/products/coupling/couplicon/oldham/MOR-K/MOR-55K/> (24.6.2023.)
- [20] SKF rolling bearings, catalogue 2018.
- [21] Horvat Z.: VRATIOLO (Proračun), Zagreb
- [22] Decker, K.H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 2006.
- [23] <https://www.ewellix.com/en/products/linear-actuators/cahb-series/cahb-10> (24.6.2023.)
- [24] <https://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110302643660/?PNSearch=PBT25&HissuCode=PBT25&searchFlow=suggest2products&Keyword=PBT25> (24.6.2023.)
- [25] <https://www.blickle.com/product/LWGX-TPA-101G-GSX10-751641> (24.6.2023.)
- [26] Kljajin M., Opalić M.: Inženjerska grafika, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2016.

**PRILOZI**

- I. CD-R disk
- II. Tehnička dokumentacija

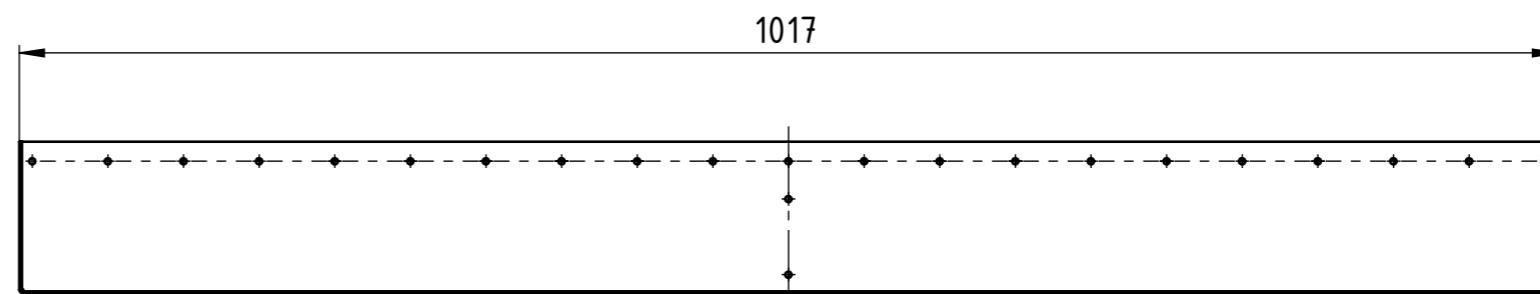
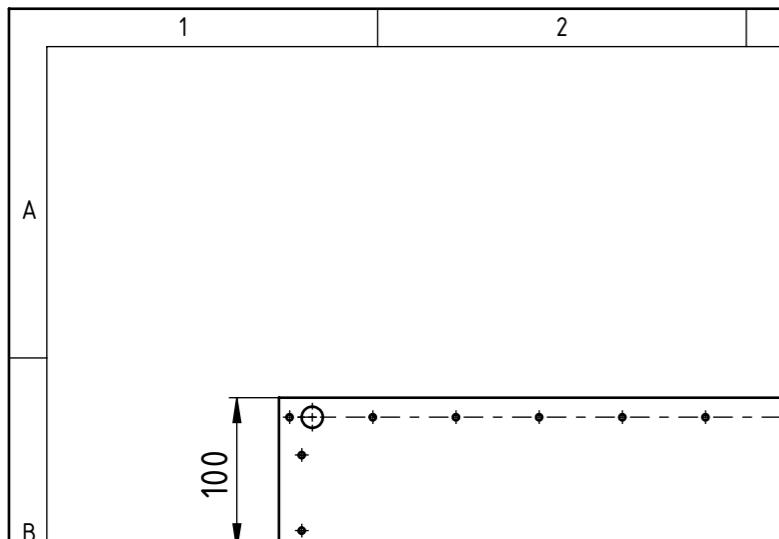




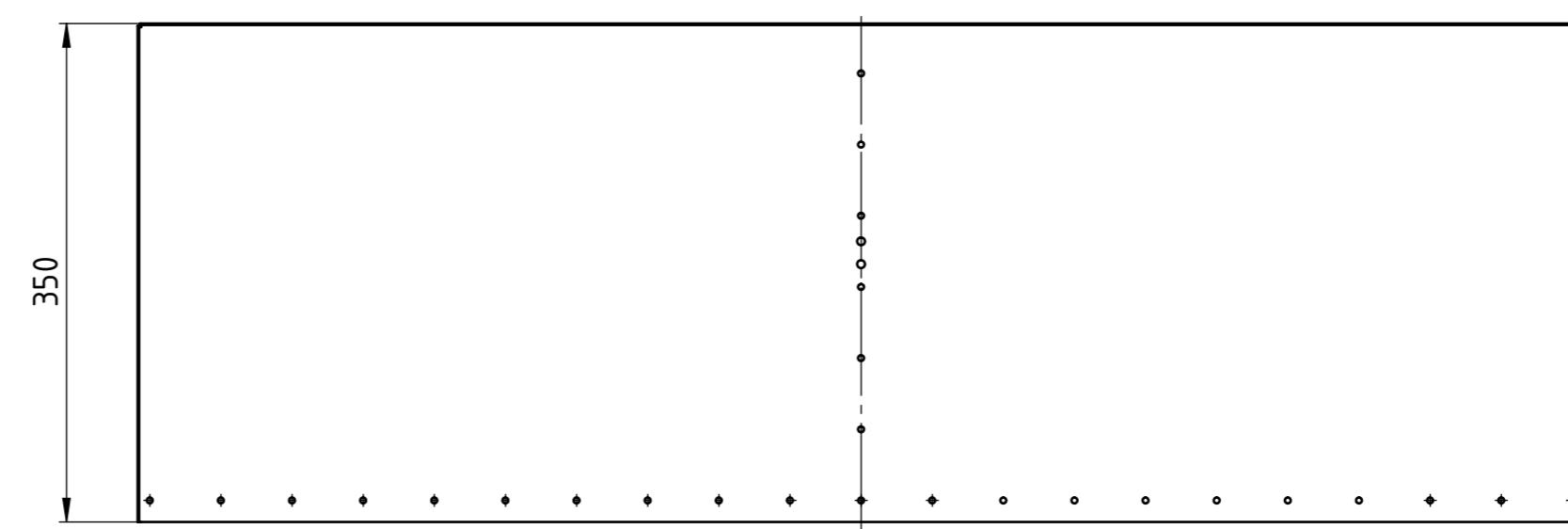


1 2 3 4 5 6 7 8

Ra 6,3



B



D

E

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	5.7.2023.	Domagoj Marić	
Razradio	5.7.2023.	Domagoj Marić	
Crtao	5.7.2023.	Domagoj Marić	
Pregledao		Dr. sc. Neven Pavković	
Mentor		Dr. sc. Neven Pavković	

Objekt: Sklop košara Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:	Smjer:	Konstrukcijski	Kopija
-----------	--------	----------------	--------

Materijal: EN AW-1050A Masa: 1411.74g DIPLOMSKI RAD

F

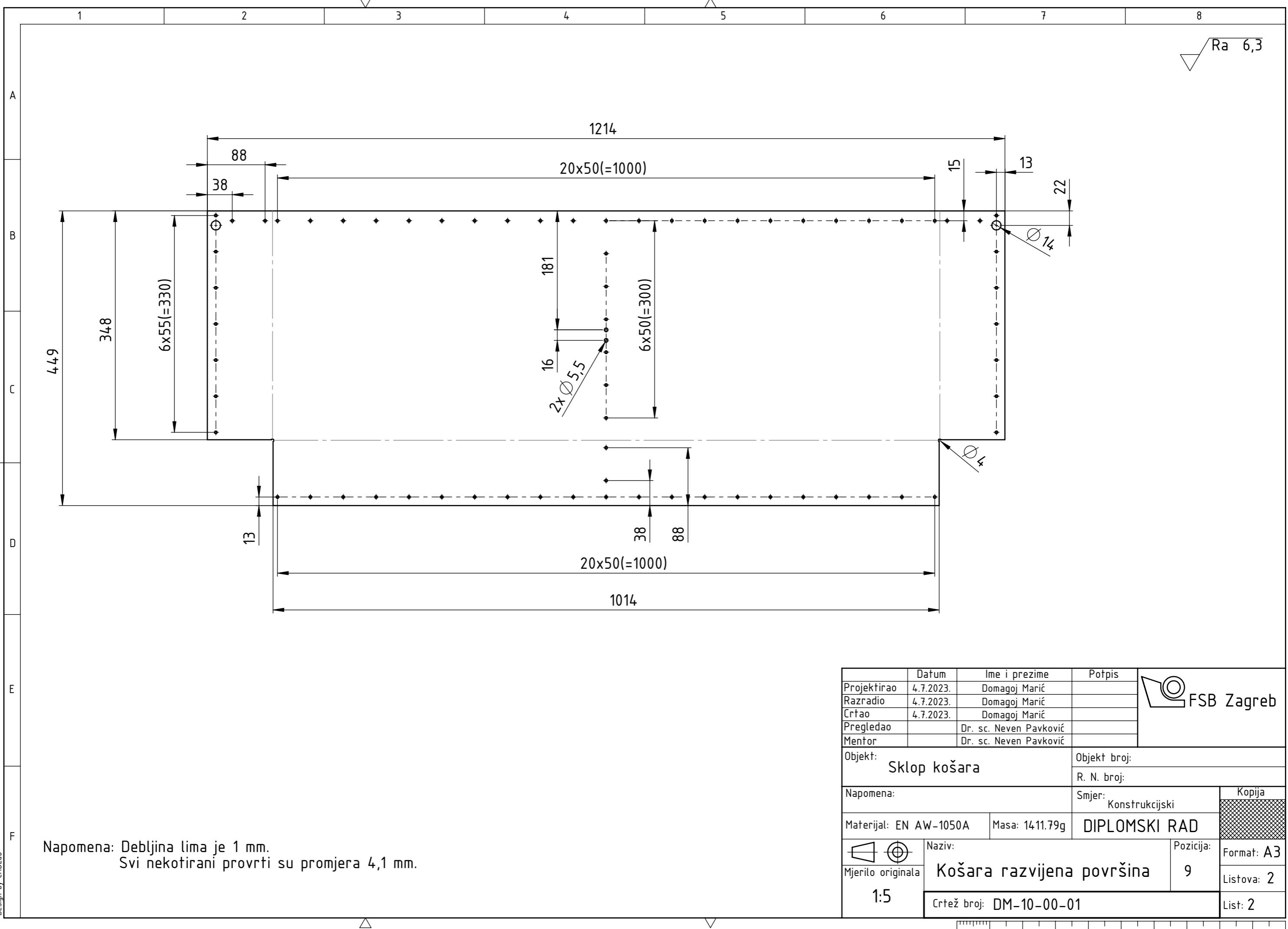
Design by CADLab

Mjerilo originala Naziv: Košara Pozicija: Format: A3

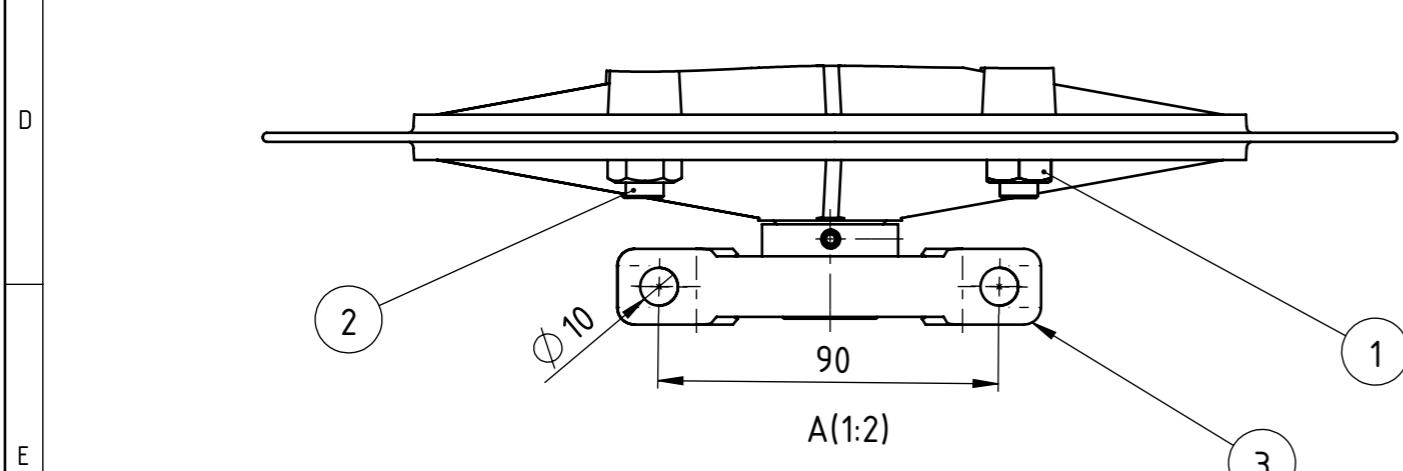
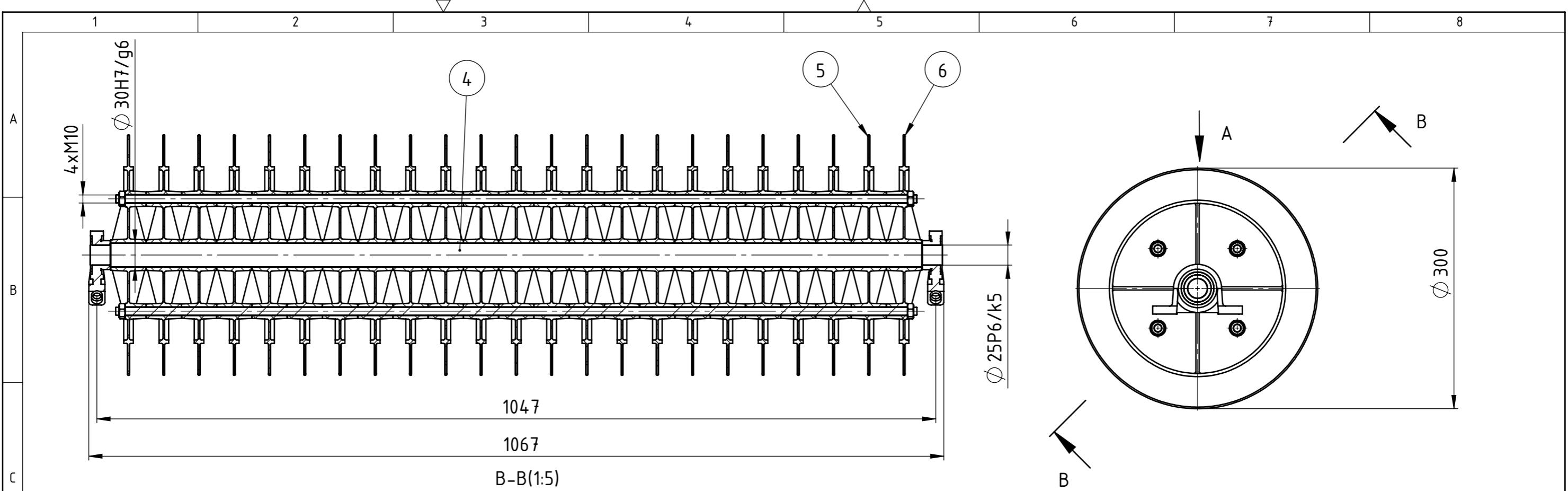
1:5 Crtež broj: DM-10-00-01 Listova: 2

List: 1

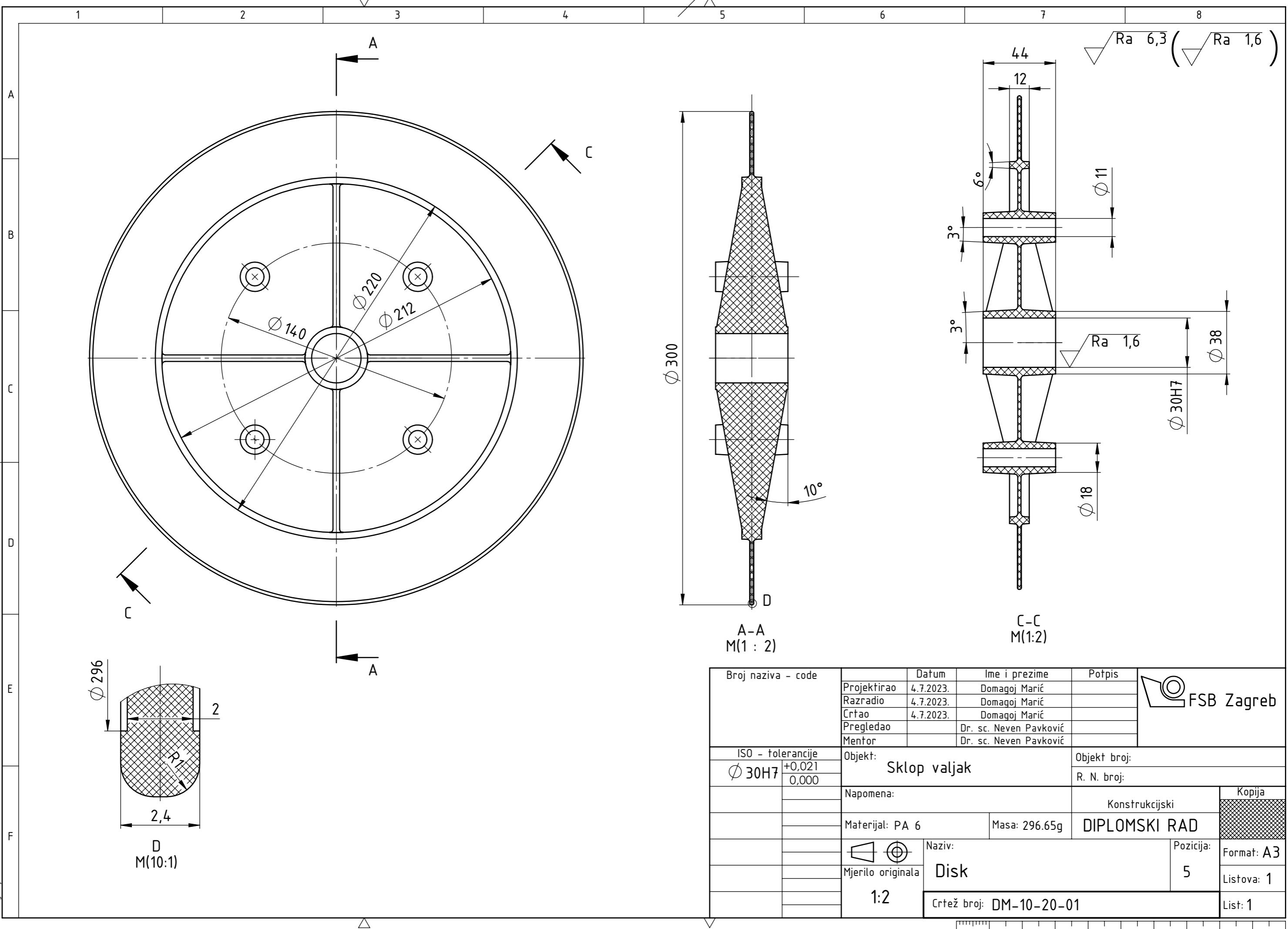


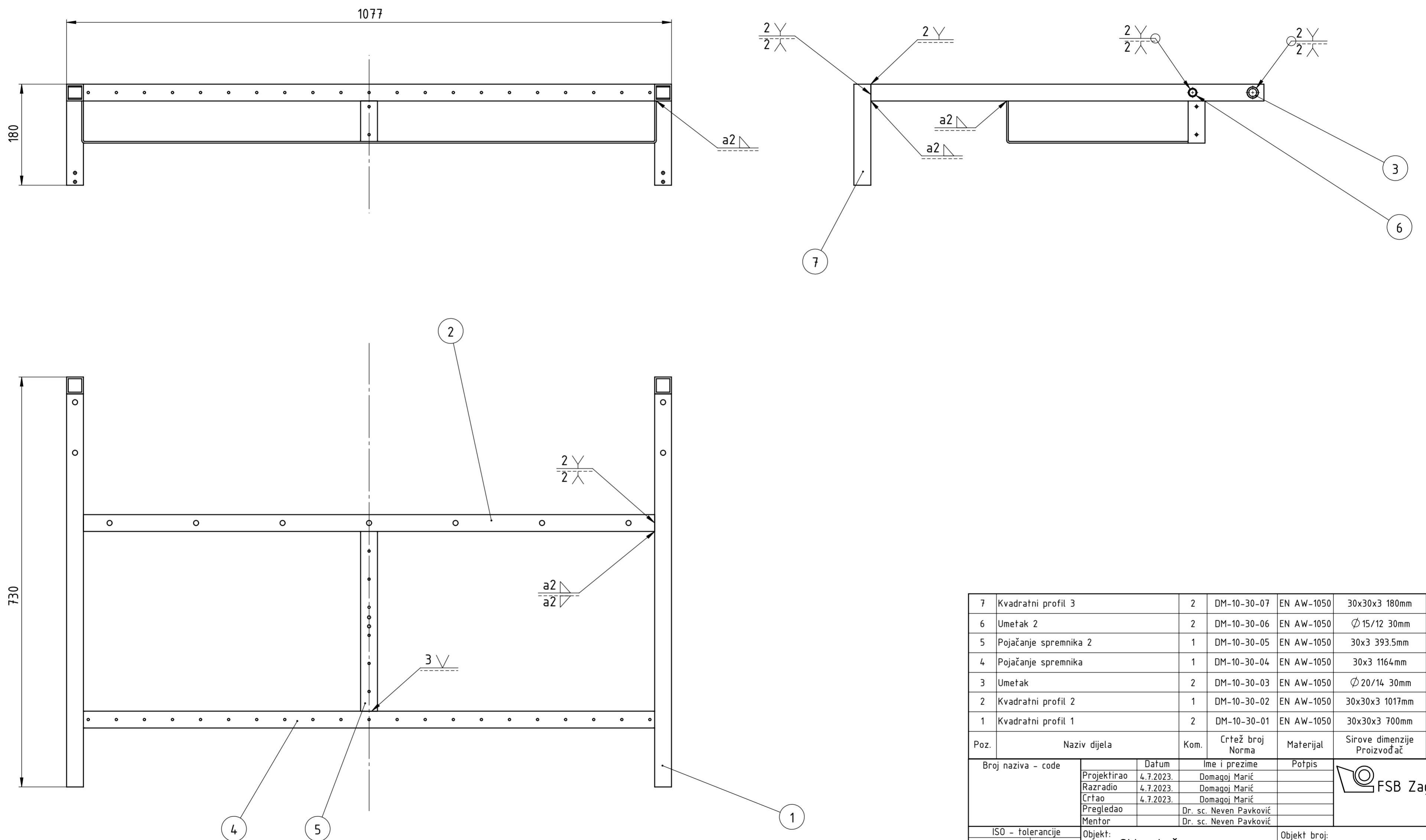


Design by CADLab



Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
6	Krajnji disk	2	DM-10-20-02	PA 6	Ø300x44	282.05
5	Disk	21	DM-10-20-01	PA 6	Ø300x44	296.65
4	Osovina	1	MISUMI	1.4301	FPSFJDD-D30-L1014-F25-T25-P25-Q25	5855.45
3	Ležaj	2	MISUMI	Čelik	PBT25	396.23
2	Navojna šipka	5		1.4301	M10x1000	620.40
1	Matica	10	DIN934	1.4301	M10	11.75
Poz. Naziv dijela Kom. Crtež broj Norma Materijal Sirove dimenzije Proizvođač Masa						
Broj naziva - code Datum Ime i prezime Potpis						
Projektirao 4.7.2023. Domagoj Marić						
Razradio 4.7.2023. Domagoj Marić						
Crtao 4.7.2023. Domagoj Marić						
Pregledao Dr. sc. Neven Pavković						
Mentor Dr. sc. Neven Pavković						
ISO - tolerancije Objekt: Sklop košara Objekt broj:						
Ø 30H7/g6 +0,041 R. N. broj:						
+0,007						
Ø 25P6/k5 -0,020 Napomena: Smjer: Konstrukcijski Kopija						
-0,042						
Materijal: Masa: 16661.67g DIPLOMSKI RAD						
Format: A3						
Mjerilo originala 1:5 Naziv: Sklop valjak Pozicija: 2						
Listova: 1						
List: 1						





7	Kvadratni profil 3	2	DM-10-30-07	EN AW-1050	30x30x3 180mm	156.69
6	Umetak 2	2	DM-10-30-06	EN AW-1050	Ø 15/12 30mm	5.15
5	Pojačanje spremnika 2	1	DM-10-30-05	EN AW-1050	30x3 393.5mm	94.38
4	Pojačanje spremnika	1	DM-10-30-04	EN AW-1050	30x3 1164mm	280.18
3	Umetak	2	DM-10-30-03	EN AW-1050	Ø 20/14 30mm	12.98
2	Kvadratni profil 2	1	DM-10-30-02	EN AW-1050	30x30x3 1017mm	880.21
1	Kvadratni profil 1	2	DM-10-30-01	EN AW-1050	30x30x3 700mm	601.60
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb		
	Projektirao	4.7.2023.	Domagoj Marić			
	Razradio	4.7.2023.	Domagoj Marić			
	Črtao	4.7.2023.	Domagoj Marić			
	Pregledao		Dr. sc. Neven Pavković			
	Mentor		Dr. sc. Neven Pavković			
ISO - tolerancije	Objekt:  Sklop košara	Objekt broj:				
		R. N. broj:				
	Napomena:	Smjer: Konstrukcijski		Kopija		
	Materijal: EN AW-1050A	Masa: 2807.62g	DIPLOMSKI RAD			
		Naziv:  Konstrukcija košara	Pozicija: 3	Format: A2		
	Mjerilo originala 1:5	Crtež broj: DM-10-30-00		Listova: 1		
				List: 1		

