

# Projektiranje borbenog robota za FIGHTBOTICS natjecanje

---

**Spaček, Neven**

**Undergraduate thesis / Završni 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:235:365498>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-11**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Neven Spaček**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **Projektiranje borbenog robota za FIGHTBOTICS natjecanje**

Mentor:

Doc. dr. sc. Rudolf Tomić, dipl. ing.

Student:

Neven Spaček

Zagreb, 2023.

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

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Rudolfu Tomiću na savjetima i pomoći oko izrade rada te kolegama iz FIGHTBOTICS-a na kvalitetnim savjetima. Zahvaljujem se i svojoj obitelji zbog podrške tijekom studija.

Neven Spaček



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomске ispite studija strojarstva za smjerove:  
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Neven Spaček**

JMBAG: **0035221061**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projektiranje borbenog robota za FIGHTBOTICS natjecanje**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Designing a fighting robot for the FIGHTBOTICS competition**

Opis zadatka:

Fightbotics je studentski pilot-projekt koji okuplja studente STEM područja, srednjoškolce, hobiste kao i tvrtke u natjecanju, izradi i borbi robota. Radi se o robotu koji u biti predstavlja daljinski upravljano vozilo na kotačima ili na gusjenicama s manipulatorom koji je u biti oružje robota. U okviru natjecanja evaluira se konstrukcijska izvedba robota prema kriterijima definiranim u pravilniku natjecanja te rezultat borbe.

U sklopu rada potrebno je:

- proučiti pravilnik natjecanja i utvrditi rubne uvjete koji ograničavaju dimenzije, konstrukcijske parametre i funkcionalnost robota,
- definirati listu zahtjeva za robota,
- predložiti nekoliko koncepata borbenog robota,
- utvrditi kriterije za vrednovanje koncepata te odabrati najpogodniji koncept robota,
- konstrukcijski razraditi odabrani koncept robota, a konstrukcijsku razradu popratiti skicama, proračunima i odgovarajućim analizama,
- izraditi detaljan računalni 3D model borbenog robota te izraditi pripadajuću tehničku dokumentaciju.

Pri izradi rada treba se pridržavati uobičajenih pravila za izradu završnog rada. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.


Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.  
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.  
3. rok: 18. 9. 2023.

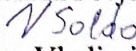
Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.  
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.  
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Zadatak zadao:

  
Doc. dr. sc. Rudolf Tomić

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	IV
POPIS OZNAKA .....	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY .....	VII
1. UVOD .....	1
2. PRAVILNIK .....	2
2.2. Osnovni uvjeti .....	2
2.3. Masa bota .....	3
2.4. Aktivacija/deaktivacija bota.....	3
2.5. Električni sustav .....	4
2.6. Daljinsko upravljanje .....	4
2.7. Konstrukcijski materijali.....	4
2.8. Plamen.....	5
2.9. Aktivna oružja.....	5
2.10. Pneumatika.....	7
2.11. Bodovanje borbi.....	7
3. LISTA ZAHTJEVA I KONCEPTI.....	8
3.1. Robot kojem se cijelo tijelo rotira (full-body spinner) .....	8
3.2. Robot s čekićem .....	9
3.3. Robot s nagibom/plamenom (wedgebot/famebot) .....	11
3.4. Definiranje liste zahtjeva .....	12
3.5. Predodabir i usporedba koncepata pomoću matrice odlučivanja.....	12
4. OPIS KOMPONENTI.....	15
4.1. Elektronički regulator brzine (ESC - electronic speed control).....	15
4.2. Motor s četkicama .....	16
4.5. J-B weld .....	20
4.6. TIG zavarivanje.....	20
5. PRORAČUNI.....	22
5.1. Određivanje brzine vrtnje motora i brzine bota .....	22
5.2. Proračun baterije .....	23
5.3. Proračun mase .....	26
6. Opis robota.....	28
6.1. Postupak sklapanja robota.....	29
PRILOZI.....	33

---

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Full-body spinner .....	9
Slika 2.	Robot s čekićem .....	10
Slika 3.	Robot s nagibom.....	11
Slika 4.	Primjer spajanja motora s četkicama .....	15
Slika 5.	Izgled PWM signala za različite brzine vrtnje elektromotora.....	16
Slika 6.	Elektromotor s četkicama korišten u Kremenku .....	17
Slika 7.	LiPo baterija .....	18
Slika 8.	Servomotor .....	19
Slika 9.	J-B weld.....	20
Slika 10.	TIG zavarivanje .....	21
Slika 11.	Graf pražnjenja jedne ćelije u bateriji .....	23
Slika 12.	Vučna sila .....	24
Slika 13.	Karakteristika elektromotora .....	26
Slika 14.	Procjena mase Kremenka .....	27
Slika 15.	Kremenko .....	29

---

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Lista zahtjeva za robota..... 12  
Tablica 2. Predodabir koncepata ..... 12  
Tablica 3. Matrica odlučivanja..... 14



---

**POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

32300-1061	Sklop Kremenko	
1061-2301-Zavarena_konstrukcija		Zavarena konstrukcija
2300-1061-01	Stražnja ploča	
2300-1061-02	Bočna ploča	
2300-1061-03	Donja ploča	
2300-1061-04	Gornja ploča	
2300-1061-05	Prednja ploča	
2300-1061-06	Nosač motora	
2300-1061-07	Prednji nosač	
2300-1061-08	Nosač servo motora	
2300-1061-09	Kotač	
2300-1061-10	Nosač CO <sub>2</sub>	
2300-1061-11	Vrh CO <sub>2</sub>	

**POPIS OZNAKA**

Oznaka	Jedinica	Opis
$T$	$\frac{0}{sV}$	Omjer brzine vrtnje i dovedenog napona
$U$	V	Napon baterije
$n_{mot}$	$s^{-1}$	Brzina vrtnje motora
$i$	–	Prijenosni omjer
$n$	$s^{-1}$	Brzina vrtnje izlaznog vratila reduktora
$v$	$\frac{m}{s}$	Brzina bota
$D$	m	Promjer kotača
$\pi$	–	Matematička konstanta
$I_0$	A	Struja koja se predaje motoru bez izlaznoga opterećenja
$I_{max}$	A	Struja koja se predaje motoru kod 100% opterećenja
$I$	A	Struja koja se predaje motoru očitana iz grafa
$K$	Ah	Kapacitet baterije
$t$	s	Vrijeme trajanja baterije
$I_p$	A	Maksimalno dopušteno pražnjenje
$C$	–	Faktor maksimalnog pražnjenja baterije
$M_p$	Nm	Moment na kotač
$P$	W	Snaga elektromotora
$F_V$	N	Vučna sila
$r_d$	m	Radijus kotača
$F_n$	N	Vučna sila
$F_\mu$	N	Sila trenja
$\mu$	–	Faktor trenja za par guma/čelik

---

**SAŽETAK**

U ovom radu prikazan je borbeni robot „Kremenko“ koji je sudjelovao u prvim studentskim borbama robota u *Fightbotics* organizaciji. Koncept takvog borbenog robota, jedini svoje vrste koji se pojavio među natjecateljskim izrađenim robotima naziva se „Flamebot“. Ima karakteristično oružje, odnosno mogućnost iskrenja vatre, kojom može zapaliti protivničkog robota. Obradeni su još karakteristični modeli koji su sudjelovali na natjecanju, te je pružena analiza modela sukladno mehaničkim i dinamičkim svojstvima pojedinog modela. Opisan je i Pravilnik natjecanja u kojem se nalaze pravila za izradu, ali i sudjelovanje u natjecanju. Uz rad je priložena tehnička dokumentacija razrađenog koncepta fighbota „Kremenko“.

Ključne riječi: borbeni robot, *Fightbotics*, Pravilnik.

---

**SUMMARY**

In this thesis is represented battle bot „Kremenko“, who has participated in the first student battle of robots in the organization of Fightbotics. Concept of such battle bot, the only one of its kind in the competition among other contestants is called “Flamebot”. It has a characteristic weapon, and that is ability for sparking fire, which can be used to set opponents battle bot on fire. Other standard models that participated in the competition are also described, and they are given model analysis according the mechanical and dynamical properties. Document “Pravilnik”, that represents rules of the competitions, is also described, which besides the rules for contestants, contains rules for building and modeling battle bot. The thesis is accompanied by technical documentation of the battle bot “Kremenko”

Key words: battle bot, Fightbotics, „Pravilnik“

## 1. UVOD

*Fightbotics* studentske borbe robota je studentsko natjecanje u kojem studentski timovi imaju zadatak sklopiti svog borbenog robota, te se boriti s njim u organiziranom natjecanju. Cilj je stečenim znanjima i vještinama, potaknuti inženjersku intuiciju prilikom osmišljavanja koncepta, ali i praktične vještine potrebne za sklapanje borbenog robota. Samo natjecanje je po prvi puta organizirano za studente, u studenom 2022. godine. Inspiracija za organiziranjem takvog natjecanja je došla od američkog serijala *BattleBots*, koji su započeli s borbama robota još tijekom 80-ih godina. Nažalost trend borbi robota je siromašno obuhvatio Europu, no razvojem tehnologija i naglaskom na STEM područja, pojavio se izrazit interes studenata, hobista i firmi. Natjecanje za studente je formalno podijeljeno na dva dijela, u prvom dijelu se boduju 3D modeli robota (CAD), opis funkcionalnosti robota, te elektronička shema spajanja elektronike unutar robota. Potom, ako su modeli i funkcionalnost zadovoljeni, prelazi se na sklapanje robota pri kojem svi studentski natjecatelji imaju pristup radionicama i suradnji s mentorima. Svaki korak pri izradi je bitan budući da na natjecanju treba imati na umu pokretljivost robota, fleksibilnost oružja, lako zamjenjive i popravljive dijelove i sl., pošto se roboti između borbi oštete, te je bitna brzina i mogućnost popravljanja. Postoji više vrsta kategorija natjecanja, te su definirane masenim granicama. Mogu varirati od 0.15 kilograma (Antweight kategorija), pa sve do 115 kg (Heavyweight kategorija). *Fightbotics* natjecanje je temeljeno na Beetleweight kategoriji, odnosno 1.3 kg je bila maksimalna dopuštena masa borbenog robota.

## 2. PRAVILNIK

### 2.1. Kriterij evaluacije robota prema pravilniku

10 najboljih studentskih timova koji se prijave za natjecanje bit će sufinancirani, a ovo su kriteriji prema kojima se dodjeljuju bodovi. U zagradi stoji maksimalna vrijednost svakog kriterija.

Kriteriji se dijele na sljedeće stavke:

- **Jednostavnost dizajna bota (4)** – što je bot jednostavniji to će se manje stvari u njemu moći pokvariti.
- **Kreativnost (3)** – cilj nije replicirati ono „što jednostavno radi“, nego već pokazati svoju kreativnost u izradi i dizajnu bota.
- **Destruktivnost oružja (5)** – u borbama bota moćna i destruktivna su oružja poželjna.
- **Pouzdanost dizajna (5)** – nastavi li bot i dalje raditi ako ostane bez nekog dijela, veća je šansa da će preživjeti borbu.
- **Estetika bota (3)** – iako je ovo primarno natjecanje u inženjerstvu, botovi koji ukomponiraju zanimljiv dizajn i vizuale bit će nagrađeni.

### 2.2. Osnovni uvjeti

Osnovni uvjeti koje bot mora zadovoljiti:

- **Mobilnost** – za pokretanje bota mogu se koristiti kotači, gusjenice, noge... Jedini uvjet je da način gibanja ne oštećuje arenu. Minimalno ograničenje brzine je 0,2 m/s.
- **Kontrola bota** – moramo osigurati pouzdanu bežičnu kontrolu nad svim funkcijama i pozicijom bota.
- **Oružje** – bot mora imati barem jedno aktivno oružje koje se kontrolira neovisno o pogonu. Oružje mora moći načiniti štetu drugom botu ili ga na neki drugi način onesposobiti.
- **Veličina bota** – je ograničena na dimenzije 300mmx300mmx300mm.
- **Zaštita opasnih komponenti** – baterije, spremnici pod visokim tlakom ili slično moraju biti zadovoljavajuće zaštićeni.

- **Konfiguracija bota** – Svi dijelovi bota moraju na početku borbe biti mehanički povezani. Multi-botovi nisu dozvoljeni.

### 2.3. Masa bota

Maksimalna dozvoljena masa bota iznosi 1300 grama i mjeri se na dan natjecanja. U slučaju dekoracija na robotu smije iznositi 1400 grama, no dekoracije ne smiju poslužiti kao oružje ili oklop.

### 2.4. Aktivacija/deaktivacija bota

Svaki bot mora imati neku vrstu prekidača koji od spaja glavno napajanje od ostatka električnog sustava. Aktivacija/deaktivacija mora biti jednostavna i sigurna, pri čemu je treba obaviti jedna osoba.

- a) **Glavni prekidač** za aktivaciju/deaktivaciju bota mora biti jednostavan za korištenje i nalaziti se na lako dostupnome mjestu. Sama sklopka mora se moći lagano i brzo aktivirati. Uvjeti koje glavni prekidač mora zadovoljiti su:

- Ako je bot potrebno nagnuti ili podići kako bi se ugasio, pozicija glavnog prekidača nije zadovoljavajuća.
- Ako je za aktivaciju/deaktivaciju potrebno doći u doticaj s oružjem, pozicija glavnog prekidača nije zadovoljavajuća.
- Ako bot ima rotirajući oklop (full body spinner) tada mora postojati mehanički način, ovisan ili neovisan o botu s kojim se najprije onemogućiti rotacija i nakon toga gasi bot.

Poželjno je da se glavni prekidač nalazi u nekom sigurnosnom kućištu, kako bi bio dodatno zaštićen.

- b) **Indikacijska svjetla** – Svaki bot mora sadržavati jedno ili skupinu indikacijskih svjetala, koje ukazuju na to da struja prolazi od glavnog napajanja prema sustavu za kretanja, oružju, sustavu za plamen ili slično. Kada se uključi glavni prekidač moraju se uključiti i indikacijska svjetla.

- c) **Aktivacije** – Svaki bot treba biti osposobljen za borbu unutar 30 sekundi, što uključuje skidanje zaštita s oružja, paljenje glavnog prekidača i bilo kojih drugih procedura potrebnih kako bi bot bio funkcionalan prije početka borbe. Kada je glavni prekidač uključen, bot ne smije pokazivati nikakve znakove kretnje ili oružja sve dok mu se ne pošalje nekakav upravljački signal.
- d) **Deaktivacija** – Po završetku borbe, bot se treba ugasiti unutar 30 sekundi, odnosno treba se onesposobiti rad oružja i sustav za kretanje.

## 2.5. Električni sustav

Kod električnog sustava potrebno je obratiti pažnju na dvije stvari:

- **Maksimalan napon** – maksimalan napon koji napaja sustave za kretanje i oružje ne smije prelaziti više od 36 V s maksimalno napunjenim baterijama.
- **Baterije** – Prilikom izrade bota mogu se koristiti bilo koje vrste komercijalno dostupnih baterija. Baterije koje nisu komercijalne ili koje su naknadno modificirane nisu dozvoljene. Poželjno je da se baterije povezuje standardnim konektorom i može se lako stavljati i vaditi van bota.

## 2.6. Daljinsko upravljanje

Svi botovi moraju koristiti DSSS (Direct-sequence spread spectrum, obično poznato pod nazivom 2.4 GHz) s automatskim povezivanjem između daljinskog odašiljača i prijemnika. Potrebno je osigurati da bot nema preklapanje frekvencije sa signalima drugih botova. Kontrolni sustav mora biti osmišljen tako da u slučaju prestanka rada daljinskog upravljača, bot mora zaustaviti kretanje i funkcionalnost svog oružja.

## 2.7. Konstrukcijski materijali

Prilikom odabira materijala ne smije se dovesti nikoga u opasnost, odnosno moraju biti sigurni za uporabu.

### a) Zabranjeni materijali :

- Radioaktivni materijali;
- Kancerogeni vlaknasti materijali (azbest, itd.). Kompoziti s karbonskim, armadinim i staklenim vlaknima su dozvoljeni;



- Otrovni ili reaktivni metali (kadmij, živa, litij);
- Organski materijali (osim drva i elektrolita unutar baterija).

**b) Zabranjeni oklopni materijali :**

- Olovo;
- Poliuretanske i krute plastične pjene (PVC, stiropor, itd.);
- Staklo ili krhka keramika.

**c) Unutarnji materijali** – Plastične pjene i guma dozvoljeni su za korištenje s unutarnje strane bota.

**d) Magneti** – Korištenje magneta i elektromagneta (osim u motorima, relejima ili solenoidima) dozvoljeno je samo kao način dobivanja trakcije s podom kaveza, nikako u svrhu privlačenja drugog bota.

## 2.8. Plamen

Uvjeti korištenja plamena su:

- Dozvoljeno je jedino koristiti propan, butan, izobutan ili njihovu kombinaciju.
- Maksimalan volumen spremnika plina limitiran je na 15 mL.
- Spremnik plina mora biti zaštićen od mehaničkih i toplinskih utjecaja.
- Sam plamen mora biti u stanju pouzdano se uključiti i isključiti daljinskom kontrolom.
- Mehanizam ventila za spremnik u slučaju gubitka komunikacije prijavnika s odašiljačem mora ostati u zatvorenoj poziciji.

## 2.9. Aktivna oružja

Svaki bot mora imati oružje (ili više oružja):

**a) Definicija oružja** – oružje koje koristi vaš bot mora biti aktivno napajano i neovisno o sustavu kretanja. Uporaba oružja tijekom kretanja je dozvoljena, no njezina efikasnost i kontrola ne smije biti povezana s kretanjem. Wedgeboti i thwackboti su dozvoljeni, no moraju imati dodatno aktivno oružje.

**b) Projektili** – projektili su dozvoljeni dokle god ne predstavljaju opasnost areni i gledateljima. Za projekte se ne smiju koristiti eksplozivi. Mehanizmi ispućavanja

projektila koji uključuju opruge, katapulte i plinski pogonjeno oružje su dozvoljeni. Ograničenje na brzinu projektila ne postoji, no ograničena je samo njegova kinetička energija na 100 J.

- c) **Više oružja** – bot može imati više oružja istovremeno, od kojih barem jedno mora biti aktivno. Dozvoljena su modularna oružja koja korisnik može izmijeniti prije borbe, no bot ne smije težiti više od maksimalne masene granice neovisno o konfiguraciji oružja.
- d) **Rotirajuća oružja** – rotirajuća oružja moraju imati sigurnosnu zaštitu gašenja ako se izgubi signal s upravljačem. Rotirajuće oružje se treba nakon slanja komande za zaustavljanje u potpunosti zaustaviti unutar 30 sekundi. Masa cijelog rotirajućeg dijela oružja (ne uključuje pogonski dio kao što su motor ili remenice, nego samo dio oružja namijenjen nanošenju štete) ne smije prijeći masu od 400 grama.
- e) **Brzina oružja** – brzina bilo kojeg dijela oružja (kod rotirajućih dijelova to je obodna brzina vrha oružja) ne smije prijeći brzinu od 75 m/s.
- f) **Lifteri/Flipper oružja** – Svaki flipper mora moći baciti masu od barem 1 kg 10 cm u zrak. Svaki lifter mora moći podići masu od barem 1.3 kg 10 cm u zrak.
- g) **Zabranjena oružja:**
- Korištenje bilo kakvog ljepljivog materijala, mreža, konopa, pijeska, malih kuglica ili sličnog, čija bi svrha bila onesposobiti protivnika bez nanošenja fizičke štete.
  - Korištenje tekućina, ukapljenih plinova poput tekućeg dušika.
  - Korištenje EMP uređaja ili sličnih naprava čiji je cilj onesposobiti čitavu elektroniku protivničkog bota.
  - Namjerno stvaranje dima, magle itd...
  - Korištenje lasera, bliceva ili jakog svjetla koje može naštetiti vidu.
  - Oružja čija je svrha nanošenja štete protivničkom botu uništavanjem samoga sebe.

## 2.10. Pneumatika

Zahtjevi za pneumatiku su:

- Pneumatski sustav može koristiti komprimirani dušik, zrak ili CO<sub>2</sub>.
- Maksimalni dopušteni tlak spremnika iznosi 100 bara.
- Mehanizam ventila za spremnik u slučaju gubitka komunikacije prijamnika s odašiljačem mora ostati u zatvorenoj poziciji.

## 2.11. Bodovanje borbi

Borba traje maksimalno 3 minute. Ako unutar te 3 minute dođe do onesposobljavanja kretnje protivničkog („Knockout“) bota tada borba završava i pobjednik je bot koji je funkcionalan. Knockoutiranim botom se smatra onaj bot koji unatoč slanjima signala ne pokazuje kontrolirane kretnje nakon odbrojavanja od 10 sekundi. Ako se botovi međusobno zaglave i ne mogu se razdvojiti, vrijeme se zaustavlja, organizatori će pokušati razdvojiti botove, ako uspiju borba se nastavlja i vrijeme se pokreće od kuda je stalo, ako organizatori ne uspiju razdvojiti botove borba tada staje i presudu donose suci. Ako nakon 3 minute oba borbena robota prežive ili se istovremeno knockoutiraju, pobjednik će se odrediti prema sustavu bodovanja.

Princip bodovanja:

- Totalno oštećenje protivničkog bota (0-5 bodova)
- Agresivnost (0-3 bodova)
- Kontrola (0-3 bodova)

Suci procjenjuju svaki od navedenih segmenata i maksimalno je moguće dobiti 11 bodova.

### 3. LISTA ZAHTJEVA I KONCEPTI

Izbor tipa robota, koji je prikladan za borbe robota ovisi o čitavom nizu zahtjeva. Potpuno je jasno da većina zahtjeva proizlazi iz oblika konstrukcije. Drugi dio zahtjeva proizlazi iz tehnologije izrade. Dakle, kao polazište za izbor tipa robota odabrana je tzv. lista zahtjeva koju bi trebao zadovoljiti izabrani tip robota.

Kao što je već gore rečeno, zahtjeve koje mora zadovoljiti robot prikladan za borbe treba prvenstveno tražiti u obliku konstrukcijske izvedbe proizvoda.

U borbama robota moguće je biti jako kreativan i iskoristiti razna oružja, primjerice plamen, rotacijska oružja, pile... U ovom dijelu razradit će se 3 koncepta, lista zahtjeva i preko matrice odlučivanja odabrati najbolji koncept sa traženim parametrima.

#### 3.1. Robot kojem se cijelo tijelo rotira (full-body spinner)

Full-body spinner opisuje okretno oružje koje okružuje dio ili cijelu šasiju robota i unutarnje dijelove, s napadom od 360 stupnjeva. Ova oružja često se okreću na središnjem vratilu i obložena su oštricama, zubima ili drugim oštrim/otežanim oružjem kako bi oštetili druge robote. Full-body spinner, kao što mu ime govori, pokriva cijelo tijelo robota koje koristi kao oružje.

Prednosti:

- Ovo oružje štiti robota sa svih strana, te je praktički ne moguće nanijeti štetu robotu bez kontakta sa spinnerom u procesu (iako spinneri imaju slabost da su podložni udarcima čekića).
- Pošto su oštrice maksimalno udaljene od centra rotacije kod full-body spinera, svaki kontakt sa njegovim oružjem nanosi veliku štetu na protivničkom robotu.
- Zbog žiroskopskog efekta ga je jako teško prevrnuti.
- Moguće ga je izvesti tako da bude upravljiv na obje strane, tako da ako dođe do prevrtanja bude još upravljiv.

Nedostatci:

- U slučaju prestanka rada glavnog oružja jako je teško nanijeti štetu zbog njihovog okruglog dizajna.
- Treba im dugo vremena dok uspiju zavrtiti svoje glavno oružje.

- Kao i kod svih botova sa okretnim elementima u slučaju kontakta s arenom imaju tendenciju uništiti svoje oružje, a nekad čak i robota.
- Jako skupi dijelovi zbog svoje plosnate izvedbe i lako se kvare.



Slika 1. Full-body spinner

### 3.2. Robot s čekićem

Čekić je vrsta oružja koje se nalazi iznad robota. Čekići dolaze u nizu oblika, a od sjekira se razlikuju po tome što su obično tupi s namjerom da izazovu unutarnju štetu, umjesto da probuše oklop i oštete izložene kotače ili gusjenice. Neki timovi dodaju tupi šiljak na kraju svojih čekića, kako bi usmjerili više energije u jednu točku na protivničkog robota. Ove vrste čekića obično se nazivaju čekići s šiljcima.

Prednosti:

- Čekići su jedno od najjednostavnijih i najrasprostranjenijih oružja.
- Zbog široke površine čekića, čekić može saviti oklop.
- Kinetička energija koja se razvije zamahom čekića protivniku uzrokuje velika unutarnja oštećenja, uzrokujući da protivnici ostanu imobilizirani.
- Čekići često imaju veliki doseg u usporedbi s drugim oružjem iznad glave, što korisnicima čekića omogućuje da udaraju protivnike s manje straha da će i sami biti napadnuti.

- Mehanizam čekića ujedno može poslužiti za prevrtanje robota na voznu stranu ukoliko se prevrne tokom borbe.

Nedostatci:

- Potrebna je velika količina sile da bi čekići nanijeli štetu protivnicima.
- Ponekad sila čekića može oštetiti vlastitog robota iznutra.
- Čekići ne uzrokuju veliku vidljivu štetu, što otežava natjecateljskim robotima s čekićima da pobijede odlukama sudaca.
- Velika težina koju ima čekić često dovodi do toga da natjecatelji imaju tanak oklop.
- Zbog velike mase smještene iznad glave robota centar težišta je visoko, te bot ima tendenciju prevrtati se.



**Slika 2. Robot s čekićem**

### 3.3. Robot s nagibom/plamenom (wedgebot/famebot)

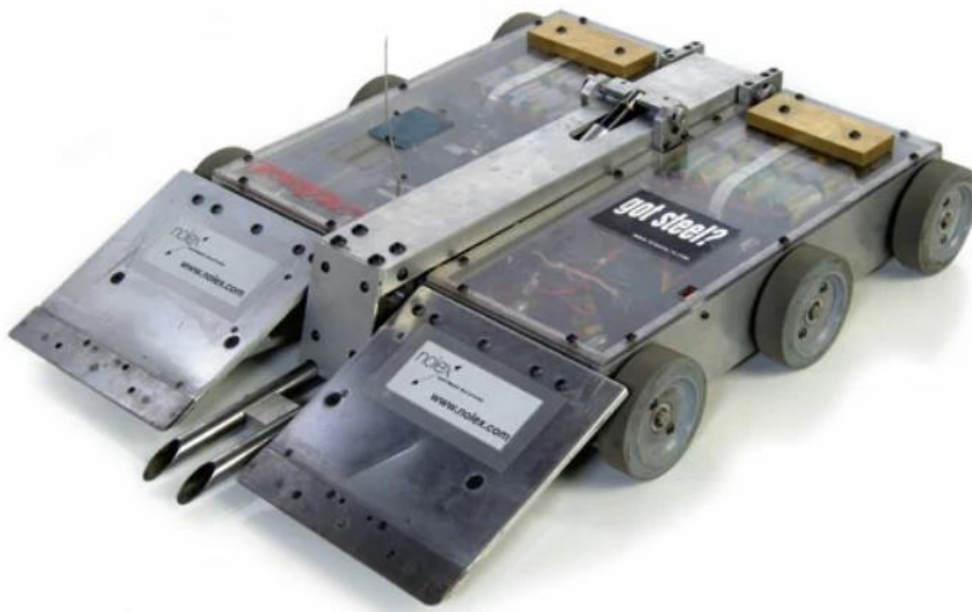
Iako banalni izgledom, znaju pobijediti na mnogim natjecanjima zbog jako malo pokretnih dijelova. Za ovog bota je najbitnija kontrola, jer se kod njega borbe dobivaju na strpljenje i greške protivnika. Cilj je iskoristiti protivničko oružje protiv njega samoga na način da ga se izgura u arenu i sam sebi nanosi štetu. Prema pravilniku na ovog bota se mora staviti neko oružje, zbog ograničenja mase i kompaktnosti ukomponirat će se plameno bacač.

Prednosti:

- Budući da ne zahtijevaju pokretne dijelove, jeftini su i jednostavni.
- Mogu se koristiti kao sekundarno oružje ako je glavno oružje onemogućeno jer korisniku omogućuje bolju kontrolu nad protivnikom.
- Alternativno, mogu čak funkcionirati i kao svojevrsni štitovi ako su napravljeni od čvrstog materijala, podnoseći najveći udar protiv spinnera.
- Mogu se kombinirati s bilo kojom vrstom oružja.

Nedostatci:

- Zbog njihove potrebe da budu što bliže tlu, mogu zapeti za tlo i zidove, a to ih može koštati meča.
- Klinovi se ne klasificiraju kao aktivno oružje.



Slika 3. Robot s nagibom

### 3.4. Definiranje liste zahtjeva

U ovom dijelu definirat ćemo listu zahtjeva koja će nam pomoći pri odabiru robota. Većina zahtjeva proizlazi iz pravilnika, a neki će biti i osobni.

**Tablica 1. Lista zahtjeva za robota**

Redni broj	Zahtjevi za borbenog robota	Veličina	Zahtjev	Želja
1	Robot je predviđen za borbe		T	
2	Veličina robota se uklapa u gabarite:			
	- Najveća duljina	$\leq 300\text{mm}$	F	E
	- Najveća širina	$\leq 300\text{mm}$	F	E
	- Najveća visina	$\leq 300\text{mm}$	F	E
3	Jednostavna izvedba			
4	Vrlo pokretljiva konstrukcija		F	
5	Doseg oružja		F	
6	Efektivnost oružja		F	
7	Zadovoljavajuća brzina	$\geq 0,2\text{ m/s}$	F	
8	Masa	$\leq 1,3\text{kg}$	F	
9	Lako programiranje			O, T
10	Lako održavanje			O, E
11	Kontrola		F	
12	Sigurnost za rukovanje		F	
13	Pouzdanost		F	

Legenda: F – funkcijski, T – tehnološki, E – ekonomski (cijena), O – održavanje (popravljivost)

### 3.5. Predodabir i usporedba koncepata pomoću matrice odlučivanja

**Tablica 2. Predodabir koncepata**

Kriterij odabira	K1(REF)	K2	K3
Cijena	0	+1	+1
Upravljivost	0	0	+1
Brzina	0	+1	+1
Oružje	0	-1	-1
Otpornost na udarce	0	+1	+1
Jednostavnost izvedbe	0	+1	+1
Popravljivost	0	+1	+1
Zbroj	0	4	5
Rang	3	2	1
Nastaviti?	NE	DA	DA



Za referentni model bio je odabran koncept 1 – Full-body spinner. No odlučeno je da koncepti koji idu u daljnju razradu su K2 i K3.

Oznake:

- +1 bolje od referentnog koncepta
- -1 lošije od referentnog koncepta
- 0 jednako kao referentni koncept

Odabrani koncepti K1 i K2 uspoređeni su na temelju kriterija jednostavnosti, cijene i slično, a upotrebom matrice odlučivanja. Koncepti se u matrici odlučivanja uspoređuju tako da se dodjeljuje ocjena od 1-5 za svaki kriterij. 1 označava da koncept ima izrazito loša svojstva za zadani kriterij, a 5 označava izrazito dobra svojstva. Svaki kriterij se množi s određenim faktorom ovisno o njegovoj važnosti budući da svi kriteriji nemaju istu važnost. Međutim zbroj svih težinskih faktora mora iznositi 1, a konačna ocjena će se formirati na način da se dobivena ocjena za pojedini kriterij pomnoži sa težinskim faktorom tog kriterija. Na taj način dobivamo ponderirane ocijene koje kada zbrojimo dobivamo konačnu ocjenu odnosno konačan rezultat koncepta. Podrazumijeva se da će koncept koji ima najveću ocjenu biti i najbolji. Kriterij cijena je u ovom slučaju odabran kao najvažniji dok kriterij jačine oružja je veoma važna stavka u općem slučaju budući da se radi o natjecateljskom vozilu međutim ovdje neće imati toliku veliku važnost zbog ograničenih novčanih sredstava.

**Tablica 3. Matrica odlučivanja**

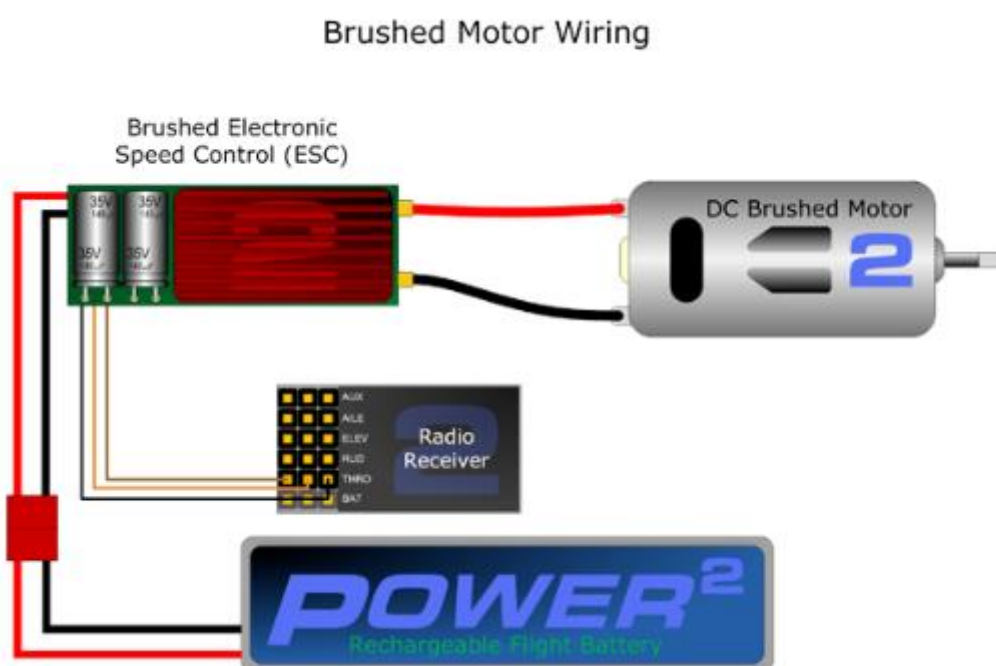
Kriterij	Težinski faktor	Koncept K2	Koncept K3
Cijena	0,35	3	5
Upravlјivost	0,1	2	4
Brzina	0,1	3	4
Oružje	0,2	4	1
Otpornost na udarce	0,1	3	4
Jednostavnost izvedbe	0,075	4	5
Popravlјivost	0,075	4	5
Suma	1	3,35	3,9

Koncept K3 najveći je zbroj nakon usporedbe koncepata preko matrice odlučivanja stoga se može zaključiti da on ima najviše izgleda za uspjeh budući da je jednostavan, lako upravljiv te ima nisku cijenu možemo zaključiti da on ima najviše izgleda za uspjeh. On će biti dalje razvijan te će njegov proračun komponenata biti prikazan u daljnjim poglavljima.

## 4. OPIS KOMPONENTI

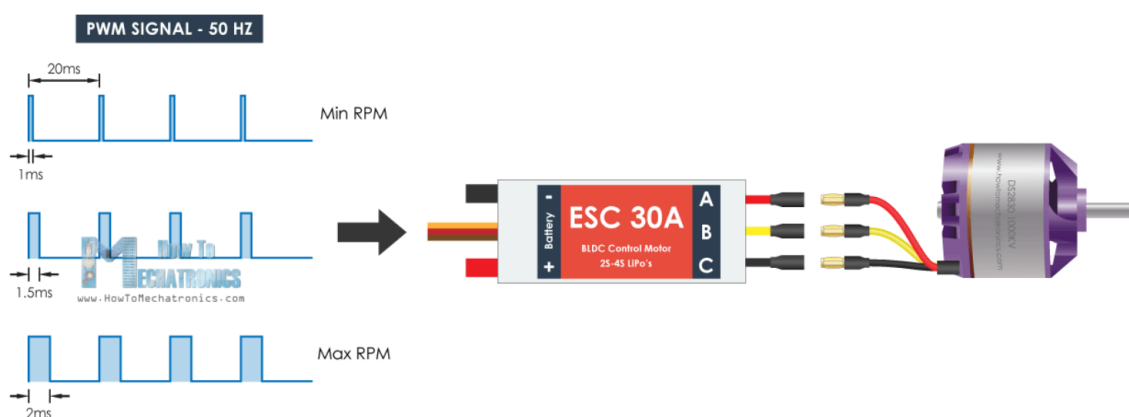
### 4.1. Elektronički regulator brzine (ESC - electronic speed control)

Elektronički regulator brzine (ESC) je elektronički sklop čija je glavna svrha mijenjati brzinu elektromotora i njegov smjer. Sva električna vozila kojima se može kontrolirati brzina imaju sustave za kontrolu brzine (ESC) svojih pogonskih motora. Bilo da je ESC za motor sa četkicama ili bez četkica, ESC tumači upravljačke informacije. Većina modernih ESC-ova uključuje "krug eliminatora baterije" (BEC) za reguliranje stabilnog napona za rad prijemnika i servo uređaja, to uklanja zahtjev za nošenjem dodatne baterije u modelu.



Slika 4. Primjer spajanja motora s četkicama

Motor s četkicama radi sam mehanički sve dok je napon primijenjen. Kako bi kontrolirao koliko se brzo motor okreće, brušeni ESC jednostavno uključuje i isključuje napon, to se radi vrlo brzo i mnogo puta u sekundi. Kako bi povećao brzinu motora, ESC jednostavno povećava vrijeme tijekom kojeg je napon uključen i smanjuje vrijeme tijekom kojeg je napon isključen. Za usporavanje motora postupak je obrnut.



**Slika 5. Izgled PWM signala za različite brzine vrtnje elektromotora**

Modulacija širine impulsa (PWM) bila je prvi ESC protokol i još uvijek se koristi do danas. PWM koristi tempirane impulse snage kako bi rekao motoru koliko brzo da se okreće, na temelju informacije koje dobije od prijemnika. Regulator gasa šalje signal mikro kontroleru ESC-a koji mu govori koliko napona treba predati iz baterije rotoru. Signal se isporučuje kao impulsi čija širina određuje koliko dugo će se napon izvlačiti. Impulsi napona ('uključeni') odvojeni su razdobljima 'isključenog' u kojima nema napona. Što je veći omjer vremena uključenosti i vremena isključenja, to se isporučuje više snage i brže će se okretati rotor. Omjer vremena uključenosti i isključenosti naziva se i radni ciklus.

## 4.2. Motor s četkicama

U svijetu daljinski upravljanih robota koriste se motori s četkicama i bez četkica. U slučaju Kremenka odabran je motor s četkicama zbog njegove manje cijene. Budući da su jeftini, u pogledu iskoristivosti koja se kreće negdje oko 75% - 80%. Dok u međuvremenu, oni bez četkica daju oko 85% - 90%.

Prednosti motora s četkicama:

- Okretni moment koji se može kontrolirati.
- Niski troškovi proizvodnje - jedan od ključnih čimbenika prodaje brušenih je što su jeftiniji u usporedbi s njihovim kolegama bez četkica. Odabirom brušenog može se znatno smanjiti proračun.
- Izgledi ponovne izgradnje - zahvaljujući njihovom jednostavnijem dizajnu i proizvodnji. Mogli bi se obnoviti kako bi se produžila njihova upotrebljivost.

- Upravljač - za rad motora pri fiksnim brzinama ne treba vam, a ako je potrebno, oni su jednostavni i jeftini.
- Rad u ekstremnim klimatskim uvjetima: bez prisutnih elektroničkih komponenti, udobni su za rad u ekstremnim klimatskim uvjetima. Svi popravci su jeftini i zahtijevaju relativno manje kvalificiranu radnu snagu.

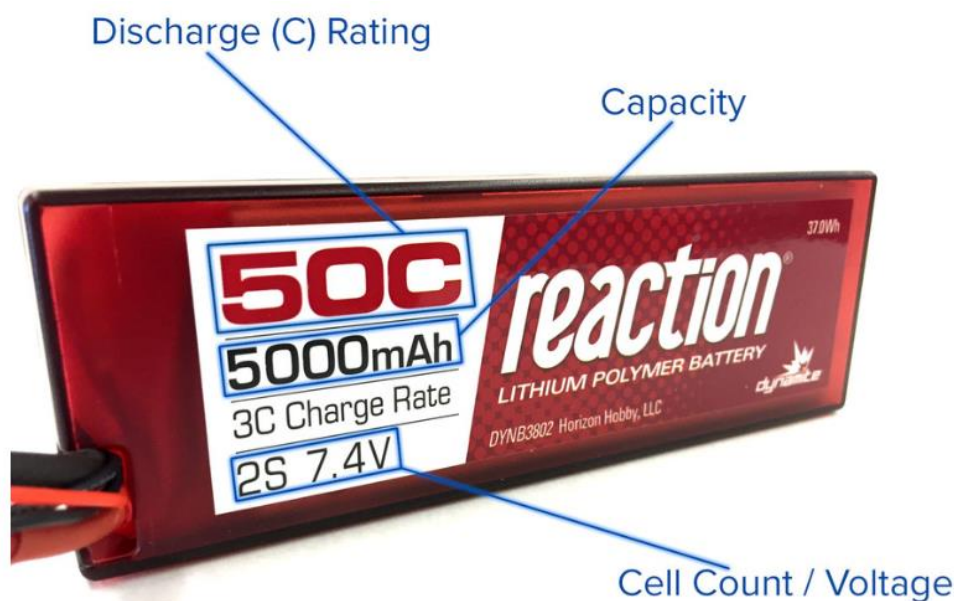
Nedostatci motora s četkicama:

- Raspon brzine - mogu ponuditi niže brzine u usporedbi s motorima bez četkica sličnog kapaciteta. Pad se može pripisati većem gubitku energije.
- Pomaci četkica, osovina i komutatori - imaju manje električni karakter i proizvode buku tijekom pomaka četkica, osovina i komutatora. Rezultat je daljnji pad ukupne učinkovitosti.
- Rasipanje topline - usko namotane zavojnice proizvode višak topline i nude manje prostora za rasipanje. Zbog toga dolazi do gubitka okretnog momenta pri većem broju okretaja.
- Troškovi održavanja - troškovi održavanja su relativno viši za često održavanje RC automobila.



**Slika 6. Elektromotor s četkicama korišten u Kremenku**

### 4.3. LiPo baterija



Slika 7. LiPo baterija

LiPo pripada skupini punjivih baterija na bazi litija. Osobine su joj uglavnom iste kao kod prethodnice. Vrlo je lagana zbog litijevih elektroda, vrlo velika gustoća energije koja je skoro dvostruko veća od obične NiMH baterije, veći nazivni napon od napona koji je u baterijama na bazi nikla. Budući da ove baterije mogu biti vrlo tanke, primjenjivost se odmah pokazala kod mobilnih telefonskih uređaja. Kod kupnje LiPo baterije mogu se birati različiti naponi (broj ćelija), kapacitet i ocjena pražnjenja. LiPo ćelija ima nazivni napon od 3,7 V. Za gornju bateriju od 7,4 V to znači da postoje dvije ćelije u seriji (što znači da se napon zbraja). Kapacitet baterije je u osnovi mjera koliko energije baterija može držati. Što je veći kapacitet, veća je fizička veličina i težina baterije. Drugo razmatranje je nakupljanje topline u motoru i kontrola brzine tijekom tako dugog rada. C ocjena je jednostavno mjera koliko brzo se baterija može isprazniti sigurno i bez oštećenja baterije.

Prednosti:

- Lagana i može se izraditi u gotovo bilo kojoj veličini ili obliku.
- Puno većeg kapaciteta, što im omogućuje da drže mnogo više energije.
- Mnogo veće stope pražnjenja, što znači da imaju veću snagu.

Nedostatci:

- Kraći vijek trajanja; LiPo u prosjeku ima samo 150-250 ciklusa. Što ne znači da više neće biti upotrebljiva nego će imati lošije performanse nego prije.
- Osjetljiva kemija može dovesti do požara ako se baterija probuši.
- Potrebna je posebna pažnja za punjenje, pražnjenje i skladištenje.

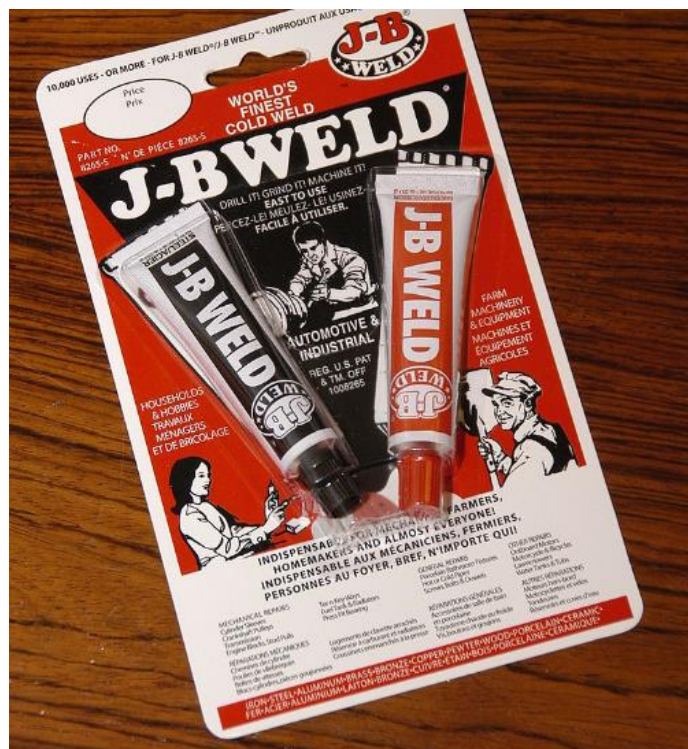
#### 4.4. Servomotor



Slika 8. Servomotor

Servomotor je elektromotor koji prema primljenom upravljačkom signalu zauzima određeni zakretni položaj (zakretni ili rotacijski servomotor) ili mjesto na nekoj putanji (pravocrtni ili linearni servomotor), odnosno razvija odgovarajući zakretni moment ili silu. Pokretanjem i zaustavljanjem servomotora upravlja se regulacijskim krugom, koji primljeni upravljački signal manje snage (električni, mehanički, pneumatski, hidraulički) pretvara u pomake, najčešće s većom izvršnom mehaničkom snagom (preko mehaničkog prijenosa - reduktora). Između regulacijskoga dijela i servomotora obično se ugrađuje mjerni instrument (na primjer davač položaja ili enkoder), koji utvrđuje točan položaj (kut, pomak) izvršnoga dijela servomotora, te izmjereni položaj po potrebi popravlja (povratna veza).

#### 4.5. J-B weld



Slika 9. J-B weld

S obzirom da je potrebno zadovoljiti uvjet maksimalne mase od 1300g gornja i donja ploča su od aluminija, a bočna, prednja i stražnja ploča od čelika. Zbog nemogućnosti zavarivanja para čelik/aluminij odabrano je dvokomponentno lijepilo J-B weld zbog svojih adhezivnih svojstva. Moguće je spajati različite materije kao metal (željezo, čelik, aluminij, bronca, bakar, kositar itd.), drvo, staklo, keramika ili plastika. Nakon miješanja dviju komponenti JB weld se može obrađivati 1 minutu, a ljepilo se potpuno očvršćuje nakon 24-25 sati. Očvršćeno ljepilo je voodootporno, podnosi temperature do 260 ° C.

#### 4.6. TIG zavarivanje

TIG je elektrolučni postupak zavarivanja netaljivom elektrodom od volframa uz zaštitu inertnim plinom, sa ili bez dodatnog materijala. Što se može zaključiti iz samog imena postupka „TIG“ je skraćenica za „Tungsten Inert Gas“. Ovim postupkom zavarivanja moguće je zavarivanje gotovo svih vrsta materijala kao što su aluminij, titan, nehrđajući čelici, bakar...



S obzirom da je za Kremenka potrebno zavariti jako tanke ploče od samo 1.5mm debljine odabran je ovaj postupak radi njegovog povoljnog raspona debljina zavara (1-6mm).



**Slika 10. TIG zavarivanje**

Prednosti:

- Primjenjiv za zavarivanje širokog spektra materijala
- Kvalitetni zavari
- Nema rasprskavanja kapljica
- Raspon debljina 1-6mm

Mane:

- Osjetljiv na nečistoće
- Za veće zavare nije ekonomičan radi vremena potrebnog za rad

## 5. PRORAČUNI

### 5.1. Određivanje brzine vrtnje motora i brzine bota

Za Kremenka odabrana su 4 motora s četkicama **9.7:1 Metal Gearmotor 25Dx48L mm HP 12V** za pogon. Proračun broja okretaja motora:

$$n_{mot} = T \cdot U = 833,33 \cdot 11,1 = 9250 \text{min}^{-1} = 154 \text{s}^{-1} \quad (5.1)$$

Gdje je:

$T = 833,33 \frac{\text{min}}{\text{V}}$  – omjer brzine vrtnje i dovedenog napona.

$U = 11,1 \text{V}$  – napon baterije

Brzina vrtnje izlaznog vratila reduktora:

$$n = \frac{n_{mot}}{i} = \frac{9250}{9,7} = 954 \text{min}^{-1} = 15,9 \text{s}^{-1} \quad (5.2)$$

Gdje je:

$i = 9,7$  – prijenosni omjer reduktora motora

Brzina bota:

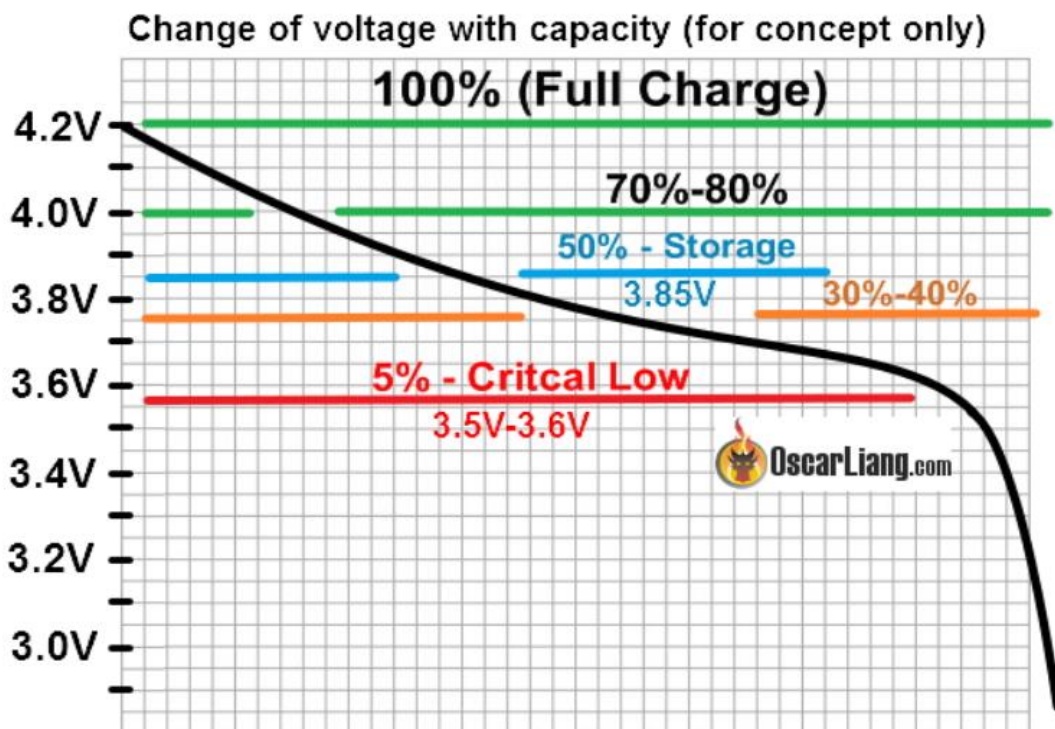
$$v = D \cdot \pi \cdot n = 0,038 \cdot \pi \cdot 15,9 = 1,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6,85 \frac{\text{km}}{\text{h}} > 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (5.3)$$

ZADOVOLJEN UVJET MINIMALNE BRZINE.

S obzirom da je kavez dimenzija 2,5m x 2,5m brzina od 1,9 m/s će biti dovoljna. Nema potrebe za manjim prijenosnim omjerom jer će upravljivost bota biti puno lošija.

## 5.2. Proračun baterije

Odabrana je baterija **Turnigy 500mAh 3S 20C Lipo Pack** zbog svojega kapaciteta. Prema grafu na slici 9. cilj nam je ostati u području veće voltaže, jer padom napona pada brzina i performanse našega robota.



Slika 11. Graf pražnjenja jedne ćelije u bateriji

Proračun trajanja baterije:

$$t = \frac{K}{4I} = \frac{0,5}{8} = 0,0625\text{h} = 3,75\text{min} \quad (5.4)$$

Gdje je:

$I_0 = 250\text{mA}$  – struja koja se predaje motoru bez izlaznoga opterećenja.

$I_{max} = 5\text{A}$  – struja koja se predaje motoru kod 100% opterećenja.

$I = 1\text{A}$  – struja koja se predaje motoru očitana iz grafa.

$K = 0,5\text{Ah}$  – kapacitet baterije.

Proračun baterije zadovoljava jer će izdržati 3 minute i performanse će kroz cijelu borbu biti zadovoljavajuće.

Maksimalno dopušteno pražnjenje:

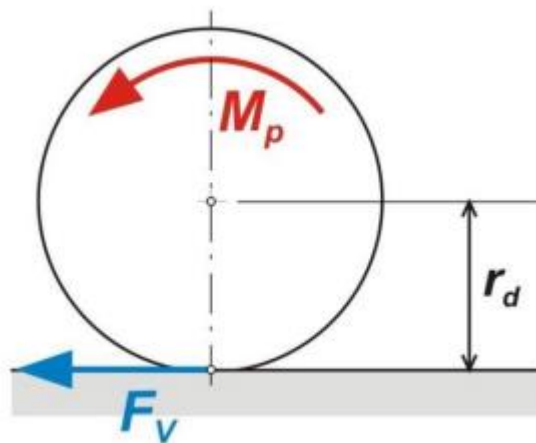
$$I_p = C \cdot K = 0,5 \cdot 20 = 10A \quad (5.5)$$

Gdje je:

$C = 20$  – faktor maksimalnog pražnjenja baterije

$K = 0,5Ah$  – kapacitet baterije

Iz ovoga možemo vidjeti da ako bi željeli opteretiti sva 4 motora maksimalno oštetili bi bateriju. Rješenje je ili uzeti bateriju sa istim kapacitetom i duplo većim C faktorom ili bateriju istog C faktora, ali duplo većeg kapaciteta.



Slika 12. Vučna sila

Proračun momenta na kotač:

$$M_p = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{10}{2 \cdot \pi \cdot 15,9} = 0,1 \text{Nm} \quad (5.6)$$

Gdje je:

$P = 10 \text{W}$  – snaga motora

$n = 15,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  – brzina vrtnje vratila

Vučna sila:

$$F_V = \frac{M_p}{r_d} = \frac{0,1}{0,019} = 5,26 \text{N} \quad (5.7)$$

Gdje je:

$r_d = 19 \text{mm}$  – radijus kotača

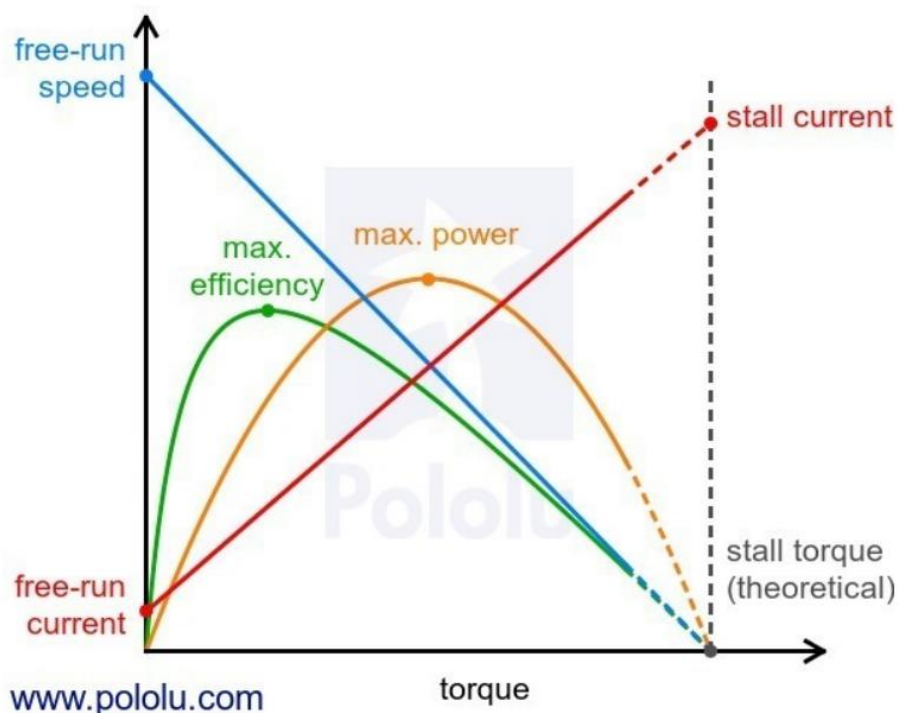
$$F_V > F_\mu = F_n \cdot \mu = 3,188 \cdot 0,8 = 2,55 \text{N} \quad (5.8)$$

Gdje je:

$F_n = 3,188 \text{N}$  – normala sila na kotač

$\mu = 0,8$  – faktor trenja za par guma/čelik

Kao što vidimo sila vuče je veća od sile trenja što znači da će kotači proklizavati prilikom ubrzanja. Shodno s time motorima se nikad neće predavati struja od 5A jer neće biti tolikog opterećenja.

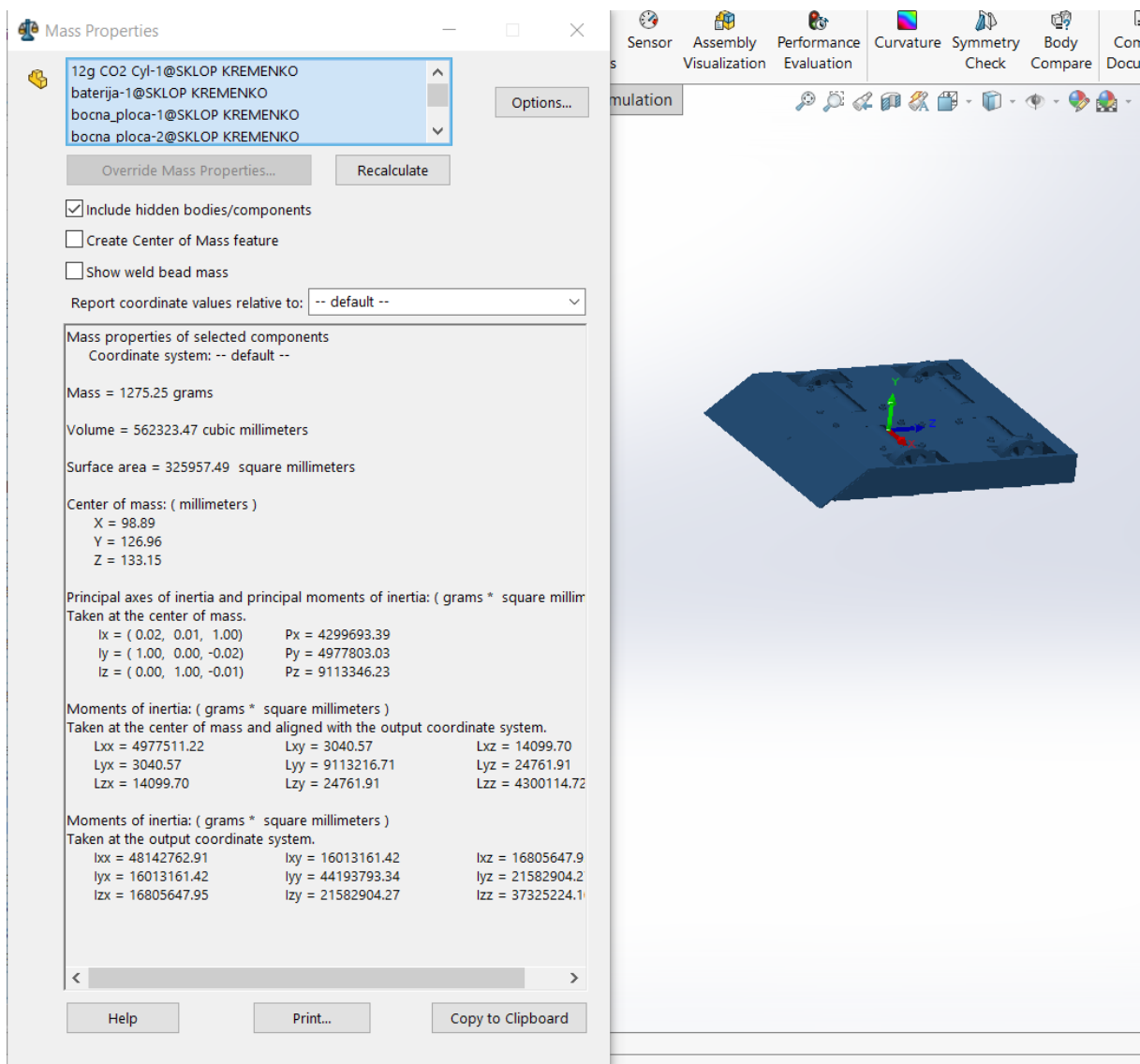


Slika 13. Karakteristika elektromotora

Kao što vidimo prema slici 11. za manju snagu motor vuče i manje struje tako da će se u proračunu trajanja baterije (5.4) uzeti vrijednost  $I = 2 \text{ A}$ .

### 5.3. Proračun mase

U programu Solidworks svakoj pojedinoj komponenti se dodijelila njena masa pronađena u katalozima. U slučaju metalnih dijelova koji su rađeni laserskim rezanjem i plastičnim dijelovima koji su rađeni printanjem se dodijelila pripadajuća gustoća materijala i prema tome dobila procjena mase. Masa u Solidworksu mora biti manja od 1300 grama zato jer u njoj nisu uračunati vodiči i prijemnik, s obzirom da su to veoma lagane komponente 20 grama će biti dovoljno.



Slika 14. Procjena mase Kremenka

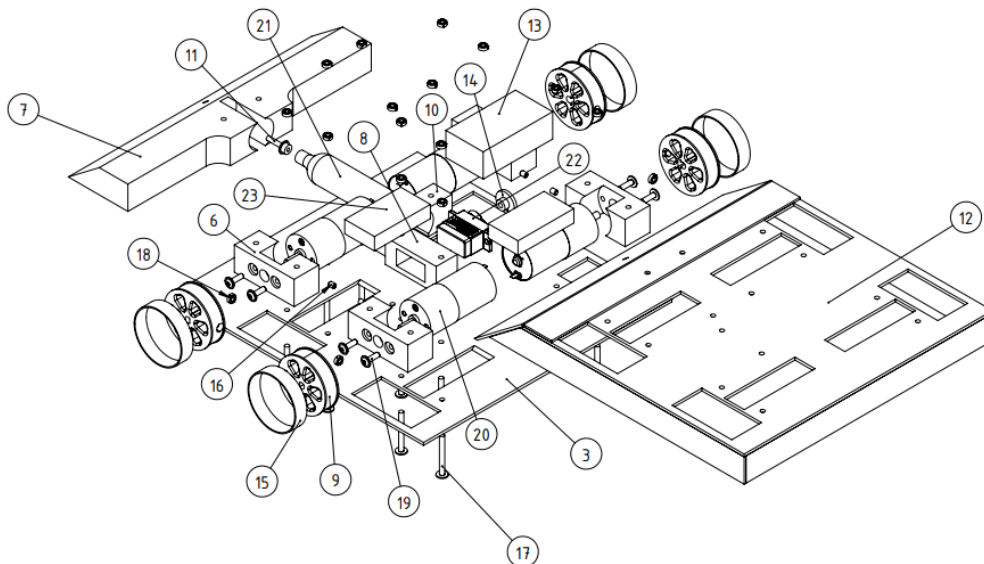
Kao što vidimo prema proračunu zadovoljeni su rubni uvjeti što je jako bitno za robota koji nanosi štetu udarcima u drugog bota.

## 6. Opis robota

Kremenko je robot osmišljen za natjecanje Fightbotics, na kojem je sudjelovalo više od 16 timova. Na natjecanju je sudjelovalo 10 studentskih timova, 4 firme i nekoliko srednjoškolskih timova. Kremenko je osvojio 3. mjesto, izgubio je u borbi protiv spinner bota u polufinalu protiv robota od tima Greyp. Glavna Kremenкова oružja su bila plamenik i oštrica na prednjem djelu robota. Kremenko se upravlja preko daljinskog 2.4 GHz koji šalje signal na prijemnik koji se nalazi u robotu. Zatim prijemnik šalje upravljačke podatke servu koji preko rotacijskog gibanje translacijski pritišće spremnik CO<sub>2</sub> u prednji nosač čime se otvara ventil spremnika i butan izlazi van. Zapaljenje je riješeno preko upaljača koji baca električnu iskru. Unutra tog upaljača se nalazi jedna baterija od 3.7V koja preko transformatora postiže jako velik napon te se javlja iskra. Pokretanje je omogućeno preko 4 motora s četkicama od kojih je preko daljinskoga moguće upravljati samo par po par zasebno zbog nedostatka kanala za spajanje inače bi se svaki motor mogao zasebno upravljati. Od proizvođača odmah motori dolaze s pripadnim reduktorom 1:9.7 koji povećaju moment ali smanji broj okretaja izlaznoga vratila. Preko uvrtnog vijka i matice se omogućava spoj izlaznog vratila i kotača. Brzinu vrtnje određuje ESC koji prima podatke od prijemnika. Za veću brzinu vrtnje veća se struja šalje motoru i na taj način regulira brzinu motora. Svi nosači kao što su nosač motora, nosač serva... su izrađeni 3D printerom plastike. Prednja, stražnja i bočne ploče su zavarene TIG postupkom zatim su te iste spojene na gornju ploču J-B weldom



## 6.1. Postupak sklapanja robota



**Slika 15. Kremenko**

Postupak montaže se izvodi na sljedeći način:

- (20,19,6) Dijelovi nosač motora i motor s reduktorom se spajaju pomoći vijaka M3
- (9,18) Zatim se u utor kotača upreša matica M3
- (9,18,20,19,6,16,15) Spajaju se kotač i vratilo reduktora pomoću uvrtnog vijaka te se navlači guma
- (14,22,8) Na servo se stavlja plastični vrh te se stavlja u nosač
- (23,13,14) Sve elektroničke komponente se stavljaju unutra, a drži ih duplex
- (7,11,21,10) Slaže se sustav za paljenje
- Svi sklopni dijelovi se stavljaju na donju ploču te se stavlja zavarena konstrukcija i pričvrsti maticama

## 7. ZAKLJUČAK

Pri izradi „Kremenka“ primarno su korištene smjernice za izradu borbenih robota koje su propisane „Pravilnikom“ organizatora Fightbotics natjecanja. Pravilnik obuhvaća pravila o izradi robota i samom natjecanju. Za izradu borbenog robota najbitnije stavke čine mobilnost i kontrola robota, izvedba oružja skupa s ukupnom konfiguracijom odnosno homogenosti mehaničkog upravljanja, dimenzijska i masena ograničenja.

Budući da je riječ o standardiziranim pravilima američkog serijala „BattleBots“, postoji nekoliko vrsta battlebotova koji se dominantnije pojavljuju u natjecateljskoj strukturi, stoga je priložena i matrica odlučivanja s nekim od najčešćih oblika. Vrste koje matrica opisuje su rotirajući roboti, robot s čekićem, te robot s nagibom/ flamebot. Matrica je pokazala „Flamebota“ kao najbolji model za predviđene uvjete pa je urađena detaljnija konstrukcijska i sveukupna sklopna mehanička i dinamička analiza. „Flamebot“ odnosno model po kojem je izrađen „Kremenko“ sastoji se od osnovnih komponenti kao što su elektronički regulator brzine, LiPo baterija, servo-motor, motor s četkicama, te izdržljive oklopne konstrukcije.

Ono što ovaj tip čini iznimnim je plinski spremnik u kojem se nalazi zapaljivi plin koji se svojim ispuštanjem iz spremnika zapali i time stvara prijetnju zapaljenja protivnika.

Uz to, prema matrici odlučivanja najveća prednost se krije u jednostavnosti oklopne konstrukcije koja se efektivno sastoji od čelika, aluminija i plastike u kvadratičastoj kompoziciji s nagibnom pločom. Robot „Kremenko“ rađen je za minimalnu potrebnu visinu koja bi obuhvatila unutrašnjost komponenti radi zaštite baterije i ostalih električnih komponenti. Na taj način se ujedno osigurala i mogućnost upravljanja robotom i dok se nalazi i u preokrenutom položaju za 180° u odnosu na pod. Gledano sa strane materijala koji čine navedenu konstrukciju, plastika i aluminiji pridonose laganijoj strukturi, čime se uspješno zadovoljava masena granica, a čelik pridonosi otpornosti i izdržljivosti na dinamičke udare. Nadalje, odabir i konstrukcijska izvedba oružja također su jednostavno građeni i smješteni unutar središte aluminijskog oklopa, za razliku od mehanizma zapaljenja koji je kompleksnije naravi.

U ovom radu zaključuje se da se sukladno „Pravilniku“ Fightbotics natjecanja- prve studentske borbe robota, mogu izvesti jako dobre konfiguracije borbenih robota, za čije izvedbe variraju nijanse, te se i u ovim studentskim borbama, kako i u američkom serijalu, ne mogu strogo odrediti najbolje i najoptimalnije konfiguracije, budući da je prednost nekog modela ovisi i o suparničkom, odnosno onom protiv kojeg se natječe.

---

Vrsta „Flamebot“ borbenog robota se pokazala kao zahvalna struktura modela za izradu i samo natjecanje zbog svoje kompaktnosti i ekonomičnosti, što je pridonijelo osvojenom trećem mjestu u ukupnom poretku na prvim studentskim borbama robota.

---

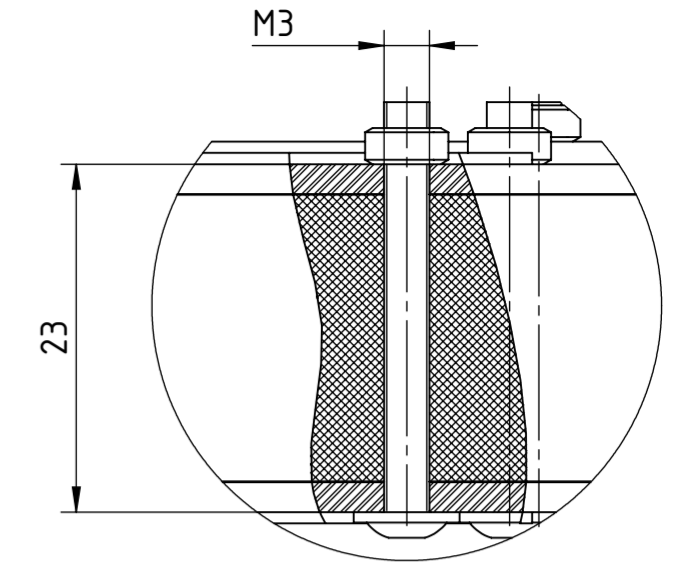
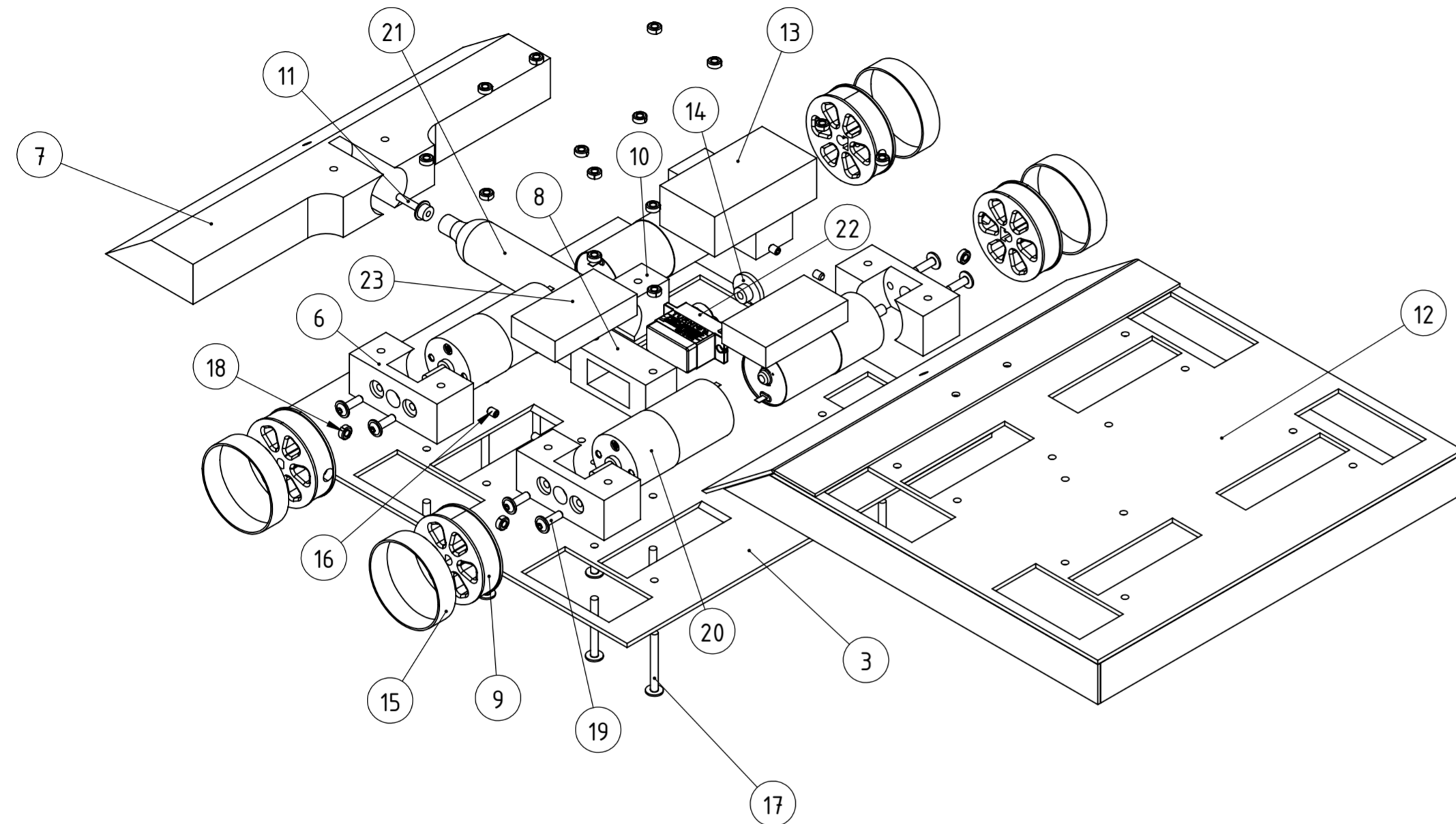
## LITERATURA

- [1] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [2] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 1975.
- [3] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.
- [4] Fightbotics pravilnik, Zagreb, 2022.
- [5] Vučković, K.: Vratila- predavanja
- [6] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [7] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 1975.

---

**PRILOZI**

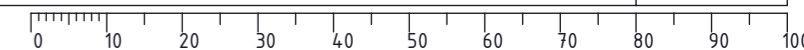
- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija

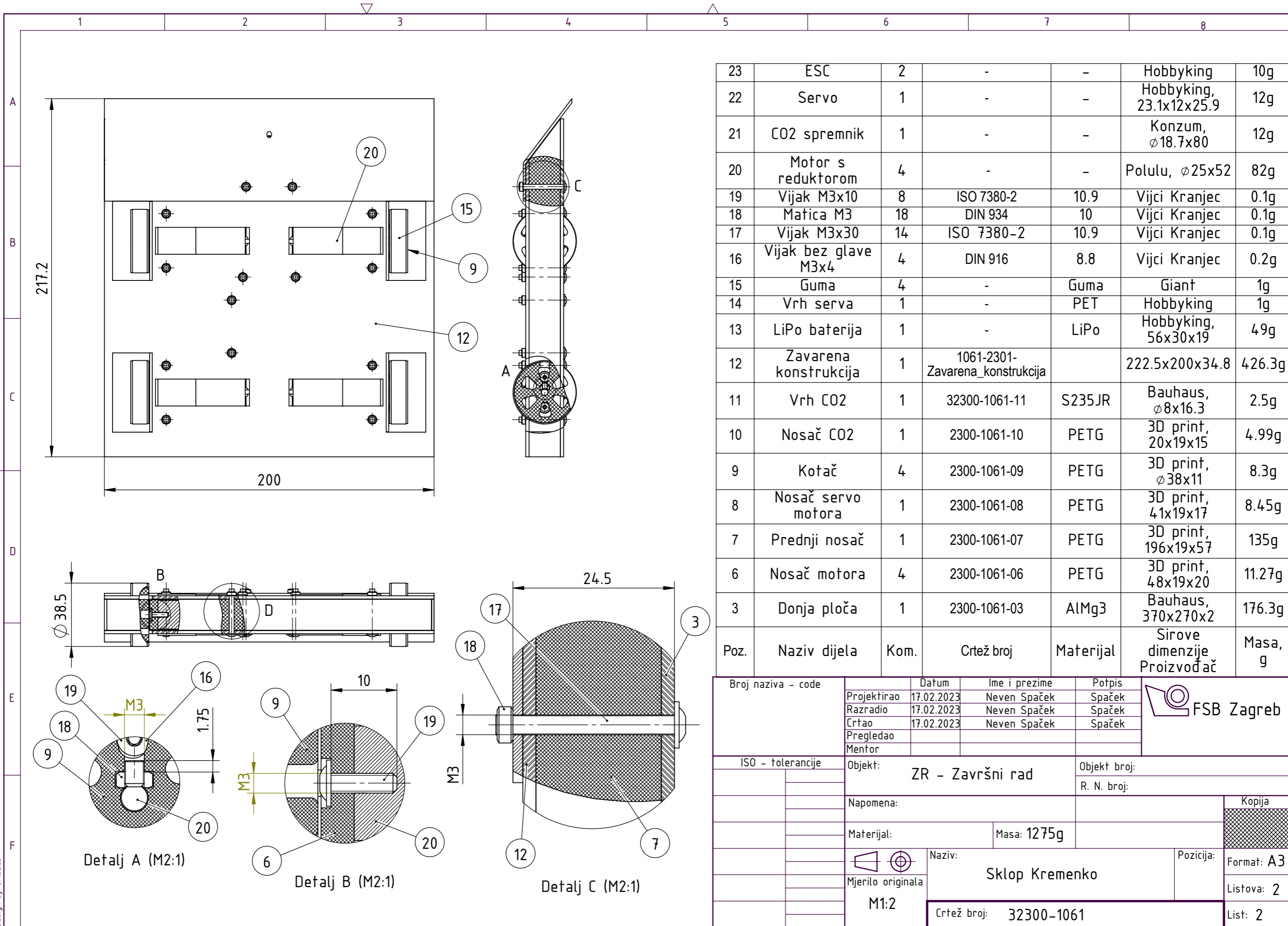


Detalj D (M2:1)

23	ESC	2	-	-	Hobbyking	10g
22	Servo	1	-	-	Hobbyking, 23.1x12x25.9	12g
21	CO2 spremnik	1	-	-	Konzum, $\phi$ 18.7x80	12g
20	Motor s reduktorom	4	-	-	Polulu, $\phi$ 25x52	82g
19	Vijak M3x10	8	ISO 7380-2	10.9	Vijci Kranjec	0.1g
18	Matica M3	18	DIN 934	10	Vijci Kranjec	0.1g
17	Vijak M3x30	14	ISO 7380-2	10.9	Vijci Kranjec	0.1g
16	Vijak bez glave M3x4	4	DIN 916	8.8	Vijci Kranjec	0.2g
15	Guma	4	-	Guma	Giant	1g
14	Vrh serva	1	-	PET	Hobbyking	1g
13	LiPo baterija	1	-	LiPo	Hobbyking, 56x30x19	49g
12	Zavarena konstrukcija	1	1061-2301-Zavarena_konstrukcija		222.5x200x34.8	426.3g
11	Vrh CO2	1	2300-1061-11	S235JR	Bauhaus, $\phi$ 8x16.3	2.5g
10	Nosač CO2	1	2300-1061-10	PETG	3D print, 20x19x15	4.99g
9	Kotač	4	2300-1061-09	PETG	3D print, $\phi$ 38x11	8.3g
8	Nosač servo motora	1	2300-1061-08	PETG	3D print, 41x19x17	8.45g
7	Prednji nosač	1	2300-1061-07	PETG	3D print, 196x19x57	135g
6	Nosač motora	4	2300-1061-06	PETG	3D print, 48x19x20	11.27g
3	Donja ploča	1	2300-1061-03	AlMg3	Bauhaus, 370x270x2	176.3g
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa, g

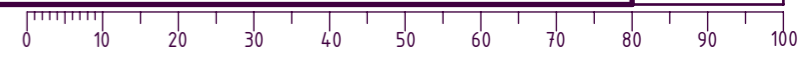
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		17.02.2023	Neven Spaček	Spaček	
Razradio		17.02.2023	Neven Spaček	Spaček	
Crtao		17.02.2023	Neven Spaček	Spaček	
Pregledao					
ISO - tolerancije		Objekt: ZR - Završni rad		Objekt broj:	
				R. N. broj:	
Napomena:				Kopija	
Materijal:		Masa: 1275g			
Mjerilo originala		Naziv: Sklop Kremenko		Pozicija: Format: A2	
M1:2		Crtež broj: 32300-1061		Listova: 2	
				List: 1	



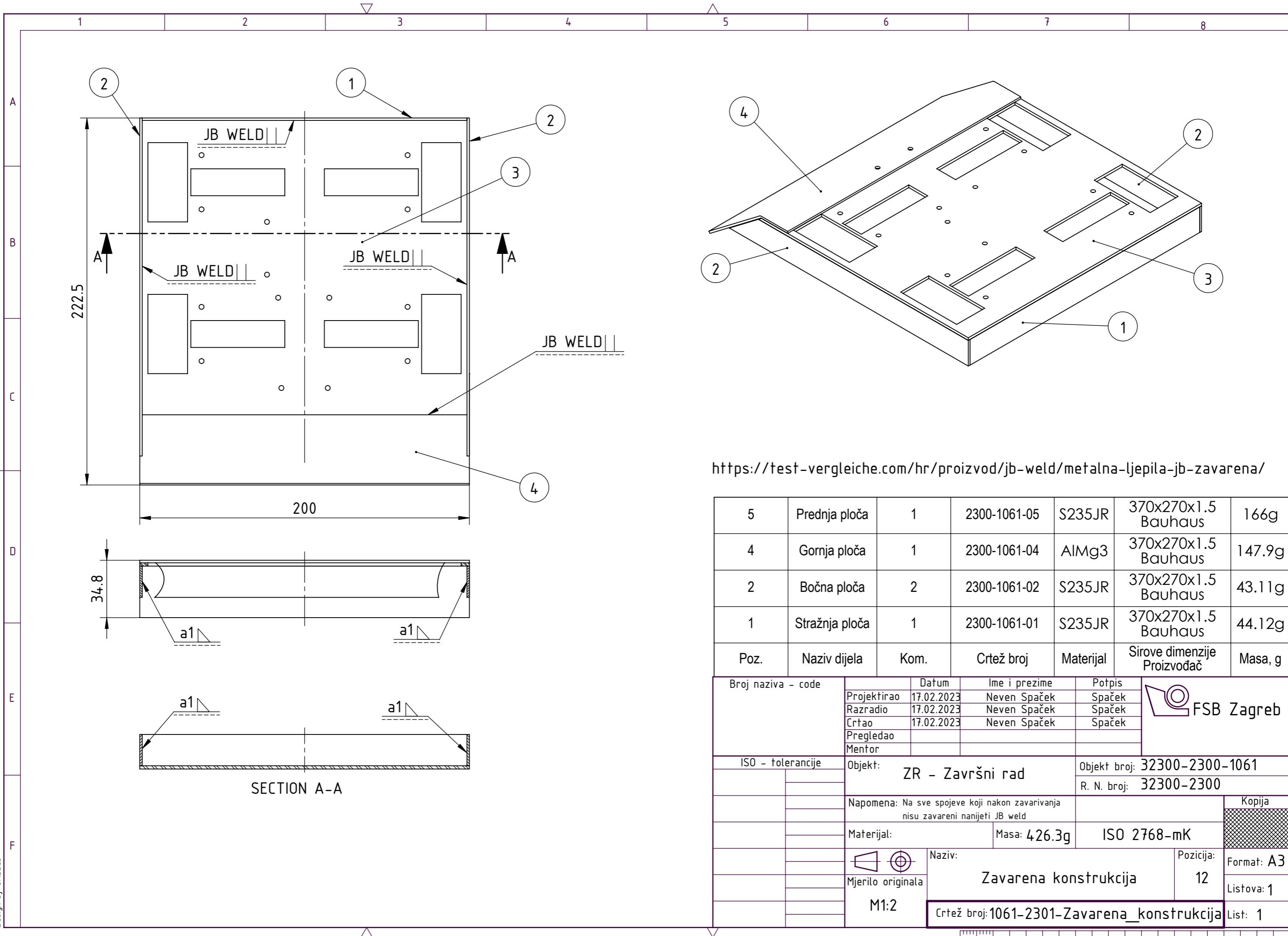


Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije	Masa, g
23	ESC	2	-	-	Hobbyking	10g
22	Servo	1	-	-	Hobbyking, 23.1x12x25.9	12g
21	CO2 spremnik	1	-	-	Konzum, $\phi$ 18.7x80	12g
20	Motor s reduktorom	4	-	-	Polulu, $\phi$ 25x52	82g
19	Vijak M3x10	8	ISO 7380-2	10.9	Vijci Kranjec	0.1g
18	Matica M3	18	DIN 934	10	Vijci Kranjec	0.1g
17	Vijak M3x30	14	ISO 7380-2	10.9	Vijci Kranjec	0.1g
16	Vijak bez glave M3x4	4	DIN 916	8.8	Vijci Kranjec	0.2g
15	Guma	4	-	Guma	Giant	1g
14	Vrh serva	1	-	PET	Hobbyking	1g
13	LiPo baterija	1	-	LiPo	Hobbyking, 56x30x19	49g
12	Zavarena konstrukcija	1	1061-2301-Zavarena_konstrukcija		222.5x200x34.8	426.3g
11	Vrh CO2	1	32300-1061-11	S235JR	Bauhaus, $\phi$ 8x16.3	2.5g
10	Nosač CO2	1	2300-1061-10	PETG	3D print, 20x19x15	4.99g
9	Kotač	4	2300-1061-09	PETG	3D print, $\phi$ 38x11	8.3g
8	Nosač servo motora	1	2300-1061-08	PETG	3D print, 41x19x17	8.45g
7	Prednji nosač	1	2300-1061-07	PETG	3D print, 196x19x57	135g
6	Nosač motora	4	2300-1061-06	PETG	3D print, 48x19x20	11.27g
3	Donja ploča	1	2300-1061-03	AlMg3	Bauhaus, 370x270x2	176.3g
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije	Masa, g

Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	17.02.2023	Neven Spaček	Spaček	
Razradio	17.02.2023	Neven Spaček	Spaček	
Crtao	17.02.2023	Neven Spaček	Spaček	
Pregledao				
Mentor				
ISO - tolerancije	Objekt:	ZR - Završni rad		Objekt broj:
				R. N. broj:
	Napomena:			Kopija
	Materijal:	Masa: 1275g		
	Mjerilo originala	Naziv: Sklop Kremenko		
	M1:2	Pozicija:		Format: A3
		Crtež broj: 32300-1061		Listova: 2
				List: 2



Design by CADLab



<https://test-vergleiche.com/hr/proizvod/jb-weld/metalna-ljepila-jb-zavarena/>

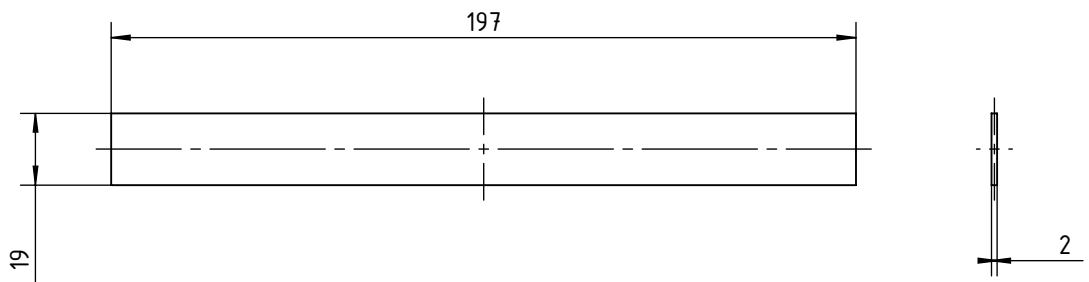
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa, g
5	Prednja ploča	1	2300-1061-05	S235JR	370x270x1.5 Bauhaus	166g
4	Gornja ploča	1	2300-1061-04	AlMg3	370x270x1.5 Bauhaus	147.9g
2	Bočna ploča	2	2300-1061-02	S235JR	370x270x1.5 Bauhaus	43.11g
1	Stražnja ploča	1	2300-1061-01	S235JR	370x270x1.5 Bauhaus	44.12g


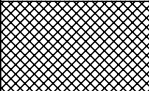
Broj naziva - code	Projektirao	17.02.2023	Ime i prezime	Neven Spaček	Potpis	
	Razradio	17.02.2023		Neven Spaček	Spaček	
	Crtao	17.02.2023		Neven Spaček	Spaček	
	Pregledao					
	Mentor					
ISO - tolerancije	Objekt: ZR - Završni rad		Objekt broj: 32300-2300-1061		Kopija	
			R. N. broj: 32300-2300			
Napomena: Na sve spojeve koji nakon zavarivanja nisu zavareni nanijeti JB weld						
Materijal:		Masa: 426.3g	ISO 2768-mK			
Mjerilo originala		Naziv: Zavarena konstrukcija		Pozicija: 12		
M1:2		Crtež broj: 1061-2301-Zavarena_konstrukcija		Format: A3		
				Listova: 1	List: 1	





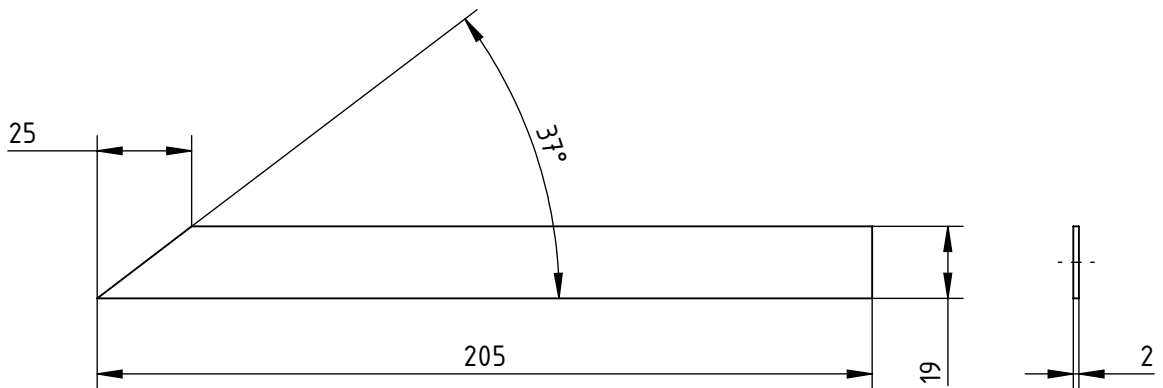
(  $\sqrt{\text{Ra 6.3}}$  )



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Razradio	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Crtao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj: 32300-2300-1061	
			R. N. broj: 32300-2300	
Napomena:				Kopija
Materijal: S235JR			Masa: 44.12g	ISO 2768-mK
	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
Mjerilo originala	Stražnja ploča		1	Listova: 1
M1:2	Crtež broj: 2300-1061-01			List: 1

Design by CADLab

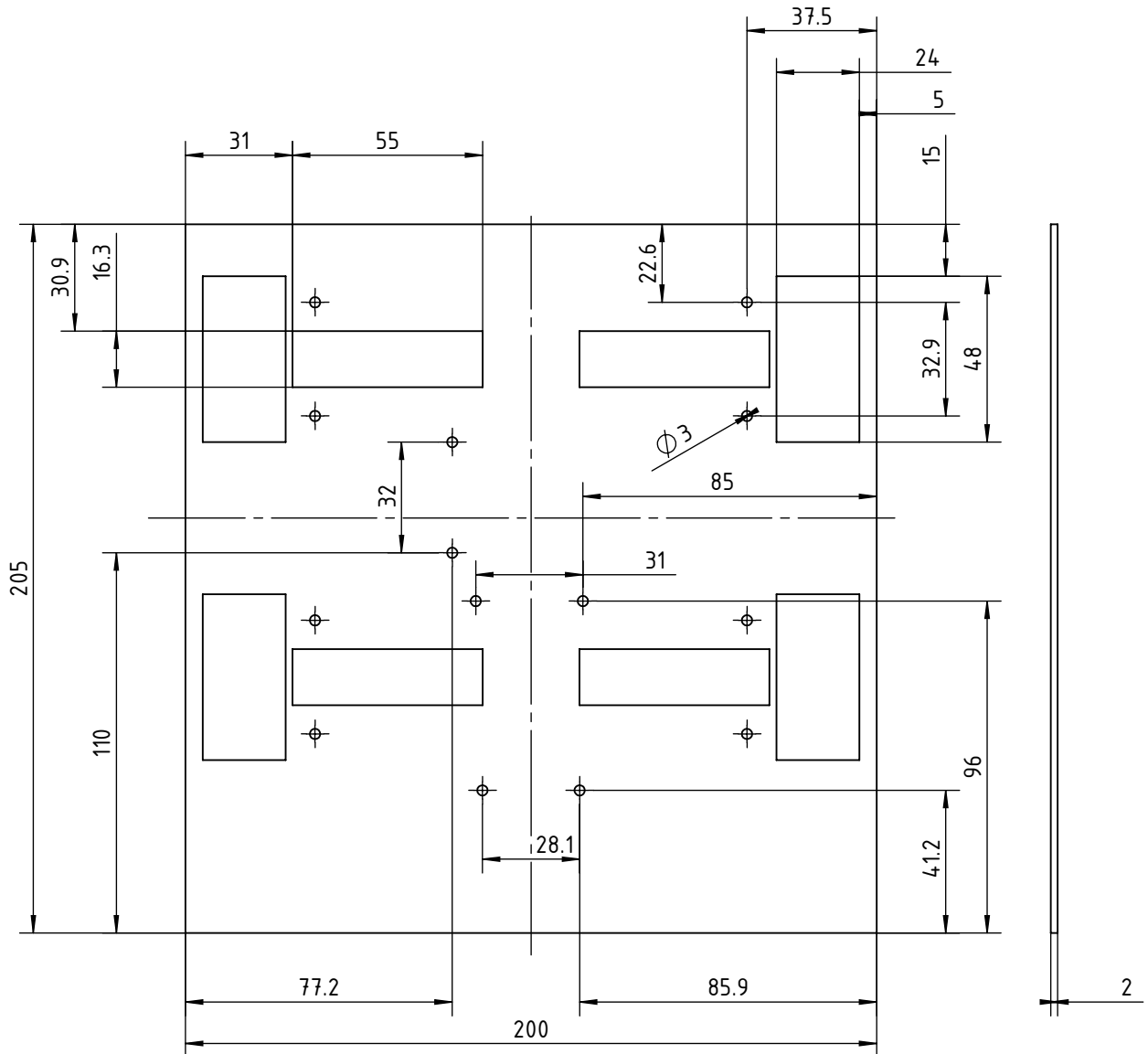
( $\sqrt{\text{Ra } 6.3}$ )

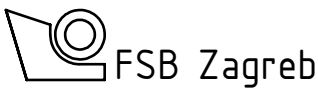
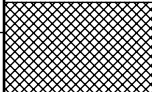
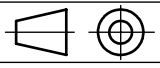


	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Razradio	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Crtao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Pregledao				
Objekt: ZR - završni rad			Objekt broj: 32300-2300-1061	
			R. N. broj: 32300-2300	
Napomena:				Kopija
Materijal: S235JR			Masa: 43.11g	ISO 2768-mK
	Naziv: Bočna ploča		Pozicija: 2	Format: A4
Mjerilo originala				Listova: 1
M1:2	Crtež broj: 2300-1061-02			List: 1

Design by CADLab

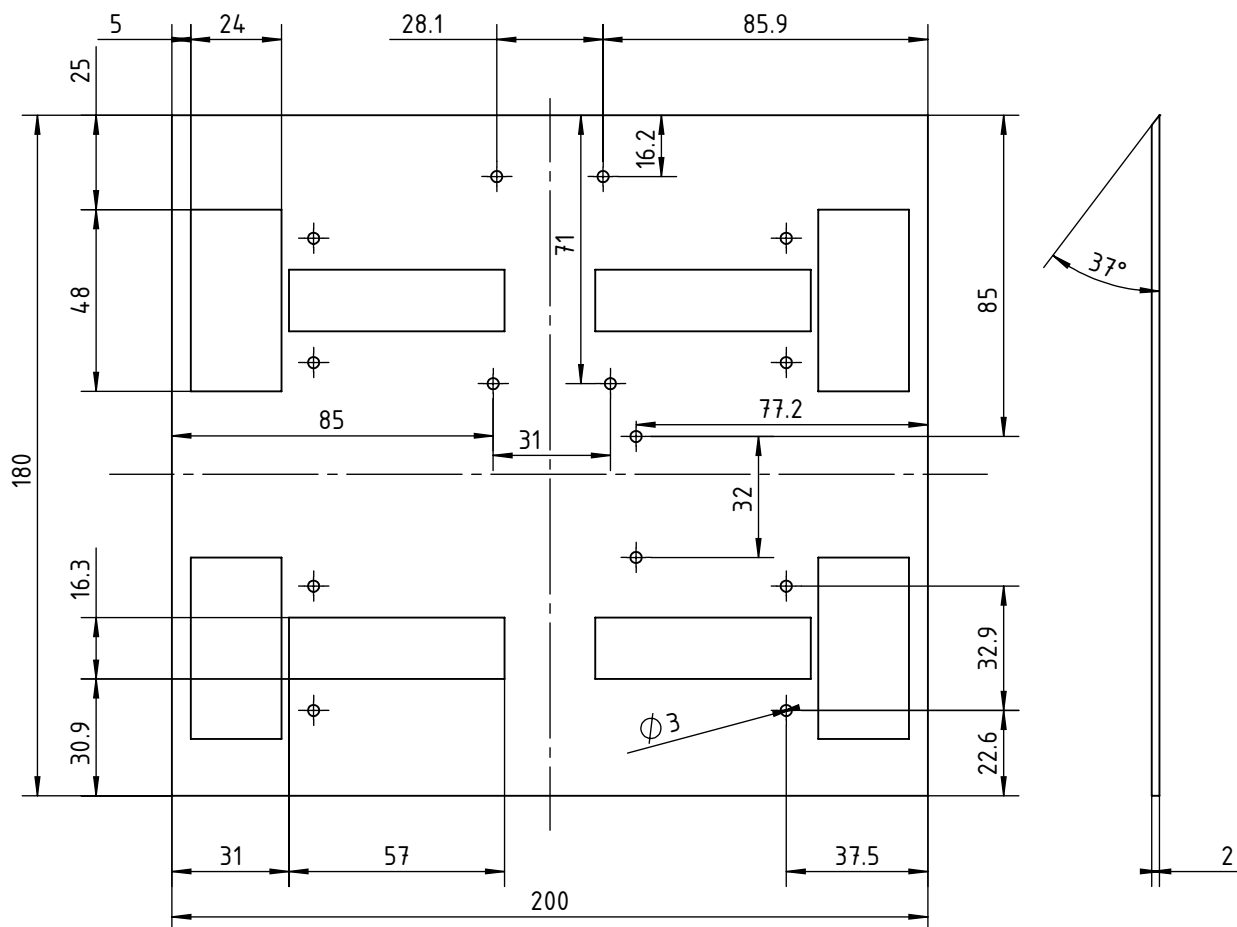
(  $\sqrt{\text{Ra6.3}}$  )

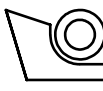
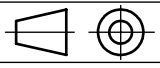


	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Razradio	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Crtao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj: 32300-2300-1061	
			R. N. broj: 32300-2300	
Napomena:				Kopija
Materijal: AlMg3		Masa: 176.3g	ISO 2768-mK	
	Naziv: Donja ploča		Pozicija: 3	Format: A4
Mjerilo originala				Listova: 1
M1:2	Crtež broj: 2300-1061-03			List: 1

Design by CADLab

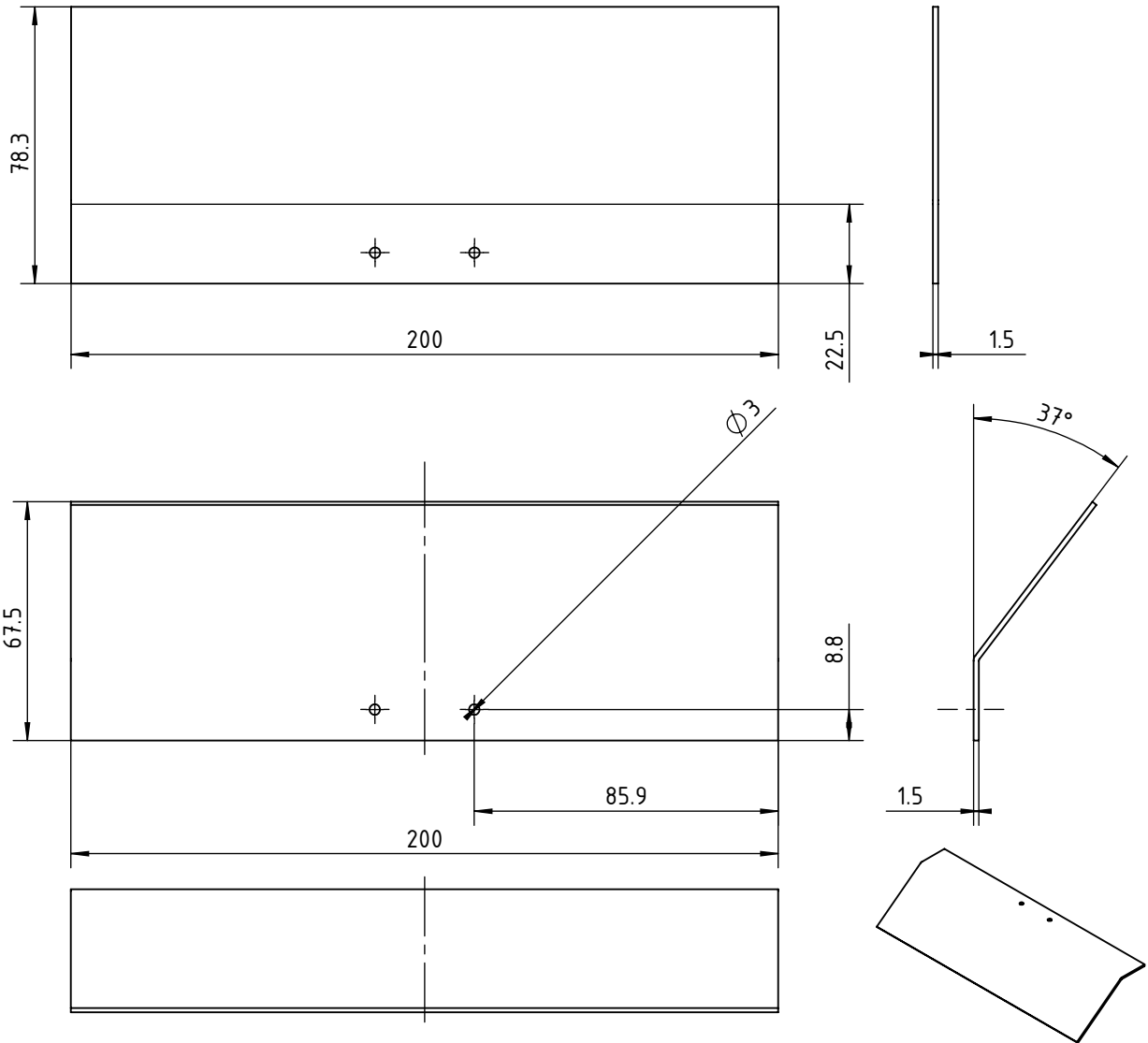
(  Ra6.3 )



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Razradio	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Crtao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj: 32300-2300-1061	
			R. N. broj: 32300-2300	
Napomena:			Kopija	
Materijal: AlMg3		Masa: 147.9g	ISO 2768-mK	
 Mjerilo originala <b>M1:2</b>	Naziv: <b>Gornja ploča</b>		Pozicija: 4	Format: A4
Crtež broj: 2300-1061-04			Listova: 1	List: 1

Design by CADLab

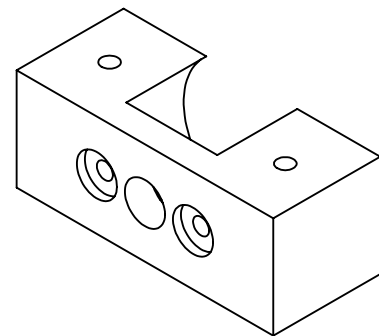
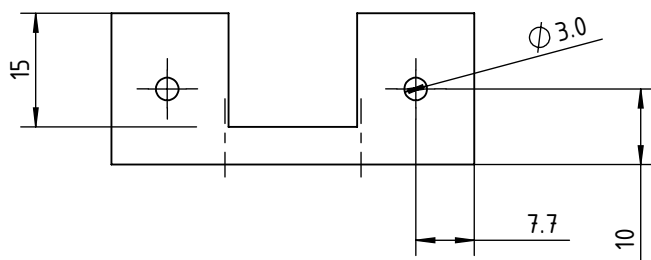
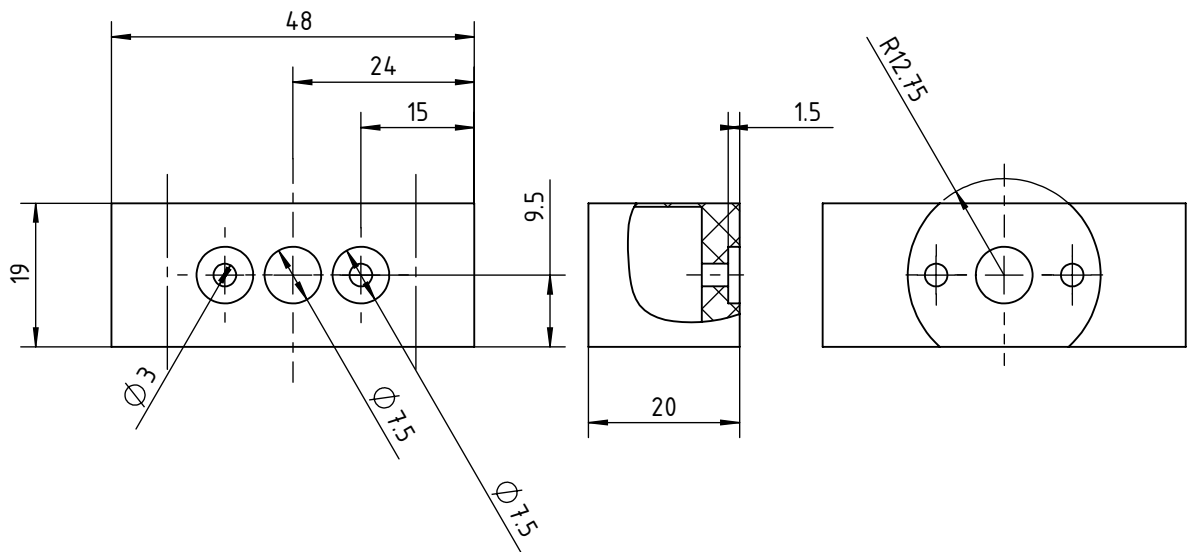
( $\sqrt{\text{Ra 6.3}}$ )

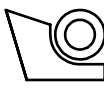
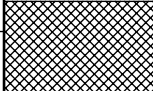


	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Razradio	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Crtao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Pregledao				
Objekt: ZR - Završni rad			Objekt broj: 32300-2300-1061	
			R. N. broj: 32300-2300	
Napomena:				Kopija
Materijal: S235JR		Masa: 166g	ISO 2768-mK	
	Naziv: Prednja ploča		Pozicija: 5	Format: A4
Mjerilo originala				Listova: 1
M1:2	Crtež broj: 2300-1061-05			List: 1

Design by CADLab

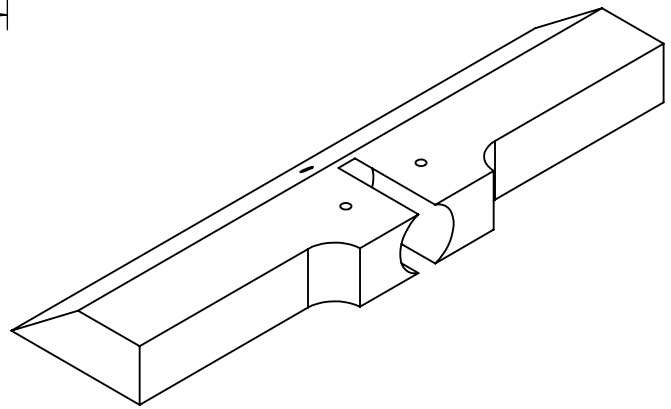
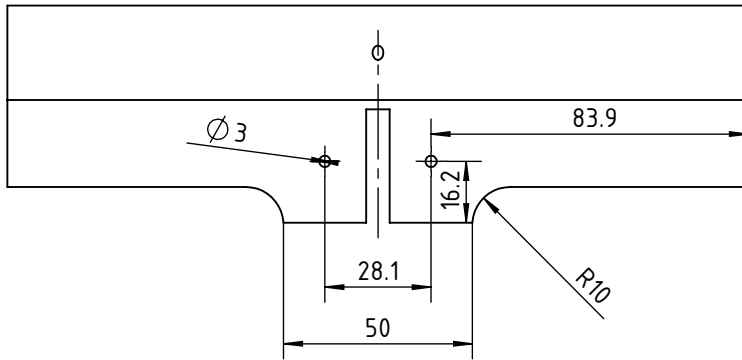
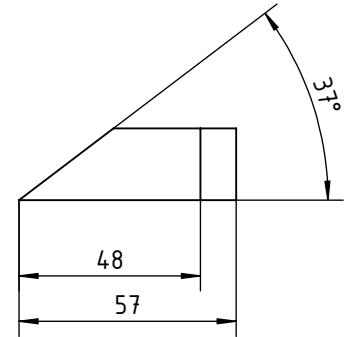
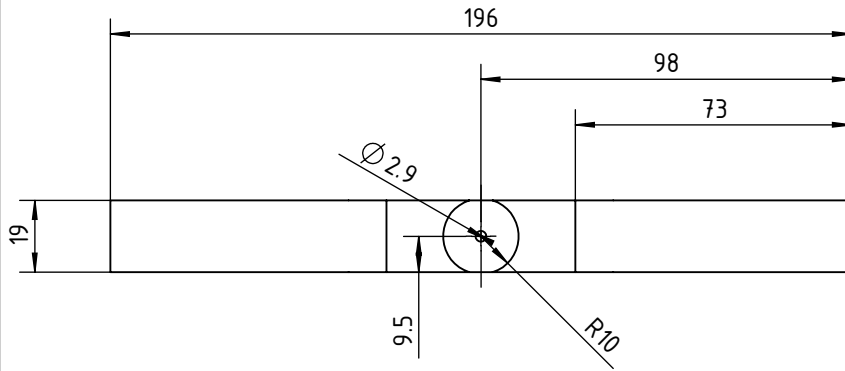
( $\sqrt{Ra\ 12.5}$ )




	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Razradio	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Crtao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Pregledao				
Objekt: ZR - Završni rad			Objekt broj: 32300-2300-1061	
			R. N. broj: 32300-2300	
Napomena:				Kopija
Materijal: PETG		Masa: 11.27g	ISO 2768-mK	
Naziv: Nosač motora			Pozicija: 6	
Mjerilo originala M1:1			Format: A4	
Crtež broj: 2300-1061-06				Listova: 1
				List: 1

Design by CADLab

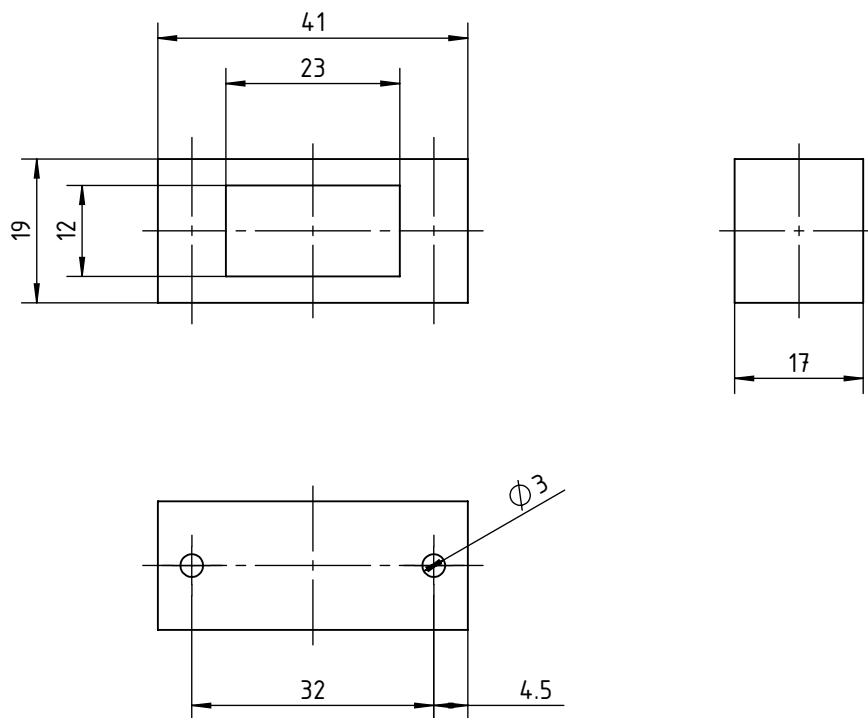
(  $\sqrt{Ra\ 12.5}$  )



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Razradio	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Crtao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Pregledao				
Objekt: ZR - Završni rad			Objekt broj: 32300-2300-1061	
			R. N. broj: 32300-2300	
Napomena:			Kopija	
Materijal: PETG		Masa: 135g	ISO 2768-mK	
 Mjerilo originala M1:2	Naziv: Prednji nosač		Pozicija: 7	Format: A4
	Crtež broj: 2300-1061-07			Listova: 1
				List: 1

Design by CADLab

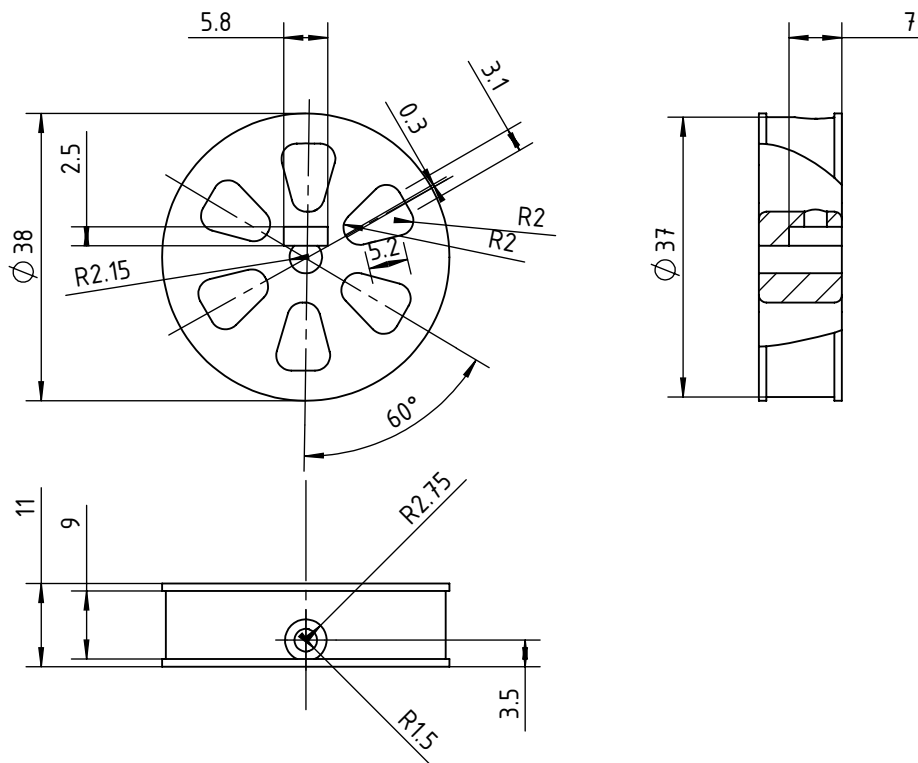
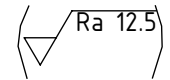
( $\sqrt{Ra\ 12.5}$ )



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Razradio	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Crtao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Pregledao				
Objekt:		ZR - Završni rad		Objekt broj: 32300-2300-1061
				R. N. broj: 32300-2300
Napomena:				Kopija
Materijal: PETG			Masa: 8.45g	ISO 2768-mK
	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
Mjerilo originala	Nosáč servo motora		8	Listova: 1
M1:1	Crtež broj: 2300-1061-08			List: 1

Design by CADLab

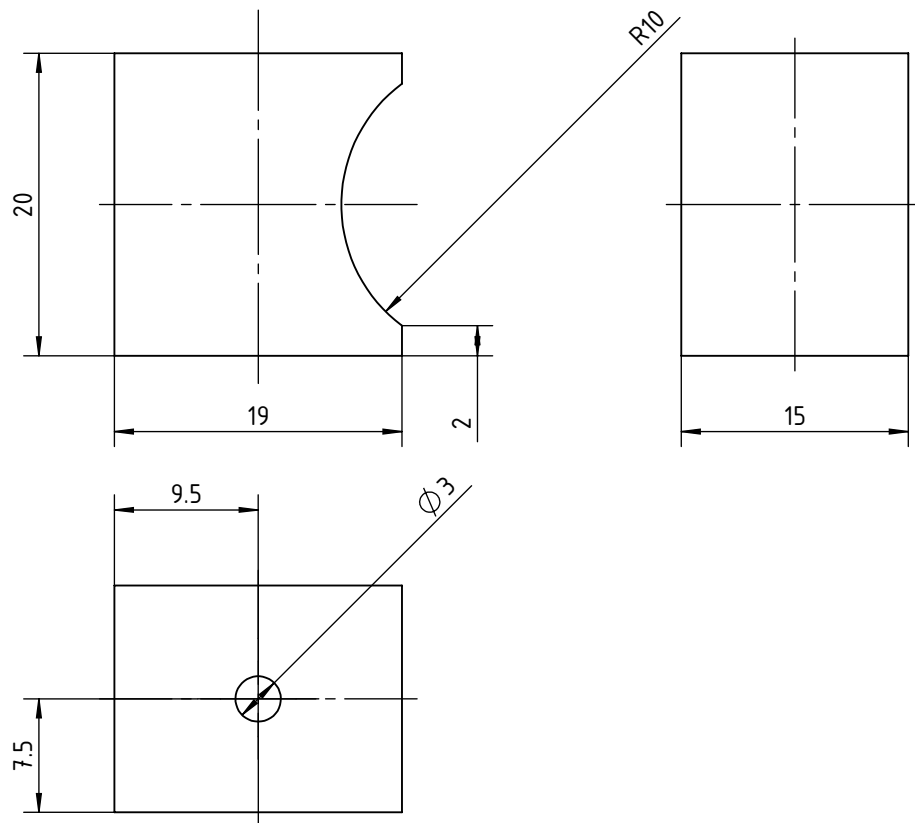



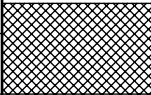
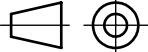


	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Razradio	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Crtao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Pregledao				
Objekt: ZR - Završni rad			Objekt broj: 32300-2300-1061	
			R. N. broj: 32300-2300	
Napomena:				Kopija
Materijal: PETG		Masa: 8.30g	ISO 2768-mK	
	Naziv: Kotač		Pozicija: 9	
Mjerilo originala			9	Format: A4
M1:1	Crtež broj: 2300-1061-09			Listova: 1
				List: 1

Design by CADLab

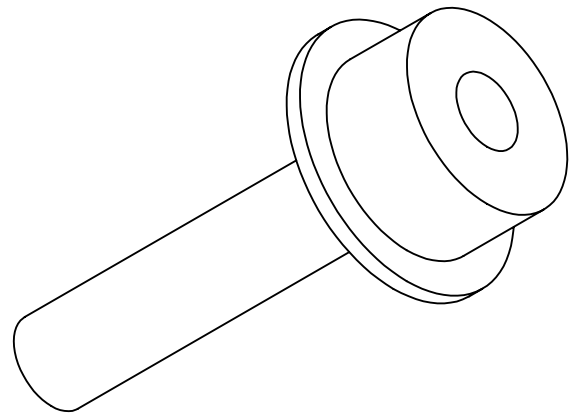
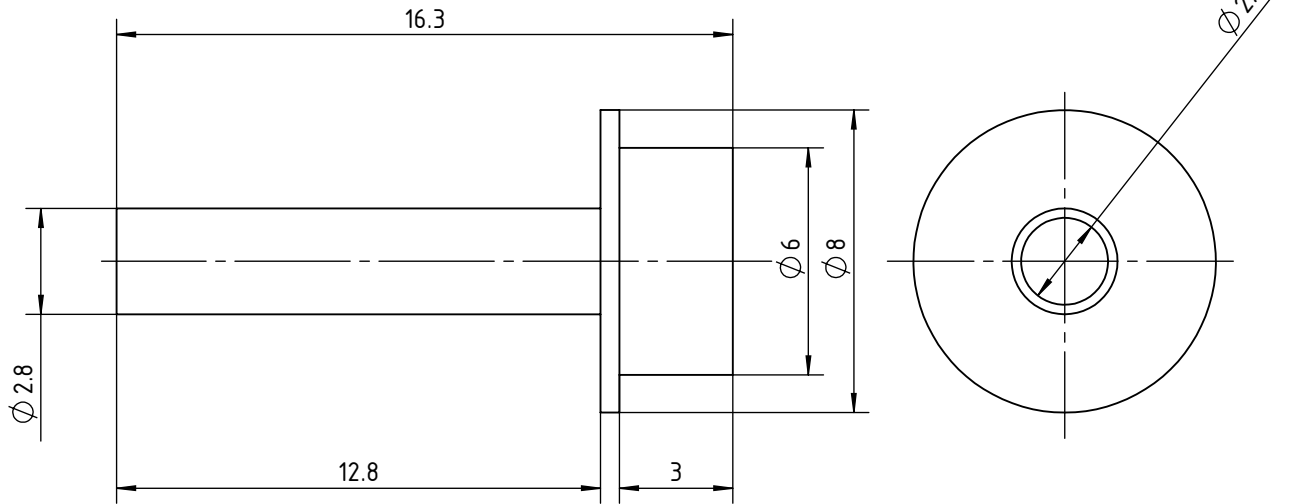
( $\sqrt{\text{Ra } 12.5}$ )


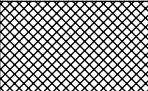
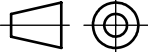


	Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b>
Projektirao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Razradio	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Crtao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček	
Pregledao				
Objekt:		ZR - Završni rad		Objekt broj: 32300-2300-1061
				R. N. broj: 32300-2300
Napomena:				Kopija
Materijal:	PETG	Masa: 4.99g	ISO 2768-mK	
 Mjerilo originala <b>M1:1</b>	Naziv:		Pozicija:	
		Nosač CO2		10
Crtež broj: 2300-1061-10			Format: A4	Listova: 1
			List: 1	

Design by CADLab

Ra 6.3



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b>	
Projektirao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček		
Razradio	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček		
Crtao	15.01.2023	Neven Spaček	Spaček		
Pregledao					
Objekt:		ZR - Završni rad		Objekt broj: 32300-2300-1061	
				R. N. broj: 32300-2300	
Napomena:				Kopija	
Materijal: S235JR		Masa: 2.5g	ISO 2768-mK		
 Naziv:		Vrh C02			Format: A4
Mjerilo originala				Pozicija: 11	Listova: 1
M5:1		Crtež broj: 2300-1061-11		List: 1	

Design by CADLab