

# Katapult za dronove

---

**Banožić, Ivan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2025**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:358694>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-29**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Ivan Banožić**

Zagreb, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Dr. sc. Matija Hoić, dipl. ing.

Student:

Ivan Banožić

Zagreb, 2025. godina.

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

Zahvaljujem se mentoru Doc. dr. sc. Matiji Hoiću na savjetima tijekom izrade Završnog rada.

Također, želio bih se zahvaliti i svojoj obitelji na potpori i pomoći koju sam imao tokom studija.

Ivan Banožić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za završne i 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 / 25 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 25 –	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ivan Banožić**

JMBAG: **0035230291**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Katapult za dronove**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Catapult drone launcher**

Opis zadatka:

Potrebno je konstruirati katapult za lansiranje dronova koji uobičajeno polijeću s središnje piste. Katapult treba biti primjeren za ugradnju na motorno vozilo ili prikolicu motornog vozila.

Ciljano konstrukcijsko rješenje mora imati sljedeće karakteristike:

- 1) Najveća masa pri polijetanju:  $Q = 250 \text{ kg}$ ,
- 2) Brzina u trenutku napuštanja katapulta:  $v = 20 \text{ m/s}$ ,
- 3) Najveće dopušteno ubrzanje pri polijetanju:  $a = 10 \text{ m/s}^2$ .

Rad treba sadržavati:

- 1) Uvodno razmatranje o katapultima za dronove,
- 2) Analizu radnih principa postojećih konstrukcijskih rješenja,
- 3) Nekoliko konceptijskih rješenja,
- 4) Izbor najpogodnijeg koncepta za zadane projektne zahtjeve,
- 5) Proračun i oblikovanje pogonskog sustava,
- 6) Proračun i oblikovanje nosive konstrukcije,
- 7) Sklopni crtež s potrebnim presjecima i detaljima.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2024.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Matija Hoić

Datum predaje rada:

1. rok: 20. i 21. 2. 2025.

2. rok: 10. i 11. 7. 2025.

3. rok: 18. i 19. 9. 2025.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 24. 2. – 28. 2. 2025.

2. rok: 15. 7. – 18. 7. 2025.

3. rok: 22. 9. – 26. 9. 2025.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

## Sadržaj

1. UVOD - dron .....	1
2. OPĆI PREGLED KATAPULTA .....	5
2.1. Katapult za dronove .....	5
2.2. Pregled patenta .....	6
2.2.1. Patent 1: US11679896B2 .....	6
2.2.2. Patent 2: US10486830B2 .....	6
3. PREGLED POSTOJEĆIH RJEŠENJA.....	8
3.1. Postojeća rješenja za slične operativne parametre.....	8
3.1.1. Bungee UAV Launching System SCL-1A.....	8
3.1.2. UAV Pneumatic Catapult Launching System BJCY-10.....	9
3.1.3. Electromagnetic Aircraft Launch System .....	10
4. KONCEPCIJSKA RJEŠENJA .....	12
4.1. Koncepti .....	12
4.1.1. Koncept 1 .....	12
4.1.2. Koncept 2 .....	13
4.1.3. Koncept 3 .....	14
4.2. Vrednovanje i odabir koncepta.....	16
5. UVODNI DIO PRORAČUNA.....	17
6. PRORAČUN POGONSKOG SUSTAVA .....	18
6.1. Odabir opruge [2] .....	18
6.2. Odabir užeta[6].....	19
6.3. Dimenzioniranje bubnja [6].....	20
6.3.1. Određivanje promjera bubnja (D):.....	20
6.3.2. Dimenzije profila žljebova bubnja:.....	21
6.3.3. Dimenzije utora za vođenje užeta:.....	21
6.3.4. Proračun stijenke bubnja: .....	22
6.3.5. Veza užeta s bubnjem.....	24
6.3.6. Dimenzioniranje osovine bubnja .....	25
6.4. Odabir ležaja bubnja [7]:.....	27
6.5. Odabir elektromotora s kočnicom .....	29
6.6. Proračun vijčanog spoja između potporne konstrukcije bubnja i platforme za lansiranje .....	31
6.7. Proračun okidača .....	32
6.7.1. Određivanje sila dodira za dio 1 .....	33
6.7.2. Određivanje sila dodira za dio 2 .....	34
6.7.3. Određivanje sila dodira za dio 3 .....	35
6.7.4. Provjera čvrstoće opruge [2] .....	35
6.8. Mehanički odbojnici .....	36
6.9. Čeona ploča opruge .....	37
6.10. Provjera zavara između vilice i čeone ploče .....	39
6.11. Kolica.....	40
6.11.1. Provjera čvrstoće vilice kolica.....	40
6.11.2. Provjera poprečno opterećenih vijaka vilice i kolica .....	41
6.11.3. Provjera čvrstoće svornjaka na spoju okidača i vilice kolica .....	43

---

7. PRORAČUN NOSIVE KONSTRUKCIJE .....	45
7.1. Platforma za lansiranje dronova .....	45
7.1.1. Provjera čvrstoće platforme za lansiranje .....	46
7.1.2. Provjera krutosti platforme [9] .....	48
7.1.3. Provjera zavara .....	49
7.2. Zglobni spoj platforme i nosača osovine .....	53
7.2.1. Osovina.....	54
7.3. Dimenzioniranje šarke .....	55
7.4. Hidraulički cilindar .....	56
7.4.1. Zavar postolja i nosača osovine .....	58
7.4.2. Provjera svornjaka hidrauličkog cilindra i nosača .....	60
7.5. Potporna greda za okidač .....	62
7.5.1. Provjera čvrstoće potporne grede .....	62
7.5.2. Provjera zavara .....	64
7.5.3. Proračun vijčanog spoja okidača .....	66
8. ZAKLJUČAK.....	68

**POPIS SLIKA**

Slika 1. MQ-9 Reaper .....	2
Slika 2. MQ-28 Ghost Bat .....	3
Slika 3. Skywalker X8 .....	3
Slika 4. VAPOR 55 .....	3
Slika 5. Patent 1.....	6
Slika 6. Patent 2.....	7
Slika 7. Katapult s elastičnim pojasevima .....	9
Slika 8. Katapult s pneumatskim sustavom .....	10
Slika 9. Elektromagnetski sustav za lansiranje .....	11
Slika 10. Koncept 1 .....	12
Slika 11. Koncept 2 .....	14
Slika 12. Koncept 3 .....	15
Slika 13. Pramen čelična užad.....	20
Slika 14. Osnovne dimenzije žljeba .....	22
Slika 15. a) Naprezanje elemenata stijenke bubnja, b) Lokalno savijanje ljuske bubnja od jednog navoja užeta .....	23
Slika 16. Veza užeta s bubnjem .....	24
Slika 17. Prikaz kritičnih presjeka osovine bubnja .....	25
Slika 18. Ležaj 22206 E.....	28
Slika 19. Karakteristike ležaja 22206 E.....	28
Slika 20. Shema motora za povlačenje .....	30
Slika 21. Vijčani spoj sklopa bubnja i platforme za lansiranje .....	31
Slika 22. Dijelovi okidača.....	33
Slika 23. Prvi dio okidača .....	33
Slika 24. Drugi dio okidača .....	34
Slika 25. Treći dio okidača .....	35
Slika 26. Opterećenje čeonu ploče .....	37
Slika 27. Opterećenje čeonu ploče .....	38
Slika 28. Vilica zavarena na čeonu ploču .....	39
Slika 29. Opterećenje zavara.....	39
Slika 30. Opterećenje vilice kolica .....	40
Slika 31. Vlačno naprezanje vilice .....	41
Slika 32. Spoj okidača i vilice kolica - opterećenja .....	43
Slika 33. Statičke sile.....	45
Slika 34. Dijagram poprečnih sila i momenata savijanja .....	46
Slika 35. Dimenzije poprečnog presjeka platforme .....	47
Slika 36. Opterećenje na platformu – progib .....	48
Slika 37. Dimenzije poprečnog presjeka platforme .....	48
Slika 38. Zavar platforme i ploče .....	50
Slika 39. Skica opterećenja .....	50
Slika 40. Proračunski presjek zavara .....	51
Slika 41. Skica opterećenja zavara .....	52
Slika 42. Proračunski presjek zavara .....	52
Slika 43. Zglobni spoj.....	54
Slika 44. Opterećenje na osovini.....	54
Slika 45. Model šarke .....	55
Slika 46. Opterećenje na šarku.....	56
Slika 47. Hidraulički cilindar .....	57



---

Slika 48. Ovisnost sile u cilindru o kutu između cilindra i platforme .....	58
Slika 49. Zavar postolja i nosača svornjaka .....	58
Slika 50. Proračunski presjek zavara .....	59
Slika 51. Opterećenje nosača svornjaka .....	59
Slika 52. Opterećenje svornjaka .....	61
Slika 53. Opterećenje potporne grede .....	63
Slika 54. Skica opterećenja na zavar .....	64
Slika 55. Proračunski presjek zavara .....	65
Slika 56. Vijčani spoj okidača i potpornog nosača .....	66

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Vrednovanje i odabir koncepta .....	16
Tablica 2. . Dimenzija profila žljeba r2 u ovisnosti o promjeru užeta .....	22
Tablica 3. Karakteristike elektromotora .....	30
Tablica 4. Oznake i svojstva čvrstoće čelika za vijke i matice prema DIN 267 [2] .....	32
Tablica 5. Karakteristike mehaničkog odbojnika ACE MA 4575 .....	36
Tablica 4. Oznake i svojstva čvrstoće čelika za vijke i matice prema DIN 267 [2] .....	42
Tablica 6. Mehanička svojstva S355 .....	46
Tablica 7. Karakteristike hidrauličkog cilindra.....	57

---

**POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

- 00-00-00 Katapult za dronove
- 00-00-01 Sklop – bubanj
- 00-00-02 Sklop – okidač
- 00-00-03 Sklop – kolica

**POPIS OZNAKA**

Oznaka	Jedinica	Opis
$A$	$\text{mm}^2$	Površina presjeka
$A_{zav}$	$\text{mm}^2$	Površina presjeka zavara
$A_{klip}$	$\text{mm}^2$	Površina presjeka cilindra
$F_A$	N	Reakcija u osloncu A
$F_B$	N	Reakcija u osloncu B
$E$	MPa	Modul elastičnosti
$F_{cil}$	N	Sila u hidrauličkom cilindru
$d$	mm	Promjer osovine
$d_k$	mm	Promjer klipnjače
$D$	mm	Promjer cilindra
$g$	$\text{m/s}^2$	Ubrzanje zemljine sile teže
$I$	$\text{mm}^4$	Aksijalni moment tromost
$W$	$\text{mm}^3$	Aksijalni moment otpora
$p$	bar	Tlak u cilindru
$R_e$	$\text{N/mm}^2$	Granica tečenja
$R_m$	$\text{N/mm}^2$	Vlačna čvrstoća
$S$	-	Faktor sigurnosti
$t$	mm	Debljina lima
$M_z$	Nmm	Moment oko osi z
$\varphi$	°	Kut zakreta poluge
$\sigma_f$	$\text{N/mm}^2$	Naprezanje na savijanje
$\sigma_{f,dop}$	$\text{N/mm}^2$	Dopušteno naprezanje na savijanje
$\sigma_{red}$	$\text{N/mm}^2$	Reducirano naprezanje
$\tau_{dop}$	$\text{N/mm}^2$	Dopušteno smično naprezanje
$\Delta r$	mm	Hod cilindra
$a$	$\text{m/s}^2$	Ubrzanje kolica
$Q$	kg	Najveća masa pri lansiranju
$d_{opr}$	mm	Promjer žice opruge
$D_{sr}$	mm	Srednji promjer opruge
$c$	N/m	Krutost opruge
$i_f$	-	Broj navoja s opružnim djelovanjem
$F_r$	N	Računska lomna sila
$f$	-	Faktor ispune užeta
$s$	mm	Debljina stijenke bubnja
$l_b$	mm	Ukupna duljina bubnja
$\sigma_f$	$\text{N/mm}^2$	Cirkularno naprezanje

---

**SAŽETAK**

Tema ovog završnog rada je konstrukcijska razrada katapulta za dronove. Potrebno je konstruirati katapult za lansiranje dronova koji uobičajeno polijeću s piste te katapult treba biti primjeren za ugradnju na motorno vozilo ili prikolicu motornog vozila. Zadani su projektni parametri: najveća masa pri polijetanju ( $Q = 250 \text{ kg}$ ), brzina u trenutku napuštanja katapulta ( $v = 20 \text{ m/s}$ ) i najveće dopušteno ubrzanje pri polijetanju ( $a = 10 \text{ m/s}^2$ ).

U uvodnom dijelu rada navedeno je osnovno o dronovima, vrste dronova i primjeri dronova, zatim su navedena i objašnjena postojeća konstrukcijska rješenja. Nadalje su skicirana i objašnjena tri koncepta koja su uspoređena prema zadanim kriterijima i odabran je koncept koji je detaljnije razvijen. Odabrani koncept je koncept kojemu za lansiranje služi vlačna opruga.

U drugom dijelu rada napravljen je kompletan proračun za katapult i na kraju je izrađen 3D model katapulta i pripadajuća tehnička dokumentacija.

Ključne riječi: katapult, opruga, bubanj, sajla, elektromotor, okidač

---

**SUMMARY**

The topic of this final thesis is the structural design of a drone catapult. The task is to design a catapult for launching drones that typically take off from a runway. The catapult should be suitable for installation on a motor vehicle or a trailer. The given project parameters include the maximum takeoff weight ( $Q = 250 \text{ kg}$ ), the velocity at the moment of leaving the catapult ( $v = 20 \text{ m/s}$ ), and the maximum allowable acceleration during takeoff ( $a = 10 \text{ m/s}^2$ ).

The introductory part of the thesis provides fundamental information about drones, types of drones, and examples of drones. It also presents and explains existing structural solutions. Furthermore, three concepts are sketched and explained, compared based on predefined criteria, and a selected concept is developed in more detail. The chosen concept utilizes a tension spring for launching.

The second part of the thesis includes a complete calculation for the catapult, and finally, a 3D model of the catapult and the corresponding technical documentation are created.

**Keywords:** catapult, spring, drum, cable, electric motor, trigger.

## 1. UVOD - dron

Dronovi, poznati i kao bespilotne letjelice, su letjelice kojima se upravlja bez prisustva pilota na samoj letjelici. Mogu se kontrolirati daljinski putem radija ili satelita, ili mogu letjeti autonomno koristeći unaprijed programirane rute ili senzore. Dronovi se koriste za: vojne operacije, poljoprivredu, dostave, fotografije i video, hitne situacije. Tehnologija dronova brzo napreduje, danas postoje mali hobi dronovi do velikih komercijalnih i vojnih letjelica. Prvi dronovi korišteni su u Prvom svjetskom ratu za izviđanje i prikupljanje informacija. S vremenom dronovi se sve više razvijaju te su danas široko prisutni u svim sektorima, od industrije do zabave i umjetnosti.

Prema veličini, dronovi se dijele u četiri glavne skupine:

### **Nano i mikro dronovi (20 cm - 50 cm)**

- Težina - do 10 kg.
- Vrijeme leta - oko 60 minuta.
- Maksimalna visina dizanja - do 1 km.

Nano i mikro dronovi su mali i upravljivi i mogu se koristiti čak i u zatvorenom prostoru. Uglavnom ih koristi vojska – služe za špijunažu. Prednosti za ovu kategoriju su cijena i činjenica da su pogodni za obuku pilota. Nedostaci su mala snaga, jak utjecaj vremenskih uvjeta i kratko vrijeme leta.

### **Mini dronovi (50 cm - 2 m)**

- Težina - između 10 i 50 kg.
- Vrijeme leta - oko 2-3 sata
- Maksimalna nadmorska visina - 3-5 km.

Mini dronovi su najpopularniji. Odlikuju se niskom cijenom i dobrim tehničkim karakteristikama. Mogu se koristiti za profesionalni rad i istraživanja. Lakši uređaji ovog tipa (oko 10 kg.) nisu regulirani, ali ako koristite teže (između 15 i 20 kg.), trebat će vam odgovarajuće dozvole.

### **Srednji dronovi (2 - 10 m.)**

- Težina - do 1 tone
- Vrijeme leta - 10 - 12 sati

- Maksimalna nadmorska visina - 9 - 10 km.

Srednji dronovi su manji i lakši od aviona i mogu nositi oko 200 kg. nosivost, stoga nalaze primjenu u vojsci, koriste se uglavnom za prijevoz robe na udaljena mjesta. Imaju snažne motore. Za upravljanje takvim dronovima potrebne su dozvole i posebna obuka.

### **Teški dronovi (preko 10 m)**

- Težina - oko 1 tona
- Vrijeme leta - do 1 dan
- Maksimalna nadmorska visina - 20 km.

Veliki (teški) dronovi su veličine malog aviona. Koriste se u vojnim misijama, šalju se u područja visokog rizika umjesto borbenih zrakoplova. Opremljeni su oružnim i fotografskim sustavima, pa se mogu koristiti za zračno osmatranje velikih područja ili za taktička djelovanja.

Prema osobitostima upravljanja, dronovi se dijele na:

- Bepilotne letjelice na daljinsko upravljanje - općenito, ovi uređaji imaju kraće vrijeme leta i kraće udaljenosti leta
- Dronovi kontrolirani putem računala - ovi modeli se koriste za misije, vrijeme leta je duže od dronova kojima se upravlja daljinskim upravljačem i njihova je udaljenost leta veća

Primjeri dronova:



**Slika 1. MQ-9 Reaper**





**Slika 2. MQ-28 Ghost Bat**



**Slika 3. Skywalker X8**



**Slika 4. VAPOR 55**

---

U završnom radu bit će prikazan razvoj katapulta za dronove koji omogućuju izbacivanje dronova u područjima gdje nema dovoljno prostora za polijetanje.

U okviru rada bit će dan opći pregled katapulta, pregled postojećih rješenja, općenito o dronovima, konceptualna rješenja, te odabir konačnog koncepta, proračun pogonskog sustava i proračun nosive konstrukcije te na kraju crtež s potrebnim presjecima i detaljima.

## 2. OPĆI PREGLED KATAPULTA

Katapult je naziv za ratni stroj koji se koristi za lansiranje ili izbacivanje objekata na velike udaljenosti. Njegova je osnovna funkcija pretvaranje potencijalne u kinetičku energiju. Katapult funkcionira po principu pohranjivanja energije u obliku napetih užadi i opruga koja se zatim brzo oslobađa kako bi ispalila projektil. Danas se katapult koristi za lansiranje aviona s nosača aviona i katapult i dronove, gdje se moderni mehanički, pneumatski i elektromagnetski sustavi primjenjuju kako bi ubrzali dron i omogućili mu da dobije dovoljnu brzinu za polijetanje bez potrebe za dugom pistom.

### 2.1. Katapult za dronove

Uređaji koji se koriste za lansiranje dronova u zrak s određenom brzinom i preciznošću, bez potrebe za pistom ili da dron koristi vlastite motore za uzlet. Spomenuti sustavi koriste se posebno kada dronovi trebaju poletjeti s mjesta gdje nema dovoljno prostora za standardno uzlijetanje, kao što su brodovi, platforme ili druge ograničene površine.

Najčešće korištene tehnologije u katapultima za dronove su:

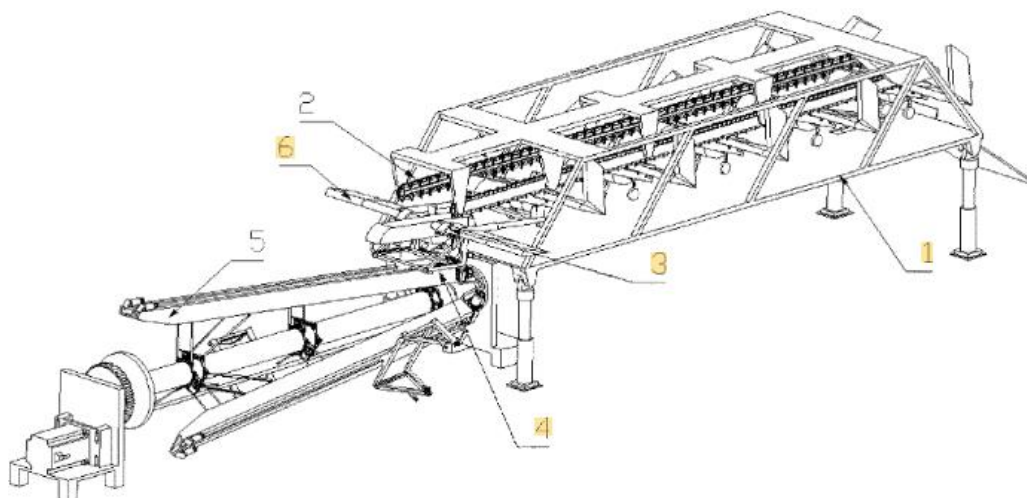
- **Pneumatski sustavi:** Ovi sustavi koriste stlačeni zrak kako bi izbacili dron. Pneumatski katapult i su tihi, precizni i mogu izbaciti dronove velikom brzinom. Koriste se uglavnom za vojnu upotrebu. Sustav obično funkcionira na način da se zrak komprimira, zatim se dron postavlja na platformu katapulta koja se povezuje s pneumatskim sustavom te kada je izbacivanje spremno, ventil se otvara te se dron izbacuje s određenom brzinom. Prednosti sustava su: efikasno lansiranje s male površine, brzo i često lansiranje dronova, nema potrebe za motorom prilikom lansiranja, prikladno za različita okruženja.
- **Elastične trake:** Koriste se za stvaranje napetosti, koja se potom oslobađa kako bi se dron izbacio u zrak. Elastične se trake rastežu kako bi pohranile potencijalnu energiju. Dron se postavlja na platformu katapulta te kada su trake dovoljno zategnute dolazi do izbacivanja drona s određenom brzinom. Prednosti sustava su: jednostavnost, prenosivost, smanjena potrošnja energije drona, prilagodljivost.
- **Opružni sustavi:** Katapult i za dronove s opružnim sustavom koriste energiju opruge za lansiranje bespilotnih letjelica, omogućujući im brzi početni uzlet bez potrebe za dugom pistom. Ovi sustavi su posebno korisni u ograničenim prostorima ili na terenima gdje

tradicionalno polijetanje nije moguće. Prednosti katapulta s oprugom su: kompaktnost i prenosivost, brza priprema (idealno za situaciju na terenu), neovisnost o vanjskim izvorima energije (nije bitno gdje se nalazi katapult, uvijek se može lansirati dron).

## 2.2. Pregled patenta

### 2.2.1. Patent 1: US11679896B2

Patent je prijavljen 30.11.2018. godine. Ovaj se patent sastoji od uređaja za skladištenje dronova, za prijenos, za punjenje i za lansiranje dronova. Povećava efikasnost katapultiranja dronova i pogodan je za formiranje grupe dronova. Za katapultiranje koristi se sustav s elastičnim trakama jer tako mogu biti brzo i efikasno ubačeni u borbeno okruženje te su pogodni za prikrivenost. Uređaj se sastoji od skladišnog uređaja za bespilotne letjelice (1), uređaja za transport bespilotnih letjelica (2), automatskog uređaja za utovar bespilotnih letjelica (3), prihvatnika (4) i rotacijske cijevne staze za katapultiranje(5).

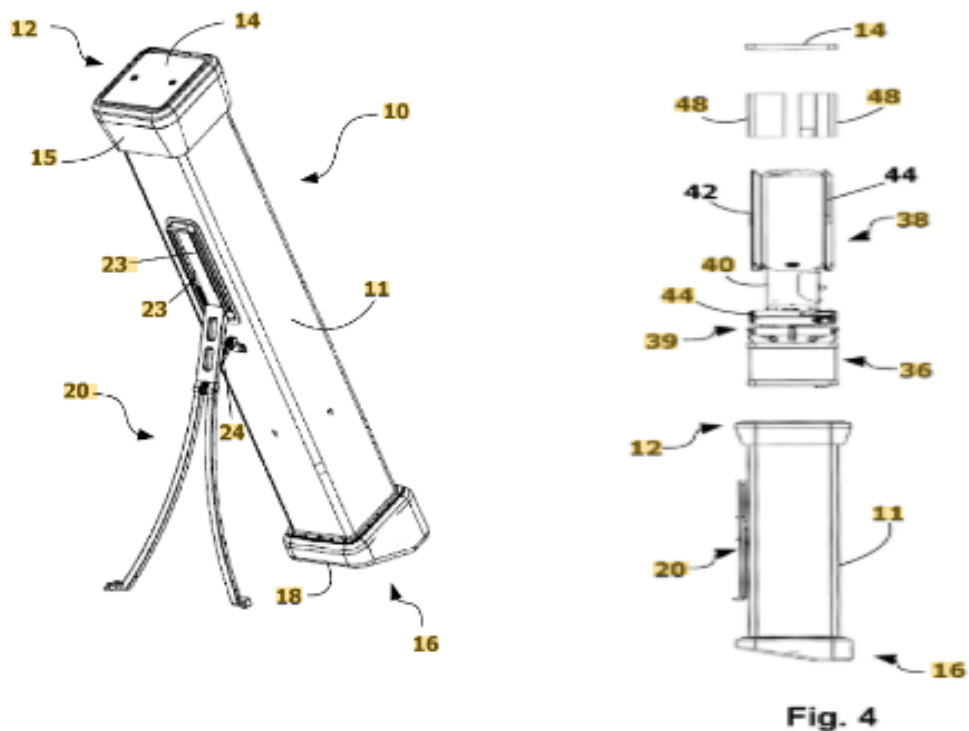


Slika 5. Patent 1

### 2.2.2. Patent 2: US10486830B2

Patent je prijavljen 25.08.2016. godine. Ovaj patent prikazuje uređaj za lansiranje dronova. Uređaj ima dron koji je pohranjen unutar lansirne cijevi. Lansirna cijev ima kvadratni, tubularni oblik koji služi i kao transportna kutija i kao lansirna šina, omogućujući siguran transport UAV-a uz zaštitu od oštećenja. Kao sustav za lansiranje koristi pneumatski sustav koji omogućuje kontrolirano i snažno ubrzavanje dronova tijekom lansiranja. Lansirna cijev sadrži i mehanizam

za odvajanje koji omogućuje odvajanje drona od sustava za lansiranje. Ovaj sustav nudi praktično rješenje za brzo lansiranje i povrat UAV-ova u terenskim uvjetima s naglaskom na sigurnost korisnika kroz ugrađene sigurnosne mehanizme koji sprječavaju slučajno lansiranje.



Slika 6. Patent 2

### 3. PREGLED POSTOJEĆIH RJEŠENJA

Ovdje će se dati pregled postojećih rješenja za slične operativne parametre, tj. rješenja koja mogu zadovoljiti parametre zadatka.

#### 3.1. Postojeća rješenja za slične operativne parametre

U daljnjem tekstu bit će prikazana pronađena postojeća rješenja dostupna na tržištu koja imaju slične operativne parametre, tj. imaju nosivost i brzinu u trenutku napuštanja katapulta koji su blizu zadatkom zadanim karakteristikama.

##### 3.1.1. Bungee UAV Launching System SCL-1A

SCL-1A bungee sustav za lansiranje dizajniran je za lansiranje bespilotnih letjelica s uzletnom težinom do 10 kg pri brzini od 25 m/s (90 km/h). Katapult SCL-1A sposoban je lansirati bespilotne letjelice u raznim vremenskim uvjetima i u temperaturnom rasponu od  $-15^{\circ}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$ .

- Maksimalna brzina lansiranja UAV-a: 25 m/s (75 km/h)
- Lansira UAV-ove s uzletnom težinom do 10 kg
- Sposoban za rad u različitim vremenskim uvjetima, od  $-15^{\circ}\text{C}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$
- Vrijeme postavljanja: 15 minuta

Strukturno, katapult se sastoji od tračnice i lansirnog uređaja. Elastični pojasevi pričvršćeni su za kolica, a istežu se preko uređaja pomoću električnog vitla do potrebne sile. Ovaj katapult radi autonomno i napaja se olovnom baterijom. Broj lansiranja ovisi o kapacitetu baterije, stanju njezinog punjenja i temperaturi okoline.

Napajanje uređaja iz automobilskeg akumulatora je dopušteno. Lansiranje se upravlja daljinskim žičnim upravljačem duljine do 100 metara. Napetost pojaseva do zadane sile može se izvršiti i automatski i ručno. Razina napetosti pojaseva nadzire se pokazivačem na električnom dinamometru. U sustavu SCL-1A postoji mogućnost hitnog otpuštanja napetosti pojaseva. Kada su pojasevi napeti, kolica s UAV-om postavljenim na njima osigurana su sigurnosnim klinom, koji se izvlači neposredno prije lansiranja.



**Slika 7. Katapult s elastičnim pojasevima**

### ***3.1.2. UAV Pneumatic Catapult Launching System BJCY-10***

U smislu pouzdanosti i fleksibilnosti, katapult bespilotnih letjelica druge generacije s visokotlačnim pneumatskim sustavom pokazao se iznimno dobrim. Dizajniran od početka kao višenamjensko rješenje koje podržava taktičke UAV sustave, uvijek pruža izvrsne operacijske akcije.

Kao katapult bespilotnih letjelica druge generacije, podržava širok raspon početnih brzina lansiranja i težine bespilotnih letjelica, omogućujući prilagodbu različitim tipovima dronova u raznim uvjetima okoline, uključujući letjelice s propelerima i letjelice s turbinskim motorima. Podesivi tlak lansiranja omogućuje katapultu da osigura promjenjivu brzinu polijetanja, koja se može optimizirati za specifičan tip zrakoplova i misiju. Zatvoreni pneumatski sustav može brzo obnoviti tlak u sustavu, skraćujući vrijeme između lansiranja pojedinog zrakoplova na manje od pet minuta.

Katapult je od početka dizajniran za brzo postavljanje. Nakon operativne verifikacije, katapult pokazuje izvrsnu pouzdanost i niske troškove održavanja. Opremljen je vlastitom jedinicom za napajanje, što omogućuje njegovo korištenje bez vanjskog izvora energije i smanjuje logistički teret za njegovo postavljanje.

Katapult mogu sigurno koristiti dvije osobe u raznim zadacima. Prema operativnim zahtjevima, vrijeme postavljanja može biti samo 10 minuta. Tijekom procesa dizajniranja, naglašena je sigurna operacija u svakoj fazi kako bi se smanjio rizik za operatera tijekom procesa lansiranja opreme.

- **Parametri veličine:**
  - Vrijeme pripreme za lansiranje: 15 min
  - Radna temperatura:  $-30^{\circ} \sim +50^{\circ}$
  - Vrijeme reakcije za lansiranje: 5 min
  - Brzina transporta autocestom: 80 km/h
  - Masa opreme: 2500 kg
  - Kut lansiranja:  $8-15^{\circ}$
  - Ubrzanje ovisi o tipu drona



**Slika 8. Katapult s pneumatskim sustavom**

### ***3.1.3. Electromagnetic Aircraft Launch System***

Sustav katapultira zrakoplove s nosača pomoću katapultula koji koristi linearni indukcijski motor. Linearni indukcijski motor koristi izmjeničnu struju (AC) za stvaranje magnetskih polja koja pokreću kolica duž staze kako bi lansirali zrakoplov. EMALS se sastoji od četiri



glavna elementa. Linearni indukcijski motor sastoji se od niza statorskih zavojnica s istom funkcijom kao kružne statorske zavojnice u konvencionalnom indukcijskom motoru. Kada se napajaju, motor ubrzava kolica duž staze. Samo dio zavojnica oko kolica je napajan u bilo kojem trenutku, čime se minimiziraju reaktivni gubici. Ovaj sustav omogućuje glatko i precizno lansiranje zrakoplova te također omogućuje veliku fleksibilnost jer može lansirati više vrsta zrakoplova.



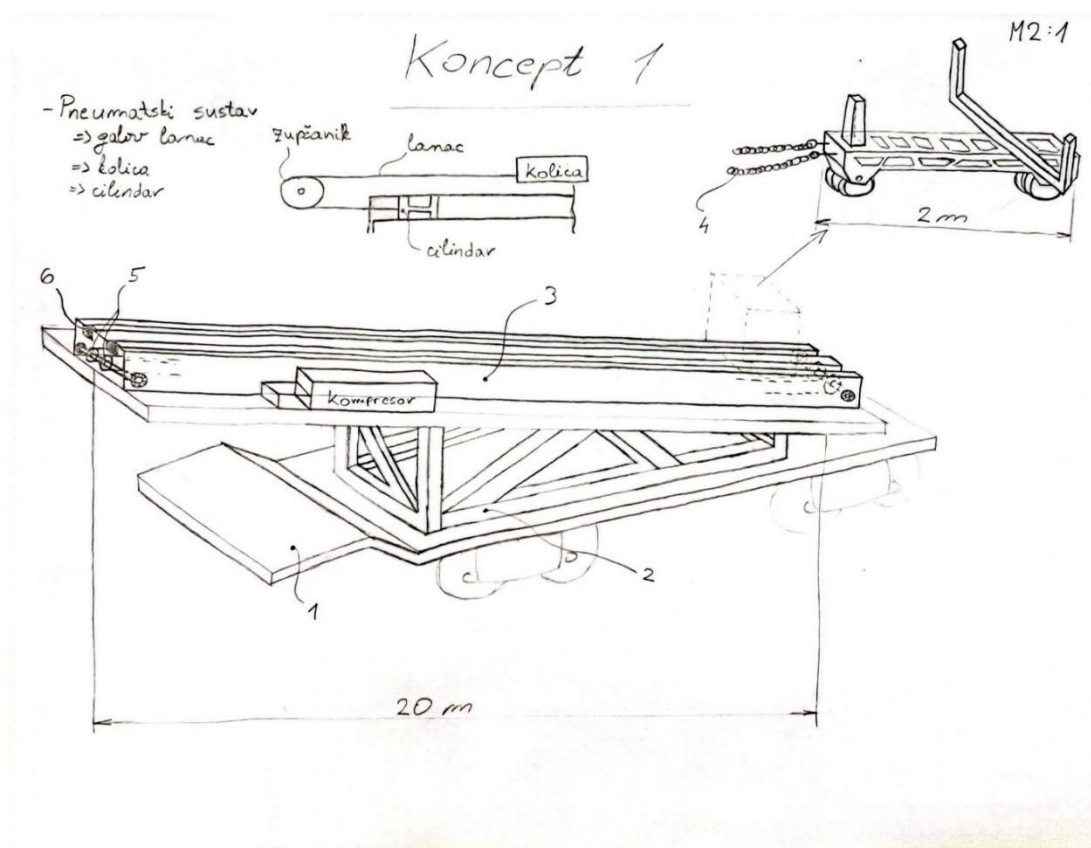
Slika 9. Elektromagnetski sustav za lansiranje

## 4. KONCEPCIJSKA RJEŠENJA

### 4.1. Koncepti

#### 4.1.1. Koncept 1

Iz priloženog koncepta vidimo katapult za dronove montiran na prikolici kamiona (1). Nosiva konstrukcija (2) napravljena od gređa kvadratnog profila koja je montirana na prikolicu kamiona pomoću zavarivanja, metalnih nosača i vijaka. Na nosivu konstrukciju je stavljena ploča koja nam služi za pohranu kompresora, spremnika za zrak, cijevi i spojnice te ostatka dijelova potrebnih za pneumatski sustav. Zatim smo na priloženu ploču pričvrstili zavarivanjem platformu (3) za katapultiranje dronova koja se sastoji od gređe U-profila na koju smo zavarili dvije dugačke metalne ploče koje služe kolicima za gibanje tijekom katapultiranja. U konceptu je korišten pneumatski sustav za katapultiranje. Na kolica smo spojili dva galova lanca (4) koja su na krajevima platforme povezana sa zupčanicima (5) te s pneumatskim sustavom koji omogućuje katapultiranje dronova pomoću komprimiranog zraka koji obavlja mehanički rad. Na kraju platforme su smješteni gumeni odbojnici (6) s kojima se kolica sudare te tako dolazi do izbacivanja drona iz kolica.

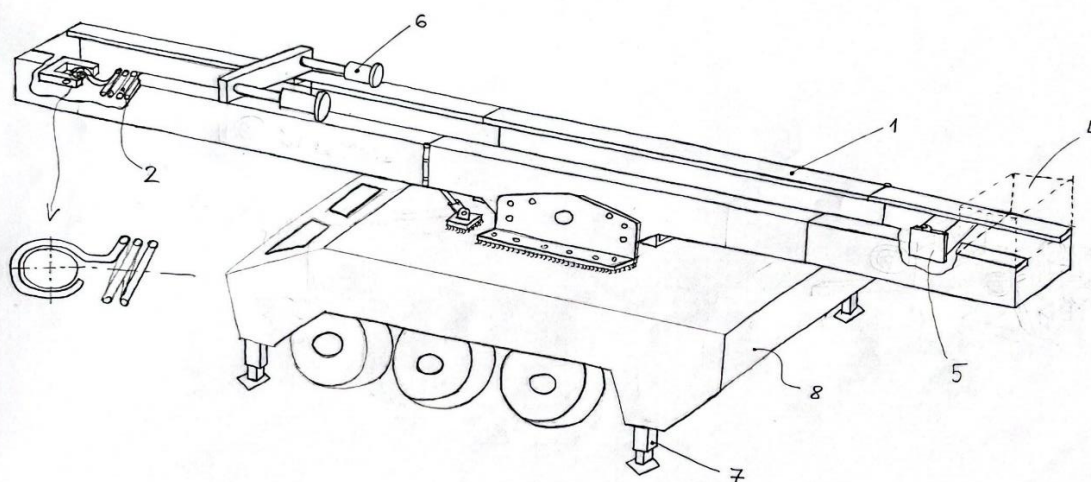


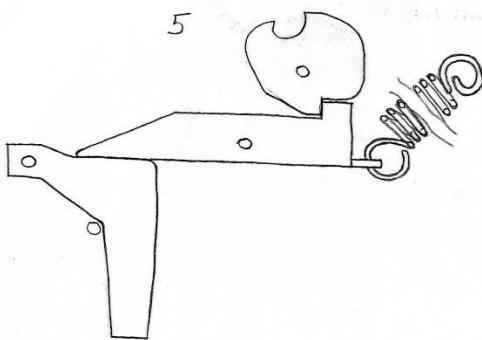
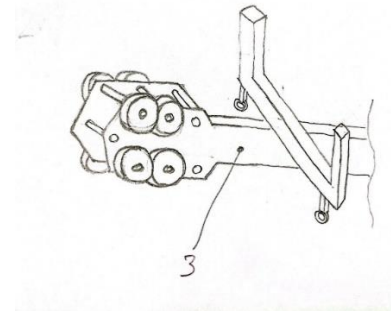
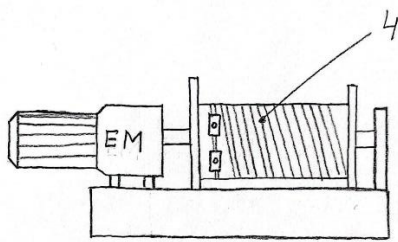
Slika 10. Koncept 1

#### 4.1.2. Koncept 2

Iz priloženog koncepta vidimo katapult za dronove koji se može montirati na oklopno vozilo (8). Platforma (1) za katapultiranje se sastoji od grede koja je sastavljena iz tri dijela te je povezana vijcima i metalnim pločama. Platforma će se sklopljena prevoziti na oklopnom vozilu te kada bude potrebno katapultiranje ona će se rastvoriti tako što ručno zarotiramo prednji i stražnji dio platforme za 180° te ih pomoću klina pričvrstimo za glavni dio platforme. Dvije staze po kojima će se kolica gibati su zavarene za gredu te se na kraju platforme montiraju mehanički odbojnici radi zaustavljanja kolica nakon katapultiranja. U ovom je konceptu osmišljeno da se dronovi katapultiraju uz pomoć opruge (2) smještene pri vrhu platforme. Opruga se zakvači na kolica (3) te se kolica uz pomoć sajle i bubnja (4) vrate u početni položaj na početak platforme gdje se zakvače za okidač (5) i opruge se rastegnu. Početak katapultiranja je povlačenje poluge te tako dolazi do okidanja i do vraćanja opruge u svoj početni položaj što je ujedno i katapultiranje drona te na kraju dolazi do udarca kolica u mehaničke odbojnice (6) te se tako dron izbacuje iz kolica. Na mjestu spoja platforme i oklopnog vozila moguće je mijenjati kut katapultiranja uz pomoć hidrauličkih cilindara koji rade na principu tlaka hidrauličke tekućine. Oklopno se vozilo pomoću hidrauličkih potpornih nogu (7) podiže od zemlje radi stabilnijeg lansiranja.

Koncept 2





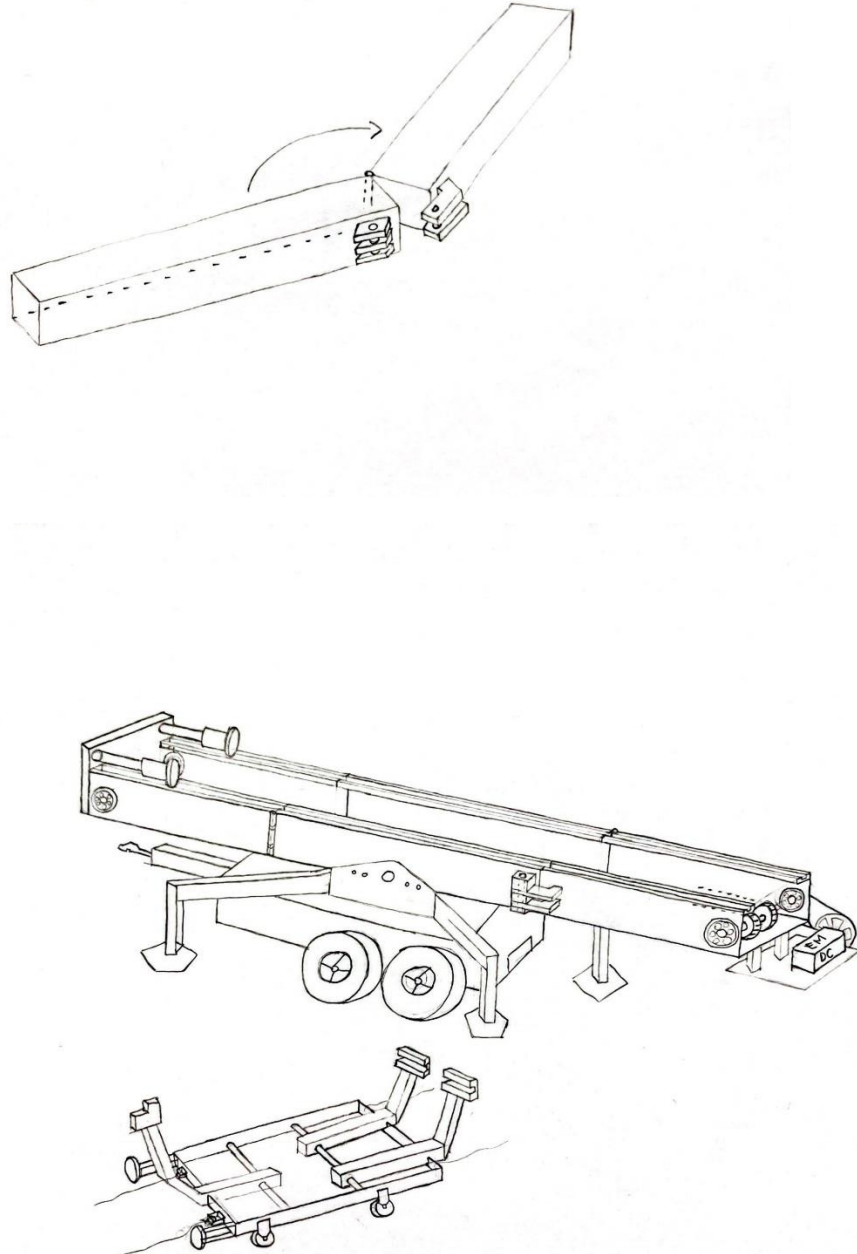
Slika 11. Koncept 2

#### 4.1.3. Koncept 3

Iz priloženog koncepta vidimo katapult za dronove montiran na manju prikolicu s hidrauličkim potpornim nogama. Platforma se sastoji od grede U-profila koja je sastavljena iz 3 dijela. Prednji i stražnji dio grede se rotira za  $180^\circ$  radi njenog rastvaranja i zaključava se pomoću klina da zadrži svoj položaj. Na gredu su zavarene dvije staze po kojima se kolica gibaju. Na početku i kraju platforme su smješteni zupčanici preko kojih su prebačena dva galova lanca i koja su spojena na kolica. DC motor pokreće vratilo na koje su smještena dva zupčanika na početku platforme. Budući da su galovi lanci povezani na kolica doći će do naglog pokretanja kolica pri čemu će kolica postići dovoljnu brzinu za polijetanje drona. Na kraju su platforme smješteni mehanički odbojnici koji zaustavljaju kolica. Pri udaru kolica dolazi do izbacivanja drona iz kolica. Kolica se vraćaju u početni položaj ručno te se postupak ponavlja.

# Koncept 3

- Rastvara se staze za laminaciju



Slika 12. Koncept 3

## 4.2. Vrednovanje i odabir koncepta

Nakon što su generirana 3 koncepta, potrebno je odabrati najbolji, koji će se konstrukcijski razraditi. Odabrano je nekoliko kriterija s dodijeljenim težinskim faktorima (1-10) na temelju kojih će se birati najbolji koncept tako da se svaki kriterij vrednuje ocjenom 1 (najlošije) do 5 (najbolje), a kao najbolji bit će odabran onaj s najvećom sumom bodova. Odabrani kriteriji su dimenzije, kompleksnost, jednostavnost uporabe, mogućnost podešavanja položaja, cijena, ostvarenje zadane brzine. Ostvarenje zadane brzine je najbitniji kriterij da bi dron mogao poletjeti.

**Tablica 1. Vrednovanje i odabir koncepta**

	Težinski faktor	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3
<b>Kriteriji odabira</b>		Ocjena	Ocjena	Ocjena
Funkcionalnost	9	3	5	3
Kompleksnost	6	2	3	4
Jednostavnost uporabe	7	4	4	4
Cijena	6	1	4	2
Ostvarenje zadane brzine	9	5	4	3
<b>Ukupna ocjena</b>		<b>118</b>	<b>151</b>	<b>118</b>
<b>Konstrukcijska razrada?</b>		<b>NE</b>	<b>DA</b>	<b>NE</b>

## 5. UVODNI DIO PRORAČUNA

Specifikacije zadatka:

1. Najveća masa pri polijetanju ( $Q$ ): 250 kg
2. Brzina pri napuštanju katapulta ( $v$ ): 20 m/s
3. Najveće dopušteno ubrzanje pri polijetanju ( $a$ ): 10 m/s<sup>2</sup>

U uvodnom dijelu proračuna prikazane su glavne vrijednosti s kojima će se ići u detaljniji proračun pogonskog sustava i nosive konstrukcije.

**Minimalna duljina katapulta ( $L$ ):**

$$L = v \cdot t \quad (1)$$

$$a = \frac{v}{t} \rightarrow t = \frac{v}{a} = \frac{20}{10} = 2 \text{ s} \quad (2)$$

$$L = \frac{v}{2} \cdot t = \frac{20}{2} \cdot 2 = 20 \text{ m} \quad (3)$$

Uzima se srednja vrijednost brzine jer brzina kreće od 0 m/s pa ubrzava do 20 m/s.

**Potrebna sila za lansiranje ( $F_Q$ ):**

$$F_Q = Q \cdot a = 250 \cdot 10 = 2500 \text{ N} \quad (4)$$

Na katapultu će opruga za lansiranje imati silu od 2500 N.

## 6. PRORAČUN POGONSKOG SUSTAVA

Pogonski se sustav sastoji od kolica na koja se smješta dron koji će se izbacivati, na kolica se prihvaća opruga koja je smještena na kraju platforme kojom se kolica gibaju te se uz pomoć sajle kolica dovode na početak platforme i natežu se opruge. Za zadržavanje opruge i kolica u nategnutom položaju koristi se okidač te djelovanjem ljudskom silom na okidač dolazi do lansiranja drona.

### 6.1. Odabir opruge [2]

U ovom pogonskom sustavu koristit će se vlačna opruga. Za određivanje opruge potrebni su maksimalna sila za ubrzanje objekta ( $F$ ), deformacija opruge ( $x$ ), krutost opruge ( $c$ ), osnovne dimenzije opruge kao što su promjer žice ( $d$ ), srednji promjer opruge ( $D_{sr}$ ), broj navoja s opružnim djelovanjem ( $i_f$ ) i provjera maksimalnog torzijskog naprezanja ( $\tau$ ).

#### Maksimalna sila za ubrzanje objekta uz pomoć opruge:

$$F_{op} = F_Q = 2500 \text{ N},$$

#### Izbor deformacije opruge ( $x$ ):

Potrebno je pretpostaviti maksimalnu deformaciju opruge, ovisno o konstrukcijskim ograničenjima.

$$x = 20 \text{ m} \quad (5)$$

#### Krutost opruge ( $c$ ):

$$c = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot i_f} = \frac{F_{op}}{x} = \frac{2500}{20000} = 125 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (6)$$

#### Odabir ostalih veličina:

Uzima se da je srednji promjer opruge ( $D_{sr}$ ) prema konstrukcijskim ograničenjima:

$$D_{sr} = 250 \text{ mm} \quad (7)$$

Izvedenom formulom za promjer žice ( $d$ ):

$$d = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot \tau_{dop}}} = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot 2500 \cdot 250}{\pi \cdot 600}} = 13,84 \text{ mm} \quad (8)$$

Odabrani promjer žice:  $d = 14 \text{ mm}$ .

Prema podacima iz [2] uzima se podatak:



$G = 80\,000 \text{ N/mm}^2$ ; modul smicanja

$\tau_{dop} = 600 \text{ N/mm}^2$ ; dopušteno smično naprezanja

te je odabrana vrsta žice C.

Broj navoja s opružnim djelovanjem ( $i_f$ ) [2]:

$$i_f = \frac{G \cdot d^4 \cdot x}{8 \cdot D^3 \cdot F} = \frac{80000 \cdot 14^4 \cdot 20000}{8 \cdot 250^3 \cdot 2500} = 197 \quad (9)$$

Na kraju proračuna opruge dolazimo do njene duljine u rasterećenom stanju [2]:

$$L_0 = (i_f + 1) \cdot d = (197 + 1) \cdot 14 = 2,772 \text{ m} \quad (10)$$

## 6.2. Odabir užeta[6]

Izbor užeta vrši se na temelju računске sile loma  $F_r$

$$F_r = A \cdot R_m = f \cdot \frac{d^2 \pi}{4} \cdot R_m \quad (11)$$

$F_r$  – računska sila loma, N

$R_m$  – lomna čvrstoća žice,  $\text{N/mm}^2$

$F$  – maksimalna sila u užetu, N

Računska sila loma treba biti:

$$F_r \geq S \cdot F = F_s \quad (12)$$

Iz (11) i (12) slijedi da je:

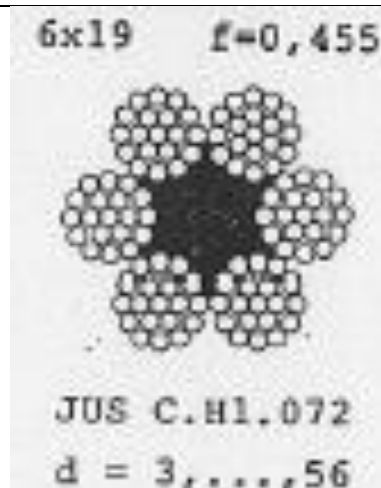
$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot S}{f \cdot \pi \cdot R_m} \cdot F} \quad (13)$$

Faktor ispunje  $f$  jednak je odnosu metalnog i teoretskog presjeka, tj.

$$f = \frac{A}{A_t} = \frac{4 \cdot A}{d^2 \pi} \quad (14)$$

Odabrana je pogonska grupa 1 te je faktor sigurnosti  $S = 4,5$ .

Odabrano je normalno pleteno uže, 6x19



Slika 13. Pramen čelična užad

$R_m = 1570 \text{ N/mm}^2$ ; lomna čvrstoća žice,

Sila u užetu mora biti u mogućnosti svladati silu u opruzi tako da se uzima:

$F = F_Q = 2500 \text{ N}$ ; sila u užetu.

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 4,5 \cdot 2500}{0,455 \cdot \pi \cdot 1570}} = 4,48 \text{ mm} \quad (15)$$

Odabrani promjer:  $d = 6 \text{ mm}$

Oznaka užeta: Uže 6 JUS C.H1.072-VJ-g 1570 sZ

VJ – vlaknasta jezgra

g – gola žica

### 6.3. Dimenzioniranje bubnja [6]

Bubanj je element pogonskih mehanizama koji objedinjava dvije funkcije, prenosi snagu, tj. pogoni uže i služi kao spremnik za potrebnu duljinu užeta. Namatanje užeta treba izvesti tako da se spriječi zapletanje užeta na bubnju. To se većinom postiže namatanjem na ožljebljeni bubanj.

#### 6.3.1. Određivanje promjera bubnja ( $D$ ):

$$D \geq \left(\frac{D}{d}\right)_{min} \cdot c_p \cdot d \quad (16)$$

Gdje je:

$D$ , promjer bubnja mjeren kroz središnjicu užeta,

$\left(\frac{D}{d}\right)_{min} = 18$ , minimalni dozvoljeni omjer prema Tablici 7. za pogonsku grupu 2m [6]:

$$D = 18 \cdot 1,12 \cdot 6 = 120,96 \text{ mm} \quad (17)$$

Uz pomoć strojarskog priručnika, Kraut [1] odabire se standardna dimenzija bešavne cijevi.

Žljebovi bubnja narezuju se na bešavnu cijev čije su dimenzije:

$D_N = 150 \text{ mm}$ , nazivni promjer

$D = 159 \text{ mm}$ , vanjski promjer bubnja

$\delta = 7,1 \text{ mm}$ , debljina stijenke bubnja

### 6.3.2. Dimenzije profila žljebova bubnja:

Dubina utora za uže:

$$h = (0,375 \dots 0,4) \cdot d = (2,25 \dots 2,4) \quad (18)$$

Odabire se  $h = 2,25 \text{ mm}$

Minimalna debljina stijenke:

$$s = (0,6 \dots 0,8) \cdot d = (0,6 \dots 0,8) \cdot 6 = (3,6 \dots 4,8) \quad (19)$$

Konačni promjer bubnja:

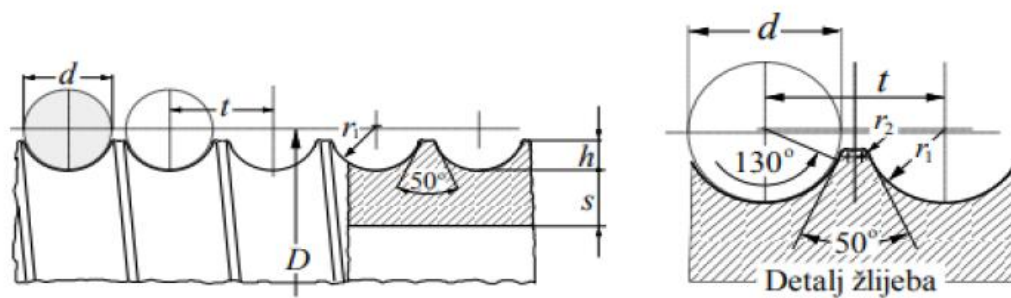
$$D_b = D - 2h = 159 - 2 \cdot 2,25 = 154,5 \text{ mm} \quad (20)$$

Debljina stijenke:

$$s = \delta - h = 7,1 - 2,4 = 4,7 \text{ mm} \quad (21)$$

### 6.3.3. Dimenzije utora za vođenje užeta:

Dimenzije profila žljebova slijede iz parametara užeta, prikazane su na slici



Slika 14. Osnovne dimenzije žljeba

Dimenzije profila žljebova su:

$$0,375d \leq h \leq 0,4d;$$

$$r_1 = 0,53d = 3,18 \text{ mm},$$

$$t = 1,15d = 6,9 \text{ mm},$$

$$r_2 = 0,5 \text{ mm},$$

očitano iz Tablice 2.

Tablica 2. . Dimenzija profila žljeba  $r_2$  u ovisnosti o promjeru užeta

$d$ , mm	3 do 9	10 do 28	29 do 37	38 do 44	45 do 54	56,58	60
$r_2$ , mm	0,5	0,8	1,3	1,6	2	2,5	3

Radna duljina bubnja je:

$$l_r = \frac{i_k \cdot H}{D\pi} \cdot t = \frac{2 \cdot \frac{20000}{2}}{154,5\pi} \cdot 6,9 = 284,32 \text{ mm} = 285 \text{ mm} \quad (22)$$

Dužina nenarezanog dijela na krajevima bubnja iznosi:

$$a = 4 \cdot t = 4 \cdot 6,9 = 27,6 \text{ mm} \quad (23)$$

Odabrana dužina nenarezanog dijela na krajevima  $a = 30 \text{ mm}$

Ukupna duljina bubnja iznosi:

$$l_b = l_r + 2a = 285 + 2 \cdot 30 = 345 \text{ mm} \quad (24)$$

Zbog velike duljine užeta koje je potrebno za rad, uže će se namatati na bubanj u dva reda.

#### 6.3.4. Proračun stijenke bubnja:

Cirkularno (tlačno) naprezanje na mjestu namatanja (Slika 14.)[6]:

$$\sigma_{\varphi} = \frac{0,5 \cdot F}{t \cdot s} = \frac{0,5 \cdot 2500}{6,9 \cdot 4,7} = 38,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (25)$$

Normalno naprezanje od lokalnog savijanja stijenke na mjestu namatanja (Slika 14.)[6]:

$$\sigma_x = 0,96 \cdot F \cdot \sqrt{\frac{1}{D \cdot s^3}} = 0,96 \cdot 2500 \cdot \sqrt{\frac{1}{154,5 \cdot 4,7^3}} = 18,95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (26)$$

Dozvoljena naprezanja za čelični bubanj S37-2 (Č0361)[6]:

$$\sigma_{\varphi d o p} = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

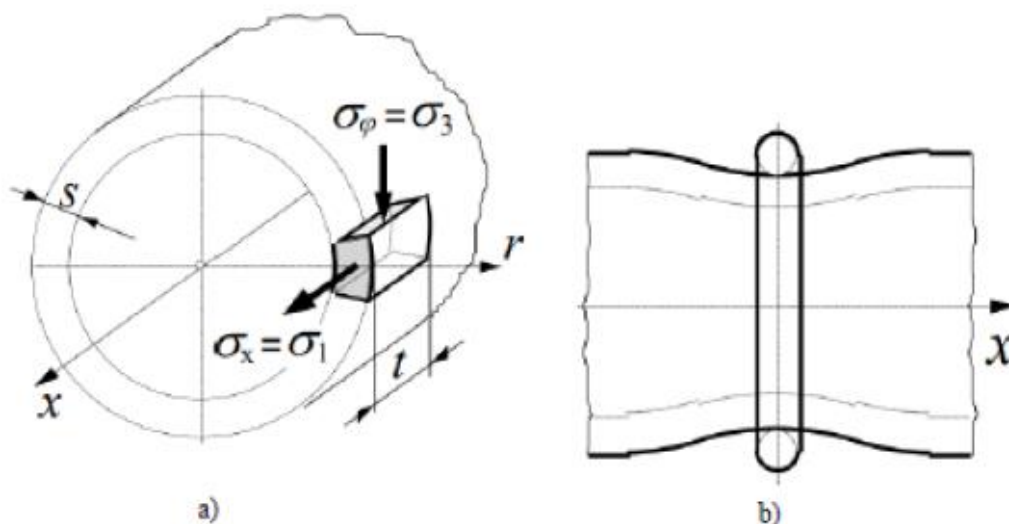
$$38,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

ZADOVOLJAVA

$$\sigma_{x d o p} = 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$18,95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

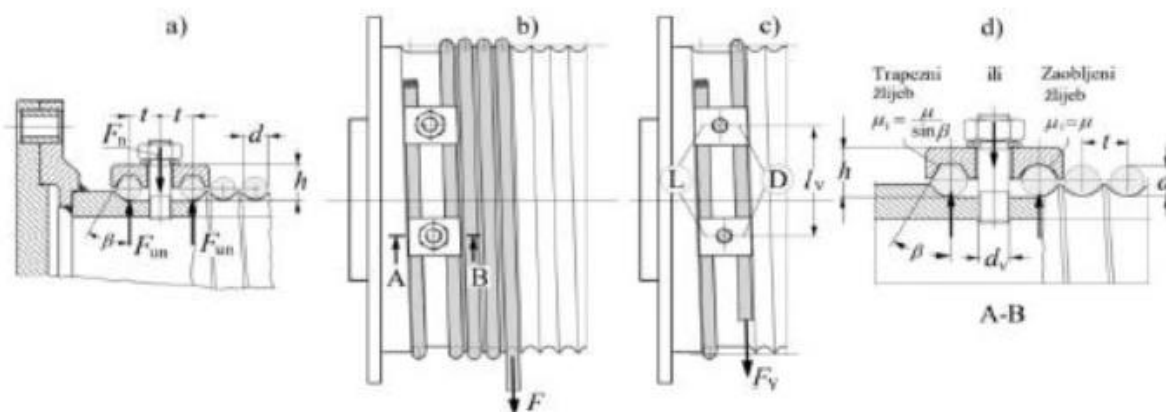
ZADOVOLJAVA



Slika 15. a) Naprezanje elemenata stijenke bubnja, b) Lokalno savijanje ljuske bubnja od jednog navoja užeta

### 6.3.5. Veza užeta s bubnjem

Vežu užeta s bubnjem treba proračunati prema najvećoj sili u užetu kod nazivnog opterećenja, uzimajući u obzir trenje s  $\mu=0,1$ . Rabi se vijčana veza prikazana na Slici 16.



Slika 16. Veza užeta s bubnjem

Kod najnižeg položaja kuke trebaju ostati još dva navoja užeta, ne računajući navoje koji služe za pričvršćivanje. Sila u užetu na mjestu veze s bubnjem mora biti  $F_V \leq 0,4F$ .

Odabrani su vijci M6 čvrstoće 6.8.

Broj vijaka  $z$  računa se prema opterećenju na vlak i savijanje:

$$\sigma = \frac{1,3 \cdot F_n}{z \cdot A_v} + \frac{\mu_1 \cdot F_n \cdot h}{\frac{z \pi d^3}{32}} \leq \sigma_d = \frac{R_e}{S} \quad (27)$$

$$z \geq \frac{F_n}{\sigma_d} \cdot \left( \frac{1,3}{A_v} + \frac{32 \mu_1 h}{\pi d^3} \right) \quad (28)$$

$$\mu_1 = \frac{\mu}{\sin \beta} \quad (29)$$

Gdje je:

$d = 6$  mm, promjer jezgre vijka [6],

$A_v = 17,9$  mm<sup>2</sup>, površina poprečnog presjeka vijka [6],

$F_n = 0,8F_Q$ , potrebna normalna sila u jednom vijku,

$R_e = 480$  MPa, granica tečenja za materijal vijka 6.8 [6],

$S = 1,5$ , faktor sigurnosti,

$\beta = 40^\circ$ , definirano na Slici 15.,

$h = 12$  mm, definirano na Slici 15.

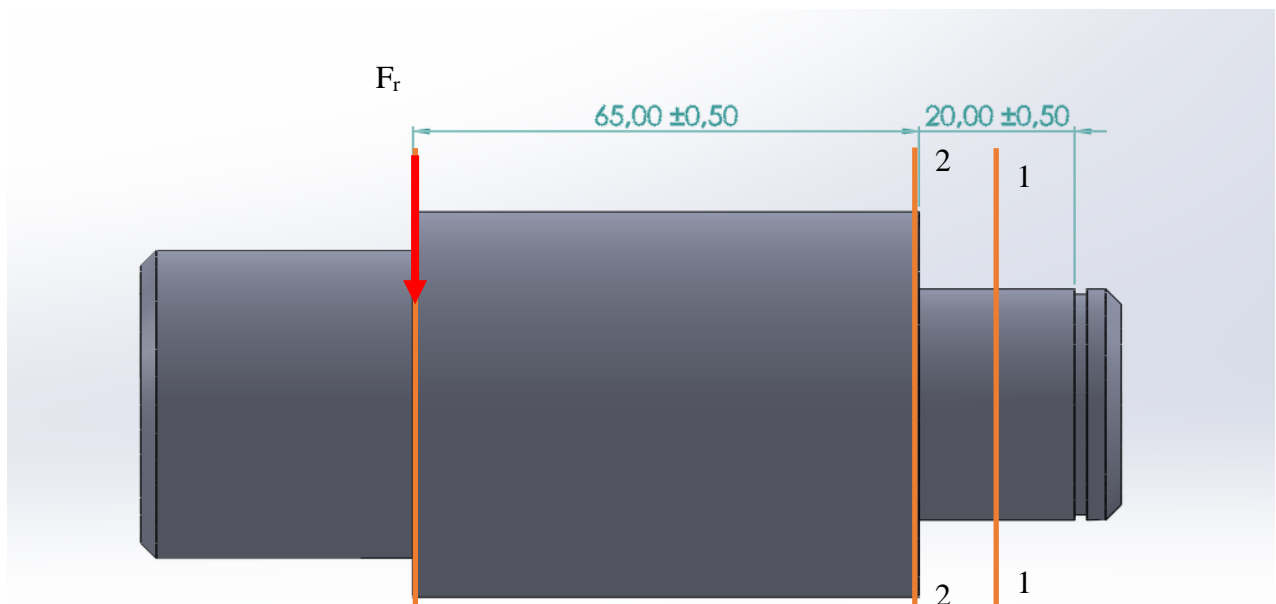
$$\mu_1 = \frac{0,1}{\sin 40} = 0,156 \quad (30)$$

$$z \geq \frac{0,8 \cdot 2500}{\frac{480}{2,5}} \cdot \left( \frac{1,3}{17,9} + \frac{32 \cdot 0,156 \cdot 12}{\pi \cdot 6^3} \right) = 1,68 \quad (31)$$

Odabrani broj vijaka je dva vijka M6 čvrstoće 6.8.

### 6.3.6. Dimenzioniranje osovine bubnja

Osovina bubnja oslanja na dva mjesta. Jedno mjesto je ležajno mjesto, a drugo na ploču bubnja.



**Slika 17. Prikaz kritičnih presjeka osovine bubnja**

Radijalna sila na osovinu iznosi:

$$F_r = F_Q = 2500 \text{ N} \quad (32)$$

- Provjera kritičnog presjeka 1-1

$d_l = 30$  mm; promjer osovine na mjestu kritičnog presjeka,

$l_l = 75$  mm; udaljenost kritičnog presjeka od mjesta djelovanja radijalne sile

Moment otpora presjeka manjeg stupnja osovine na mjestu kritičnog presjeka iznosi:

$$W_1 = \frac{d_1^3 \pi}{32} = \frac{30^3 \pi}{32} = 2650,72 \text{ mm}^3 \quad (33)$$

Za odabrani materijal osovine čelik St70 (Č 0745) je po [4] maksimalno dopušteno naprezanje jednako:

$$\sigma_{f dop} = 160 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (34)$$

Zbog steznog spoja iz priloga u [5] dobivamo:

$$\beta_{kf1} = 2,5 \quad (35)$$

Uz kvalitetu obrade stupnja  $Ra=3,2$ ,  $d_l=30$  mm, i  $R_m=750$  N/mm<sup>2</sup>.

$$b_1 = 0,90 \text{ i } b_2 = 0,88 \quad (36)$$

Moment koji nastaje u presjeku 1-1 iznosi:

$$M_1 = F_r \cdot l_1 = 2500 \cdot 75 = 187500 \text{ Nmm} \quad (37)$$

Naprezanje uslijed momenta savijanja u presjeku 1-1 iznosi:

$$\sigma_{f1} = \frac{M_1}{W_1} = \frac{187500}{2650,72} = 70,74 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (38)$$

Potreban sigurnost osovine u presjeku iznosi:  $S=1,4$

Trajna dinamička čvrstoća kod naizmjeničnog opterećenja [5]:  $\sigma_{fDN} = 320 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Postignuta sigurnost:

$$S_{post} = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\beta_{kf1} \cdot \sigma_{f1}} = \frac{0,90 \cdot 0,88 \cdot 320}{2,5 \cdot 70,74} = 1,43 \quad (39)$$

#### ZADOVOLJAVA UVJET ČVRSTOĆE

- Provjera kritičnog presjeka 2-2

U ovom se presjeku koristi DIN 509-H 0,8x0,3 radi boljeg nasjedanja ležaja na naslon osovine.

$d_2 = 30$  mm: promjer manjeg stupnja osovine na mjestu kritičnog presjeka,

$D = 50$  mm; promjer većeg stupnja osovine na mjestu kritičnog presjeka.

$\rho_2 = 0,8$  mm; polumjer zaobljenja na mjestu kritičnog presjeka,

$l_2 = 65$  mm; udaljenost kritičnog presjeka od mjesta djelovanja radijalne sile.

Moment otpora presjeka manjeg stupnja osovine na mjestu kritičnog presjeka iznosi:



$$W_2 = \frac{d^3\pi}{32} = \frac{30^3\pi}{32} = 2650,72 \text{ mm}^3 \quad (40)$$

Za odabrani materijal osovine čelik St70 (Č 0745) je po [4] maksimalno dopušteno naprezanje jednako:

$$\sigma_{fdop} = 160 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (41)$$

Uz omjere  $\frac{D_2}{d_2} = \frac{50}{30} = 1,667$  i  $\frac{\rho_2}{d_2} = 0,0267$  iz priloga u [5] dobivamo:

$$\beta_{kfII} = 2,48 \quad (42)$$

Uz kvalitetu obrade stupnja  $Ra=3.2$ ,  $d_2=30$  mm i  $R_m=750$  N/mm<sup>2</sup> iz tablica u [5] dobivamo:

$$b_1 = 0,90 \text{ i } b_2 = 0,95 \quad (43)$$

Moment koji nastaje u presjeku 2-2 iznosi:

$$M_2 = F_r \cdot l_2 = 2500 \cdot 65 = 162500 \text{ Nmm} \quad (44)$$

Naprezanje uslijed momenta savijanja u presjeku 2-2 iznosi:

$$\sigma_{f2} = \frac{M_2}{W_2} = \frac{162500}{2650,72} = 61,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (45)$$

Potrebna sigurnost osovine iznosi  $S=1,4$

Trajna dinamička čvrstoća kod naizmjeničnog opterećenja [5]:  $\sigma_{fDN} = 320 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Postignuta je sigurnost:

$$S_{post} = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\beta_{kfII} \cdot \sigma_{f2}} = \frac{0,9 \cdot 0,95 \cdot 320}{2,48 \cdot 61,3} = 1,79 \quad (46)$$

#### ZADOVOLJAVA UVJET ČVRSTOĆE

#### 6.4. Odabir ležaja bubnja [7]:

Ležaj trpi najveća opterećenja u trenutku kada je uže skroz namotano odnosno kada je najbliže ležaju. Odabran je samopodesivi bačvasti ležaj iz SKF kataloga 22206 E [8]. Ležaj je s jedne strane osiguran uskočnikom od pomicanja te je s druge strane naslonjen na naslon.



Slika 18. Ležaj 22206 E

Dimensions		Performance	
Bore diameter	30 mm	Basic dynamic load rating	66.1 kN
Outside diameter	62 mm	Basic static load rating	58.5 kN
Width	20 mm	Reference speed	10 000 r/min
		Limiting speed	14 000 r/min
		SKF performance class	SKF Explorer

Slika 19. Karakteristike ležaja 22206 E

$$C_1 = P \left( \frac{60 \cdot n_m \cdot L_{10h\_min}}{10^6} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}} \leq C \quad (47)$$

$$n_m = \frac{v_{pov} \cdot i_k}{D\pi} = \frac{2 \cdot 2}{0,16\pi} = 7,95 \frac{m}{s} = 477 \text{ min}^{-1} \quad (48)$$

Iz prethodnog proračuna vidimo da je:

$$P = F_r = F_Q = 2500 \text{ N},$$

$n_m$ ; brzina vrtnje ležaja u minutama,

$L_{10h\_min} = 12500 \text{ h}$ ; nazivni vijek trajanja u satima rada,

$\varepsilon = 10/3$ ; eksponent vijeka trajanja ležajeva s teorijskim dodirom u liniji,

$C = 66,1 \text{ kN}$ ; dinamička nosivost

$$v_{pov} = 2 \text{ m/s}.$$

$$C_1 = 2500 \cdot \left( \frac{60 \cdot 477 \cdot 12500}{10^6} \right)^{\frac{3}{10}} = 14,588 \text{ kN} \quad (49)$$

$$C_1 \leq C$$

$$14,588 \text{ kN} \leq 66,1 \text{ kN} \quad (50)$$

UVJET ZADOVOLJAVA

### 6.5. Odabir elektromotora s kočnicom

Pitanje izbora snage motora najjednostavnije je kod trajnog pogona S1. Potrebna snaga motora je:

$$P = \frac{Q \cdot g \cdot v_{pov}}{\eta}, W \quad (51)$$

Kod mehanizma za povlačenje kolica, bira se motor kao da je riječ o trajnom pogonu. Ubrzanje je dovoljno malo da sljedeći veći motor sigurno može pokriti težinu i dodatnu inerciju.

Za brzinu povlačenja kolica uzimamo da je:

$$v_{pov} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (52)$$

Ukupni stupanj djelovanja pogonskog mehanizma:

$$\eta = \eta_R \cdot \eta_B \cdot \eta_{fk} \cdot \eta_{koč} \quad (53)$$

$\eta_{RED}=0,94$ , stupanj djelovanja reduktora,

$\eta_{BU}=0,98$ , stupanj djelovanja bubnja,

$\eta_{koč}=0,97$ , stupanj djelovanja kočnice.

Sada je iskoristivost mehanizma za dizanje:

$$\eta = 0,94 \cdot 0,98 \cdot 0,97 = 0,894 \quad (54)$$

Uvrštavanjem dobiva se potrebna nazivna snaga motora za dizanje:

$$P = \frac{250 \cdot 9,81 \cdot 2}{0,894} = 2,743 \text{ kW} \quad (55)$$

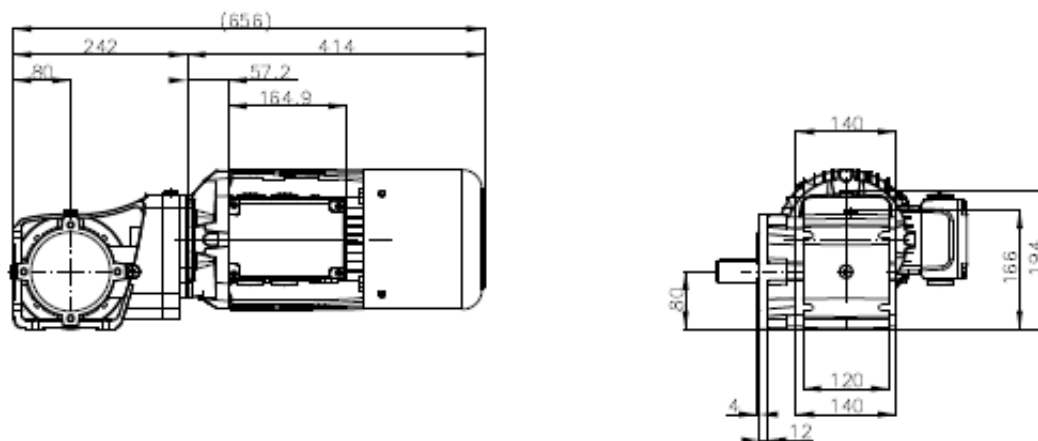
Izlazna brzina vrtnje reduktora određuje se iz formule:

$$v_{pov} = \omega \cdot r_{bu} = 2\pi \cdot n \cdot r_{bu} \quad (56)$$

Iz te formule dobivamo izvedenu formulu za brzinu vrtnje reduktora  $n_{RED}$ :

$$n_{RED} = \frac{v_{pov}}{2\pi \cdot r_{bu}} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,08} = 1,989 \text{ s}^{-1} = 119,34 \text{ min}^{-1} \quad (57)$$

Odabran je elektromotor **SK 92372.1VF-100AP/4 BRE40 TF**

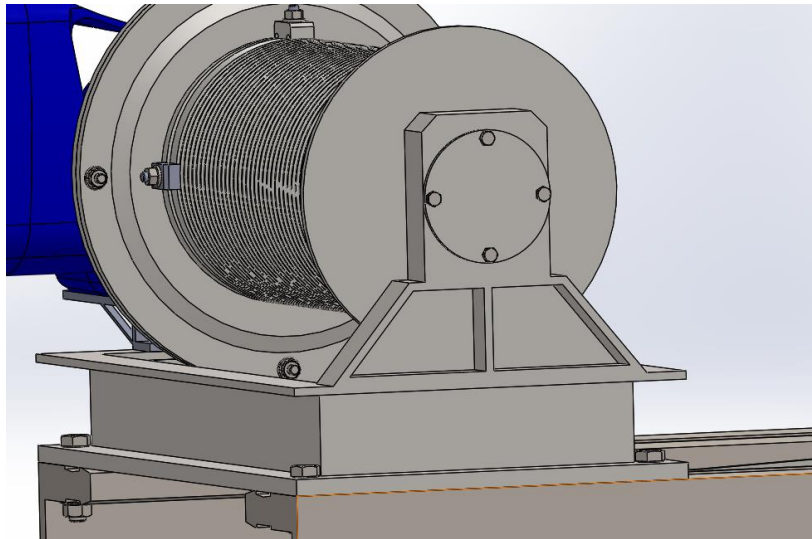


Slika 20. Shema motora za povlačenje

Tablica 3. Karakteristike elektromotora

Naziv	Oznaka	Veličina	Mjerna jedinica
Snaga motora	P	2,743	kN
Brzina vrtnje motora	$n_m$	1450	1/min
Prijenosni omjer reduktora	$i_{red}$	12,15	-
Izlazna brzina reduktora	$n_{red}$	119,34	1/min

## 6.6. Proračun vijčanog spoja između potporne konstrukcije bubnja i platforme za lansiranje



**Slika 21. Vijčani spoj sklopa bubnja i platforme za lansiranje**

Prikazani vijčani spoj opterećen je silom potezanja  $F_Q$  horizontalno prema desno, opterećen je poprečno.

Vijčani spoja sadrži 4 vijka što znači da će sila u svakom vijku biti:

$$F_v = \frac{F_Q}{4} = \frac{2500}{4} = 625 \text{ N} \quad (58)$$

Naprezanje na odrez:

$$\tau_a = \frac{F_v}{A} = \frac{625}{\frac{10^2 \pi}{4}} = 7,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (59)$$

Naprezanje na bokove provrta:

$$\sigma_l = \frac{F_v}{d \cdot s} = \frac{625}{10 \cdot 22} = 2,84 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (60)$$

$F_v$  u N; poprečna pogonska sila na jednom vijku,

$\tau_a$  u  $\text{N}/\text{mm}^2$ ; naprezanje na odrez,

$A$  u  $\text{mm}^2$ ; mjerodavni presjek vijka ili drugih elemenata opterećenih na odrez,

$\sigma_l$  u  $\text{N}/\text{mm}^2$ ; naprezanje bokova provrta,

$d$  u mm; vanjski promjer nosećeg dijela vijka ili elemenata opterećenog na odrez,

$s$  u mm; najmanja nosiva duljina na vijku ili elementu opterećenog na odrez.

Provjera čvrstoće:

Vijak M10 je čvrstoće 5.6 gdje je  $X = 5$ , a  $Y = 6$ .

Tablica 4. Oznake i svojstva čvrstoće čelika za vijke i matice prema DIN 267 [2]

Oznaka čelika za vijke	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	6.9	8.8	10.9	12.9	14.9
Minimalna čvrstoća na vlak $\sigma_M$	340	400	400	500	500	600	600	600	800	1000	1200	1400
Minimalna granica tečenja $\sigma_T$	200	240	320	300	400	360	480	540	640	900	1080	1260
Oznaka čelika za matice	4		5		6			8	10	12	14	
Naprezanje pri ispitivanju $\sigma_{vL}$	400		500		600			800	1000	1200	1400	
Djelomično još važeća oznaka		4 D		5 D	5 S		6 S	6 G	8 G	10 K		

Uzima se da je:

$$\sigma_M = 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (61)$$

$$\sigma_T = 300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (62)$$

Dopuštena naprezanja:

$$\tau_{a,dop} = 0,6 \cdot \sigma_T = 0,6 \cdot 300 = 180 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (63)$$

$$\sigma_{l,dop} = 0,75 \cdot \sigma_M = 0,75 \cdot 500 = 375 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (64)$$

Usporedbom dobivenih vrijednosti:

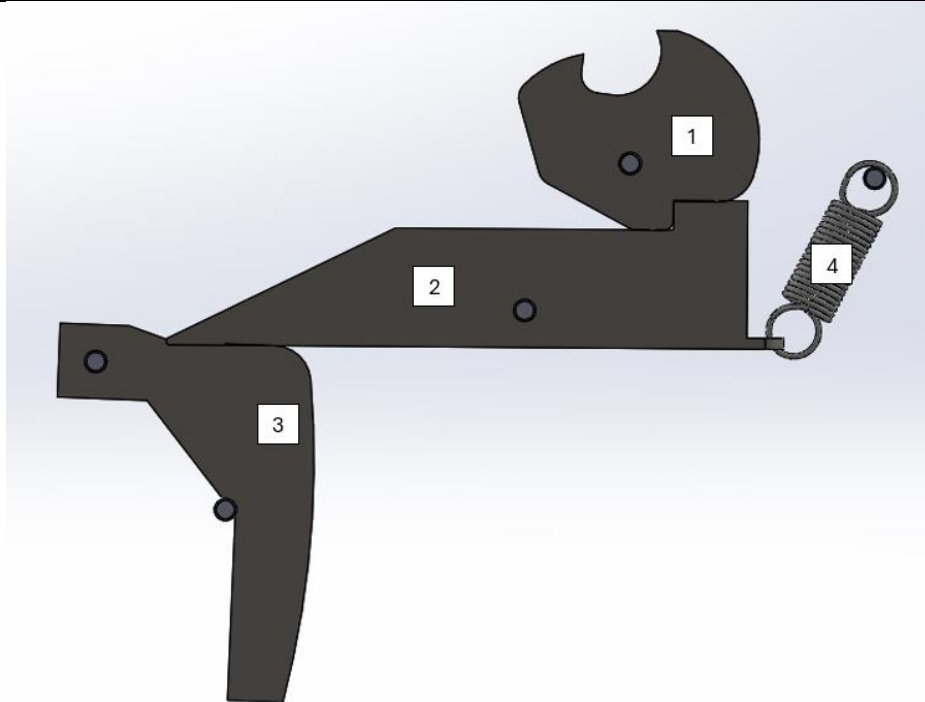
$$\sigma_{l,dop} \geq \sigma_l \quad (65)$$

$$\tau_{a,dop} \geq \tau_a \quad (66)$$

Vidi se da vrijednosti zadovoljavaju uvjete.

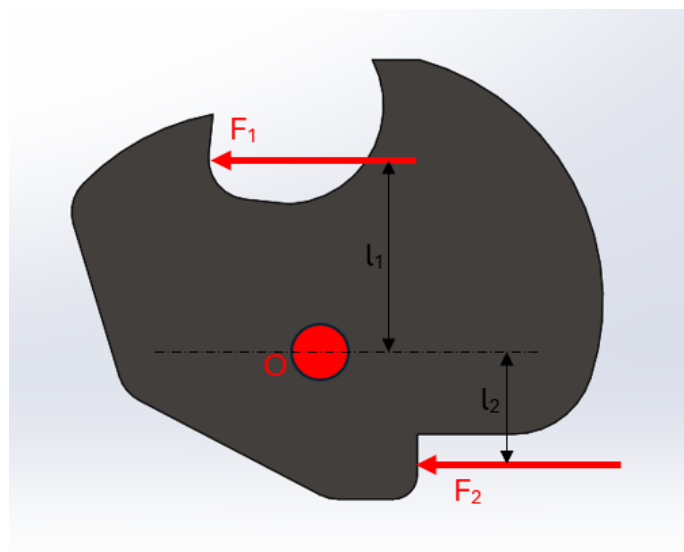
## 6.7. Proračun okidača

Za početak lansiranja drona potreban je okidač. Okidač je konstruiran po uzoru na okidač na samostrijelu. Na stražnjem dijelu kolica nalazi se vilica sa svornjakom te se on dovodi u položaj da se zakvači za okidač te se u trenutku katapultiranja povlači poluga okidača i dolazi do katapultiranja.



Slika 22. Dijelovi okidača

### 6.7.1. Određivanje sila dodira za dio 1



Slika 23. Prvi dio okidača

Određivanje sila određuje se sumom momenata oko točke O:

$l_1 = 21$  mm; udaljenost sile  $F_1$  od točke O,

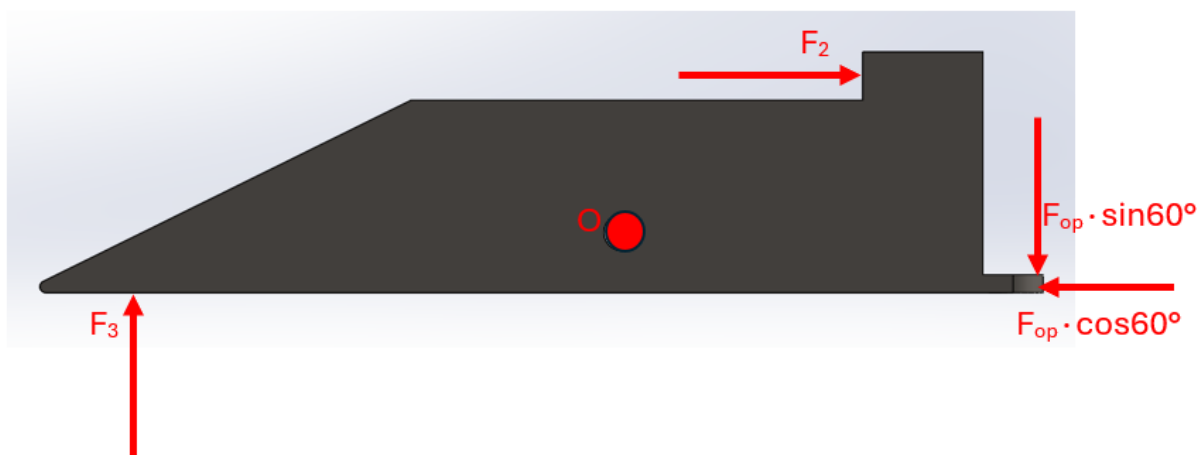
$l_2 = 14$  mm; udaljenost sile  $F_2$  od točke O,

$F_1 = F_2 = 2500$  N

$$\sum M_o = 0; F_1 \cdot l_1 - F_2 \cdot l_2 = 0 \quad (67)$$

$$F_2 = \frac{3}{2} \cdot 2500 = 3750 \text{ N} \quad (68)$$

### 6.7.2. Određivanje sila dodira za dio 2



Slika 24. Drugi dio okidača

Sile se određuju iz jednačbe da suma sila na istoj koordinatnoj osi moraju biti jednake nuli:

$$F_2 - F_{op} \cdot \cos 60^\circ = 0;$$

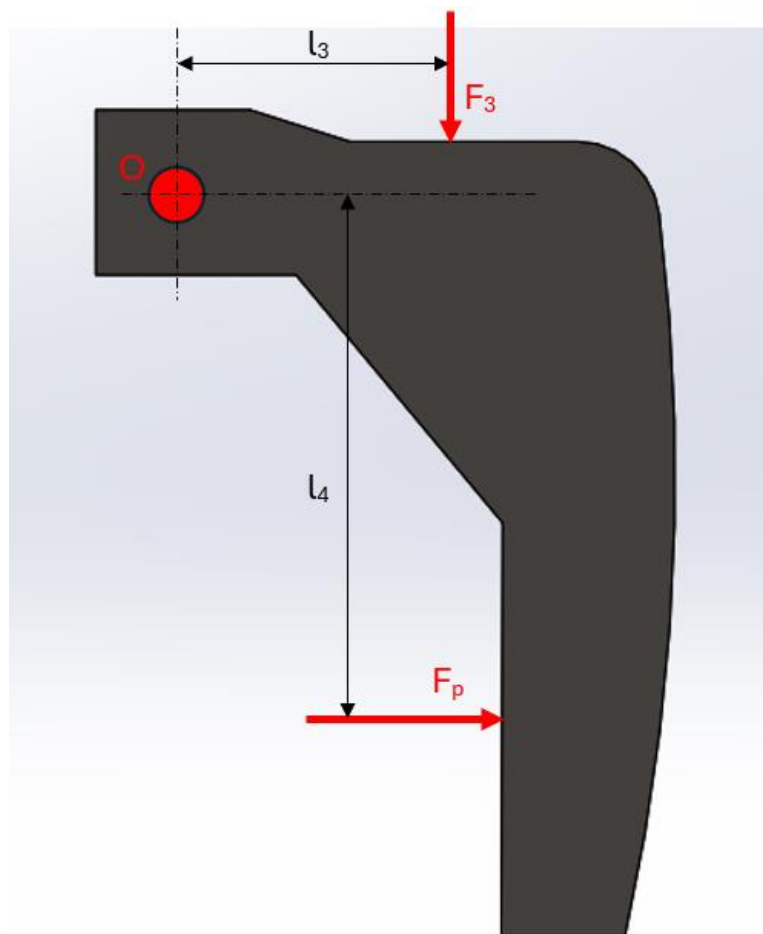
$$F_{op} = \frac{F_2}{\cos 60^\circ} = \frac{3750}{\cos 60^\circ} = 7500 \text{ N} \quad (69)$$

$$F_3 - F_{op} \sin 60^\circ = 0;$$

$$F_3 = F_{op} \cdot \sin 60^\circ = 7500 \cdot \sin 60^\circ = 6495,19 \text{ N}$$



### 6.7.3. Određivanje sile dodira za dio 3



Slika 25. Treći dio okidača

Sile se određuje sumom momenata oko točke O:

$l_3 = 35$  mm; udaljenost sile  $F_3$  od točke O,

$l_4 = 250$  mm; udaljenost sile  $F_p$  od točke O,

$F_3 = 6495,19$  N

$$\sum M_o = 0; F_p \cdot l_4 - F_3 \cdot l_3 = 0 \quad (70)$$

$$F_p = \frac{35}{250} \cdot F_3 = \frac{35}{250} \cdot 6495,19 = 909,33 \text{ N} \quad (71)$$

Potrebno je djelovati silom od 909,33 N na polugu da bi došlo do katapultiranja.

### 6.7.4. Provjera čvrstoće opruge [2]

Odabrana je vlačna opruga radi mogućnosti vraćanja okidača u početni položaj te omogućava držanje kolica u početnom položaju (prije lansiranja).

Karakteristike opruge:

$F_{op} = 7500$  N; sila u opruzi,

$d = 10$  mm; promjer žice,

$D = 40$  mm; srednji promjer navoja,

$L = 134$  mm; duljina u neopterećenom stanju,

$L_0 = 55,9$  mm; duljina u rastegnutom stanju.

$\tau_{dop} = 0,45 \cdot \sigma_M$ ; dopušteno torzijsko naprezanje opruge,

Za žicu C i promjer  $d=8$  mm iz Tablice 55., str. 144 iz [2], iščitava se da je najmanja vlačna čvrstoća  $\sigma_M = 1430$  N/mm<sup>2</sup>.

$$\tau_{dop} = 0,45 \cdot 1430 = 643,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (72)$$

Određivanje idealnog torzijskog naprezanja:

$$\tau_i = \frac{8 \cdot D \cdot F}{\pi \cdot d^3} = \frac{8 \cdot 40 \cdot 7500}{\pi \cdot 10^3} = 625,72 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (73)$$

$$\tau_i \leq \tau_{dop}$$

$$625,72 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 643,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (74)$$

OPRUGA ZADOVOLJAVA

## 6.8. Mehanički odbojnici

Za zaustavljanje kolica pri završetku lansiranja koriste se mehanički odbojnici. Korištena je kupovna komponenta mehaničkog odbojnika koja je uzeta sa stranice TraceParts. U Tablici 6. prikazane su karakteristike mehaničkog odbojnika.

**Tablica 5. Karakteristike mehaničkog odbojnika ACE MA 4575**

Tip	Podesivi industrijski amortizer
Navoj za montažu	M45x1,5
Hod	75 mm
Ukupna duljina	246 mm
Duljina tijela	145 mm
Maksimalni kapacitet energije po ciklusu	1170 Nm

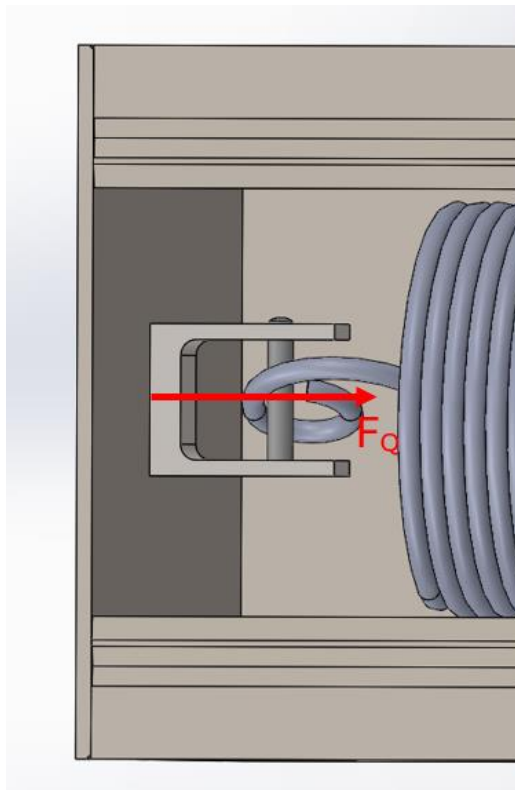
Potrebno je provjeriti hoće li odabrani odbojnik zaustaviti kolica pri katapultiranju. Provjera će se izvršiti preko energije.

Energija koju bi mehanički odbojnik trebao apsorbirati ako sila potezanja ( $F_Q$ ) iznosi 2500 N na hodu od 75 mm.

$$E = F_Q \cdot l = 2500 \cdot 0,075 = 187,5 \text{ Nm} \quad (75)$$

Iz priloženog vidi se da će mehanički odbojnik apsorbirati energiju od 187,5 Nm što znači da će zaustaviti kolica.

### 6.9. Čeona ploča opruge

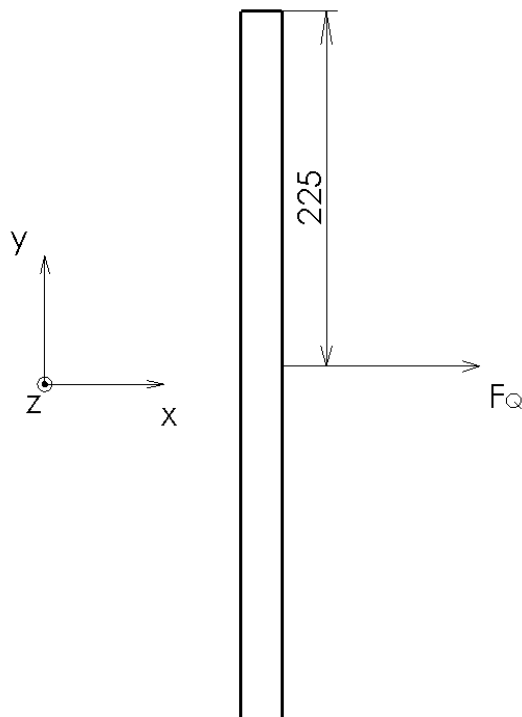


**Slika 26. Opterećenje čeone ploče**

Čeona ploča je zavarena za platformu za lansiranje te je opterećena na vlak i savijanje zbog djelovanja sile potezanja.

Čeona ploča je opterećena na vlak zbog horizontalnog djelovanja sile potezanja ( $F_Q$ ).

Dimenzije čeone ploče 450x400x10.



Slika 27. Opterećenje čeone ploče

Vlačno naprezanje:

$$\sigma_v = \frac{F_Q}{A_p} = \frac{2500}{450 \cdot 10} = 0,55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (76)$$

Naprezanje na savijanje:

$$\sigma_f = \frac{M_z}{W_z} \quad (77)$$

Moment koji radi sila  $F_Q$ :

$$M_z = F_Q \cdot \frac{450}{2} = 2500 \cdot 225 = 562500 \text{ Nmm} \quad (78)$$

Moment otpora:

$$W_z = \frac{I_z}{e} = \frac{\frac{10 \cdot 450^3}{12}}{225} = 337500 \text{ mm}^3 \quad (79)$$

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti u jednadžbu (77) dobiva se:

$$\sigma_f = \frac{562500}{337500} = 1,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (80)$$

Čeona je ploča izrađena od čelika St52-3, čije je dopušteno naprezanje [1]:

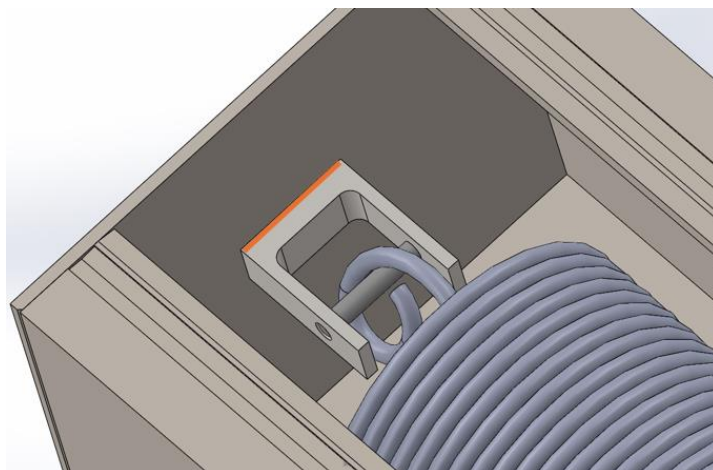
$$\sigma_{dop} = \frac{R_e}{S} = \frac{355}{2,5} = 142 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (81)$$

Reducirano naprezanje:

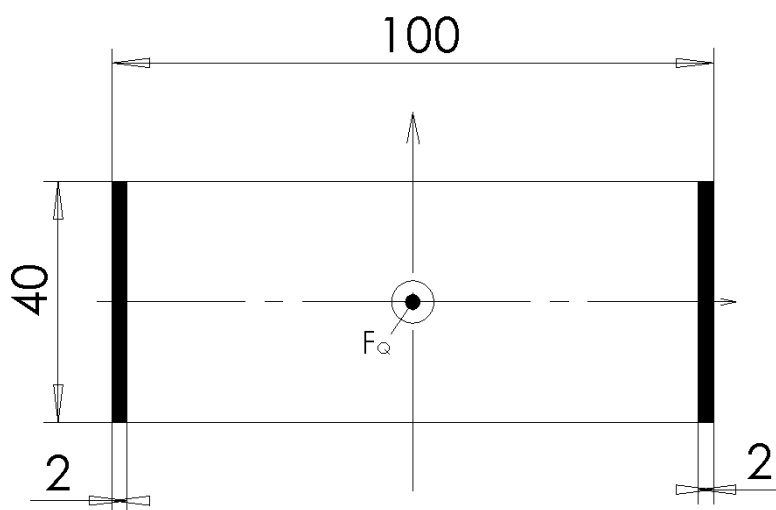
$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_s)^2} = \sqrt{(0,55 + 1,67)^2} = 2,22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (82)$$

Usporedbom dobivenih vrijednosti u jednažbama (80) i (81), zaključuje se da naprezanje zadovoljava, odnosno da čelona ploča može izdržati naprezanja.

### 6.10. Provjera zavora između vilice i čelone ploče



Slika 28. Vilica zavarena na čelonu ploču



Slika 29. Opterećenje zavora

Iz Slike 29. vidi se da je zavar samo opterećen na vlačno naprezanje.

Vlačno naprezanje:

$$\sigma_v = \frac{F_Q}{A_{zav}} = \frac{2500}{2 \cdot 2 \cdot 40} = 15,625 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (83)$$

Za materijal St52-3 dopušteno naprezanje za kutni spoj zavora prema HRN U.E7.150 iznosi [2]:

$$\sigma_{dop} = 195 \frac{N}{mm^2} \quad (84)$$

Iz čega slijedi da je:

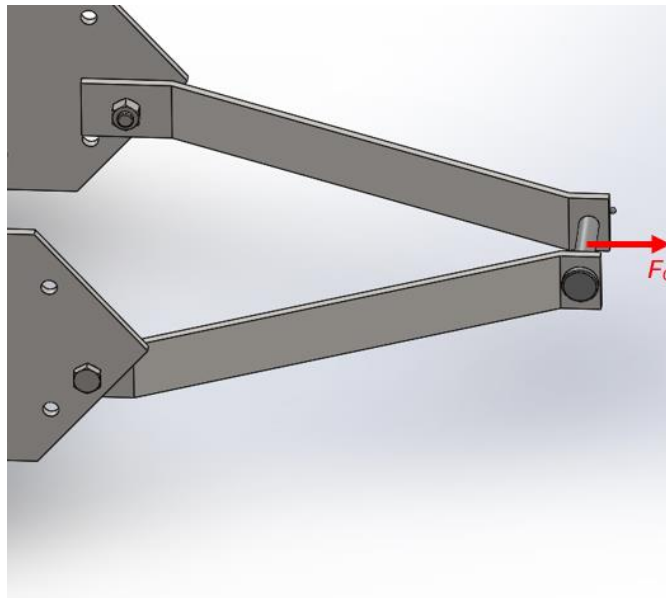
$$\sigma_v \leq \sigma_{dop} \quad (85)$$

$$15,625 \frac{N}{mm^2} \leq 195 \frac{N}{mm^2} \quad (86)$$

Zavar zadovoljava.

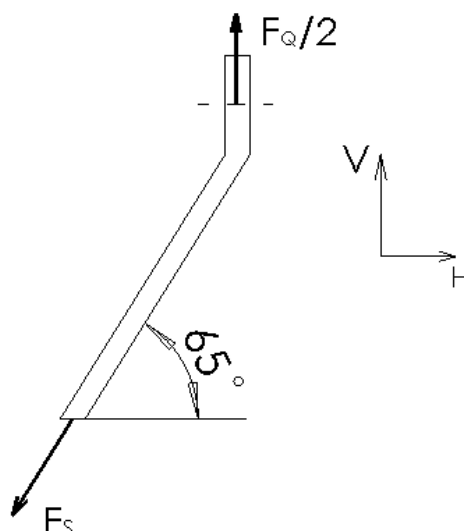
## 6.11. Kolica

### 6.11.1. Provjera čvrstoće vilice kolica



**Slika 30. Opterećenje vilice kolica**

Vilica kolica opterećena je na vlak. Budući da su dvije vilice koje podnose opterećenje, ono će se raspodijeliti.



Slika 31. Vlačno naprezanje vilice

Iz Slike 31. dobiva se da je:

$$\sum F_V = 0; -F_S \cdot \sin(65^\circ) + \frac{F_Q}{2} = 0$$

$$F_S = \frac{F_Q}{2 \cdot \sin(65^\circ)} = \frac{2500}{2 \cdot \sin(65^\circ)} = 1379,22 \text{ N} \quad (87)$$

Potrebno je dalje izračunati vlačno naprezanje:

$$\sigma_v = \frac{F_S}{A} = \frac{1379,22}{30 \cdot 4,5} = 10,22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (88)$$

$F_S$ ; sila u vilici,

$a = 30 \text{ mm}$ ; širina vilice,

$b = 4,5 \text{ mm}$ ; debljina vilice.

### 6.11.2. Provjera poprečno opterećenih vijaka vilice i kolica

Prikazani vijčani spoj opterećen je silom potezanja  $F_Q$  horizontalno prema desno, opterećen je poprečno. Budući da su dva vijka, sila potezanja će se raspodijeliti.

Vijčani spoj sadrži 2 vijka što znači da će sila u svakom vijku biti:

$$F_v = \frac{F_Q}{2} = \frac{2500}{2} = 1250 \text{ N} \quad (89)$$

Naprezanje na odrez:

$$\tau_a = \frac{F_v}{A} = \frac{1250}{\frac{10^2 \pi}{4}} = 15,92 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (90)$$

Naprezanje na bokove provrta:

$$\sigma_l = \frac{F_v}{d \cdot s} = \frac{1250}{10 \cdot 5} = 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (91)$$

$F_v$  u N; poprečna pogonska sila na jednom vijku,

$\tau_a$  u N/mm<sup>2</sup>; naprezanje na odrez,

$A$  u mm<sup>2</sup>; mjerodavni presjek vijka ili drugih elemenata opterećenih na odrez,

$\sigma_l$  u N/mm<sup>2</sup>; naprezanje bokova provrta,

$d$  u mm; vanjski promjer nosećeg dijela vijka ili elemenata opterećenog na odrez,

$s$  u mm; najmanja nosiva duljina na vijku ili elementu opterećenog na odrez.

Provjera čvrstoće:

Vijak M10 je čvrstoće 5.6 gdje je X = 5, a Y = 6.

**Tablica 6. Oznake i svojstva čvrstoće čelika za vijke i matice prema DIN 267 [2]**

Oznaka čelika za vijke	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	6.9	8.8	10.9	12.9	14.9
Minimalna čvrstoća na vlak $\sigma_M$	340	400	400	500	500	600	600	600	800	1000	1200	1400
Minimalna granica tečenja $\sigma_T$	200	240	320	300	400	360	480	540	640	900	1080	1260
Oznaka čelika za matice	4		5		6			8	10	12	14	
Naprezanje pri ispitivanju $\sigma_{vL}$	400		500		600			800	1000	1200	1400	
Djelomično još važeća oznaka		4 D		5 D	5 S		6 S	6 G	8 G	10 K		

Uzima se da je:

$$\sigma_M = 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (92)$$

$$\sigma_T = 300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (93)$$

Dopuštena naprezanja:

$$\tau_{a,dop} = 0,6 \cdot \sigma_T = 0,6 \cdot 300 = 180 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (94)$$

$$\sigma_{l,dop} = 0,75 \cdot \sigma_M = 0,75 \cdot 500 = 375 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (95)$$

Usporedbom dobivenih vrijednosti:

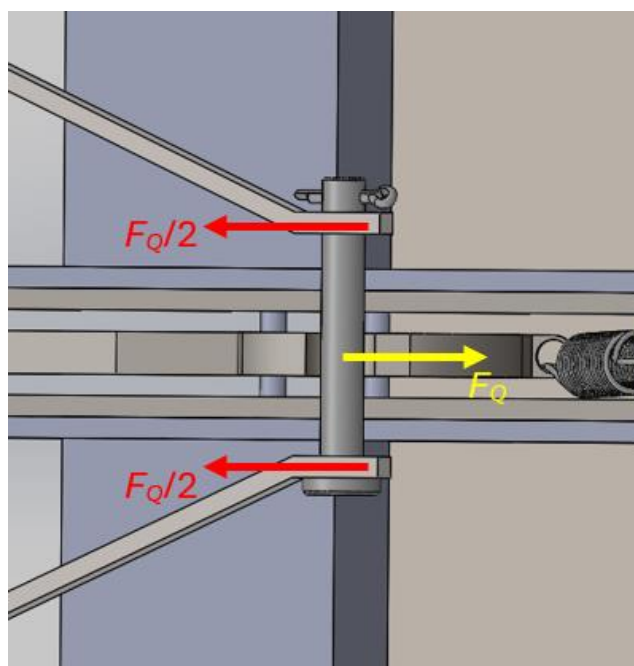
$$\sigma_{l,dop} \geq \sigma_l \quad (96)$$

$$\tau_{a,dop} \geq \tau_a \quad (97)$$

Vidi se da vrijednosti zadovoljavaju uvjete.



### 6.11.3. Provjera čvrstoće svornjaka na spoju okidača i vilice kolica



Slika 32. Spoj okidača i vilice kolica - opterećenja

Vrijednosti potrebne za proračun:

$d = 10$  mm; promjer svornjaka,

$a = 5$  mm; širina vilice,

$b = 10$  mm; širina okidača,

$F_Q = 2500$  N; sila potezanja.

Površina poprečnog presjeka svornjaka:

$$A = \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{10^2 \pi}{4} = 78,54 \text{ mm}^2 \quad (98)$$

Moment savijanja iznosi:

$$M_f = 0,5 \cdot F_Q \cdot 0,5 \cdot a = 0,5 \cdot 2500 \cdot 0,5 \cdot 5 = 3125 \text{ Nmm} \quad (99)$$

Naprezanje svornjaka uslijed savijanja:

$$\sigma_f = \frac{M_f}{0,1 \cdot d^3} = \frac{3125}{0,1 \cdot 10^3} = 31,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (100)$$

Smično naprezanje svornjaka:

$$\tau = \frac{F_Q}{2 \cdot A} = \frac{2500}{2 \cdot 78,54} = 15,92 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (101)$$

Za materijal svornjaka odabran je čelik St50-2. Dopusšteno naprezanje na savijanje i odrez za odabrani materijal prema [2] iznosi:

$$\sigma_{f,dop} = 125 \frac{N}{mm^2} \rightarrow \sigma_{f,dop} \geq \sigma_f \quad (102)$$

$$\tau_{a,dop} = 72 \frac{N}{mm^2} \rightarrow \tau_{a,dop} \geq \tau_a \quad (103)$$

Svornjak zadovoljava.

Potrebno je još provjeriti površinski pritisak na nosač svornjaka.

Površinski pritisak na nosač iznosi:

$$p_v = \frac{F_Q}{2a \cdot d} = \frac{2500}{2 \cdot 5 \cdot 10} = 25 \frac{N}{mm^2} \quad (104)$$

$$p_u = \frac{F_Q}{b \cdot d} = \frac{2500}{10 \cdot 10} = 25 \frac{N}{mm^2} \quad (105)$$

Za konstrukcijski čelik E295 dopušteni pritisak [2] na nosač iznosi:

$$p_{v,dop} = p_{u,dop} = 30 \frac{N}{mm^2} \quad (106)$$

Iz čega slijedi da je:

$$p_{v,dop} \geq p_v \quad (107)$$

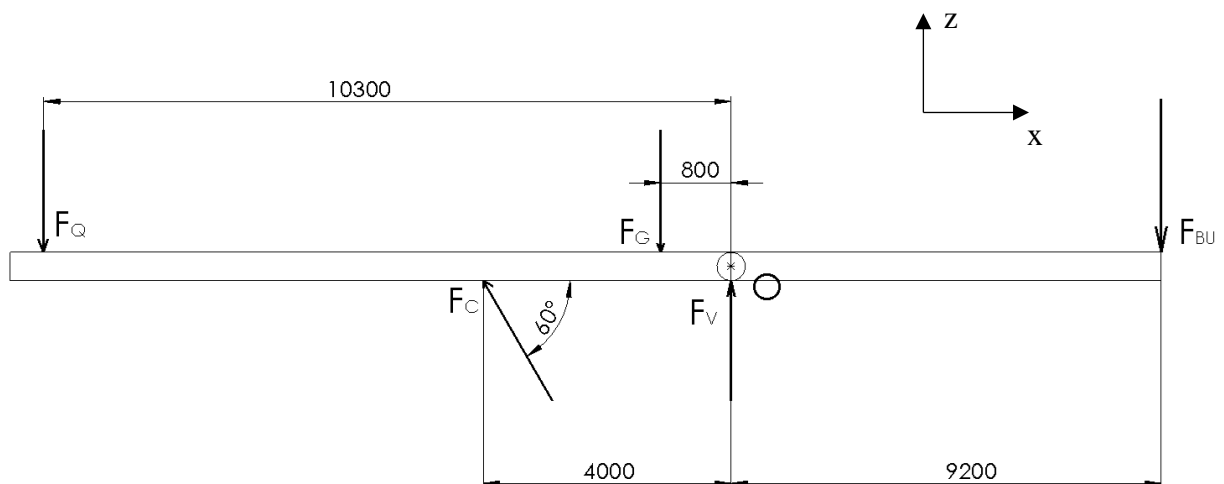
$$p_{u,dop} \geq p_u \quad (108)$$

Svornjak zadovoljava.

## 7. PRORAČUN NOSIVE KONSTRUKCIJE

Nosiva konstrukcija izrađuju se od čelika **St52-3**. Ova nosiva konstrukcija koja služi kao platforma za lansiranje dronova napravljena je u tri dijela te se može sklopiti radi lakšeg transporta. Sastavljanje je vrlo jednostavno i obavlja se ručno tako što se zakreće prednji i stražnji dio platforme uz pomoć šarki za 180°.

### 7.1. Platforma za lansiranje dronova



Slika 33. Statičke sile

Poznate vrijednosti:

$F_Q = 2500$  N; sila potezanja ,

$F_G = 35000$  N; težina platforme,

$F_{BU} = 200$  N; težina sklopa bubnja,

$S = 2,5$ ; faktor sigurnosti.

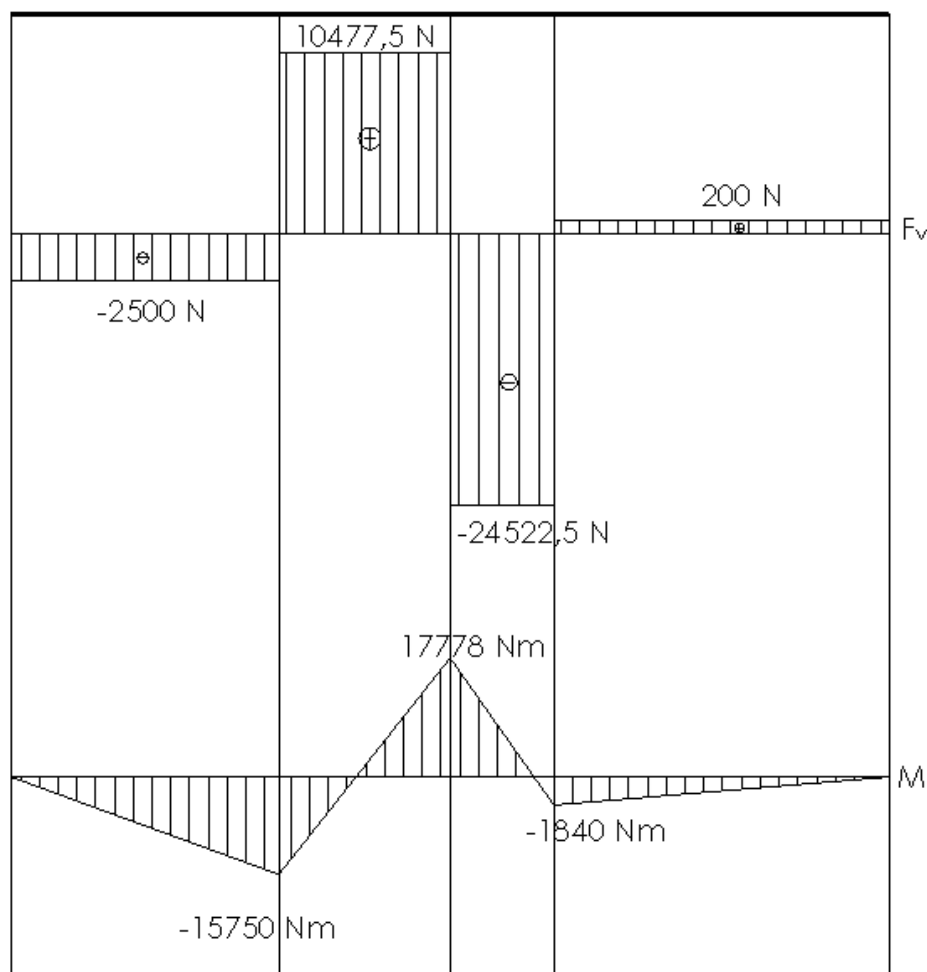
Raspisivanjem jednadžbe sume momenata oko točke O dobivamo:

$$\sum M_O = 0; F_Q \cdot 10300 + F_G \cdot 800 - F_{cil} \cdot \sin 60^\circ \cdot 4000 - F_{BU} \cdot 9200 = 0$$

$$F_{cil} = \frac{2500 \cdot 10300 + 35000 \cdot 800 - 200 \cdot 9200}{\sin 60^\circ \cdot 4000} = 14985,13 \text{ N} \quad (109)$$

Nakon što je izračunata reakcijska sila u osloncima, moguće je prikazati dijagrame poprečnih

i uzdužnih sila te momenata savijanja po konturi konstrukcije.



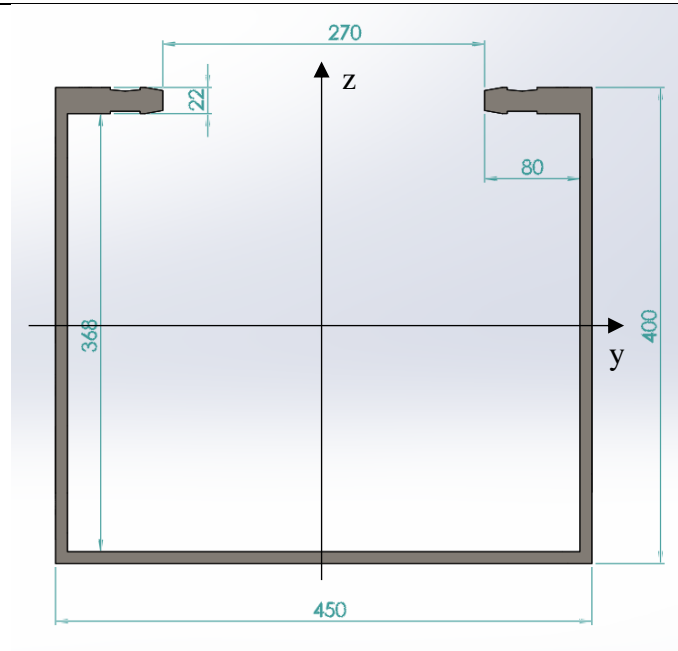
Slika 34. Dijagram poprečnih sila i momenata savijanja

### 7.1.1. Provjera čvrstoće platforme za lansiranje

Mehanička svojstva čelika St52-3.

Tablica 7. Mehanička svojstva St52-3

$R_m$ – vlačna čvrstoća	470-630 MPa
$R_e$ – granica razvlačenja	355 MPa
$\rho$ - gustoća	7,850 kg/m <sup>3</sup>
$E$ – modul elastičnosti	210 GPa



Slika 35. Dimenzije poprečnog presjeka platforme

Naprezanje uslijed savijanja pri najvećem momentu iznosi:

$$\sigma_f = \frac{M_{y,max}}{I_y} \cdot y \leq \frac{\sigma_{f,dop}}{S} \quad (110)$$

Dopušteno naprezanje na savijanje:

$$\sigma_{dop} = \frac{R_e}{S} = \frac{355}{2,5} = 142 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (111)$$

Za moment tromosti, dimenzije se uzimaju iz Slike 35.:

$$I_y = \frac{450 \cdot 400^3}{12} - \frac{430 \cdot 368^3}{12} - \frac{270 \cdot 22^3}{12} = 613969273,3 \text{ mm}^4 \quad (112)$$

Najveća udaljenost od y osi:

$$y = 200 \text{ mm} \quad (113)$$

Naprezanje na savijanje:

$$\sigma_f = \frac{17778000}{613969273,3} \cdot 200 = 5,79 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (114)$$

Provjera:

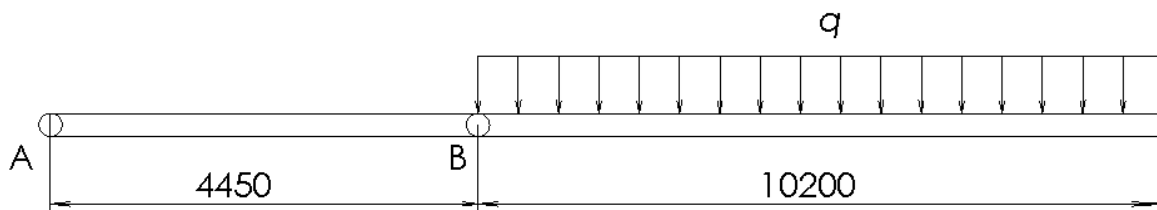
$$\sigma_f \leq \sigma_{dop} \quad (115)$$

$$5,79 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 142 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (116)$$

## UVJET ZADOVOLJAVA

**7.1.2. Provjera krutosti platforme [9]**

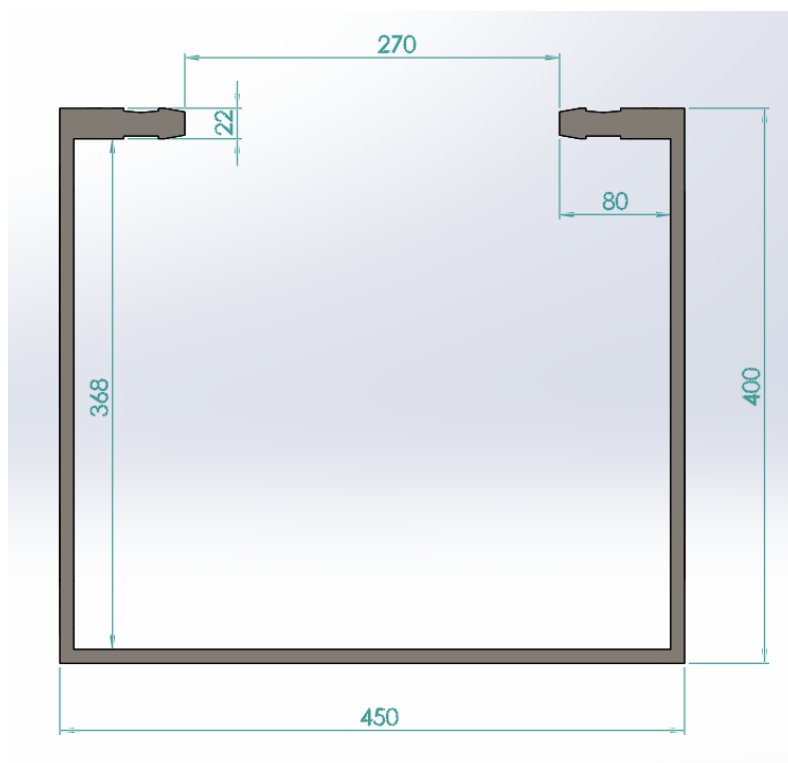
Provjera krutosti odnosi se na određivanje progiba platforme. Budući da su opterećenja na platformi vrlo mala, proračun će se svesti samo na progib s obzirom na vlastitu težinu.



**Slika 36. Opterećenje na platformu – progib**

Određivanje kontinuiranog opterećenja na platformu:

$$q = \frac{G_G}{L} = \frac{m \cdot g}{L} = \frac{\rho \cdot g \cdot A \cdot L}{L} = \rho \cdot g \cdot A \quad (117)$$



**Slika 37. Dimenzije poprečnog presjeka platforme**

Iz Slike 37. uzete su veličine za izračun površine poprečnog presjeka:

$$A = 450 \cdot 400 - 368 \cdot 430 - 270 \cdot 22 = 15820 \text{ mm}^2 = 0,01582 \text{ m}^2 \quad (118)$$

Vrijednosti ostalih veličina:

$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ ; približna vrijednost gustoće čelika St52-3 [10],

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ; ubrzanje zemljine sile teže.

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti u jednadžbu (83):

$$q = 7850 \cdot 9,81 \cdot 0,01582 = 1218,27 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (119)$$

Određivanje progiba [9]:

$$f = \frac{q \cdot a^3 \cdot (4 \cdot l + 3 \cdot a)}{24 \cdot E \cdot I} \quad (120)$$

Vrijednosti iz Slike 28.:

$a = 10\,200 \text{ mm}$ ,

$l = 4450 \text{ mm}$ .

Vrijednosti za moment tromosti uzete su iz Slike 37. pa se dobiva da je moment tromosti platforme:

$$I = \frac{450 \cdot 400^3}{12} - \frac{430 \cdot 368^3}{12} - \frac{270 \cdot 22^3}{12} = 613969273,3 \text{ mm}^4 \quad (121)$$

$$I = 6,13969 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \quad (122)$$

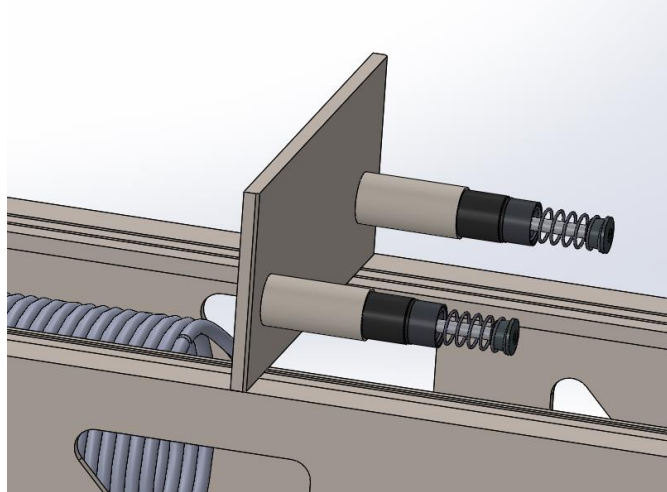
Zatim se određene vrijednosti uvrste u jednadžbu (84) i dobije se:

$$f = \frac{1218,27 \cdot 10,2^3 \cdot (4 \cdot 4,45 + 3 \cdot 10,2)}{24 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 6,13969 \cdot 10^{-4}} = 0,02 \text{ m} = 20 \text{ mm} \quad (123)$$

S obzirom da je platforma dugačka 23,5 m, dobivena vrijednost progiba je zapravo zanemariva.

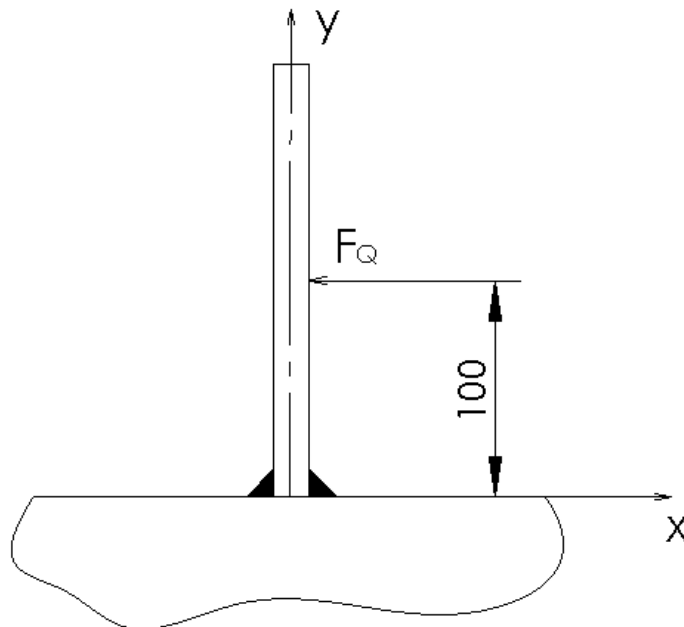
### 7.1.3. Provjera zavara

#### Zavar platforme i ploče s mehaničkim odbojnicima:



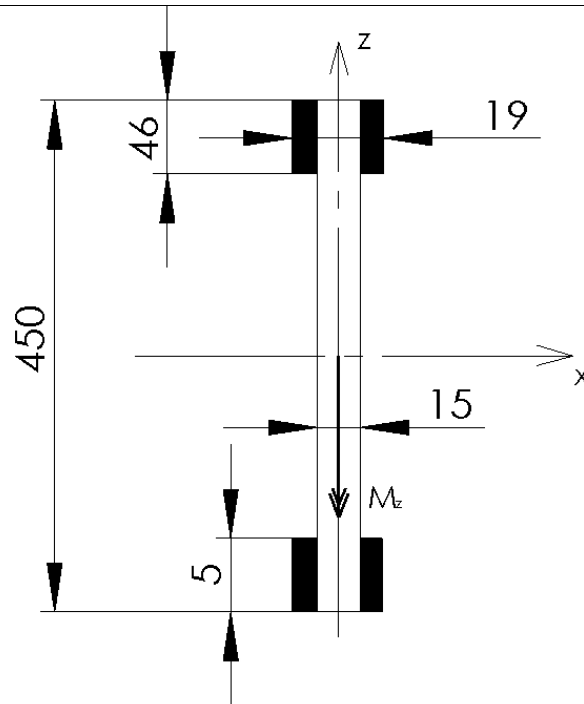
**Slika 38. Zavar platforme i ploče**

U ovom slučaju zavar je opterećen na savijanje.



**Slika 39. Skica opterećenja**





Slika 40. Proračunski presjek zavara

Dimenzije potrebne za proračun zavara uzete su iz Slike 40.

Površina zavara:

$$A_{zav} = 2 \cdot 46 \cdot 4 = 368 \text{ mm}^2 \quad (124)$$

Moment tromosti:

$$I_z = \frac{450 \cdot (15 + 2 \cdot 2)^3}{12} - \frac{450 \cdot 15^3}{12} - \frac{358 \cdot 2^3 \cdot 2}{12} = 130172,67 \text{ mm}^4 \quad (125)$$

Moment otpora:

$$W_z = \frac{I_z}{\frac{15}{2} + 2} = \frac{130172,67}{\frac{15}{2} + 2} = 13702,38 \text{ mm}^3 \quad (126)$$

Naprezanje na savijanje:

$$\sigma_s = \frac{F_Q \cdot l}{W_z} = \frac{2500 \cdot 100}{13702,38} = 18,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (127)$$

Reducirano naprezanje:

$$\sigma_{red} = \sigma_s = 18,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (128)$$

Za materijal St52-3 dopušteno naprezanje zavara za kutni spoj prema HRN U.E7.150 iznosi [2]:

$$\sigma_{dop} = 195 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (129)$$

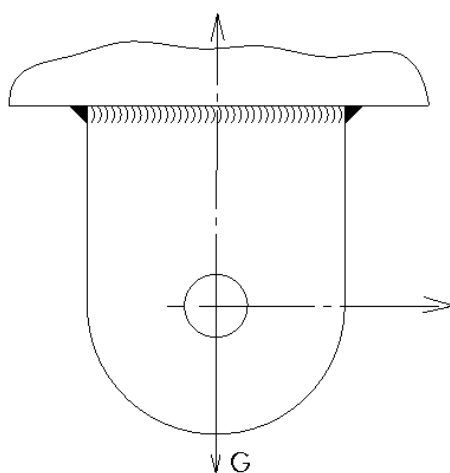
Iz čega slijedi da je:

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{dop} \quad (130)$$

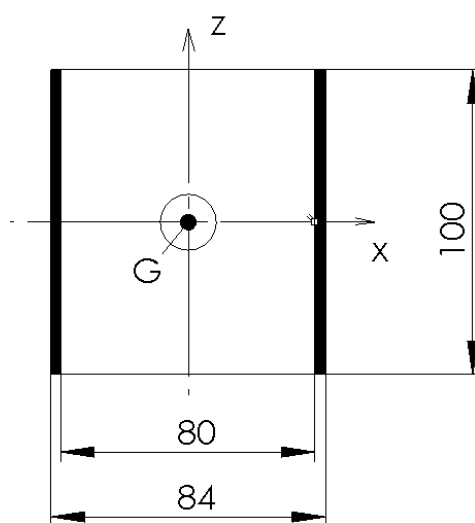
$$18,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 195 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (131)$$

UVJET ZADOVOLJAVA

**Zavar platforme i spoja s klinom:**



**Slika 41. Skica opterećenja zavora**



**Slika 42. Proračunski presjek zavora**

Zavar je opterećen samo na vlak.

Težina spoja sa svornjakom određena je iz konstrukcije, gdje je:

$G_1 = 25$  N; težina nosača svornjaka,

$G_2 = 5$  N; težina svornjaka.

$$G = G_1 + G_2 = 30 \text{ N} \quad (132)$$

Površina zavora:

$$A_{zav} = 2 \cdot 2 \cdot 100 = 400 \text{ mm}^2 \quad (133)$$

Vlačno naprezanje:

$$\sigma_v = \frac{G}{A_{zav}} = \frac{30}{400} = 0,075 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (134)$$

Za materijal St52-3 dopušteno naprezanje za kutni spoj zavora prema HRN U.E7.150 iznosi [2]:

$$\sigma_{dop} = 195 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (135)$$

Iz čega slijedi da je:

$$\sigma_v \leq \sigma_{dop} \quad (136)$$

$$0,075 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 195 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (137)$$

UVJET ZADOVOLJAVA

## 7.2. Zglobni spoj platforme i nosača osovine

Ovaj spoj omogućuje namještanje kuta lansiranja drona te sastoji se od osovine, platforme i nosača osovine koji se fiksira na oklopno vozilo. Hidraulički cilindar omogućuje rotaciju oko ovog zglobnog spoja



Slika 43. Zglobni spoj

### 7.2.1. Osovina

Opterećenja koja djeluju na ovaj zglobni spoj su:

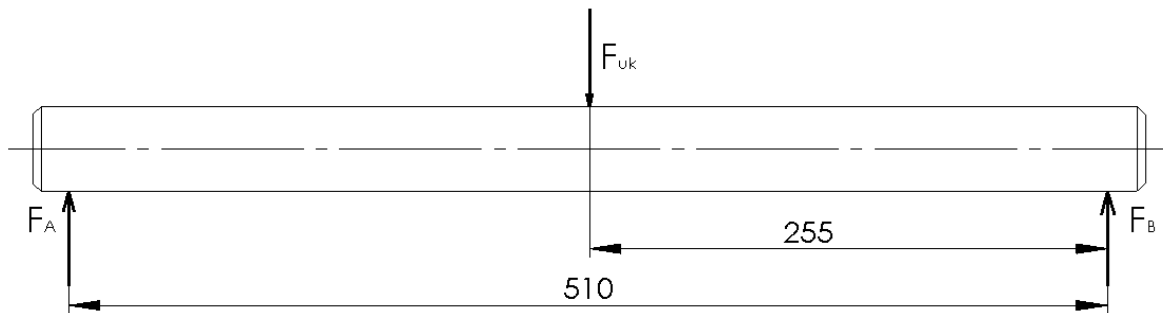
Težina platforme za lansiranje:  $F_G = 35\,000\text{ N}$ ,

Najveća težina pri polijetanju:  $F_Q = 2500\text{ N}$ .

Težina sklopa bubnja:  $F_{BU} = 200\text{ N}$ .

Iz čega slijedi da je:

$$F_{uk} = F_G + F_Q + F_{BU} = 35000 + 2500 + 200 = 37700\text{ N} \quad (138)$$



Slika 44. Opterećenje na osovini

Potrebno je odrediti reakcije u osloncima na krajevima osovine:

$$\sum F_v = 0; F_A + F_B - F_{uk} = 0 \quad (139)$$

Iz skice vidimo da je  $F_A = F_B$ . Iz čega slijedi:

$$2 \cdot F_A = F_{uk} = 37700\text{ N} \quad (140)$$

$$F_A = F_B = 18850 \text{ N} \quad (141)$$

Potrebna je velika čvrstoća osovine zbog velikih sila, stoga se uzima da je materijal osovine 42CrMo4. Dopusšteno naprezanje određuje se prema Haberhauer i Bodensteinu [4].

$$\sigma_{f,dop} = \frac{\sigma_{f,DI}}{3} = \frac{800}{3} = 266,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (142)$$

Određivanje promjera osovine koja će izdržati naprezanje.

Najveći moment na osovini:

$$M = F_{uk} \cdot 255 = 37700 \cdot 255 = 9613500 \text{ Nmm} \quad (143)$$

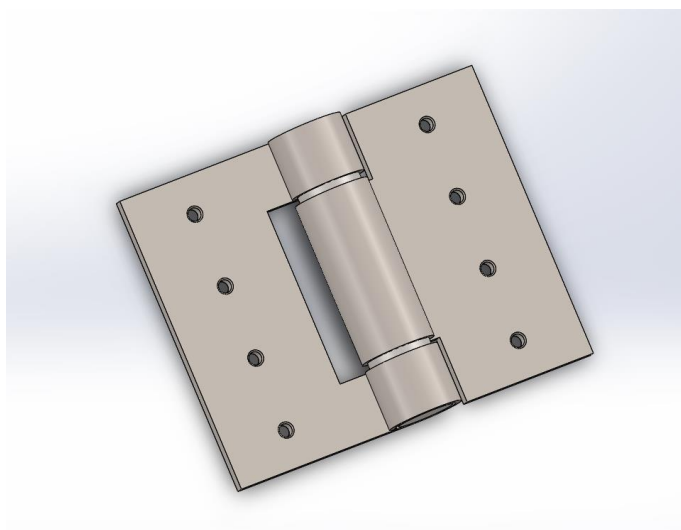
Promjer osovine:

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M}{\sigma_{f,dop}}} = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 9613500}{266,67}} = 78,19 \text{ mm} \quad (144)$$

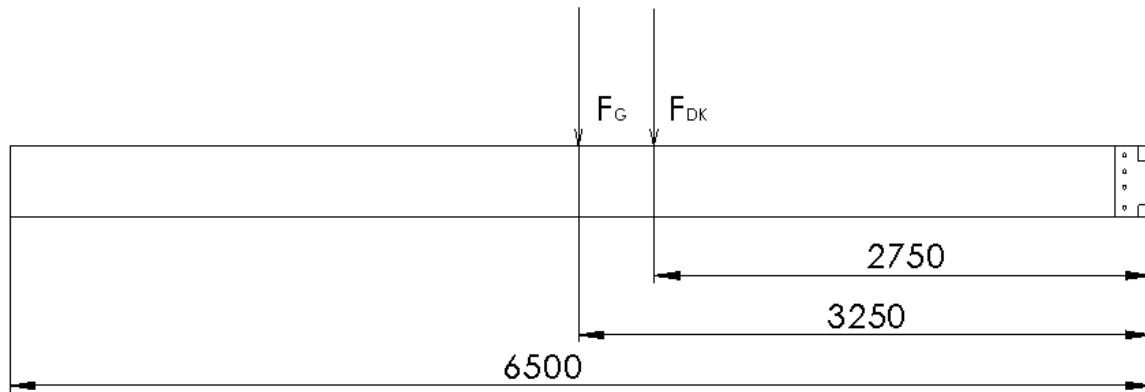
Odabrano je:  $d = 80 \text{ mm}$ .

### 7.3. Dimenzioniranje šarke

Šarke su mehanički spojevi koji omogućavaju rotaciju ili pokret između dva povezana objekta. Služe za zakretanje prednjeg i stražnjeg dijela platforme za lansiranje drona. Sastoji se od osovine i dva lista (krila).



Slika 45. Model šarke



Slika 46. Opterećenje na šarku

Potrebno je izračunati promjer osovine koji će izdržati opterećenje koje izaziva platforma.

Vrijednosti sila sa Slike 46.:

$F_G = 9000$  N; težina grede odnosno prednjeg dijela platforme (težina određena iz SolidWorks),

$F_{DK} = 2500$  N; težina drona i kolica (zadano u zadatku).

Moment koji radi sila  $F_G$  i  $F_Q$  oko osovine šarke:

$$M = F_G \cdot 3250 + F_Q \cdot 2750 = 9000 \cdot 3250 + 2500 \cdot 2750 = 36125000 \text{ Nmm} \quad (145)$$

Dopušteno naprezanje za dinamički istosmjerno opterećenje za materijal 42CrMo4 [4]:

$$\sigma_{f,dop} = \frac{\sigma_{f,DI}}{3} = \frac{800}{3} = 266,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (146)$$

Određivanje promjera osovine koja će izdržati opterećenje:

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M}{\sigma_{f,dop}}} = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 36125000}{266,67}} = 110,65 \text{ mm} \quad (147)$$

Odabrani promjer koji će izdržati opterećenja je  $d = 115$  mm, a duljina osovine određena je iz konstrukcije te iznosi  $l = 400$  mm.

#### 7.4. Hidraulički cilindar

Hidraulički se cilindri koriste radi namještanja kuta lansiranja dronova. Glavni dijelovi hidrauličkog cilindra su: cijev cilindra, klip, klipnjača, poklopci koji zatvaraju cilindre. Odabran je kut lansiranja od  $10^\circ$ . Pri kutu zakreta platforme od  $0^\circ$ , hidraulički cilindar postavljen je pod kutom od  $60^\circ$ .

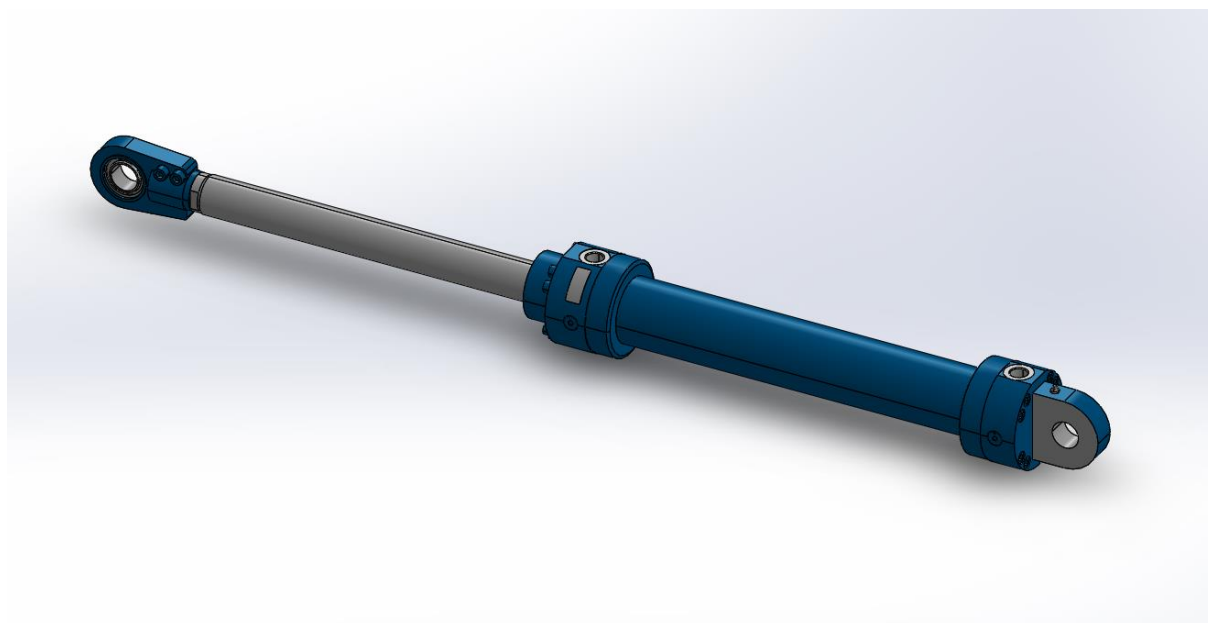
Sila u cilindru iz prethodnog proračuna iznosi::

$$F_{cil} = 14985,13 \text{ N} \quad (148)$$

Na temelju maksimalne sile u cilindru i ugradbenih dimenzija odabran je hidraulički cilindar proizvođača Bosch Rexroth.

**Tablica 8. Karakteristike hidrauličkog cilindra**

Naziv cilindra	CDH1MP3/80/56/500A3X/B11CSUMZ
Nazivni tlak $p$	100 bar
Duljina uvučenom položaju $r_{min}$	1100 mm
Hod cilindra $\Delta r$	300 mm
Promjer klipa $D$	60 mm
Promjer klipnjače $d_k$	36 mm
Modul elastičnosti $E$	210 000 N/mm <sup>2</sup>



**Slika 47. Hidraulički cilindar**

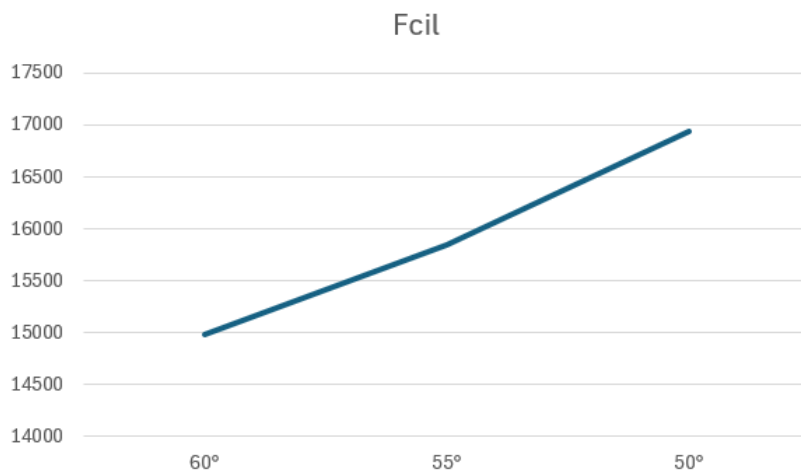
Maksimalna sila koju hidraulički cilindar može ostvariti pri nazivnom tlaku iznosi:

$$F_{cil,naz} = p \cdot A_{klip} = p \cdot \frac{D^2 \pi}{4} = 100 \cdot 10^5 \cdot \frac{0,06^2 \pi}{4} = 28274,33 \text{ N} \quad (149)$$

$$F_{cil,max} < F_{cil,naz} \rightarrow \text{Hidraulički cilindar zadovoljava}$$

Usporedbom potrebne i moguće maksimalne sile u cilindru može se zaključiti da cilindar zadovoljava traženu silu.

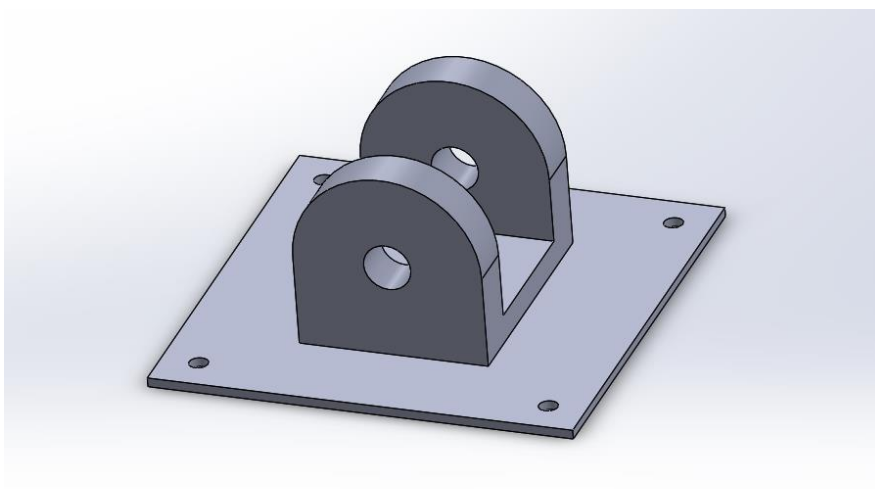
Za hidraulički cilindar izrađen je dijagram koji prikazuje ovisnost sile u cilindru i kuta cilindra s obzirom na platformu za lansiranje.



**Slika 48. Ovisnost sile u cilindru o kutu između cilindra i platforme**

Iz dijagrama se uočava da sila u cilindru raste s obzirom na smanjenje kuta između cilindra i platforme, odnosno sila u cilindru raste tijekom podizanja platforme za lansiranje.

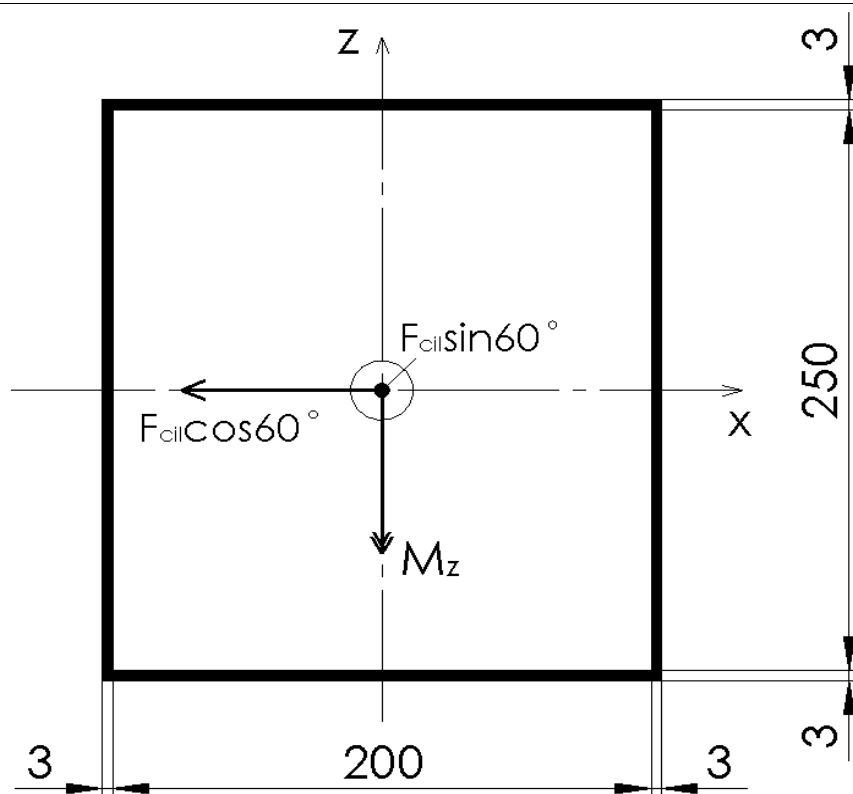
#### **7.4.1. Zavar postolja i nosača osovine**



**Slika 49. Zavar postolja i nosača svornjaka**

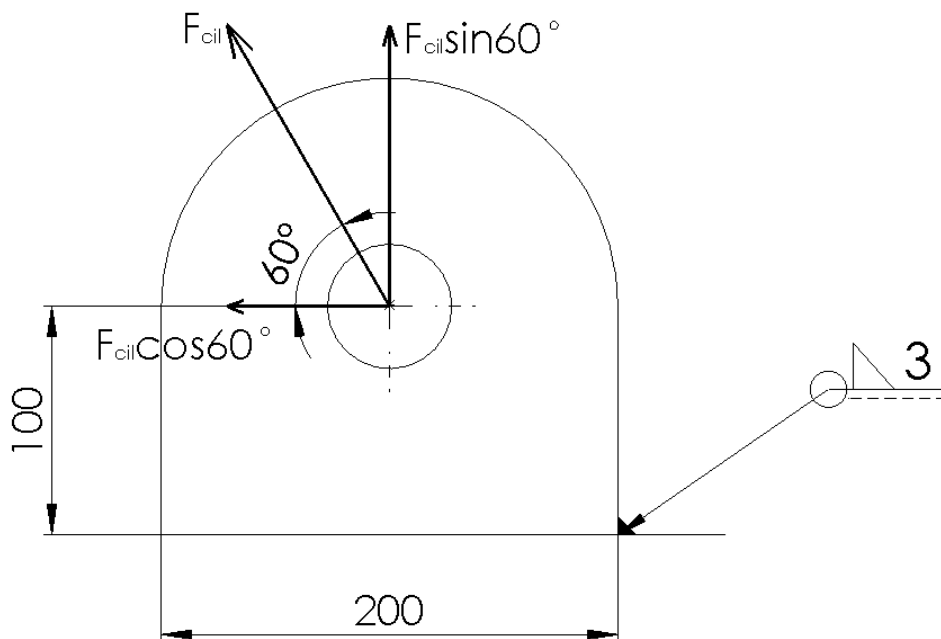
Priložena Slika 49. pokazuje postolje i nosač svornjaka gdje se nosač svornjaka zavaruje na postolje te se koristi kutni zavar.





**Slika 50. Proračunski presjek zavara**

Zavar je opterećen na savijanje, smik te vlak i u daljnjem će se proračunu usporedit s dopuštenim naprežanjem u zavaru.



**Slika 51. Opterećenje nosača svornjaka**

Sve vrijednosti u daljnjem proračunu uzete su sa Slike 50. i 51.

Moment koji radi horizontalna sila u cilindru:

$$M_z = F_{cil} \cdot \cos 60^\circ \cdot 100 = 15516,29 \cdot \cos 60^\circ \cdot 100 = 775814,5 \text{ Nmm} \quad (150)$$

Naprezanje:

$$\sigma_s = \frac{M_z}{W_z} = \frac{775814,5}{192479,69} = 4,03 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (151)$$

$$W_z = \frac{I_z}{103} = \frac{19825408}{103} = 192479,69 \text{ mm}^3 \quad (152)$$

$$I_z = \frac{256 \cdot 206^3}{12} - \frac{250 \cdot 200^3}{12} = 19825408 \text{ mm}^4 \quad (153)$$

Vlak:

$$\sigma_v = \frac{F_{cil} \cdot \sin 60^\circ}{A_z} = \frac{15516,29 \cdot \sin 60^\circ}{206 \cdot 256 - 200 \cdot 250} = 4,91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (154)$$

Smik:

$$\tau_{II} = \frac{F_{cil} \cdot \cos 60^\circ}{2 \cdot 3 \cdot 206} = \frac{15516,29 \cdot \cos 60^\circ}{2 \cdot 3 \cdot 206} = 6,28 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (155)$$

Reducirano naprezanje:

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_s + \sigma_v)^2 + 3 \cdot \tau_{II}^2} = \sqrt{(4,03 + 4,91)^2 + 3 \cdot 6,28^2} = 14,08 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (156)$$

Za materijal St52-3 dopušteno naprezanje zavara za kutni spoj prema HRN U.E7.150 iznosi [2]:

$$\sigma_{dop} = 195 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (157)$$

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{dop} \quad (158)$$

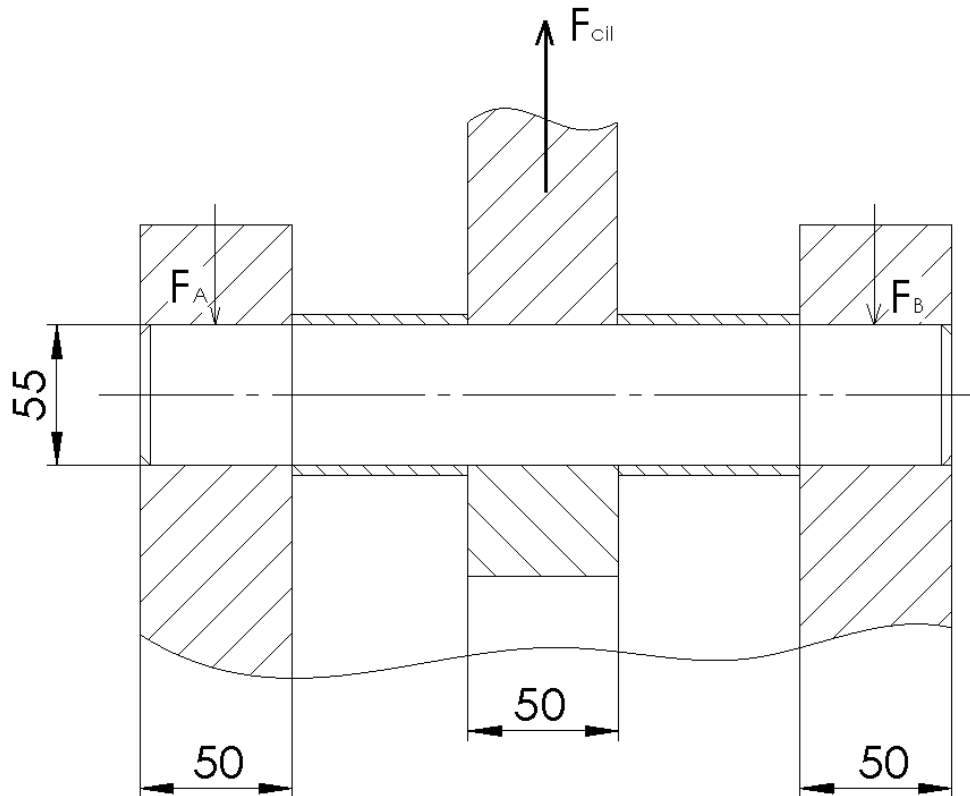
$$14,08 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (159)$$

UVJET ZADOVOLJAVA

#### 7.4.2. Provjera svornjaka hidrauličkog cilindra i nosača

Za provjeru svornjaka u osloncu A uzimat će se maksimalna sila koja se pojavljuje u tom osloncu:

$$F_{cil} = 14985,13 \text{ N}$$



Slika 52. Opterećenje svornjaka

Vrijednosti potrebne za proračun:

$$d = 55 \text{ mm}, t = 50 \text{ mm},$$

Površina presjeka:

$$A = \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{55^2 \pi}{4} = 2375,83 \text{ mm}^2 \quad (125)$$

Moment savijanja iznosi:

$$M_f = 0,5 \cdot F_{cil} \cdot 0,5 \cdot t = 0,5 \cdot 14985,13 \cdot 0,5 \cdot 50 = 187314,125 \text{ Nmm} \quad (126)$$

Naprezanje svornjaka uslijed savijanja:

$$\sigma_f = \frac{M_f}{0,1 \cdot d^3} = \frac{187314,125}{0,1 \cdot 55^3} = 11,26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (127)$$

Smično naprezanje svornjaka:

$$\tau = \frac{F_{cil}}{2 \cdot A} = \frac{14985,13}{2 \cdot 706,86} = 10,59 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (128)$$

Za materijal svornjaka odabran je čelik St50-2. Dopušteno naprezanje na savijanje i odrez za odabrani materijal prema [2] iznosi:

$$\sigma_{f,dop} = 125 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \rightarrow \sigma_{f,dop} \geq \sigma_f \quad (129)$$

$$\tau_{a,dop} = 72 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \rightarrow \tau_{a,dop} \geq \tau_a \quad (130)$$

Svornjak zadovoljava.

Potrebno je još provjeriti površinski pritisak na nosač svornjaka.

Površinski pritisak na nosač iznosi:

$$p_v = \frac{F_{cil}}{2t \cdot d} = \frac{14985,13}{2 \cdot 50 \cdot 55} = 2,72 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (131)$$

$$p_u = \frac{F_{cil}}{b \cdot d} = \frac{14985,13}{50 \cdot 55} = 5,45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (132)$$

Za konstrukcijski čelik St50-2 dopušteni pritisak [2] na nosač iznosi:

$$p_{v,dop} = p_{u,dop} = 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (133)$$

Iz čega slijedi da je:

$$p_{v,dop} \geq p_v \quad (134)$$

$$p_{u,dop} \geq p_u \quad (135)$$

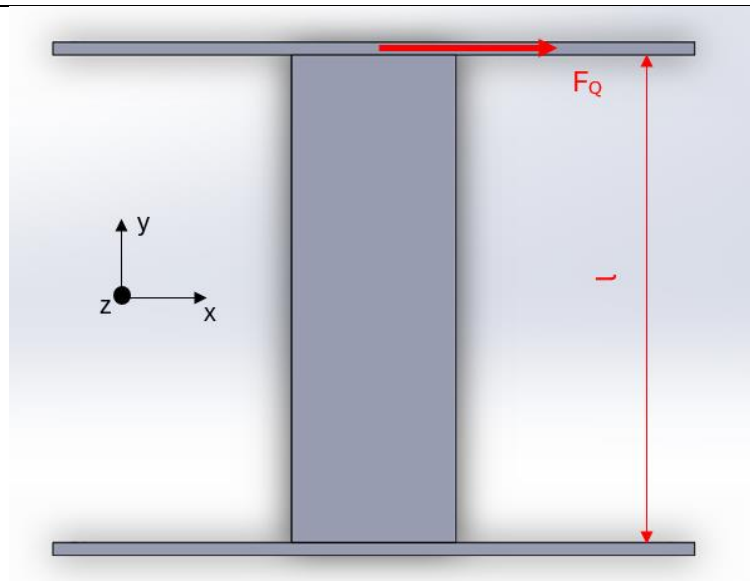
Svornjak zadovoljava.

## 7.5. Potporna greda za okidač

Kao potporna greda koristi se I profil te je zavaren za pločicu koja je vijčanim spojem spojena na platformu za lansiranje te je okidač vijčanim spojevima spojen na potpurnu gredu preko pločice.

### 7.5.1. Provjera čvrstoće potporne grede

Potporna greda je kvadratnog profila s dimenzijama 120x65 s debljinom stijenke od 5 mm.



**Slika 53. Opterećenje potporne grede**

Sila  $F_Q$  uzrokuje savijanje potporne grede, tako da će vrijednost najvećeg momenta na potpornoj gredi iznositi:

$$M_z = F_Q \cdot l = 2500 \cdot 210 = 525000 \text{ Nmm} \quad (136)$$

Naprezanje na savijanje:

$$\sigma_f = \frac{M_z}{I_z} \cdot z \quad (137)$$

Moment tromosti:

$$I_z = \frac{120 \cdot 65^3 - 110 \cdot 55^3}{12} = 1221145,83 \text{ mm}^4 \quad (138)$$

Najveća udaljenost od osi z:

$$z = 32,5 \text{ mm} \quad (139)$$

Uvrštavanjem vrijednosti u jednadžbu (61):

$$\sigma_f = \frac{525000}{1221145,83} \cdot 32,5 = 13,97 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (140)$$

Dopušteno naprezanje na savijanje:

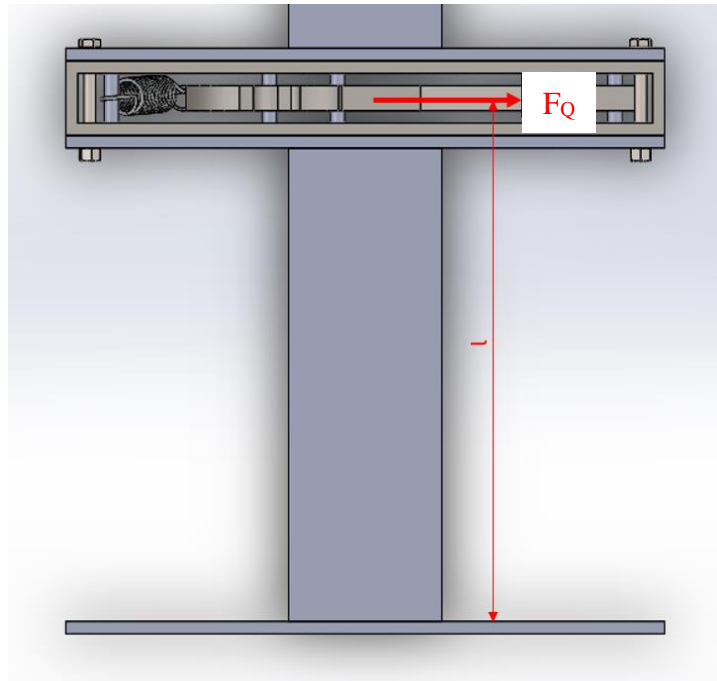
$$\sigma_{dop} = \frac{R_e}{S} = \frac{355}{2,5} = 142 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (141)$$

Usporedbom dobivenih vrijednosti:

$$\sigma_f \leq \sigma_{dop} \quad (142)$$

$$13,97 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 142 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (143)$$

## UVJET ZADOVOLJAVA

7.5.2. *Provjera zavora*

Slika 54. Skica opterećenja na zavar

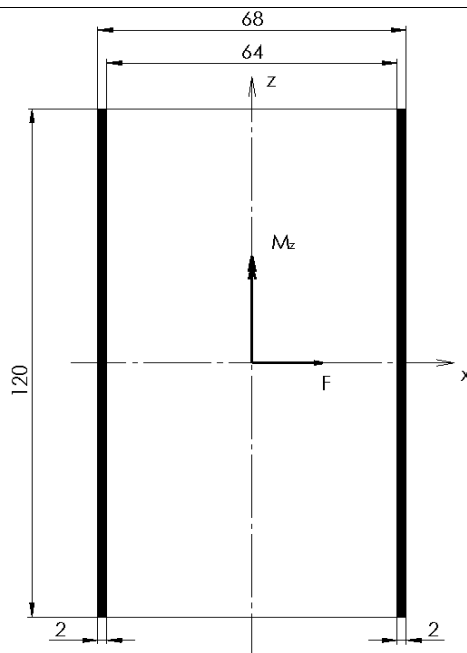
Poznate vrijednosti:

$F_Q = 2500$  N; sila potrebna za lansiranje

$l = 210$  mm; udaljenost od zavora

Moment koji radi sila  $F_Q$ :

$$M_z = F_Q \cdot l = 2500 \cdot 210 = 525000 \text{ Nmm} \quad (144)$$



Slika 55. Proračunski presjek zavara

Vrijednosti za daljnji proračun uzete su iz Slike 55.

Moment otpora:

$$W_z = \frac{I_z}{\frac{z}{2}} = \frac{522880}{34} = 15378,82 \text{ mm}^3 \quad (145)$$

$$I_z = \frac{120 \cdot 68^3 - 120 \cdot 64^3}{12} = 522880 \text{ mm}^4 \quad (146)$$

Naprežanje zavara na savijanje:

$$\sigma_f = \frac{M_z}{I_z} = \frac{525000}{15378,82} = 34,14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (147)$$

Reducirano naprežanje:

$$\sigma_{red} = \sigma_f = 34,14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (148)$$

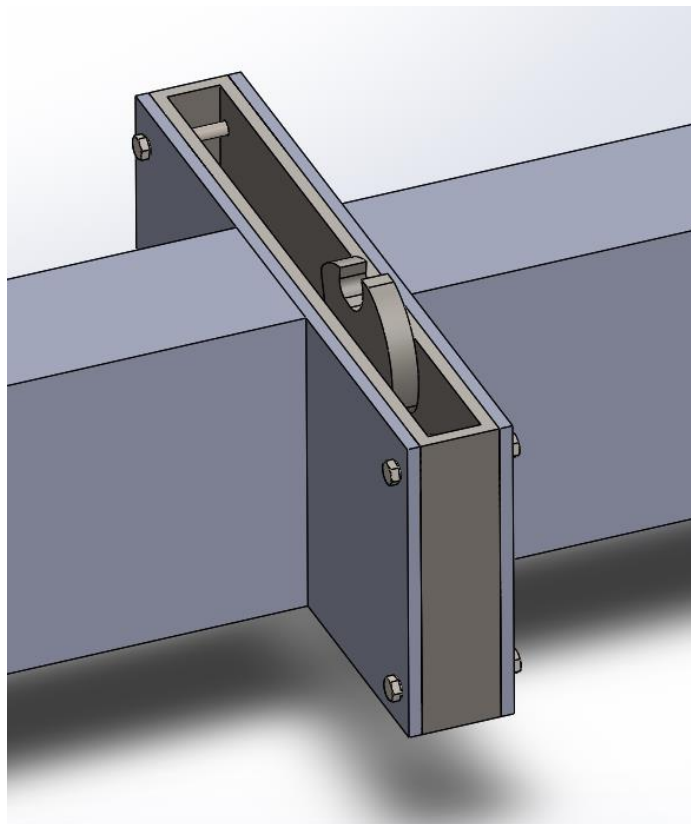
Za materijal St52-3 dopušteno naprežanje zavara za kutni spoj prema HRN U.E7.150 iznosi [2]:

$$\sigma_{dop} = 195 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (149)$$

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{dop}$$

$$34,14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 195 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (150)$$

### 7.5.3. Proračun vijčanog spoja okidača



Slika 56. Vijčani spoj okidača i potpornog nosača

Prikazani vijčani spoja sadrži 4 vijka što znači da će sila u svakom vijku biti:

$$F_v = \frac{F_Q}{4} = \frac{2500}{4} = 625 \text{ N} \quad (151)$$

Naprezanje na odrez:

$$\tau_a = \frac{F_v}{A} = \frac{625}{\frac{5^2 \pi}{4}} = 31,83 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (152)$$

Naprezanje na bokove provrta:

$$\sigma_l = \frac{F_v}{d \cdot s} = \frac{625}{5 \cdot 20} = 6,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (153)$$

$F_v$  u N; poprečna pogonska sila na jednom vijku,

$\tau_a$  u  $\text{N}/\text{mm}^2$ ; naprezanje na odrez,

$A$  u  $\text{mm}^2$ ; mjerodavni presjek vijka ili drugih elemenata opterećenih na odrez,

$\sigma_l$  u  $\text{N}/\text{mm}^2$ ; naprezanje bokova provrta,

$d$  u mm; vanjski promjer nosećeg dijela vijka ili elemenata opterećenog na odrez,



s u mm; najmanja nosiva duljina na vijku ili elementu opterećenog na odrez.

Provjera čvrstoće:

Vijak M10 je čvrstoće 5.6 gdje je X = 5, a Y = 6.

Uzima se da je:

$$\sigma_M = 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (154)$$

$$\sigma_T = 300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (155)$$

Dopuštena naprezanja:

$$\tau_{a,dop} = 0,6 \cdot \sigma_T = 0,6 \cdot 300 = 180 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (156)$$

$$\sigma_{l,dop} = 0,75 \cdot \sigma_M = 0,75 \cdot 500 = 375 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (157)$$

Usporedbom dobivenih vrijednosti:

$$\sigma_{l,dop} \geq \sigma_l \quad (158)$$

$$\tau_{a,dop} \geq \tau_a \quad (159)$$

Vidimo da vrijednosti zadovoljavaju uvjete.

## 8. ZAKLJUČAK

Zadatak ovog završnog rada bio je konstruirati katapult za dronove s uvodnim podacima: najveća masa pri polijetanju  $Q = 250$  kg, brzina u trenutku napuštanja katapulta  $v = 20$  m/s, najveće dopušteno ubrzanje pri polijetanju  $a = 10$  m/s<sup>2</sup>. Nakon uvodnog dijela u kojem su navedene vrste dronova i primjeri dronova te postojeća konstrukcijska rješenja postavljeni su zahtjevi koje katapult mora zadovoljiti. Na temelju tih zahtjeva izrađena su 3 konceptualna rješenja gdje se nakon vrednovanja koncept 2 vodio u daljnju konstrukcijsku razradu. Koncept 2 odabran je prvenstveno jer je vrlo jednostavan princip lansiranja pomoću opruge te natezanja pomoću sajle. U konstrukcijskoj razradi prikazan je smještaj svih komponenti te proračun na savijanje, vlak, tlak te proračun zavara i vijčanog spoja. Glavne cjeline katapulta su mehanizam za natezanje opruge koji se sastoji od sajle, bubnja, elektromotora te vlačne opruge koja je zakvačena za kraj platforme katapulta te se zatim zakvači na kolica koja se vode po platformi za lansiranje. Također osigurano je vođenje kolica pomoću kotača s gornje i donje strane staze te je tako onemogućeno iskakanje kolica s platforme prilikom sudara s mehaničkim odbojnicima. Kod svih dijelova katapulta vodilo se računa o ekonomičnosti i funkcionalnosti. Svi su dijelovi konstrukcije provjereni te je krajnje rješenje potpuno u skladu s uvjetima krutosti i čvrstoće.

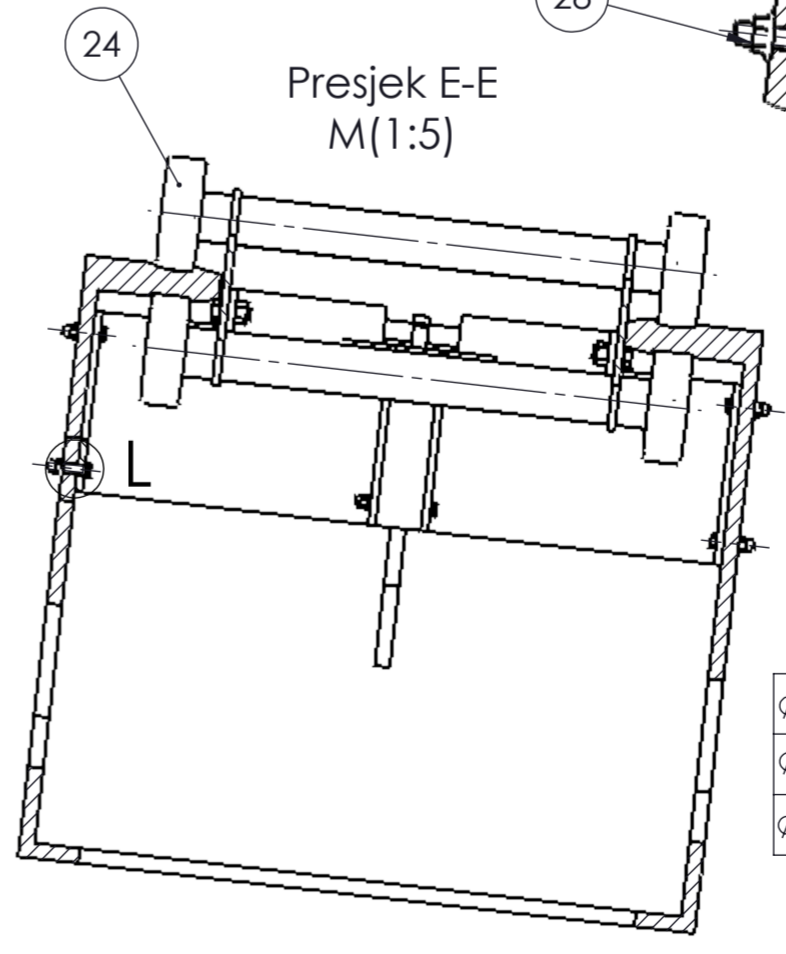
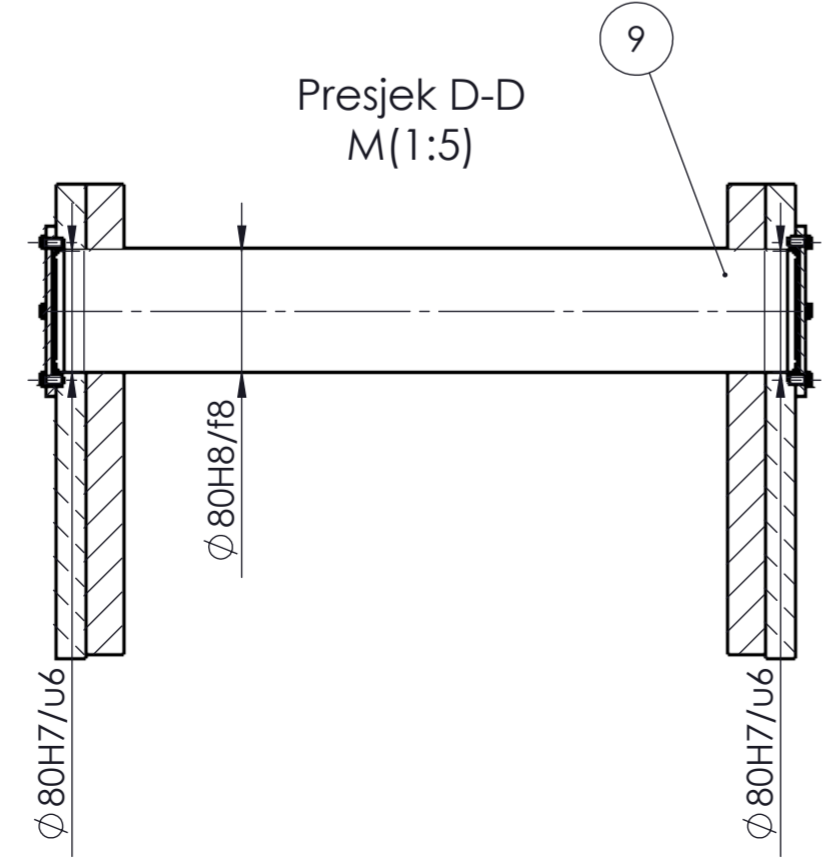
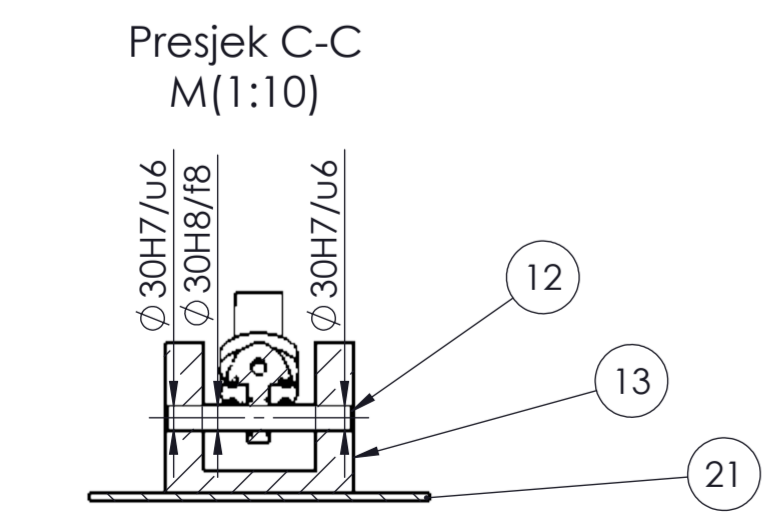
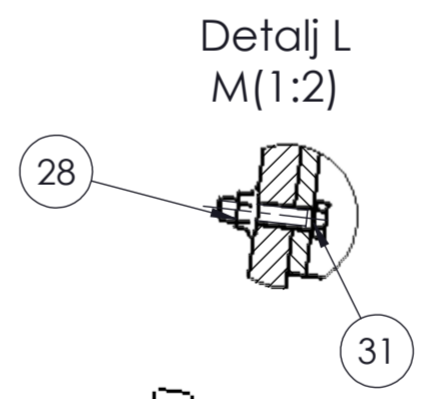
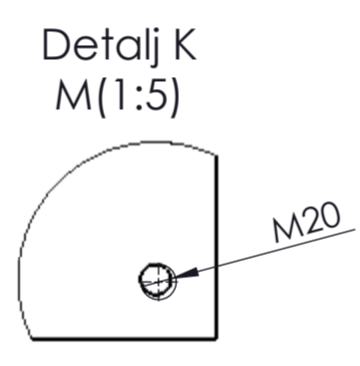
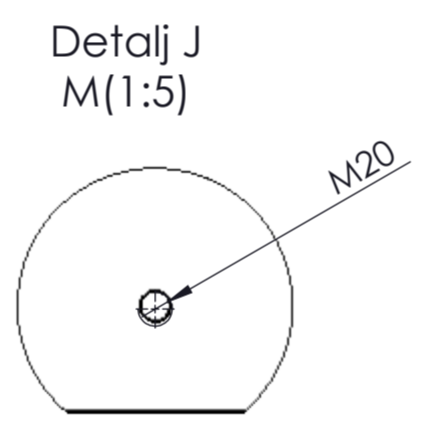
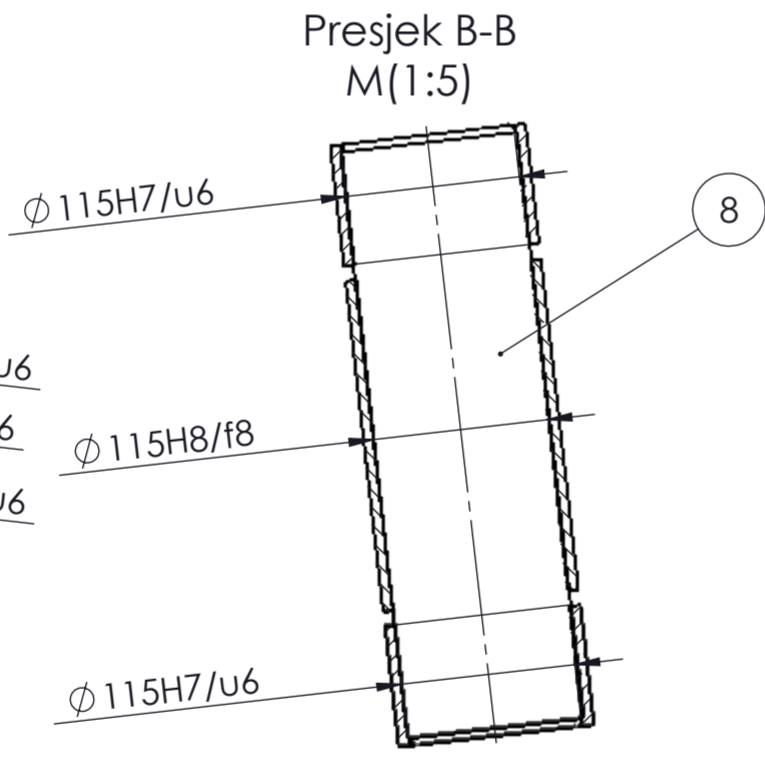
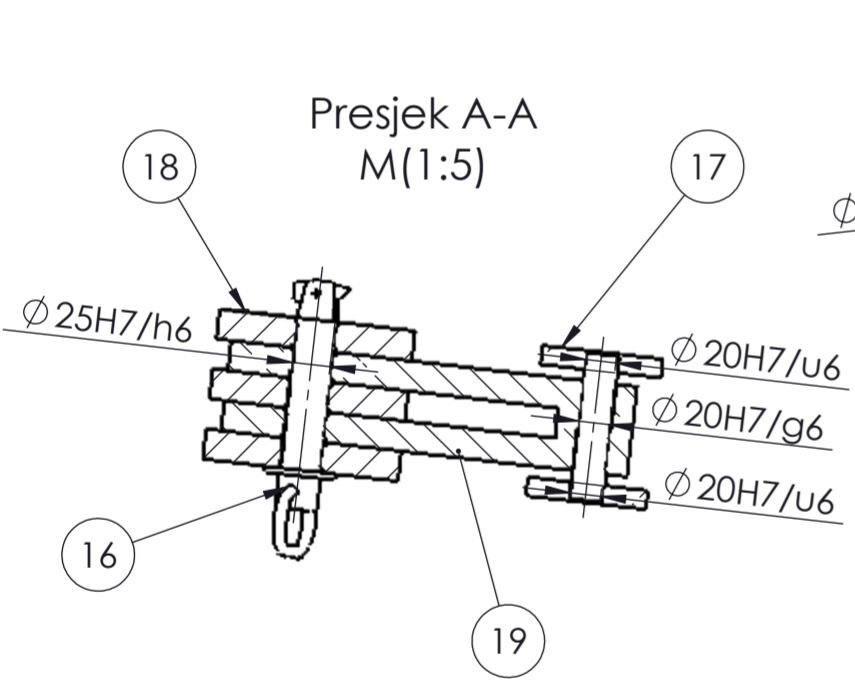
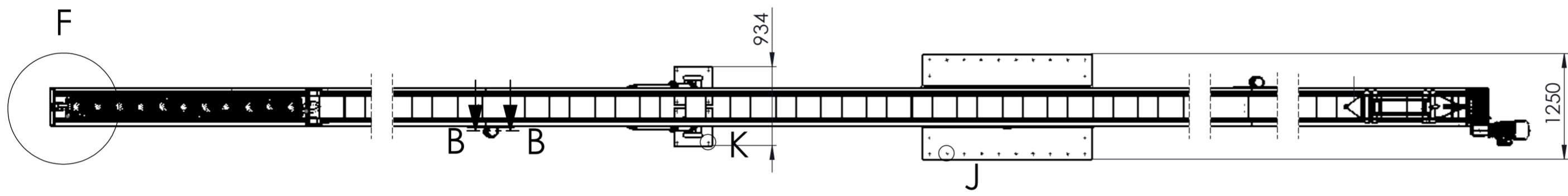
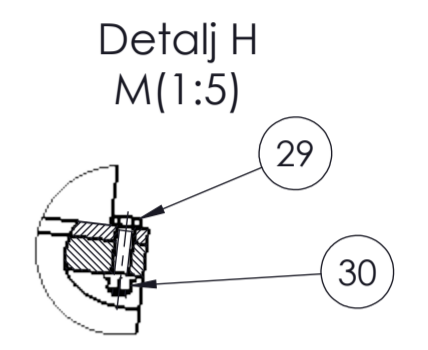
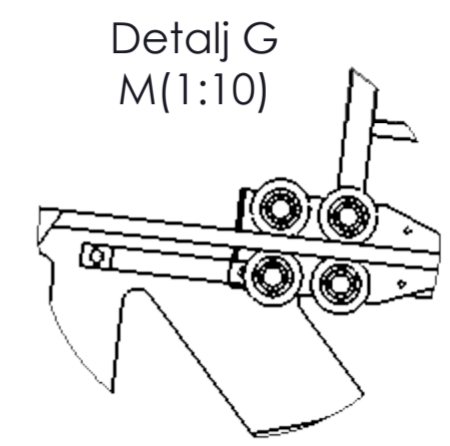
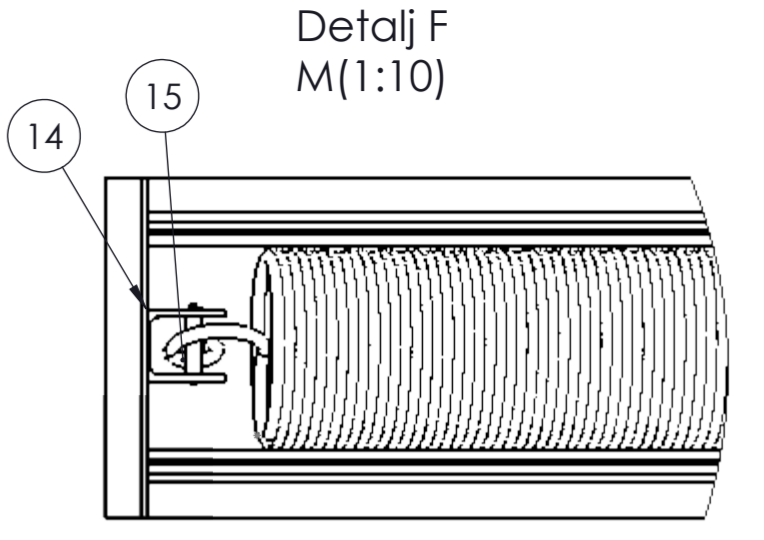
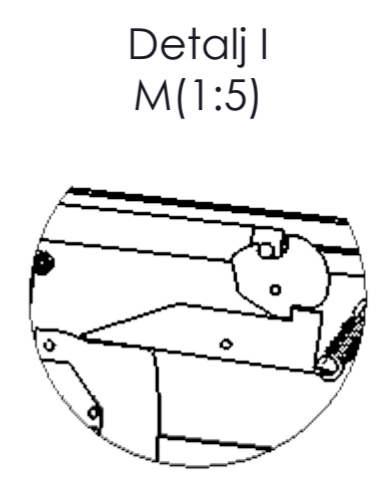
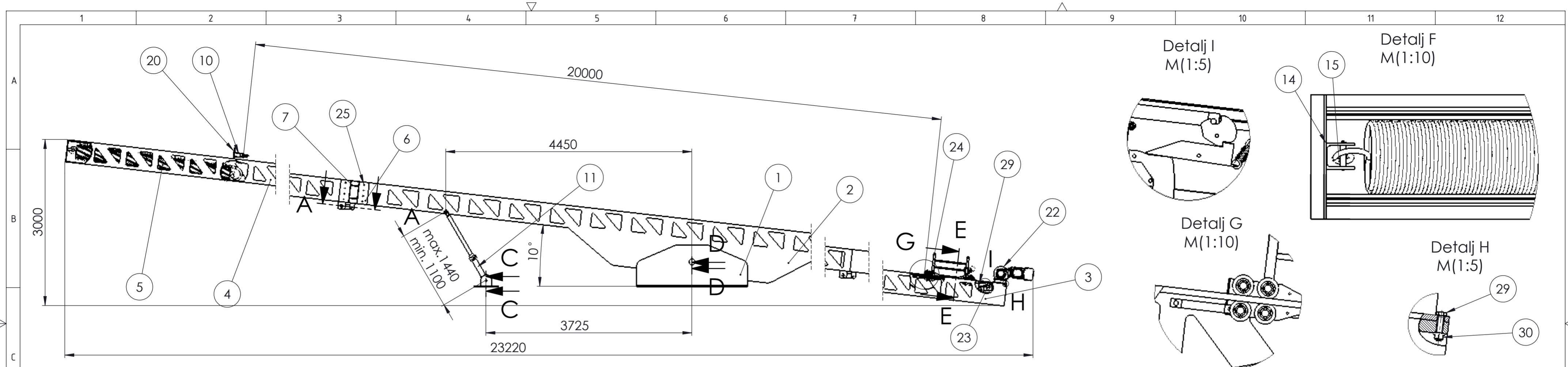
---

**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] Opalić, M. i Rakamarić, P.: Reduktor (Proračun)
- [5] Horvat, Z.: Vratilo (Proračun)
- [6] Ščap, D.: Prenosila i dizala
- [7] SKF katalog
- [8] Kranjčević, N.: Vijci i navojna vretena
- [9] Vučković, K.: Vratila (podloge uz predavanja)
- [10] <https://bs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Celik>

## **PRILOZI**

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



Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije	Masa
31	Vijak	4	DIN 933	5.6	M5x25	35 g
30	Matica	4	DIN 934	8	M10	30 g
29	Vijak	4	DIN 933	5.6	M10x45	25 g
28	Matica	4	DIN 934	8	M5	25 g
27	Matica	16	DIN 934	8	M16	50 g
26	Vijak	8	DIN 933	5.6	M5x20	30 g
25	Vijak	16	DIN 933	5.6	M16x45	65 g
24	Podsklop 3	1				
23	Podsklop 2	1				
22	Podsklop 1	1				
21	Postolja hidrauličkog cilindra	2		St33	450x450x10	15 kg
20	Pločica za odbojnice	1		St33	444x15x200	7 kg
19	Spojnica	2		St33	260x60x75	2.4 kg
18	Uška 2	2		St33	100x130x130	2.7 kg
17	Uška 1	2		St33	100x80x118	2.5 kg
16	Svornjak s osiguračem	2	DIN 938	Čelik	$\phi 25 \times 100$	1 kg
15	Svornjak opruge	1	DIN 7	Čelik	$\phi 16 \times 96$	0.8 kg
14	Vilica opruge	1		St44	120x96x40	1.2 kg
13	Uška hidrauličkog cilindra	2		St44	250x200x200	30 kg
12	Svornjak hidrauličkog cilindra	4	DIN 7	St44	$\phi 30 \times 250$	5 kg
11	Hidraulički cilindar	2			$\phi 60 \times 1100$	23 kg
10	Mehanički odbojnik	2			$\phi 45 \times 240$	7 kg
9	Glavna osovina	1		42CrMo4	$\phi 80 \times 490$	15 kg
8	Osovina šarke	2		42CrMo4	$\phi 85 \times 400$	15 kg
7	Krilo šarke 2	2		St44	200x400	10 kg
6	Krilo šarke 1	2		St44	200x400	10 kg
5	Vlačna opruga	1		C75	3000x120	120 kg
4	Greda 3	1		St52-3	6500x450x400	0.8 t
3	Greda 2	1		St52-3	5500x450x400	0.9 t
2	Greda 1	1		St52-3	11000x450x400	1.8 t
1	Nosač platforme za lansiranje	2		St52-3	2000x400x750	300 kg

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektiroao				
Razradio				
Crtao			Ivan Banožić	
Pregledao				

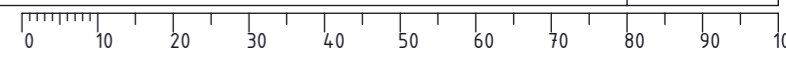
  

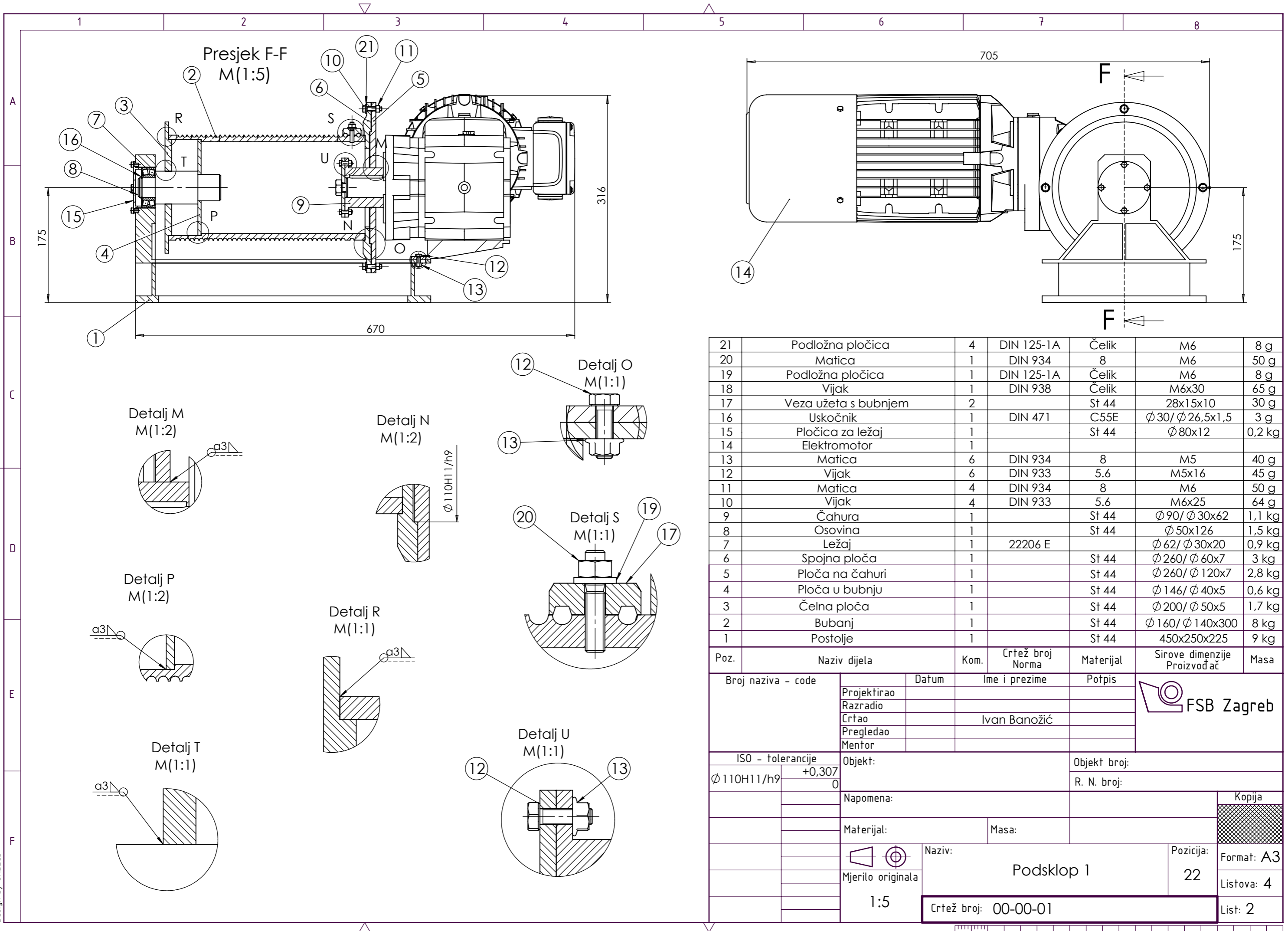
ISO - tolerancije		Objekt:	Objekt broj:
$\phi 85H7/r6$	-0,016 -0,086	$\phi 115H8/f8$	+0,144 +0,036
$\phi 25H7/h6$	+0,034 0	$\phi 115H7/u6$	-0,109 -0,166
$\phi 80H7/u6$	-0,072 -0,121	$\phi 30H7/u6$	-0,027 -0,061
		$\phi 30H8/f8$	+0,086 +0,020
		$\phi 25H7/g6$	+0,041 +0,007
		$\phi 80H8/f8$	+0,122 +0,030

Materijal:	Masa:	Naziv:	Pozicija:
		Katapult za dronove	Format: A2
		Mjerilo originala	Listova: 4
		1:50	List: 1
		Crtež broj: 00-00-00	

Design by CADLab

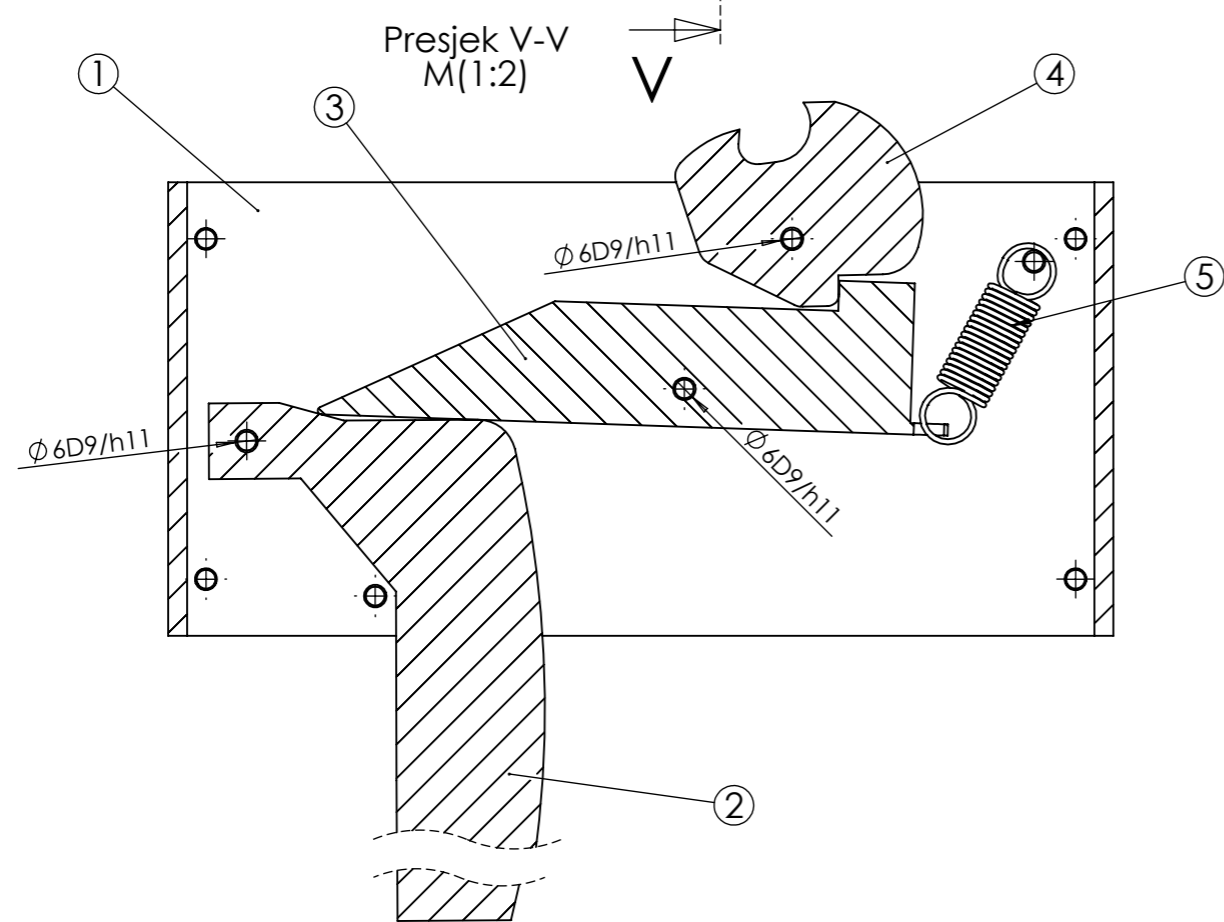
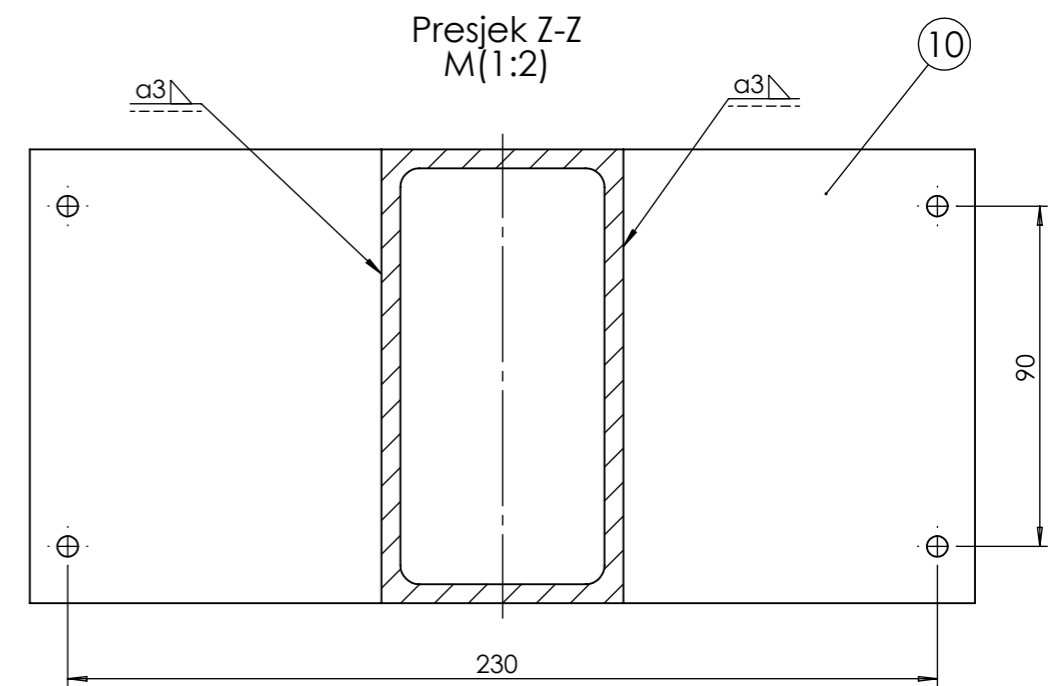
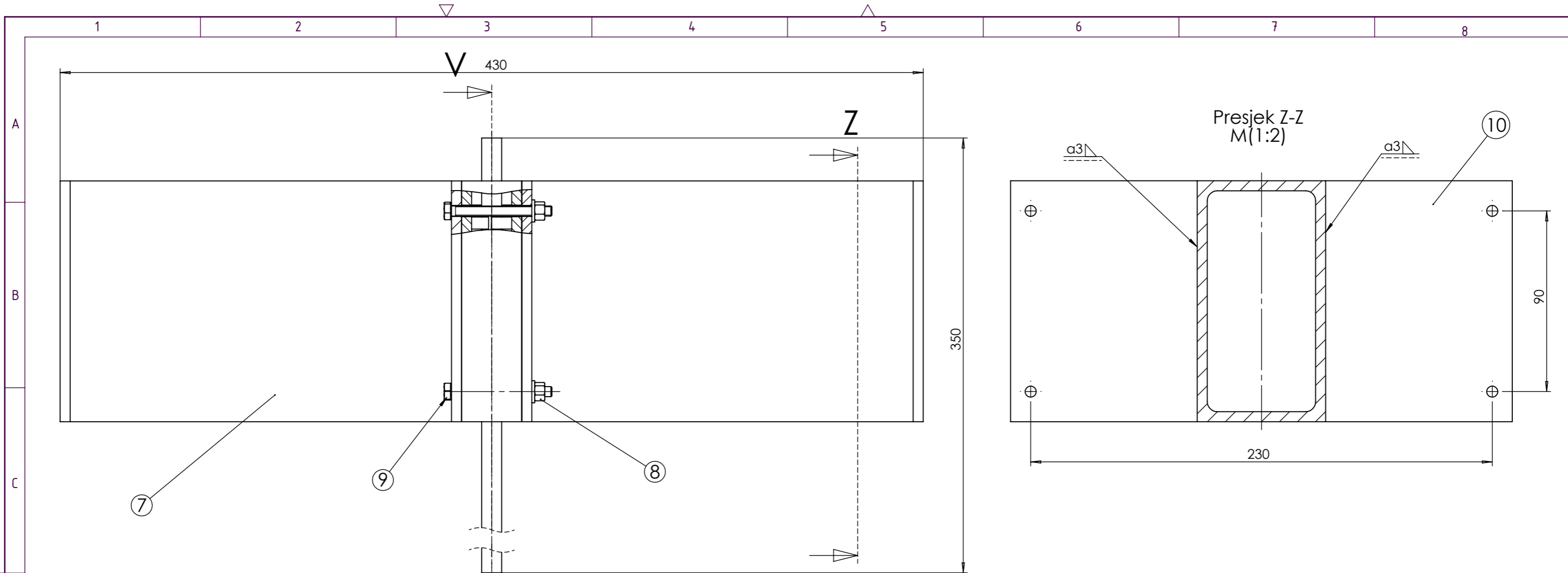




21	Podložna pločica	4	DIN 125-1A	Čelik	M6	8 g
20	Matica	1	DIN 934	8	M6	50 g
19	Podložna pločica	1	DIN 125-1A	Čelik	M6	8 g
18	Vijak	1	DIN 938	Čelik	M6x30	65 g
17	Veza užeta s bubnjem	2		Št 44	28x15x10	30 g
16	Uskočnik	1	DIN 471	C55E	Ø 30/ Ø 26,5x1,5	3 g
15	Pločica za ležaj	1		Št 44	Ø 80x12	0,2 kg
14	Elektromotor	1				
13	Matica	6	DIN 934	8	M5	40 g
12	Vijak	6	DIN 933	5,6	M5x16	45 g
11	Matica	4	DIN 934	8	M6	50 g
10	Vijak	4	DIN 933	5,6	M6x25	64 g
9	Čahura	1		Št 44	Ø 90/ Ø 30x62	1,1 kg
8	Osovina	1		Št 44	Ø 50x126	1,5 kg
7	Ležaj	1	22206 E		Ø 62/ Ø 30x20	0,9 kg
6	Spojna ploča	1		Št 44	Ø 260/ Ø 60x7	3 kg
5	Ploča na čahuri	1		Št 44	Ø 260/ Ø 120x7	2,8 kg
4	Ploča u bubnju	1		Št 44	Ø 146/ Ø 40x5	0,6 kg
3	Čelna ploča	1		Št 44	Ø 200/ Ø 50x5	1,7 kg
2	Bubanj	1		Št 44	Ø 160/ Ø 140x300	8 kg
1	Postolje	1		Št 44	450x250x225	9 kg

Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
Projektirao						
Razradio						
Crtao			Ivan Banožić			
Pregledao						
Mentor						
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
Ø 110H11/h9	+0,307 0			R. N. broj:		
		Napomena:		Kopija		
		Materijal:		Masa:		
		Naziv:		Pozicija:		
		Mjerilo originala		22		
		1:5		Naziv: Podsklop 1		Format: A3
		Crtež broj: 00-00-01				Listova: 4
						List: 2

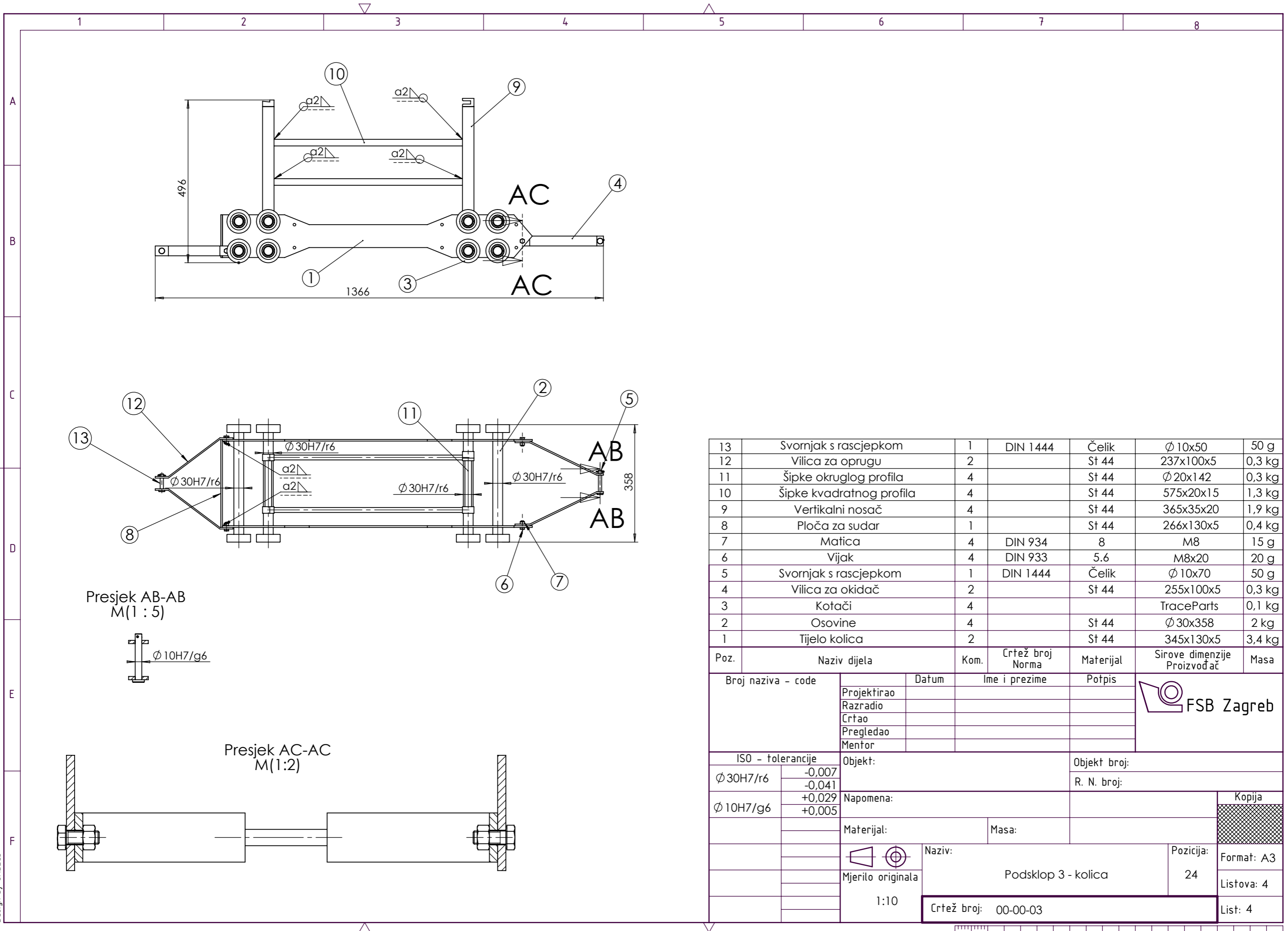
Design by CADLab



10	Pločica za montiranje	4		St 44	250x120x5	1,5 kg
9	Matica	4	DIN 934	8	M5	6 g
8	Vijak	4	DIN 933	5.6	M5x45	8 g
7	Nosač	2		St 44	200x250x120	2,3 kg
6	Svornjak bez glave	5	DIN 1434	C45	$\phi 6x30$	30 g
5	Vlačna opruga	1	DIN 17223	C75	$\phi 15x55$	0,1 kg
4	Kuka	1		St 44	65x10x55	0,2 kg
3	Zadržlač	1		St 44	165x10x40	0,3 kg
2	Poluga	1		St 44	80x10x270	0,7 kg
1	Kućište	1		St 44	250x30x120	2,5 kg

Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
Projektirao						
Razradio						
Crtao			Ivan Banožić			
Pregledao						
Mentor						
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
$\phi 6D9/h11$	+0,135 +0,030			R. N. broj:		
Napomena:				Kopija		
Materijal:		Masa:				
Mjerilo originala		Naziv:				
1:2		Podsklop 2 - okidač		23		Format: A3
Crtež broj: 00-00-02						Listova: 4
						List: 3





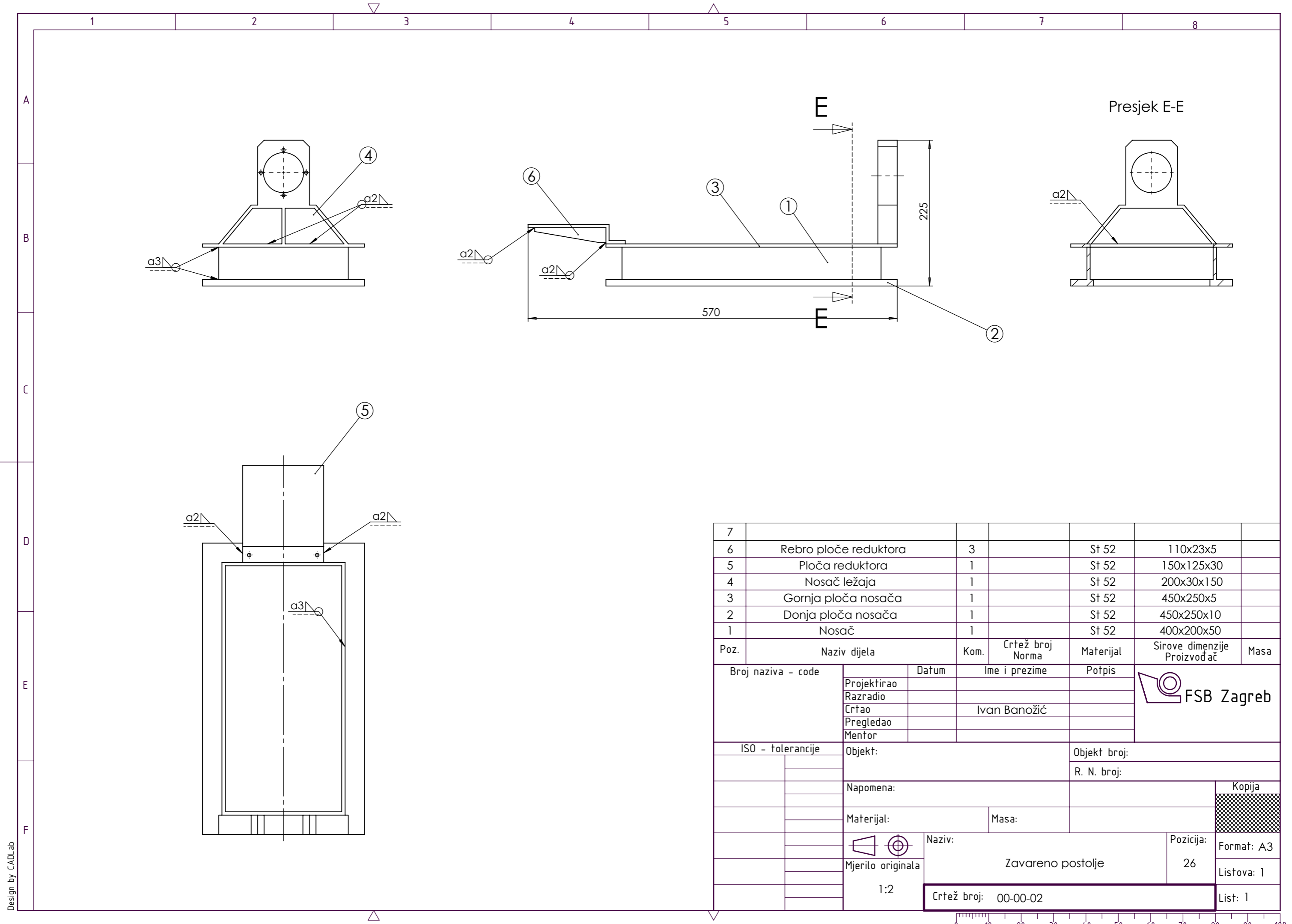
13	Svornjak s rascjepkom	1	DIN 1444	Čelik	Ø 10x50	50 g
12	Vilica za oprugu	2		St 44	237x100x5	0,3 kg
11	Šipke okruglog profila	4		St 44	Ø 20x142	0,3 kg
10	Šipke kvadratnog profila	4		St 44	575x20x15	1,3 kg
9	Vertikalni nosač	4		St 44	365x35x20	1,9 kg
8	Ploča za sudar	1		St 44	266x130x5	0,4 kg
7	Matica	4	DIN 934	8	M8	15 g
6	Vijak	4	DIN 933	5.6	M8x20	20 g
5	Svornjak s rascjepkom	1	DIN 1444	Čelik	Ø 10x70	50 g
4	Vilica za okidač	2		St 44	255x100x5	0,3 kg
3	Kotači	4			TraceParts	0,1 kg
2	Osovine	4		St 44	Ø 30x358	2 kg
1	Tijelo kolica	2		St 44	345x130x5	3,4 kg

Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
Projektirao						
Razradio						
Crtao						
Pregledao						
Mentor						
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
Ø 30H7/r6	-0,007 -0,041			R. N. broj:		
Ø 10H7/g6	+0,029 +0,005	Napomena:				
Materijal:		Masa:				
Mjerilo originala		Naziv:		Pozicija:		<div style="background-color: #cccccc; width: 20px; height: 20px; display: inline-block;"></div>
1:10		Podsklop 3 - kolica		24		
		Crtež broj: 00-00-03		List: 4		



Design by CADLab





7						
6	Rebro ploče reduktora	3		St 52	110x23x5	
5	Ploča reduktora	1		St 52	150x125x30	
4	Nosač ležaja	1		St 52	200x30x150	
3	Gornja ploča nosača	1		St 52	450x250x5	
2	Donja ploča nosača	1		St 52	450x250x10	
1	Nosač	1		St 52	400x200x50	
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
Projektirao						
Razradio						
Crtao			Ivan Banožić			
Pregledao						
Mentor						
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
				R. N. broj:		
		Napomena:			Kopija	
		Materijal:		Masa:		
		Naziv:			Pozicija:	
		Zavareno postolje			26	
		Crtež broj: 00-00-02			List: 1	

Design by CADLab

