

Stroj za uklanjanje loših zrna graha

Varović, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:235:847105>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-05**

Repository / Repozitorij:

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



FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

ZAVRŠNI RAD

Antonio Varović

Zagreb, 2024.

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Željko Šitum, dipl.ing.

Student:

Antonio Varović

Zagreb, 2024.

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

Uvelike se zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Željku Šitumu na stručnoj pomoći, materijalima koji su korišteni u radu i ukazanoj prilici da se ovakav rad realizira.

Zahvaljujem se i svojoj obitelji na ukazanom strpljenju i potpori tokom svih godina školovanja.

Antonio Varović

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	V
SAŽETAK	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD	1
2. PROJEKTIRANJE I MODELIRANJE KONSTRUKCIJE	3
2.1. Pneumatski sustav	3
2.1.1. Brzi MATRIX ventil	4
2.2. Transportni sustav	6
2.3. Aditivna proizvodnja	7
2.3.1. 3D printer – Ender 3 V2	9
2.4. 3D model konstrukcije	10
2.4.1. Iteracije modela konstrukcije	11
2.4.2. Konačan model konstrukcije	12
3. IZRADA MODELA	13
3.1. Mehanizam transportne trake	13
3.2. Odabir transportne trake	17
3.3. Planiranje trajektorije i putanje zrna	18
3.4. Izrada spremnika i kućišta kamere	20
3.5. Dozator zrna	22
3.6. Pregrade	24
3.7. Konačan izgled	25
4. UPRAVLJANJE SUSTAVA	26
4.1. Doziranje zrna iz spremnika	26
4.1.1. Koračni motor	26

4.2.	Dozator zrna.....	30
4.2.1.	Ultrazvučni senzor.....	31
4.3.	Pogon transportne trake.....	32
4.3.1.	Istosmjerni motor	32
4.3.2.	Remenica i remen.....	38
4.3.3.	Infracrveni senzor.....	41
4.3.4.	Enkoder i potenciometar.....	42
4.3.5.	Upravljanje koračnim motorom	44
4.4.	Kamera	45
4.4.1.	Globalni ili valjajući okidač.....	45
4.4.2.	Kamera Arducam CMOS AR0134	46
4.5.	Upravljački uređaj Controllino MAXI.....	47
4.6.	Napajanje sustava.....	49
5.	KLASIFIKACIJA ZRNA	51
5.1.	Problematika prepoznavanja loših zrna.....	51
5.2.	Neuronske mreže.....	52
5.2.1.	Povratno učenje.....	53
5.3.	Konvolucijske neuronske mreže	55
6.	ZAKLJUČAK	57
7.	LITERATURA	59
8.	PRILOZI	63

POPIS SLIKA

Slika 1. Industrijska automatizirana sortirница.....	2
Slika 2. Brzi MATRIX ventil [2]	4
Slika 3. NC konfiguracija ventila[2]	4
Slika 4. NO konfiguracija ventila[2]	4
Slika 5. Dijelovi transportne trake[3]	7
Slika 6. FDM aditivna proizvodnja[4].....	8
Slika 7. Ender 3 V2 [6].....	9
Slika 8. Prvi model konstrukcije	11
Slika 9. Drugi model konstrukcije.....	11
Slika 10. Treći model konstrukcije.....	12
Slika 11. Konačan model konstrukcije	12
Slika 12. Konstrukcija transportne trake	14
Slika 13. Sklapanje i centriranje valjka	14
Slika 14. Ležaj UCFL 203[8].....	15
Slika 15. Mjere ležaja UFCL 203[8]	15
Slika 16. Mehanizam pritezanja trake	16
Slika 17. Putanja zrna graha – bočni pogled.....	18
Slika 18. Putanja zrna graha - pogled odozgo.....	19
Slika 19. Nacrt spremnika.....	20
Slika 20. Spremnik zrna.....	21
Slika 21. Komora s difuzorima svjetlosti	22
Slika 22. Dozator sa priključnim dijelovima	22
Slika 23. Dozator sa pripadnim dijelovima	23
Slika 24. Dozator – pogled odozgo	23
Slika 25. Usmjeravanje zrna pregradama	24
Slika 26. Konačan izgled - pogled 1.....	25
Slika 27. Konačan izgled - pogled 2.....	25
Slika 28. Mehanizam otvaranja spremnika.....	26
Slika 29. Koračni motor[9]	27
Slika 30. Princip rada koračnog motora u punom koraku[10]	28
Slika 31. Princip rada koračnog motora u polu-koračnom načinu[10]	28
Slika 32. Shema ožičenja koračnog motora Nema 17[9]	29

Slika 33. Pozicioniranje senzora	30
Slika 34. Ultrazvučni senzor[13].....	31
Slika 35. Ultrazvučni valovi[13].....	31
Slika 36. Dijelovi istosmjernog motora[15].....	33
Slika 37. Istosmjerni motor[14]	33
Slika 38. Modul drivera BTS7960[16].....	34
Slika 39. Pulsno širinska modulacija[18]	36
Slika 40. Zupčasti remen i remenice[21].....	40
Slika 41. Dimenzije remenica	40
Slika 42. Infracrveni senzor[23].....	41
Slika 43. Princip rada IR senzora[23].....	42
Slika 44. Enkoder KY-040[24]	43
Slika 45. Generiranje impulsa enkodera[25]	43
Slika 46. Određivanje smjera vrtnje enkodera[25].....	44
Slika 47. Driver za koračni motor A4988 [26]	44
Slika 48. Globalni i valjajući okidač - primjer 1[28]	46
Slika 49. Globalni i valjajući okidač - primjer 2[29]	46
Slika 50. Arducam CMOS AR0134[31].....	47
Slika 51. Controllino MAXI[32].....	48
Slika 52. Napajanje Mean Well NDR-75-12 [36].....	49
Slika 53. Napajanje Mean Well NDR-120-24 [35].....	50
Slika 54. Zrna graha klase : dobra.....	51
Slika 55. Detekcija loših zrna graha	51
Slika 56. Struktura neuronskih mreža[40]	52
Slika 57. Povratno i unaprijedno učenje[40].....	53
Slika 58. Minimizacija funkcije gubitka[42]	54
Slika 59. Jedna od mogućih struktura konvolucijskih mreža[43]	55
Slika 60. Detekcija značajki filtera po slojevima[43]	56
Slika 61. Princip mapiranja filtera[43]	56

POPIS TABLICA

Tablica 1. Specifikacije MATRIX ventila[2]	5
Tablica 2. Specifikacije 3D printera[7]	10
Tablica 3. Mjere ležaja[8]	15
Tablica 4. Tehničke specifikacije odabrane trake	17
Tablica 5. Tehničke specifikacije koračnog motora[9]	29
Tablica 6. Tehničke specifikacije odabranog istosmjernog motora[14].....	33
Tablica 7. Tehničke specifikacije drivera BTS7960[17].....	35
Tablica 8. Dimenzije remenica	40
Tablica 9. Specifikacije kamere Arducam AR0134[31].....	47
Tablica 10. Tehničke specifikacije Controllina[33]	48
Tablica 11. Potrebna napajanja komponenata.....	49
Tablica 12. Tehničke specifikacije napajanja[34].....	50
Tablica 13. Tehničke specifikacije napajnja[35]	50

SAŽETAK

Ovaj završni rad predstavlja detaljnu realizaciju stroja za sortiranje loših zrna graha, s ciljem postizanja iste funkcionalnosti kao i skupih industrijskih sortirnica, ali po pristupačnoj cijeni. Kroz opis svake komponente i njenog principa rada, omogućuje se razumijevanje kompletnog sustava. Uključujući skice i slike, nastoji se dodatno pojasniti složeniji dijelovi za potrošače. Na kraju, ističu se potencijalna poboljšanja sustava i načine za njihovu realizaciju.

Cilj je stvoriti stroj koji će biti financijski pristupačan, visoko precizan te koji će u potpunosti zamijeniti ljudski rad. S obzirom na to da su industrijske sortirnice skupe i nedostupne za mnoge, ovaj projekt otvara mogućnost da mala i srednja poduzeća ili čak poljoprivrednici imaju pristup ovoj tehnologiji. Uz to, automatizacija procesa osigurava povećanje učinkovitosti i smanjenje grešaka koje bi mogle biti uzrokovane ljudskim faktorom.

Ključne riječi: sortiranje zrna graha, pneumatika, transportna traka, konvolucijske neuronske mreže, strojno učenje

SUMMARY

This undergraduate thesis represents a detailed realization of a machine for sorting defective beans, with the aim of achieving the same functionality as expensive industrial sorting machines, but at an affordable price. Through the description of each component and its working principle, it is possible to understand the complete system. By including sketches and pictures, it tries to further clarify the more complex parts for consumers. Finally, potential system improvements and ways to implement them are highlighted.

The goal is to create a machine that will be financially accessible, highly precise and that will completely replace human work. Considering that industrial sorters are expensive and inaccessible to many, this project opens up the possibility for small and medium-sized enterprises or even farmers to have access to this technology. In addition, process automation ensures an increase in efficiency and a reduction in errors that could be caused by the human factor.

Keywords: bean sorting, pneumatics, conveyor belt, convolutional neural networks, machine learning

1. UVOD

U današnjem svijetu, industrija hrane igra ključnu ulogu u osiguravanju dovoljne opskrbe za sve nas. No, unatoč napretku tehnologije, postojeći procesi u proizvodnji hrane često su opterećeni brojnim izazovima koji zahtijevaju velike ljudske napore. Jedan od takvih izazova je sortiranje zrna graha, vitalnog sastojka u mnogim prehrambenim proizvodima, poput juha, salata i raznih jela. Razvrstavanje zrna graha tradicionalno je dugotrajan i monoton proces koji zahtijeva angažman ljudske radne snage. Radnici moraju pažljivo pregledavati svako zrno kako bi odvojili dobre od loših, što može biti umarajuće i neprecizno. Osim toga, ovakvi postupci mogu biti skloni ljudskim pogreškama, što može rezultirati gubitkom kvalitetnih resursa i smanjenjem produktivnosti. Uz to, korištenje tradicionalnih strojeva za sortiranje zrna graha često nije financijski održivo za mnoge manje ili srednje velike proizvođače hrane. Cijena i složenost takvih strojeva mogu biti preveliki teret za ulaganje ili najam, posebno u ekonomski izazovnim vremenima. Upravo iz ovih razloga, razvoj inovativnih tehnoloških rješenja postaje ključan za unapređenje procesa sortiranja zrna graha.

U skladu s tim, nastala je ideja da se projektira i realizira stroj za sortiranje zrna graha koji koristi napredne tehnike konvolucijskih neuronskih mreža koje su samo jedan od mnogih modela dubokog učenja. Ovaj stroj predstavlja revolucionarni korak naprijed u industriji prerade hrane, jer automatski i precizno razdvaja dobra i loša zrna graha, oslobađajući ljude od monotonih i zahtjevnih zadataka. Implementacija ovog sustava donosi niz prednosti. Prije svega, osigurava dosljednu i pouzdanu kvalitetu sortiranja, eliminirajući ljudske pogreške i povećavajući produktivnost. Također, smanjuje potrebu za ljudskom radnom snagom, čime se oslobađaju resursi i smanjuju troškovi proizvodnje. Osim toga, pristupačnost ovog sustava omogućuje i manjim proizvođačima da iskoriste prednosti moderne tehnologije bez prevelikih financijskih investicija. Ukratko, stroj za sortiranje zrna graha predstavlja inovativno rješenje za poboljšanje učinkovitosti i kvalitete u industriji prerade hrane. Ovaj stroj ne samo da olakšava posao ljudima, već i otvara put ka modernizaciji i optimizaciji proizvodnih procesa. Iako već postoje industrijske automatizirane sortirnice koje sortiraju i nekoliko tona zrna u satu i to različite vrste plodova kao što su lješnjaci, bademi, riža itd. Industrijska sortirnica je skupa i može biti nepotreban luksuz za manje zahtjevne potrebe. Samostalno izrađena sortirnica može zadovoljiti osnovne potrebe, uz manje financijskih izdataka. Jedna od takvih industrijskih sortirnica je i na slici 1.



Slika 1. Industrijska automatizirana sortirnica

Unatoč postignutim napretcima, daljnji razvoj ove tehnologije je itekako moguć. Neprestani napredak u području umjetne inteligencije, posebice u području dubokog učenja, omogućava poboljšanje performansi konvolucijskih neuronskih mreža u prepoznavanju i razvrstavanju zrna graha. Osim toga, moguće su optimizacije u hardverskim i softverskim komponentama stroja koje bi dodatno povećale brzinu, točnost i učinkovitost sortiranja. Pitanje daljnjeg razvoja također uključuje istraživanje i implementaciju održivijih pristupa u proizvodnji hrane. Moguće su inovacije u korištenju ekološki prihvatljivih materijala za izgradnju strojeva, smanjenje potrošnje energije tijekom procesa sortiranja te optimizacija resursa kako bi se smanjio ukupni ekološki otisak. Nadalje, daljnji razvoj u smislu pristupačnosti ove tehnologije može omogućiti njen širi spektar primjena u različitim sektorima prehrambene industrije, uključujući male farme i lokalne proizvođače hrane. Ova tehnologija može postati standardni alat u preradi hrane, pružajući koristi u uštedi vremena, smanjenju troškova i poboljšanju kvalitete proizvoda. U konačnici, mogućnosti daljnjeg razvoja u području sortiranja zrna graha pomoću algoritama dubokog učenja su brojne. Sve veći fokus na tehnološki napredak i inovacije u industriji hrane jamči da će ova tehnologija nastaviti evoluirati i pružati sve veće koristi kako proizvođačima hrane, tako i potrošačima.

2. PROJEKTIRANJE I MODELIRANJE KONSTRUKCIJE

2.1. Pneumatski sustav

Pneumatika je tehnička disciplina koja se bavi proučavanjem primjene komprimiranog zraka ili drugih plinova u pokretanju mehaničkih sustava. Koristi se za kontrolu pokreta, prijenos snage i izvođenje raznih radnji u industriji, automatizaciji, transportu i drugim područjima. Prednosti pneumatike naspram hidraulike posebno su izražene u finim projektima gdje je potrebna čistoća, kao što su industrija hrane, medicina ili farmaceutika. Pneumatski sustavi koriste komprimirani zrak koji je čist i nekontaminiran, što je posebno važno u okruženjima gdje je potrebna visoka higijena. Za razliku od hidrauličkih tekućina koje mogu sadržavati ulja ili druge nečistoće, komprimirani zrak neće kontaminirati proizvode ili radni okoliš. Također, pneumatika ne zahtijeva upotrebu tekućina, čime se eliminira potreba za skladištenjem ili rukovanjem s kemikalijama, uljima ili drugim tekućinama, što smanjuje rizik od curenja ili onečišćenja radnog okoliša. Pneumatski sustavi često zahtijevaju manje održavanja od hidrauličkih sustava jer ne sadrže pokretne dijelove u tekućinama koji su podložniji trošenju ili curenju. Ovo smanjuje potrebu za čestim održavanjem i popravcima, što rezultira manjim troškovima održavanja. Osim toga, pneumatika omogućuje bržu reakciju i veću preciznost u usporedbi s hidrauličkim sustavima, što je ključno u aplikacijama koje zahtijevaju brze pokrete i visoku preciznost. Komprimirani zrak je također ekološki prihvatljiviji izvor energije od hidrauličkih tekućina, što doprinosi smanjenju negativnog utjecaja na okoliš. U finim projektima gdje je potrebna visoka čistoća i preciznost, kao što su proizvodnja hrane, farmaceutska industrija ili proizvodnja poluvodiča, pneumatika se često preferira zbog svoje pouzdanosti, jednostavnosti održavanja i ekološke prihvatljivosti. Upravo zbog svih tih brojnih prednosti pneumatike, odabrana je kao način za uklanjanje loših zrna graha gdje je potrebna brzina, preciznost i čistoća u okruženju hrane. Izbacivanje svih loših zrna graha će se izvršavati pomoću brzog MATRIX ventila koji ima više izlaza što omogućava još veću fleksibilnost po pitanju nadogradnje samog stroja tj. sustava.

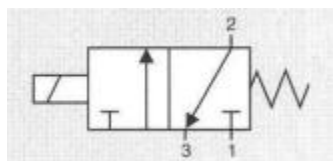
2.1.1. Brzi MATRIX ventil

Za potrebe završnog rada odabran je Matrix ventil oznake HX758.8E2C324, prikazan na slici 2, kojemu je primjena moguća u uređajima za kontrolu tlaka i protoka, sustavima s naglaskom na pozicioniranje, industrijskoj automatizaciji, sustavima za precizno pozicioniranje itd. U ovom završnom radu, uloga Matrix ventila će biti izbacivanje loših zrna graha na kraju transportne trake, kada je već zrno prošlo kroz proces detekcije i prepoznavanja nesavršenosti.

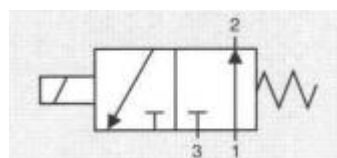


Slika 2. Brzi MATRIX ventil [2]

Serijska 750 u jednom kućištu obuhvaća osam nezavisnih priključaka u NC (normalno zatvoreno, eng. *Normally Closed*) ili NO (normalno otvoreno, eng. *Normally Opened*) konfiguraciji. Simboli NC i NO kontakata su prikazani na slikama 3 i 4.



Slika 3. NC konfiguracija ventila[2]



Slika 4. NO konfiguracija ventila[2]

Za seriju 750, multifunkcionalnih ventila, dostupno je mnogo dodataka, poput konektora IP 52 ili IP 56, raznih položaja i tiskana pločica za brzinsko upravljanje koje je još brže od običnog upravljanja ventilom bez odgovarajuće tiskane pločice. Glavne specifikacije ventila HX758.8E2C324, korištenog u radu, su dane u tablici 1.

Tablica 1. Specifikacije MATRIX ventila[2]

<i>Oznaka</i>	<i>Tehnička specifikacija</i>	<i>Iznos</i>
H	Protok	50NI/min
X75	-	-
8	Broj izlaza	8
8	Broj električnih naredbi	8
E	Konektori	IP 52 - IP 65
2	Radni tlak	4 – 8 bara
C	Konfiguracija	NC
3	Tip	3/2
24	Napajnje	24VDC

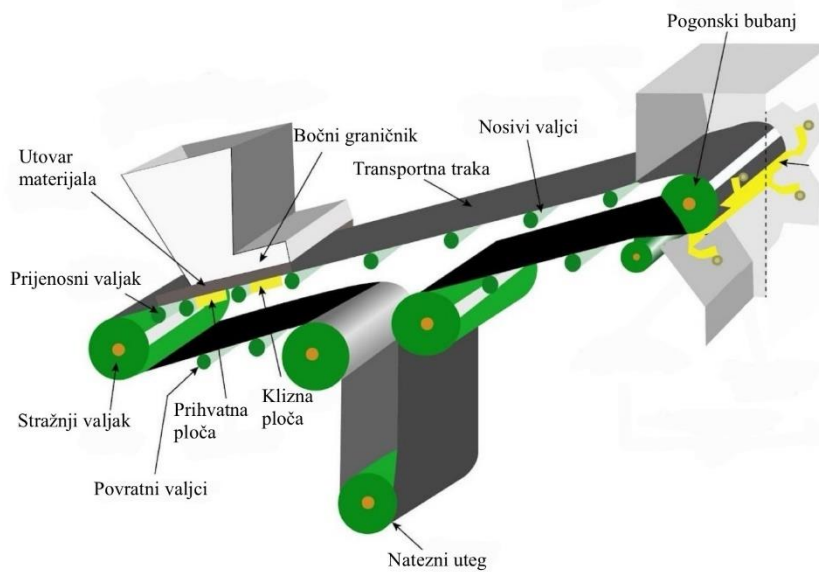
Neke od specifikacija koje vrijede za cijelu seriju 750 ventila:

- Odziv ventila tijekom otvaranja manji od 7ms
- Odziv ventila tijekom zatvaranja manji od 3ms
- Maksimalna radna frekvencija od 200Hz
- Maksimalni protok zraka 80 NI/min
- Radno područje 4-8 bara
- Težina ventila oko 350 grama
- Do osam nezavisnih izlaza

Za potrebe ovog završnog rada koriste se samo četiri izlaza ventila jer zrna graha dolaze transportnom trakom ispred kamere u četiri reda. Ostalih četiri izlaza ostavlja velik prostor za napredak i poboljšanje sustava, ako se planira uvesti detekcija i klasifikacija loših zrna u više od četiri reda.

2.2. Transportni sustav

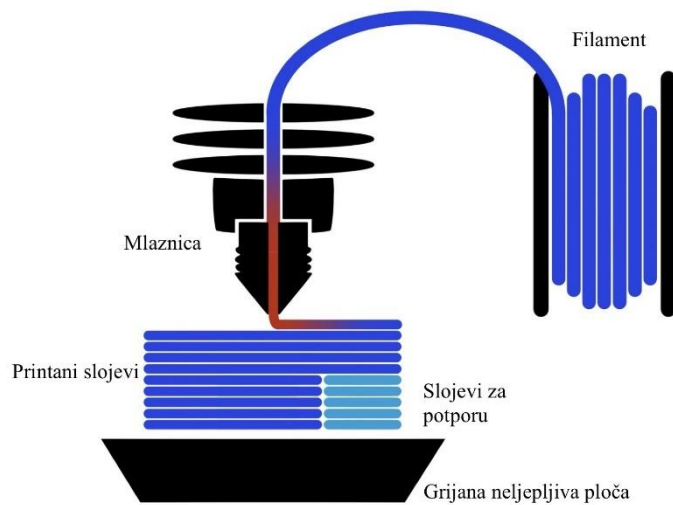
Transportna traka je mehanički uređaj koji se koristi za prijenos materijala ili predmeta s jednog mjesta na drugo. Ovaj sustav omogućuje učinkovito premještanje tereta bez potrebe za ručnim ili individualnim prijenosom. Princip rada transportne trake temelji se na rotirajućem remenu ili traci koja se pokreće s pomoću motora ili drugog aktuatora. Kada se traka pokrene, predmeti postavljeni na nju kreću se duž njezine duljine. Ovisno o dizajnu, transportna traka može imati različite funkcije i karakteristike, uključujući promjenjivu brzinu, smjer kretanja i nosivost. Ključan je mehanizam za zatezanje trake kako bi se osiguralo dovoljno trenja između trake i pogonskog bubnja kada je traka pod opterećenjem predmeta koji se transportiraju. Također, materijal same trake je važan čimbenik za pokretnu traku, koji se bira s obzirom na izradak koji se prenosi. Ukratko, pokretna traka mora biti konstruirana tako da je sigurna, energetski učinkovita, pouzdana, prilagodljiva na promjenu uvjeta primjene i ekonomična[3]. Materijali se mogu postaviti ručno ili automatski na početku trake, dok se na kraju trake može postaviti određeno ili drugi sustav za daljnju obradu ili distribuciju. Transportne trake igraju ključnu ulogu u različitim industrijama i svakodnevnim aktivnostima, pružajući niz koristi ljudima. Na primjer, u industrijskim pogonima, transportne trake omogućuju brži i učinkovitiji prijenos sirovina ili gotovih proizvoda, povećavajući produktivnost i smanjujući potrebu za ručnim radom. U logistici i distribuciji, transportne trake olakšavaju sortiranje i distribuciju robe, ubrzavajući procese isporuke i optimizirajući lanac opskrbe. Princip i dijelovi jednog transportnog sustava su prikazani na slici 5. Pri odabiru transportne trake, što se tiče problematike završnog rada, mora se uzeti u obzir da se odabere prikladan materijal trake koji odgovara prehrambenim zahtjevima pošto se radi o grahu koji će se najvjerojatnije i konzumirati. Odabir i sam mehanizam cijelog transportnog sustava je opisan u poglavlju 3.



Slika 5. Dijelovi transportne trake[3]

2.3. Aditivna proizvodnja

Aditivna proizvodnja, poznata i kao 3D printanje, revolucionarna je tehnologija koja omogućuje izradu trodimenzionalnih objekata sloj po sloj. Umjesto tradicionalnog oduzimanja materijala, kao što je to slučaj u klasičnoj obradi, aditivna proizvodnja dodaje materijal kako bi stvorila željeni oblik proizvoda. Ova tehnologija pruža širok spektar mogućnosti u mnogim industrijama, uključujući inženjerstvo, medicinu, arhitekturu, modu i umjetnost. Fused Deposition Modeling (FDM) je jedna od najpopularnijih tehnika aditivne proizvodnje. Kod FDM-a, termoplastični filament se zagrijava i istiskuje kroz mlaznicu na print platformu, gdje se materijal polako hladi i stvara slojevitú strukturu željenog objekta. Ova tehnika je popularna zbog svoje jednostavnosti, pristupačnosti i široke dostupnosti materijala. Različiti filament koriste se u FDM procesu, svaki s različitim karakteristikama i svojstvima. Neki od najčešće korištenih materijala uključuju PLA (eng. *polylactic acid*), ABS (akrilonitril butadien stiren), PETG (glikolizirani polietilentereftalat) i TPU (termoplastični poliuretan). Svaki filament ima svoje prednosti i nedostatke, ovisno o potrebama i zahtjevima specifične aplikacije[5]. Princip FDM aditivne proizvodnje se nalazi na slici 6.

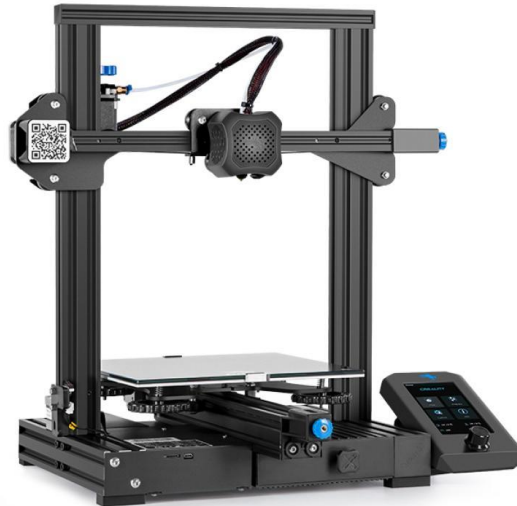


Slika 6. FDM aditivna proizvodnja[4]

PLA filament je jedan od najpopularnijih materijala za FDM 3D printanje. Također je dostupan u širokom spektru boja i pogodan je za tiskanje, što ga čini popularnim izborom za širok raspon aplikacija, uključujući prototipiranje, umjetnost i obrt, te obrazovne svrhe. Prednosti PLA filamenata uključuju visoku čvrstoću i tvrdoću, nisku sklonost iskrivljenju tijekom printanja, niske emisije mirisa i sigurnost za korištenje u okolini koja nije dobro ventilirana[5]. Iako ima neke nedostatke, kao što su niža temperatura, otpornost i krhkost, njegove prednosti čine ga idealnim materijalom za širok spektar aplikacija u aditivnoj proizvodnji. Konstrukcija stroja za sortiranje zrna graha će se upotpuniti sitnim, ali ne manje važnim plastičnim dijelovima, koji će prvo biti modelirani u programu Solidworks, nakon toga biti prebačeni u program za generiranje G-koda (kod koji sadrži sve naredbe koje 3D printeri izvršavaju da izrade funkcionalni dio) Cura. Zatim će biti isprintani na 3D printeru Ender 3 V2 uz pomoć PLA materijala različitih boja.

2.3.1. 3D printer – Ender 3 V2

Printer koji se koristi za potrebe aditivne proizvodnje završnog rada je Creality Ender 3 V2 koji je prikazan na slici 7.



Slika 7. Ender 3 V2 [6]

Ovaj 3D printer također dolazi s nekoliko značajki koje poboljšavaju njegov rad i uporabu. Neke od značajki je tihi rad koračnih motora koji smanjuju buku tijekom rada, automatskog niveliranja radne ploče kako bi se olakšalo postavljanje taljenog materijala na istu, te poboljšanog ekstrudera za bolju kontrolu protoka materijala. Ender 3 V2 je kompatibilan s različitim vrstama filameta, uključujući PLA, ABS, PETG i TPU, što korisnicima pruža širok izbor materijala za printanje. Također podržava različite softverske platforme za upravljanje i pripremu printanja, poput Cura, Simplify3D i OctoPrint. Neke od bitnih specifikacija 3D printera prikazane u tablici 2.

Tablica 2. Specifikacije 3D printera[7]

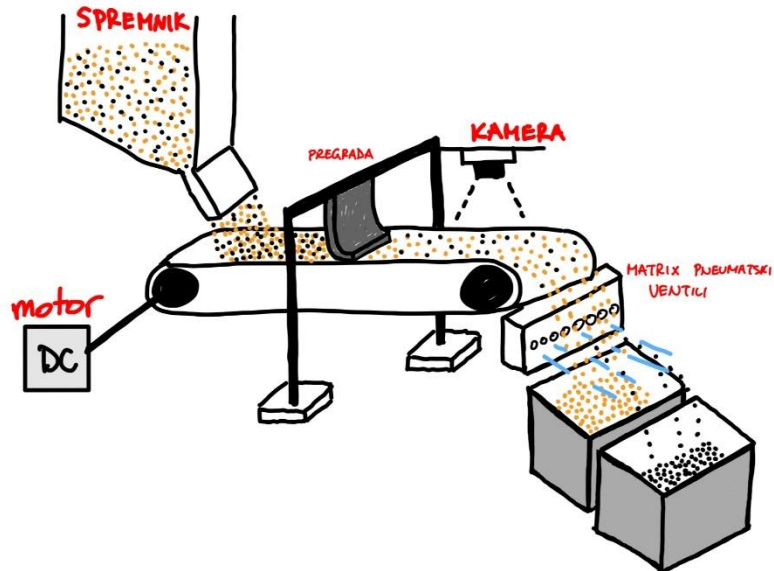
<i>Tehnička specifikacija</i>	<i>Iznos</i>
Radni volumen	220 x 220 x 250mm
Tehnologija printanja	Fused Deposition Modeling (FDM)
Vrsta ekstrudera	Jednostruki ekstruder
Maksimalna temperatura ekstrudera	260°C
Maksimalna temperatura radne ploče	100°C
Materijali za printanje	PLA, ABS, PETG, TPU i drugi
Tolerancija pozicioniranja	±0.1 mm
Debljina sloja	0.1 - 0.4 mm (prilagodljivo)
Sučelje	USB, MicroSD kartica
Dimenzije pisača	Približno 475 x 470 x 620 mm
Težina pisača	Približno 7.8 kg
Dodatne značajke	Automatsko niveliranje radne ploče, tihi koračni motori
Vrsta radne ploče	Nemagnetna, fleksibilna
Materijal okvira	Čelik
Softverska podrška	Cura, Simplify3D, OctoPrint
Operativni sustav	Windows, macOS, Linux

2.4. 3D model konstrukcije

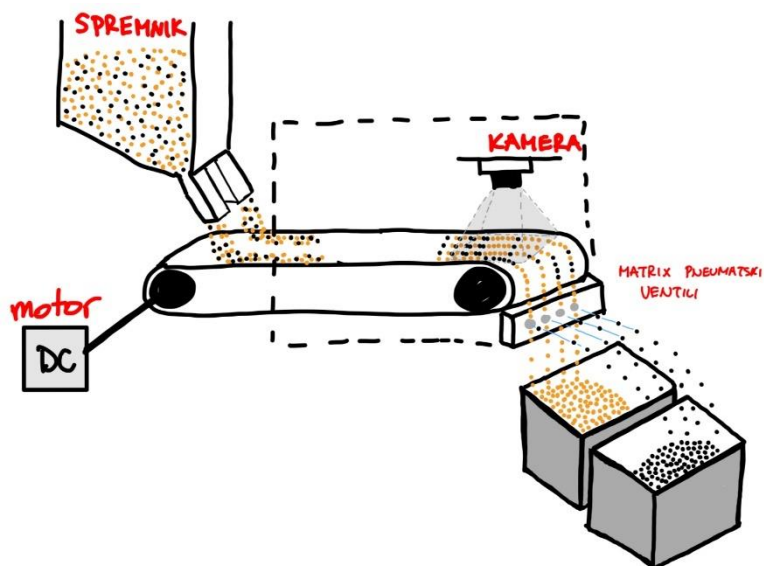
Prototipiranje, iteriranje kroz modele i različite skice projekta su ključne faze u procesu razvoja proizvoda ili projekta. Prednosti ovog pristupa su mnogobrojne. Prvo, omogućuje brzo testiranje ideja i koncepta u stvarnom svijetu, čime se smanjuje rizik od neuspjeha u kasnijim fazama razvoja. Također potiče kreativnost i inovaciju, osim toga, iteriranje kroz modele omogućuje kontinuirano poboljšanje proizvoda na temelju povratnih informacija korisnika ili testiranja, što rezultira kvalitetnijim konačnim proizvodom. U početnoj fazi ovog završnog rada izgled konstrukcije je bio sklon iteracijama i različitim konfiguracijama stoga će se u sljedećim potpoglavljima prikazati neke od iteracija razvoja sustava od početnih ideja do realizacije konačnog sustava.

2.4.1. Iteracije modela konstrukcije

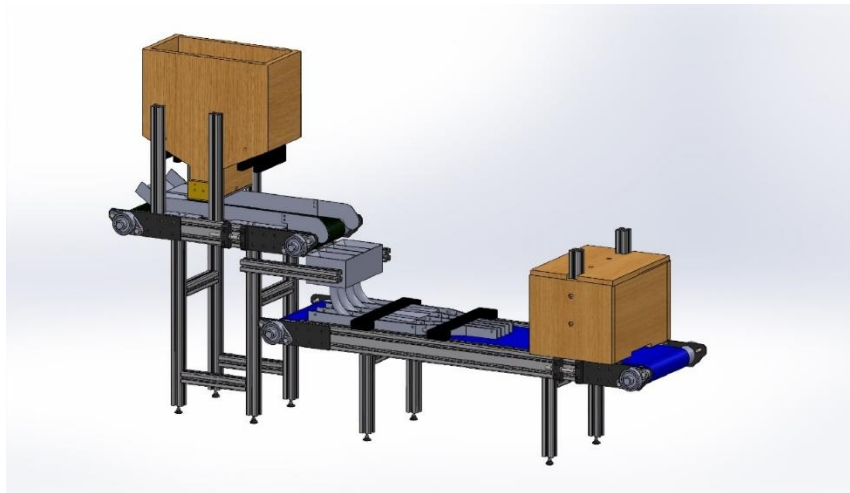
Na slikama 8, 9 i 10 se mogu vidjeti različite skice koje predstavljaju iteracije kroz modele konstrukcije tijekom faze projektiranja.



Slika 8. Prvi model konstrukcije



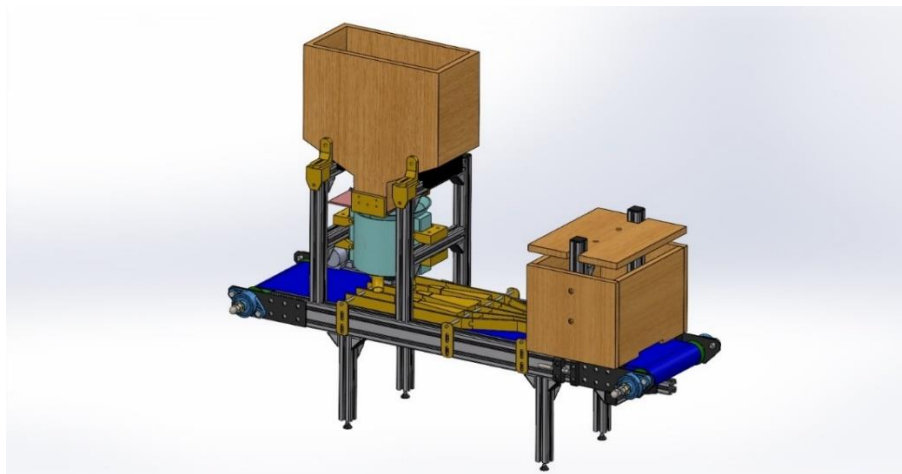
Slika 9. Drugi model konstrukcije



Slika 10. Treći model konstrukcije

2.4.2. Konačan model konstrukcije

Nakon par iteracija modela konstrukcije odabran je konačan model konstrukcije koji je prikazan na slici 11.



Slika 11. Konačan model konstrukcije

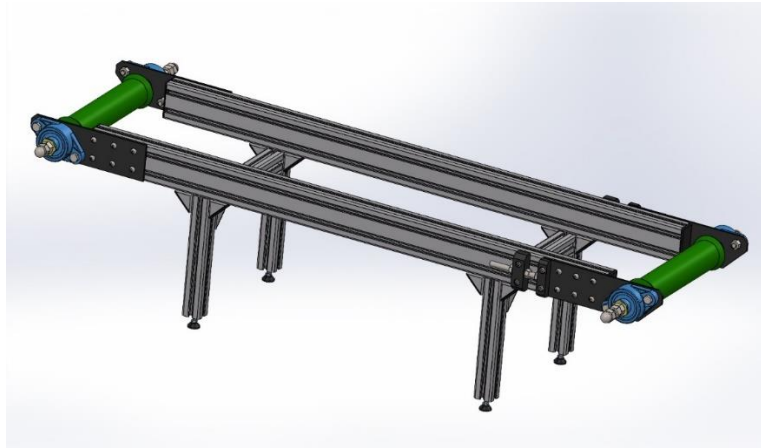
Uspoređujući sve iteracije, svaka od njih ima neke prednosti, ali i nedostatke pa se detaljno morala voditi briga o cijeni izrade, fleksibilnosti, obujmu kojeg konstrukcija zauzima, složenosti same konstrukcije itd. Iako ni jedna od ovih iteracija nije odabrana kao konačna, iterativni proces odabira modela služio je za otkrivanje „potencijalnih problema“ koji bi mogli ometi kontinuiran rad samog stroja. Stoga se konačan model smatra modelom koji odlazi u daljnju proizvodnju i svi mogući problemi, ako će ih biti, same konstrukcije će se rješavati tijekom izrade. Modeli sa slika 8 i 9 su crtani ručno, dok ostali modeli sa slika 10 i 11 su izrađeni u programu za modeliranje, Solidworks.

3. IZRADA MODELA

Izrada dijelova projekta ili nekog složenijeg zadatka postupno, dio po dio, donosi niz beneficija. Prvo, omogućuje fleksibilnost i prilagodljivost, jer se svaki dio može dizajnirati i izrađivati neovisno o drugima, olakšavajući iterativni proces razvoja. Također, omogućuje lakše otkrivanje i ispravljanje grešaka, jer se svaki dio može testirati i optimizirati zasebno prije konačne integracije. Ova metodologija smanjuje troškove i rizike jer omogućuje bolju kontrolu nad svakim korakom procesa, a također olakšava upravljanje resursima. Naposljetku, omogućuje lakše održavanje i nadogradnju projekta jer se dijelovi mogu zamijeniti ili poboljšati neovisno jedan o drugom. Tako se i sada izrada cjelokupnog modela dijeli na nekoliko dijelova koji su navedeni i objašnjeni u sljedećim potpoglavljima. Stavljajući zrna graha u spremnik potrebno je bilo osmisliti putanju tog zrna da na definiran način, u četiri reda, stiže ispred kamere koja obavlja funkciju raspoznavanja lošeg od dobrog zrna graha. Nakon detekcije, na kraju same transportne trake kada zrna počinju ispadati s trake, ona loša će, u zraku, biti ispuhana s pomoću stlačenog zraka kojim upravlja matrix ventil. U sljedećim potpoglavljima je opisan način na koji se odvijao je proces izrade modela te kao.

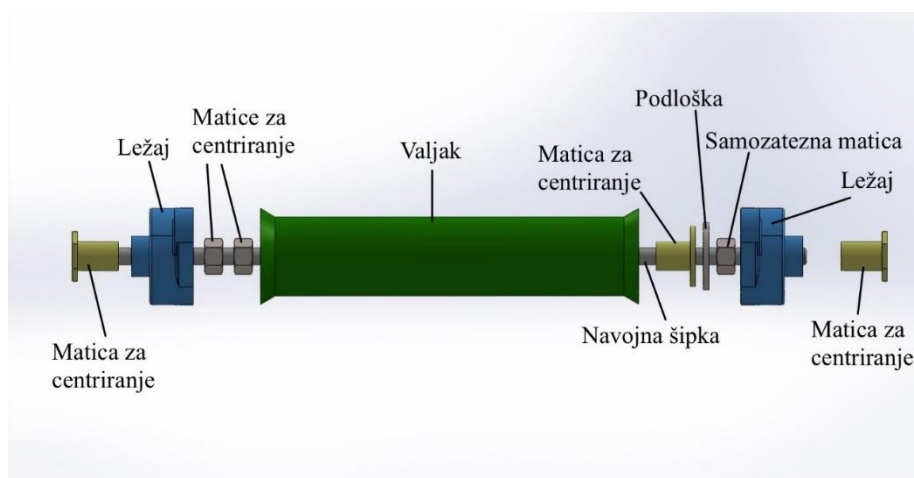
3.1. Mehanizam transportne trake

Na slici 12 se može vidjeti model konstrukcije s postavljenim valjcima za transportnu traku. Danas postoji mnogo modela i izvedbi transportnih traka, pri čemu se valjci konstruiraju i montiraju na različite načine, a koriste se i različite vrste ležaja. Ova raznolikost omogućuje prilagodbu transportnih traka različitim potrebama i uvjetima rada. Odabir specifičnih konstrukcijskih elemenata, poput valjaka i ležajeva, igra ključnu ulogu u dizajnu traka, jer može utjecati na njihovu čvrstoću, izdržljivost i učinkovitost. Korištenje različitih tehnika montaže i materijala omogućuje prilagodbu transportnih traka specifičnim zahtjevima i okolišnim uvjetima, što doprinosi njihovoj pouzdanosti i dugotrajnosti. Za potrebe ovog rada odabrana je jedna od najjednostavnijih izvedbi transportne trake, pošto se njome neće prenositi veliki predmeti i neće biti velike brzine prijenosa.



Slika 12. Konstrukcija transportne trake

Dobro centrirani valjci kod transportnih traka ključni su za pouzdan rad i produženje vijeka trajanja trake. Nepravilno centrirani valjci mogu uzrokovati neravnomjerno opterećenje i trošenje trake, što rezultira češćim kvarovima i potrebom za održavanjem. Osim toga, nedostatak centriranja može izazvati povećao trenje i otpor, što može smanjiti učinkovitost transporta i povećati potrošnju energije. Stoga je važno redovito provjeravati i pravilno centrirati valjke kako bi se osigurala stabilnost, ravnomjernost opterećenja i dugotrajnost transportne trake. Na slici 13 jasno se vide svi dijelovi koji se nalaze na vratilu odnosno u ovom slučaju navojnoj šipci kojom će se prenositi moment s motora na transportnu traku. Valjak je izrađen aditivnom proizvodnjom na 3D printeru od PLA materijala. Uz valjak, matice za centriranje (označene žutom bojom) su također izrađene aditivnom proizvodnjom. Matice za centriranje imaju ulogu centriranja valjka da se njegova os rotacije poklapa s osi rotacije navojne šipke, kao što je i slučaj s ležajevima. Dvostrukim maticama za centriranje se postiže spoj koji se ne može odvrnuti, što osigurava nesmetan rad transportne trake.

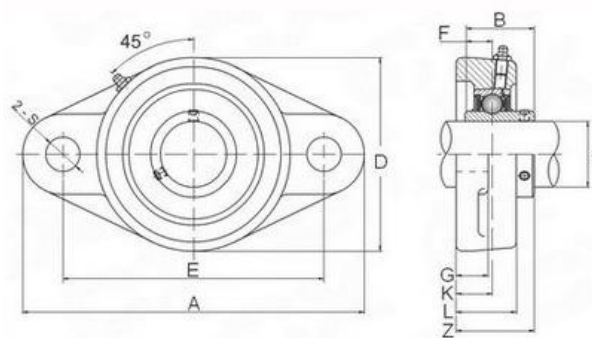


Slika 13. Sklapanje i centriranje valjka

Ležajevi se koriste za smanjenje trenja i omogućavanje rotacije ili linearnog kretanja mehaničkih dijelova, uključujući osovine, vratila, kotače, valjke i druge rotacijske dijelove. Primjenjuju se u raznim industrijama radi osiguranja stabilnosti, pouzdanosti i dugotrajnosti sustava. Odabrani ležaj serije UCFL 203 se nalazi na slici 14. njegove mjere na slici 15 i tablici 3.



Slika 14. Ležaj UCFL 203[8]

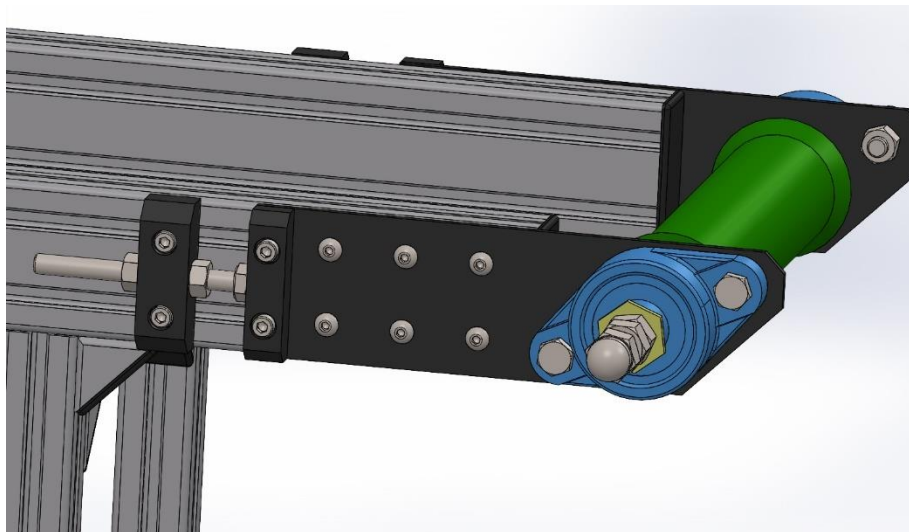


Slika 15. Mjere ležaja UFCL 203[8]

Tablica 3. Mjere ležaja[8]

<i>Mjera</i>	<i>Iznos</i>
K	15
Z	33,30
L	25,50
D	60
D	17
F	12,70
G	11
A	113
B	31
E	76

Navojna šipka ima navoj M10 gdje se može vidjeti da, u ovom slučaju, najbitnija mjera „d“ kod ležaja iznosi 17mm, što omogućava da matica za centriranje popuni preostali prostor između navojne šipke i ležajnog mjesta. Sljedeće što je važno, je imati jednostavan i efikasan mehanizam za pritezanje transportne trake kako bi se osigurala stabilnost i ravnomjerno kretanje. Ako traka nije dobro pritegnuta, može doći do proklizavanja, otklona s putanje ili povećane napetosti, što može rezultirati oštećenjem trake ili prekidom transporta. Mehanizam za pritezanje trake se nalazi na slici 16 i taj mehanizam se nalazi na dijelu konstrukcije gdje nije pogon same transportne trake. Nosači ležaja i valjaka su izrađeni od aluminija i njihova tehnička dokumentacija se nalazi u poglavlju „Prilozi“, pod brojem crteža 100-8 za pogonsku stranu i 100-9 za pogonjenu stranu, odnosno podesivu stranu na kojoj se priteže traka. Blokovi koji se nalaze na podesivoj strani trake su također izrađeni od aluminija i njihova tehnička dokumentacija se nalazi na crtežima broj 100-10 i 100-11, u poglavlju „Prilozi“



Slika 16. Mehanizam pritezanja trake

3.2. Odabir transportne trake

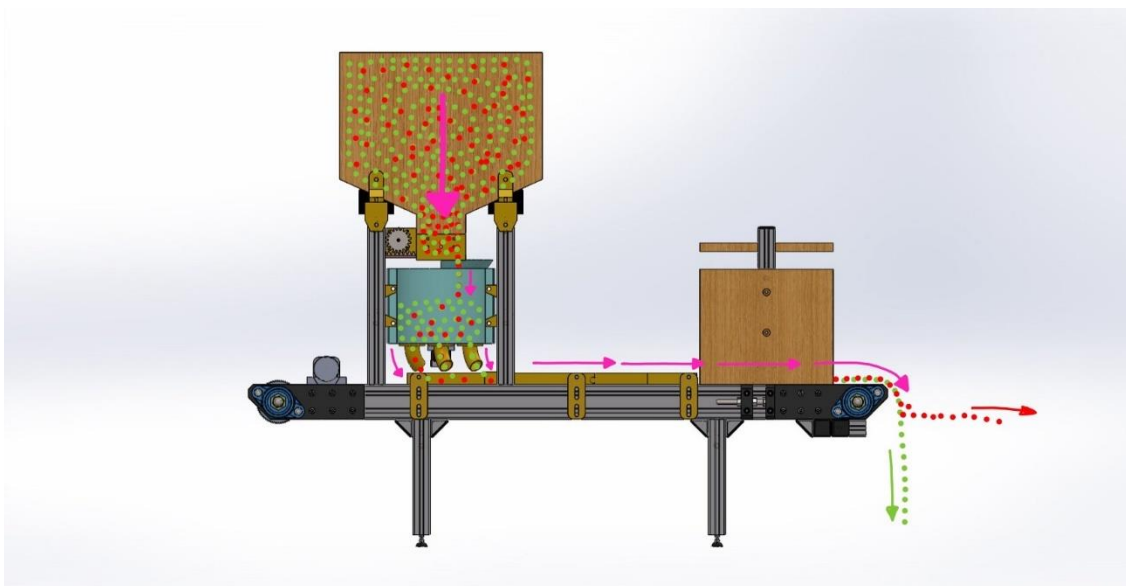
Pravilno odabran materijal, duljina, širina i broj slojeva transportne trake su ključni faktori za efikasno i pouzdano funkcioniranje u industrijskim i logističkim procesima. Ovi elementi igraju važnu ulogu u osiguravanju sigurnog, učinkovitog i ekonomičnog prijenosa predmeta. Prvo, odabir materijala transportne trake ovisi o vrsti materijala koji će se prenositi i radnim uvjetima. Primjerice, za transport teških ili oštih materijala potrebna je traka od materijala otpornog na abraziju, dok za prehrambenu industriju može biti potrebna traka od materijala koji je otporan na kemijske spojeve i hranjive tvari, upravo kakva je potrebna za ovaj završni rad. Duljina trake treba biti optimalno prilagođena udaljenosti koju materijal treba prijeći kako bi se spriječilo nepotrebno habanje i trošenje trake, ali i minimizirala potrošnja energije. Širina transportne trake treba biti odabrana tako da odgovara dimenzijama i količini materijala koji se prenosi. Pravilno dimenzionirana širina omogućuje stabilan prijenos materijala i sprečava oštećenja ili zastoje. Pošto se transportnom trakom prenose zrna graha, ukupna težina koja se prenosi trakom je zamjenjiva stoga je moguće odabrati neku od jeftinijih modela. Nakon izrade samog modela u programu Solidworks izračunate su i izmjerene vrijednosti u programu te odabrana traka tehničkih specifikacija prikazanih u tablici 4.

Tablica 4. Tehničke specifikacije odabrane trake

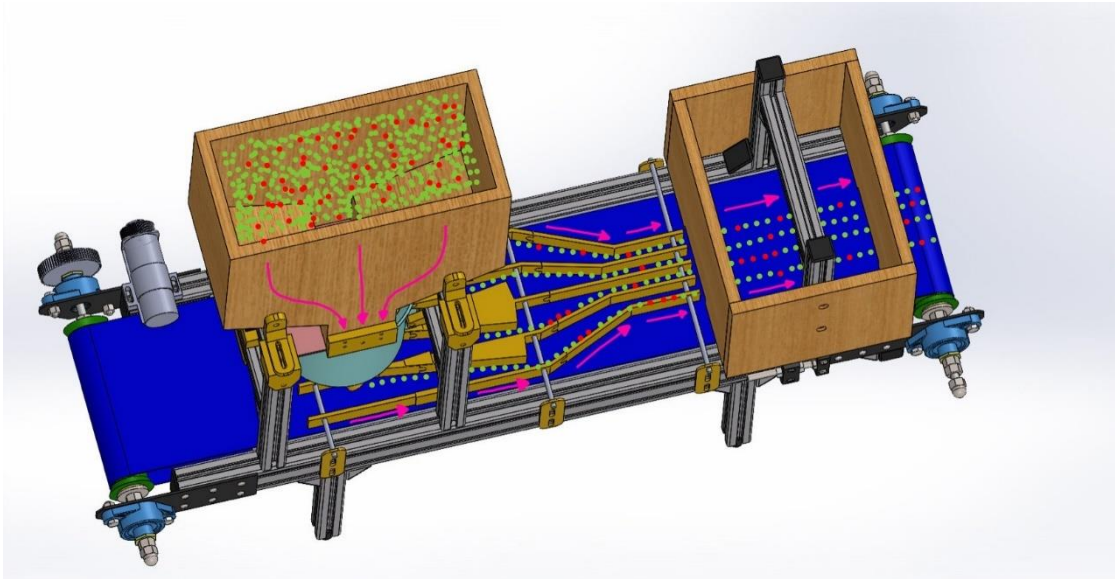
<i>Tehnička specifikacija</i>	<i>Iznos</i>
Oznaka	U10 – DIN 3302-1 / klasa ST1/SW1
Tip	beskonačno spojena
Materijal	PVC
Duljina	2150 mm
Širina	200 mm
Masa	2,3 kg/m ²
Radna temperatura	-10/+70°C
Pritezanje pri 1%	8N/mm
Boja	petrol zelena
Debljina	2 mm
Tvrdoća	74 – shore A
Površina	glatka

3.3. Planiranje trajektorije i putanje zrna

Problem ovog završnog rada se svodi na klasifikaciju dobrog i lošeg zrna graha, no isto tako potrebno je dovesti, već spomenuta zrna, ispred kamere tako da zrna ne stižu na nasumičan način. Naravno u već spomenutim industrijskim automatiziranim sabirnicama sa slike 1, nema tog ograničenja što se tiče dolaska samog zrna ispred kamera, stoga je potrebno projektirati cijelu konstrukciju vodeći brigu o tom ograničenju. Ako bi zrna stizala ispred kamere na nasumičan način, algoritam i mehanizam izbacivanja loših zrna se znatno komplicira. Organizirani pristup omogućuje precizniju detekciju zrna jer je njihov raspored redovitiji i predvidljiviji. To rezultira većom pouzdanošću u procesu sortiranja, jer je lakše razlikovati pojedinačna zrna i njihove karakteristike. Također, organizirani dolazak olakšava upravljanje procesom sortiranja, što dovodi do bržeg i učinkovitijeg rada. Osim toga, smanjuje se rizik od pogrešne klasifikacije ili propuštanja zrna tijekom detekcije, što povećava ukupnu kvalitetu i preciznost procesa sortiranja. Računalu je lakše obraditi i detektirati ih jer je raspored zrna strukturiraniji. To rezultira smanjenim opterećenjem računalnih resursa jer algoritmu za detekciju zrna treba manje vremena i resursa za analizu organiziranih redova u usporedbi s nasumično raspoređenim zrnima. Stoga je potrebno posvetiti dobar dio vremena na projektiranje same putanje i trajektorije zrna. Na slikama 17 i 18 su prikazane putanje zrna graha.



Slika 17. Putanja zrna graha – bočni pogled

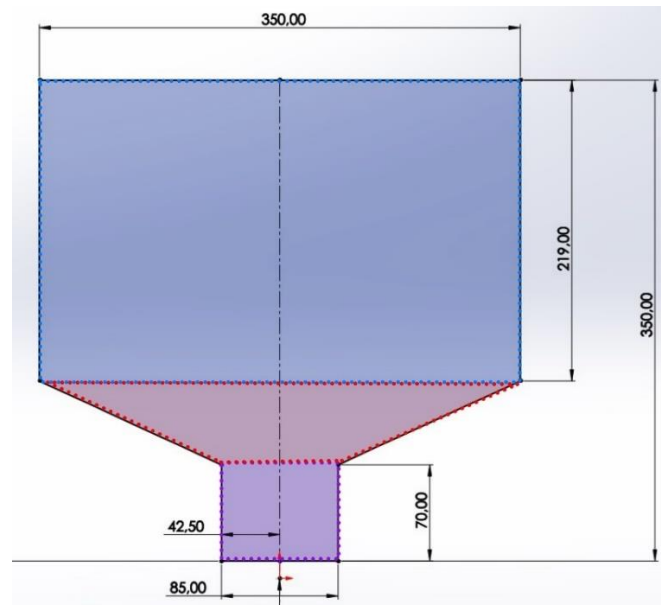


Slika 18. Putanja zrna graha - pogled odozgo

Na slikama 17 i 18 zelenim točkicama prikana su dobra zrna graha, a crvenim su prikazana zrnca graha koje je nužno izbaciti na kraju procesa. Nakon što se zrna ubace u spremnik, njihovim pravovremenim doziranjem, pri izlasku iz spremnika, se ubacuju u okrugli dozator. Taj dozator, rotacijom kroz provrte na svom dnu, isprekidano šalje zrna kroz tuljce na traku. Isprekidano dostavljanje zrna graha na traku, omogućuje manji protok zrna kroz sustav i nepotrebno nagomilavanje istog. Zrna usmjerena na traku bivaju upravljana s pomoću plastičnih pregrada koje formiraju četiri reda zrna graha, kao što je i željeno. Naposljetku nakon detekcije i raspoznavanja loših zrna, loša zrna bivaju ispuhana tijekom pada s trake.

3.4. Izrada spremnika i kućišta kamere

Spremnik i komora u kojoj se nalazi kamera za detekciju su izrađene od drveta. Drvo je odabrano jer je dovoljno čvrsto da podnese unesenu količinu zrna u spremnik i neprozirno je, što rješava pitanje vanjske neujednačene svjetlosti. Na slici 19 je prikazana skica spremnika sa njegovim vanjskim dimenzijama. Debljina drva se neće uzeti u obzir. Spremnik ima volumen da u njega stane oko 14 kilograma zrna graha što je pokazano izrazima 3.1 do 3.8.



Slika 19. Nacrt spremnika

Formula za volumen spremnika:

$$V_{\text{spremnik}} = (P_1 + P_2 + P_3) \times b \quad [m^3], \quad (3.1)$$

$$P_1 = 0,219 \times 0,350 = 0,07665 \, m^2, \quad (3.2)$$

$$P_2 = 0,07 \times 0,085 = 0,00595 \, m^2, \quad (3.3)$$

$$P_3 = \frac{(0,35+0,085) \times (0,35-0,07-0,219)}{2} = 0,01326 \, m^2, \quad (3.4)$$

$$b = 0,17 \, m, \quad (3.5)$$

gdje su:

P1, P2 – površina većeg i manjeg pravokutnika,

P3 – površina trapeza,

b – širina spremnika .

Nakon uvrštavanja u 3.1 dobiva se:

$$V_{\text{spremnik}} = 0,01629 \text{ m}^3 . \quad (3.6)$$

Potrebno je znati gustoću graha na 1m^3 , koja je utvrđena mjerenjem i primjenom formule:

$$\rho = \frac{m}{V} = 913 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} . \quad (3.7)$$

Stoga masa zrna koja može ući u spremnik iznosi:

$$m = V_{\text{spremnik}} \times \rho = 14,8 \text{ kg} . \quad (3.8)$$

Količina od 14 kilograma zrna je dovoljna da sustav pokaže svrhu i primjenu, a kasnije se na različite načine može spremnik nadograditi i povećati volumen. Na slici 20 je vidljiv spremnik volumena izračunatog u izrazu 3.6.



Slika 20. Spremnik zrna

Što se tiče komore u kojoj je kamera za detekciju, potrebno je obratiti pozornost na konstantno homogeno osvjetljenje tijekom detekcije i klasifikacije zrna. Homogeno osvjetljenje je ključno u detekciji loših zrna graha jer osigurava konzistentne uvjete osvjetljenja za svako zrno koje prolazi kroz proces detekcije. Ako u procesu detekcije ne bi bilo homogenog osvjetljenja, to može rezultirati neujednačenim kontrastom i sjajem zrna, što otežava proces detekcije.

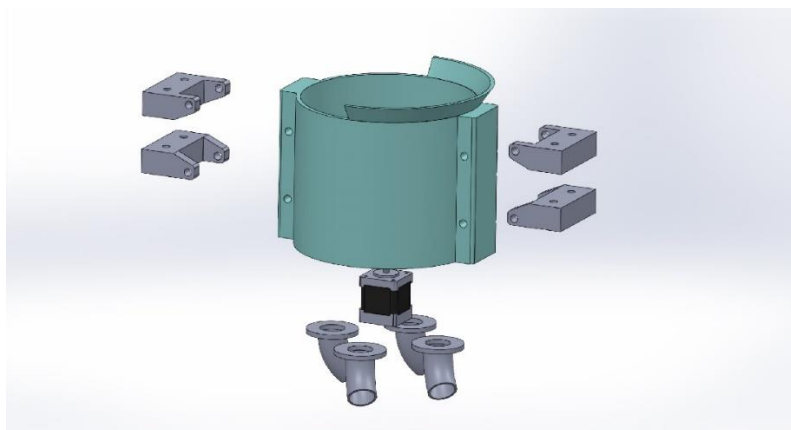
To može dovesti do pogrešnih identifikacija i propusta u otkrivanju loših zrna, što smanjuje točnost rezultata. Dobro osvijetljenje osigurava jasne i konzistentne slike zrna, što olakšava algoritmu prepoznavanje i klasifikaciju loših zrna. To rezultira poboljšanom točnošću i pouzdanošću u procesu sortiranja, što je ključno za osiguranje visoke kvalitete konačnog proizvoda. Na slici 21 je vidljiva komora s montiranim difuzorima svjetlosti, koji razlažu svjetlost jednoliko unutar cijele komore. U difuzore ulaze led trake bijele svjetlosti.



Slika 21. Komora s difuzorima svjetlosti

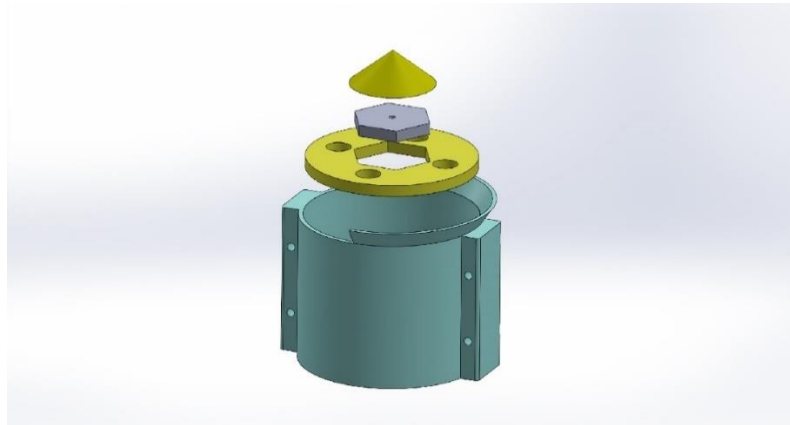
3.5. Dozator zrna

Nakon što se spremnik popuni željenom količinom zrna, potrebno je ta zrna dovesti do komore u kojoj se nalazi kamera gdje se klasificiraju zrna. Prvi sljedeći korak nakon spremnika je dovesti zrna do dozatora koji je prikazan na slici 22 u raširenom pogledu s nosačima i tuljcima za usmjeravanje zrna.



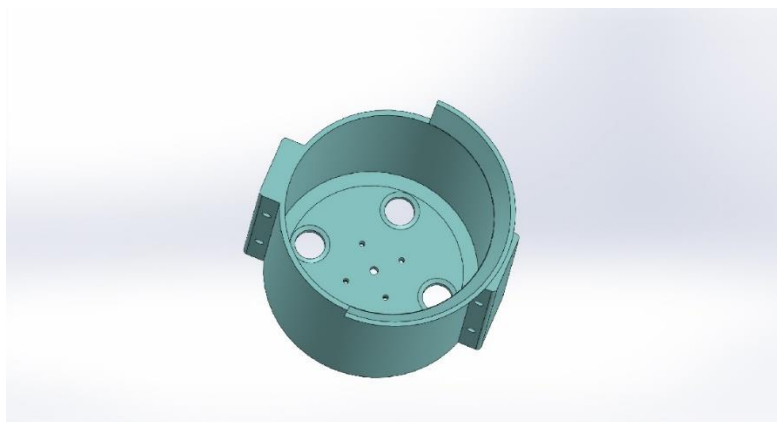
Slika 22. Dozator sa priključnim dijelovima

Na slici 22 se mogu vidjeti tuljci i nosači dozatora, no ono što je bitno za funkciju dozatora je upravo ono što se nalazi unutar samog dozatora. Dozator na svom dnu ima cilindričnu rotirajuću ploču koja ima četiri cilindrična provrta i šesterokutni provrt u koji ulazi šesterokutna ploča. U provrt na šesterokutnoj ploči ulazi vratilo koračnog motora koji rotira tu ploču i gdje se rotacija prenosi oblikom na cilindričnu ploču. Stožac, koji se nalazi na vrhu obje ploče, služi da preusmjerava zrna u provrte dozatora. Dijelovi unutar dozatora su vidljivi na slici 23.



Slika 23. Dozator sa pripadnim dijelovima

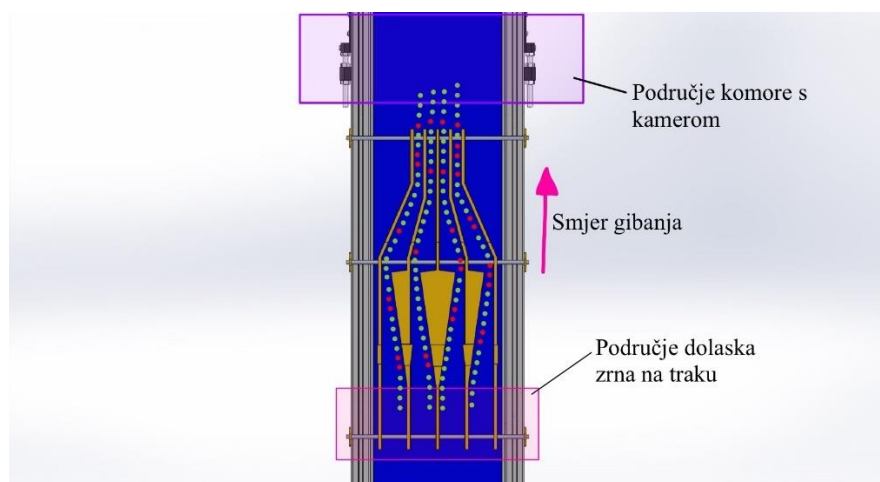
Zrna prolaze kroz četiri cilindrična provrta, vidljivi na slici 24, i dalje se preusmjeravaju uz pomoć tuljaca. Na svakom od četiri provrta napravljena su skošenja da zrno ne zapinje o rubove tijekom rotacije i modelirano je upuštenje na rubu samog dna dozatora da se smanji dodirna površina, pa se tako smanjuje i trenje koje dodatno opterećuje koračni motor. U poglavlju 4, potpoglavlje 4.2. pod nazivom „Dozator zrna“ je objašnjeno pitanje količine zrna koje ulazi u sam dozator i kako to utječe na rad dozatora. Brzina izlaska zrna je regulirana brzinom rotacije koračnog motora. Dozator je izrađen aditivnom proizvodnjom iz PLA materijala.



Slika 24. Dozator – pogled odozgo

3.6. Pregrade

Dozatorom se zrna šalju na transportnu traku u isprekidanim ciklusima, čime se sprječava nagomilavanje zrna na pojedinim mjestima na traci. Dolaskom zrna na transportnu traku, manipulacija zrna se obavlja pregradama koje usmjeravaju i pripremaju zrna u četiri reda. Na slici 25, gledano pogledom odozgo, se može vidjeti putanja zrna na transportnoj traci i njihovo formiranje četiri reda.



Slika 25. Usmjeravanje zrna pregradama

Nakon što su formirana četiri reda, zrna odlaze u komoru kamere gdje su klasificirana na dobre i loše, te loša bivaju ispuhana stlačenim zrakom na kraju transportne trake.

3.7. Konačan izgled

Konačan izgled sastavljene konstrukcije, iz različitih pogleda, se može vidjeti na slikama 22 i 23.



Slika 26. Konačan izgled - pogled 1



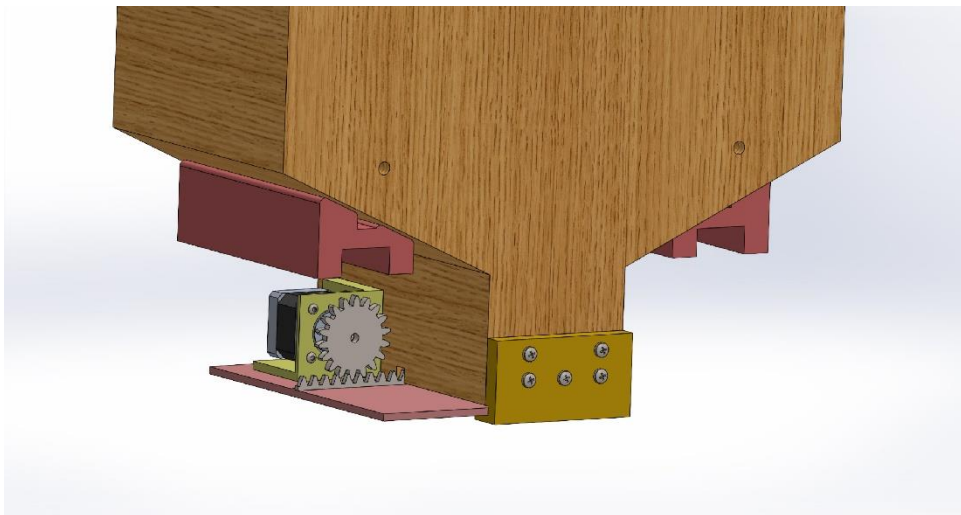
Slika 27. Konačan izgled - pogled 2

4. UPRAVLJANJE SUSTAVA

Kako bi sustav radio kako treba, potrebno je upravljati sustavom na pravilan način, stoga je u sljedećim potpoglavljima objašnjeno cjelokupno upravljanje sustava po manjim cjelinama.

4.1. Doziranje zrna iz spremnika

Kako sva zrna iz spremnika ne bi odmah napunila dozator do vrha, potrebno je kontrolirano upravljati količinom zrna koja izlaze iz spremnika. To se postiže koračnim motorom i zupčastim prijenosom prikazanim na slici 28. Kako koračni motor rotira svoje vratilo, zupčanim prijenosom, rotacijskim se gibanjem ostvaruje linearno gibanje ploče koja pomicanjem otvara izlaz iz spremnika prema dozatoru. Nosači spremnika, linearno gibajuće ploče i koračnog motora su izrađeni aditivnom proizvodnjom iz PLA materijala. Istim načinom su izrađeni i zupčanici koji ostvaruju linearno gibanje ploče.



Slika 28. Mehanizam otvaranja spremnika

4.1.1. Koračni motor

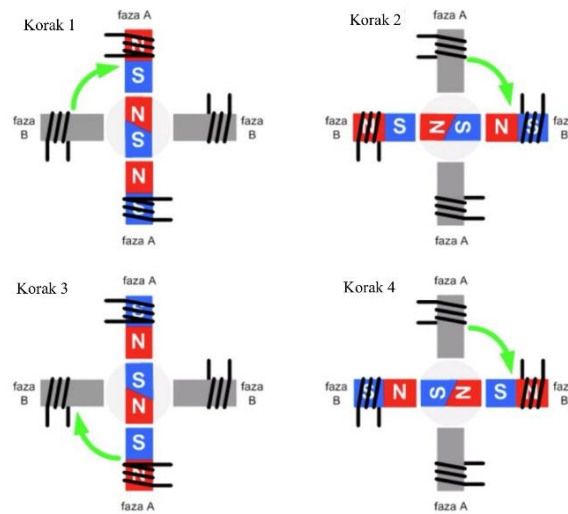
Koračni motor, koji je prikazan na slici 29, je vrsta električnog motora koji se koristi za precizno pozicioniranje i kontrolu rotacije mehaničkih sustava. Radi na principu digitalnih impulsa koji pokreću rotaciju motora u diskretnim koracima. Svaki impuls rezultira preciznim pomakom motora za određeni kut, što omogućuje preciznu kontrolu položaja i brzine rotacije. Ovaj način rada čini koračne motore korisnima u aplikacijama gdje je potrebna visoka preciznost i kontrola, poput CNC strojeva, 3D printera, robotskih sustava i automatizirane opreme[10].

Prednosti koračnih motora uključuju visoku preciznost i kontrolu, linearnost pokreta, nisku potrošnju energije u mirovanju, jednostavno upravljanje i relativno nisku cijenu. Osim toga, koračni motori ne zahtijevaju složene senzore za povratnu informaciju o položaju jer se koraci računaju na temelju impulsa, što smanjuje troškove i pojednostavljuje dizajn sistema. Međutim, koračni motori imaju i nekoliko nedostataka. Jedan od njih je ograničena brzina rotacije, posebno kod većih opterećenja. Također, moguće je da motor "izgubi korak" ako je opterećenje preveliko ili ako se primijeni prevelika brzina, što može dovesti do gubitka preciznosti i nepouzdanog kretanja. Također, koračni motori mogu biti bučni i generirati vibracije, što može biti problematično u nekim aplikacijama[11].



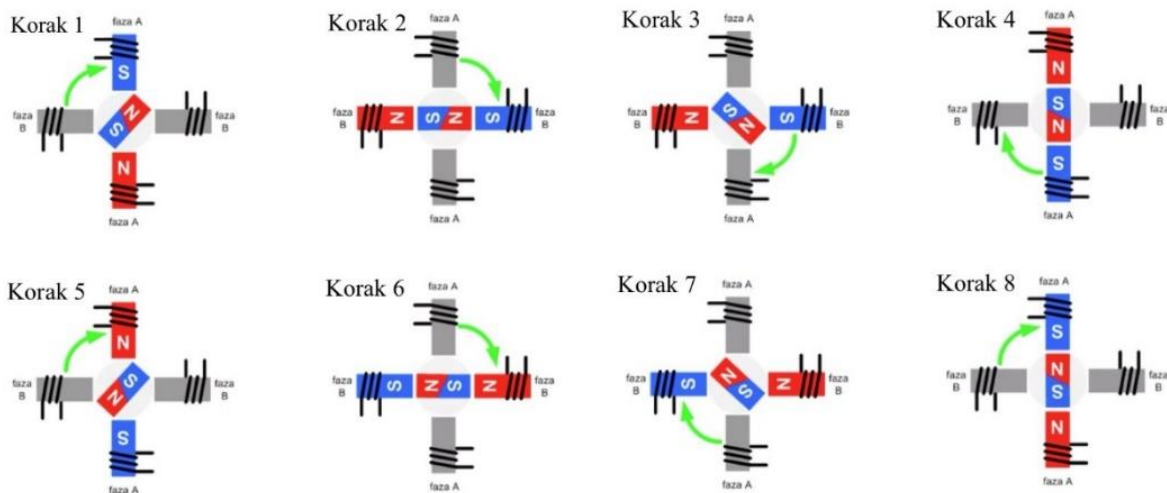
Slika 29. Koračni motor[9]

Koračni motori se mogu upravljati u punom koraku ili polukoraku, što utječe na način kretanja i preciznost pozicioniranja. U punom koraku, svaki korak motora podijeljen je na dvije faze: "on" i "off". Upravljač generira impuls za svaku fazu, što rezultira potpunim korakom motora. Ovaj način upravljanja omogućuje brže kretanje motora, ali smanjuje preciznost pozicioniranja jer svaki korak predstavlja veliki pomak. Princip rada koračnog motora u punom koraku prikazan je na slici 30.



Slika 30. Princip rada koračnog motora u punom koraku[10]

S druge strane, u polukoraku, svaki korak je podijeljen na dodatne faze, obično četiri ili osam. To znači da se za svaki korak generiraju impulsi koji kontroliraju položaj motora između faza, što rezultira preciznijim pozicioniranjem. Polukorak omogućuje višu rezoluciju i preciznost u kretanju motora, ali smanjuje brzinu kretanja u odnosu na puni korak. Princip rada koračnog motora u punom koraku prikazan je na slici 31.



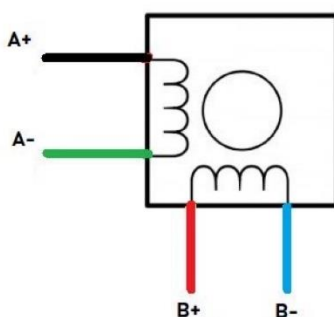
Slika 31. Princip rada koračnog motora u polu-koračnom načinu[10]

Odabir između punog i polukoraka ovisi o zahtjevima aplikacije. Ako je potrebna veća brzina kretanja, puni korak može biti preferiran, dok zahtjevi za preciznim pozicioniranjem i niskom brzinom kretanja mogu favorizirati polukorak. Također, polukorak može smanjiti vibracije i buku motora, što može biti važno u nekim aplikacijama gdje je potrebna tiša operacija.

Za potrebe završnog rada koristi se koračni motor Nema 17, njegove tehničke specifikacije su prikazane u tablici 4 i ožičenje na slici 32.

Tablica 5. Tehničke specifikacije koračnog motora[9]

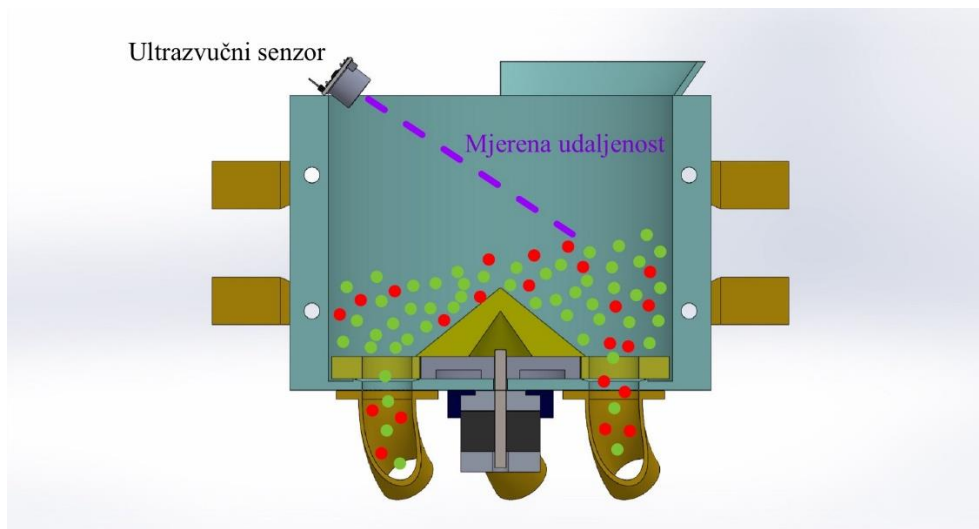
<i>Tehnička specifikacija</i>	<i>Iznos</i>
Serijski model	17HS4417L20P1-X2
Korak	$1,8 \pm 5\%$ ° / korak
Nazivni napon	2,55 V
Nazivna struja	1,70 A / faza
Faza otpora	$1,50 \pm 10\%$ ohm / faza
Fazna induktivnost	$2,80 \pm 20\%$ mH / faza
Zakretni moment	40 Ncm
Zakretni moment "zadržavanja".	2,20 Ncm max
Inercija rotora	54 g- cm ²
Broj žica	4 (Crna: A +, zelena: A-, crvena: B +, plava: B-)
Promjer osovine	$5,00 \pm 0,012$ mm, jednostruka D zraka
Duljina motora	40 mm
Težina motora	0,28 kg



Slika 32. Shema ožičenja koračnog motora Nema 17[9]

4.2. Dozator zrna

Upravljanjem izlaskom zrna iz spremnika omogućuje se kontrolirano punjenje dozatora koji rotacijom šalje zrna na transportnu traku u isprekidanim ciklusima. Kako dozator na dnu ima rotirajuću ploču koju rotira koračni motor, potrebno je regulirati količinu zrna u dozatoru jer veća količina može dodatno opteretiti koračni motor. Dodatno opterećenje bi se pojavilo zbog trenja između dna dozatora i same rotirajuće ploče, time bi se trenje pretvaralo u toplinu i tako moglo oštetiti koračni motor, a i deformirati samu konstrukciju dozatora koja je izrađena od plastike. Regulacija količine zrna će se realizirati uz pomoć ultrazvučnog senzora koji će mjeriti udaljenost između njega samog i gornje razine zrna koja raste punjenjem dozatora. Na slici 33. se može vidjeti udaljenost koju senzor mjeri i njegovo mjesto montaže, u polovičnom presjeku dozatora.



Slika 33. Pozicioniranje senzora

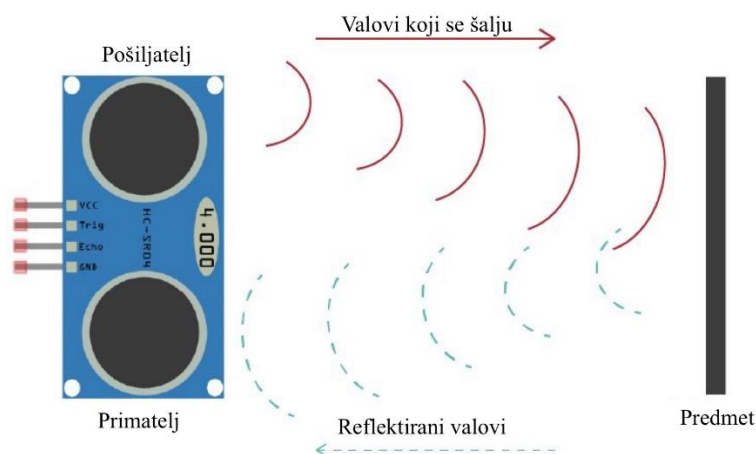
4.2.1. Ultrazvučni senzor

Ultrazvučni senzor, prikazan na slici 34, koristi princip emitiranja i prijema ultrazvučnih valova za određivanje udaljenosti do objekta.



Slika 34. Ultrazvučni senzor[13]

Senzor šalje kratke pulseve ultrazvuka u okolinu, a zatim mjeri vrijeme koje je potrebno da se ti signali reflektiraju od objekta i vrate do senzora, što se može vidjeti na slici 35.



Slika 35. Ultrazvučni valovi[13]

Na temelju vremena odaslanih i primljenih signala, senzor izračunava udaljenost do objekta s pomoću brzine zvuka u mediju. Prednosti ultrazvučnih senzora uključuju visoku preciznost mjerenja u širokom rasponu udaljenosti, što ih čini pogodnima za detekciju objekata u različitim okolinama. Također su otporni na promjene osvjetljenja i boje objekata, što ih čini pouzdanim u različitim uvjetima. Međutim, ultrazvučni senzori imaju nekoliko mana.

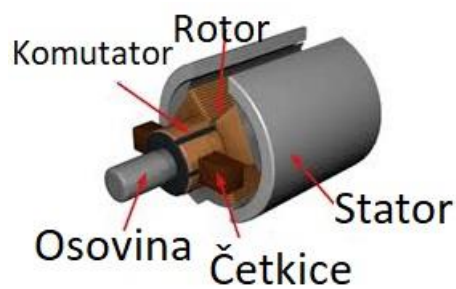
Njihova točnost može biti smanjena u slučajevima kada su objekti vrlo mali ili se nalaze na kratkim udaljenostima. Također, senzori ne mogu detektirati objekte koji su transparentni za ultrazvuk ili koji imaju nepravilne oblike koji ometaju refleksiju signala. Zrno graha jest male veličine, no za potrebe rada mjeri se udaljenost od hrpe zrna, pa taj nedostatak se može zanemariti kao i nedostatak udaljenosti koji će uvijek biti veći od 6-7 centimetara. Ultrazvučni senzori se koriste u raznim aplikacijama, uključujući automobilske sustave za parkiranje, detekciju prepreka u robotici, mjerenje razine tekućina u spremnicima, kontroli kretanja dizala te u industrijskim postrojenjima za nadzor proizvodnje i logistike. S obzirom na svoje karakteristike, ultrazvučni senzori su posebno korisni u aplikacijama gdje je potrebno precizno i pouzdano mjerenje udaljenosti u realnom vremenu[13]. Senzor će mjeriti udaljenost do posljednjeg zrna u dozatoru, iako sva zrna rotiraju, senzor će ispisivati udaljenosti koje očitava. Jednostavnim zadavanjem neke granične udaljenosti u programskom kodu, odlučuje se kada koračni motor na spremniku zatvara izlaz spremnika i dovod zrna u dozator.

4.3. Pogon transportne trake

Pogon transportne trake je realiziran istosmjernim motorom koji prenosi okretni moment s pomoću remenskog prijenosa. Brzina istosmjernog motora je kontrolirana infracrvenim senzorom. U sljedećim poglavljima su detaljno opisani svaki od segmenata pogona.

4.3.1. Istosmjerni motor

Istosmjerni (DC) motori koriste princip elektromagnetizma za pretvaranje električne energije u mehaničku rotaciju. U osnovi, DC motor sastoji se od statorskog magnetnog polja i rotora koji nosi namotaje (navoje) kroz koje protječe električna struja, vidljivo na slici 37. Kada se električna struja primijeni na namotaje rotora, stvara se magnetsko polje koje interagira s magnetskim poljem statora, izazivajući rotaciju. Prednosti istosmjernih motora uključuju visoku učinkovitost, visoki okretni moment i mogućnost jednostavne kontrole brzine i smjera vrtnje. Ovi motori su također kompaktni, pouzdani i lako se upravljaju. Osim toga, DC motori su jednostavni za izradu i relativno jeftini. Međutim, istosmjerni motori imaju nekoliko nedostataka, uključujući potrebu za četkicama koje prenose električnu struju na rotorni namotaj. Četkice mogu uzrokovati trošenje i habanje te stvaranje iskri, što smanjuje njihovu pouzdanost i održivost. Također, DC motori mogu generirati elektromagnetske smetnje[15].



Slika 36. Dijelovi istosmjernog motora[15]

Za potrebe rada transportne trake odabran je istosmjerni motor oznake IG420004-15271R. Njegove tehničke specifikacije su upisane u tablicu 5.

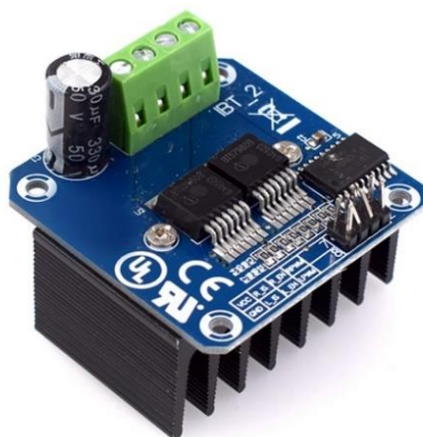


Slika 37. Istosmjerni motor[14]

Tablica 6. Tehničke specifikacije odabranog istosmjernog motora[14]

<i>Tehnička specifikacija</i>	<i>Iznos</i>
Tip	IG420004-15271R
Nazivni napon	24 V
Nazivna struja	2.1A
Izlazni moment	0.056 Nm
Nazivna snaga	34,7 W
Nazivni broj okretaja	1445 o/min
Širina	118,5 mm
Promjer osovine	8 mm
Nazivni zakretni moment	0.176519 Nm
Prijenosni omjer	4
Vrsta	istosmjerni motor s getribom

Prijenosni omjer kod istosmjernih motora s reduktorom određuje se kako bi se postigao odgovarajući izlazni broj okretaja motora u odnosu na ulazni broj okretaja. To je ključni faktor jer omogućuje prilagodbu brzine i okretnog momenta motora potrebnoj primjeni. Pravilno dimenzionirani prijenosni omjer osigurava da motor radi unutar optimalnog područja brzine i okretnog momenta, što povećava učinkovitost i pouzdanost sustava. Prijenosni omjer također može poboljšati performanse motora u smislu bolje kontrole brzine, veće snage ili veće preciznosti pokreta. Stoga je važno odabrati prikladan prijenosni omjer kako bi se osigurala optimalna radna karakteristika motora za određenu primjenu. Odabir istosmjernog motora u svrhe ovog rada je bio ovisan o željenoj brzini trake koja je iznosila oko 0,4 m/s. Bitno je naglasiti da pravilnim upravljanjem motora, broj okretaja motora, se može smanjiti odgovarajućim driverom čak do 5% nazivne vrtnje. Imajući to na umu, može se uzeti motor koji svojim nazivnim brojem okretaja rezultira većom brzinom trake, pa se brzina dodatno smanji na željenu uz pomoć odgovarajućeg drivera. Osim drivera, brzina motora, će se dodatno smanjiti odgovarajućim prijenosnim omjerom kod remenskog prijenosa koji je detaljno opisan u potpoglavlju 4.3.2.. Upravljanje broja okretaja istosmjernih motora može se postići promjenom napona, struje ili polariteta primijenjenog na namotaje rotora. Osim toga, upravljanje se može postići modulacijom širine impulsa (PWM), gdje se pulsirajući signal primjenjuje na motor kako bi se kontrolirala brzina vrtnje. Za upravljanje brzine DC motora se koristi modul oznake BTS7960, vidljiv na slici 38, njegove tehničke specifikacije su prikazane u tablici 6.

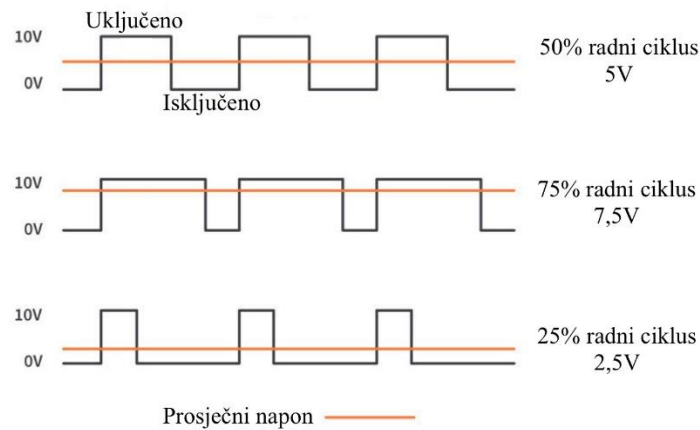


Slika 38. Modul drivera BTS7960[16]

Tablica 7. Tehničke specifikacije drivera BTS7960[17]

Tehnička specifikacija	Iznos
Ulazni napon	6-27 VDC
Vršna struja	43 A
Ulazni napon za upravljanje	3,3 – 5V
Način upravljanja	pulsno-širinska modulacija (PWM)
PWM frekvencija	do 25kHz
Vrijednost radnog ciklusa (eng. <i>duty cycle</i>)	0 - 100%
Dimenzije pločice	50 x 50 x 43 mm
Težina	66 g

Modul BTS7960 je potpuno integrirani modul H-mosta visokih struja namijenjen primjeni pogona motora. Povezivanje s mikrokontrolerom olakšano je integriranim upravljačem koji ima ulaze na logičkoj razini, dijagnostiku s mjerenjem struje, prilagodbu brzine porasta, generiranje mrtvog vremena te zaštitu od pregrijavanja, prenapona, podnapona, prekomjerne struje i kratkog spoja. Ovaj modul koristi H-most konfiguraciju za upravljanje motorom. H-most se sastoji od četiri sklopke koji omogućuju promjenu smjera vrtnje motora i kontrolu nad brzinom vrtnje. Integrirani upravljački IC omogućuje mikrokontroleru jednostavno upravljanje prekidačima H-mosta putem ulaza na logičkoj razini. Također, modul pruža dijagnostiku s mjerenjem struje kako bi se nadzirala struja koja prolazi kroz motor. Osim toga, podržana je zaštita od različitih kvarova kao što su pregrijavanje, prenapon, podnapon, prekomjerna struja i kratki spoj. Ove značajke čine BTS7960 pogodnim za širok raspon aplikacija u kojima se zahtijeva precizno i pouzdano upravljanje motorima. BTS7960 pruža optimizirano i ekonomično rješenje za PWM pogone motora visokih struja s vrlo malom potrošnjom[17]. Već spomenuta pulsna širinska modulacija (PWM) je tehnika modulacije signala koja se koristi za kontrolu analognih krugova putem digitalnih signala. Osnovna ideja PWM-a je generiranje periodičnog signala, čije je trajanje aktivnog stanja (visoki napon) promjenjivo u skladu s promjenjivom ulaznom veličinom. Ovaj periodični signal se sastoji od ponavljajućih ciklusa, gdje je svaki ciklus sastavljen od dva dijela: aktivnog stanja (visoki napon) i neaktivnog stanja (niski napon), što je vidljivo na slici 39.



Slika 39. Pulsno širinska modulacija[18]

PWM signal se generira tako da se period signala dijeli na male vremenske intervale, te se određuje koliko će tih intervala biti u aktivnom stanju, a koliko u neaktivnom. Ovaj omjer se naziva "duty cycle" i izražava se u postocima. Veći duty cycle znači da je više vremena signal u aktivnom stanju, dok manji duty cycle znači da je više vremena u neaktivnom stanju. Također na slici 39 se mogu vidjeti različiti iznosi radnog ciklusa (eng. *duty cycle*) od 25, 50 i 75%.

Već spomenuti radni ciklus, izračunava se izrazom 4.1.1[18]:

$$D = \frac{T_{on}}{T} \times 100 \quad (4.1.1)$$

Gdje su:

D = radni ciklus (eng. *duty cycle*) u postocima,

T_{on} = trajanje signala u stanju "uključeno",

T = ukupno vrijeme potrebno za dovršavanje jednog ciklusa, perioda ($T_{on} + T_{off}$).

Izrazom 4.1.2 se računa prosječna vrijednost napona[18]:

$$V_{sr} = \frac{D}{100} \times V_{max} \quad (4.1.2)$$

Gdje su:

V_{sr} = prosječna vrijednost napona signala,

D = radni ciklus (eng. *duty cycle*) u postocima,

V_{max} = maksimalna vrijednost napona signala.

PWM se koristi u raznim primjenama, uključujući upravljanje brzinom istosmjernih motora, regulaciju svjetline LED dioda, generiranje analognih signala iz digitalnih mikrokontrolera, kontrolu snage u elektroničkim uređajima i mnoge druge. Prednosti PWM-a uključuju efikasno iskorištavanje snage, preciznu kontrolu i jednostavnu implementaciju s pomoću digitalnih mikrokontrolera. Osim toga, PWM se može koristiti za simuliranje analognih signala putem digitalnih izlaza, što ga čini vrlo korisnim alatom u raznim elektroničkim primjenama[18]. Kao i radni ciklus, frekvencija je također ključna komponenta koja određuje ponašanje PWM signala. To je broj ponavljanja signala u sekundi. Frekvencija se često koristi u kontekstu upravljanja DC motorima s pomoću PWM signala. Kod upravljanja DC motorom PWM signalom, frekvencija signala određuje brzinu promjene napona i time utječe na brzinu vrtnje motora. Viša frekvencija rezultira glatkijim reguliranjem brzine motora, jer omogućuje finije podešavanje i manje vidljive promjene brzine. S druge strane, niža frekvencija može rezultirati grubljim reguliranjem brzine i mogućim vibracijama ili bukom motora. Dakle, odabir odgovarajuće frekvencije PWM signala ključan je faktor za postizanje željene preciznosti i stabilnosti u upravljanju brzinom DC motora[19].

4.3.2. Remenica i remen

Remenski prijenos okretnog momenta je sustav prijenosa snage koji se koristi za prijenos rotacijskog pokreta između dva vratila s pomoću remena koji se proteže između njih. Ovaj sustav koristi remen i remenice kako bi prenio okretni moment s jednog vratila na drugo. Remen može biti napravljen od različitih materijala poput gume, poliuretana ili kevlar, ovisno o primjeni i potrebnoj snazi i trajnosti. Prednosti remenskog prijenosa uključuju glatko i tiho djelovanje, malu masu i jednostavno održavanje. Također omogućuje povezivanje vratila koja nisu izravno usklađena ili koja se nalaze na udaljenim mjestima. Nedostaci remenskog prijenosa uključuju moguće proklizavanje remena, ograničenja u snazi prijenosa u usporedbi s drugim sustavima kao što su lančani prijenosnici te potrebu za periodičnom provjerom i zamjenom remena zbog trošenja. Odabir remenica i remena ovisi o željenom prijenosnom omjeru koji ima ključnu ulogu u određivanju brzine rotacije i okretnog momenta na izlaznom vratilu u odnosu na ulazno vratilo. Taj omjer određuje koliko puta će se brzina ili okretni moment promijeniti između ulaznog i izlaznog vratila. Važno je odabrati prikladan prijenosni omjer kako bi se postigle željene performanse stroja ili uređaja. Na primjer, ako je potrebno smanjiti brzinu rotacije, koristi se prijenosni omjer veći od 1, što rezultira smanjenjem brzine na izlaznom vratilu i povećanjem okretnog momenta. S druge strane, ako je potrebno povećati brzinu rotacije, koristi se prijenosni omjer manji od 1, što rezultira povećanjem brzine na izlaznom vratilu i smanjenjem okretnog momenta. Pravilno odabran prijenosni omjer omogućuje optimalno prilagođavanje brzine i snage stroja, što rezultira učinkovitijim radom i duljim vijekom trajanja komponenti. Stoga je važno pažljivo proračunati prijenosni omjer kako bi se osiguralo da stroj ili uređaj ispunjava zahtjeve izvedbe i funkcionalnosti[20]. Već spomenuta, brzina transportne trake, iznosi 0,4m/s te će se s tom vrijednosti ući u proračun za potrebni prijenosni omjer remenica.

Izraz 4.1 prikazuje oznaku i iznos željene brzine trake:

$$v_z = 0,4 \frac{m}{s}. \quad (4.1)$$

Promjer valjka iznosa $d_v = 46$ mm ulazi u izraz 4.2 za računanje njegovog opsega:

$$O_v = d_v \pi [mm]. \quad (4.2)$$

Brzina trake se računa izrazom 4.3, gdje je n_V broj okretaja u minuti valjka :

$$v_t = O_v \times \frac{n_V}{60} \left[\frac{m}{s} \right]. \quad (4.3)$$

Stoga nakon prebacivanja izraza 4.3 dobiva se izraz 4.4 kojim se dobiva potrebni broj okretaja u minuti valjka:

$$n_V = \frac{v_t \times 60}{O_v} [\text{broj okretaja u minuti, o/min}]. \quad (4.4)$$

Izjednačavanjem $v_t = v_z = 0,4 \frac{m}{s}$ i ubacivanjem u izraz 4.4 sa pripadajućim opsegom valjka izračunatog u izrazu 4.2, dobiva se potrebni broj okretaja valjka:

$$n_V = 166 \text{ o/min.} \quad (4.5)$$

Nazivni broj okretaja istosmjernog motora je $n_M = 1440 \text{ o/min}$, imajući to na umu, potrebni prijenosni omjer remenica je izračunat u izrazu 4.6:

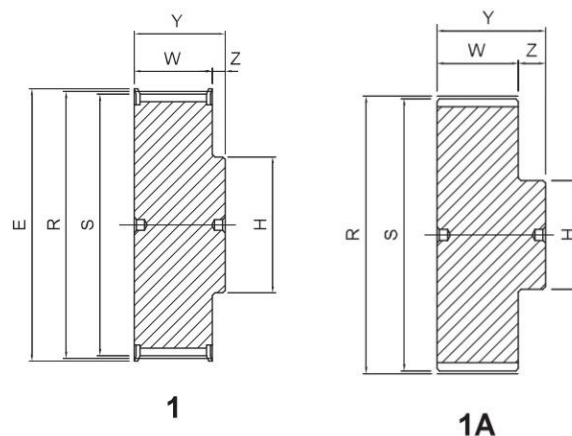
$$i = \frac{n_M}{n_V} = \frac{1440}{166} = 8,67 \sim 9. \quad (4.6)$$

Kao što se može primijetiti, prijenosni omjer trenutno je prilično visok, ali u potpoglavlju 4.3.1 su opisani načini za smanjenje broja okretaja motora te do kojih vrijednosti se može smanjiti. Stoga, remenice će biti konfigurirane s prijenosnim omjerom od 2, dok će smanjenje brzine trake biti postignuto putem upravljanja driverom motora, omogućavajući smanjenje brzine motora do 5% nazivne. Odabirom odgovarajućeg istosmjernog motora s tehničkim karakteristikama prikazanim u tablici 5, ostavlja se prostor za poboljšanje i optimizaciju cijelog sustava, s obzirom na to da motor ima veliki raspon okretaja i dostatan okretni moment za optimalno funkcioniranje.

Nakon proračuna prijenosnog omjera, odabrane su zupčaste remenice oznaka PM21T5/24 i PM21T5/48, uz zupčasti remen oznake EU390T5/10. Dimenzije i mjere odabranih remenica nalaze se u tablici 7 i slici 41, dok njihov izgled na slici 40.



Slika 40. Zupčasti remen i remenice[21]



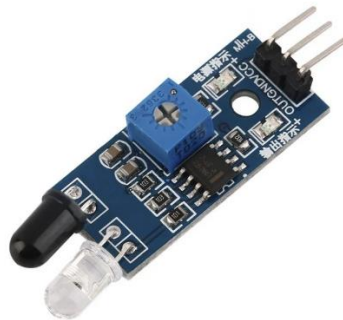
Slika 41. Dimenzije remenica

Tablica 8. Dimenzije remenica

Dimenzija	Pogonska remenica (manja)	Gonjena remenica (veća)
Broj zuba	24	48
Tip (slika 41)	1	1A
E	42,0 mm	-
R	38,2 mm	76,39 mm
S	37,36 mm	75,55 mm
H	24,0 mm	50,0 mm
W	15,0 mm	15,00 mm
Y	21,0 mm	21,00 mm
Z	6,0 mm	6,0 mm
Materijal	aluminij	aluminij

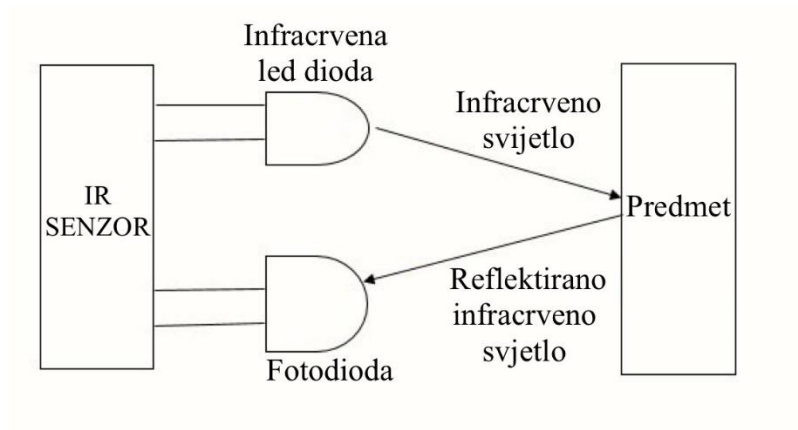
4.3.3. Infracrveni senzor

Upravlajući brzinom istosmjernog motora, potrebno je imati povratnu informaciju kojom se brzinom motor trenutno vrti. Mjerenje brzine motora se može realizirati infracrvenim senzorom, na nekoliko načina. Jedan od njih je postavljanje reflektirajuće površine na osovini motora. Kada se ova površina okreće, infracrveni senzor može detektirati promjene u reflektiranom infracrvenom svjetlu, čime se omogućuje mjerenje brzine rotacije. Drugi način je korištenje infracrvenog senzora za praćenje markera ili oznaka na osovini motora. Kada se ove oznake kreću pored senzora, on registrira promjene u svjetlosti, što omogućuje određivanje brzine rotacije. Ove metode su česte u automobilskoj industriji, robotici, te industrijskim i kućanskim primjenama gdje je precizno mjerenje brzine motora važno za kontrolu i sigurnost sustava[22]. Infracrveni (eng. *infrared*, *IR*) senzor, sa slike 42, je elektronički uređaji koji detektira infracrveno zračenje koje emitira ili odražava objekt.



Slika 42. Infracrveni senzor[23]

Njihova primjena je široka i uključuje daljinsko upravljanje, detekciju pokreta, termostate, sigurnosne sustave itd. Radni princip IR senzora leži u infracrvenoj led diodi i fotodiodi. Infracrvena dioda emitira infracrvenu svjetlost koja se reflektira natrag kad udari u objekt i detektira se fotodiodom, vidljivo na slici 43.

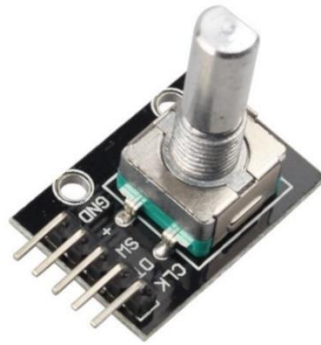


Slika 43. Princip rada IR senzora[23]

Ovaj jednostavan, ali učinkovit mehanizam omogućuje IR senzoru obavljanje svoje funkcije. Kada infracrveno zračenje pogodi senzor, dolazi do promjene u električnom signalu koja se zatim pretvara u neku od zadanih naredbi. Prednosti IR senzora uključuju visoku osjetljivost na promjene temperature, sposobnost rada u mraku, brzu detekciju i relativno nisku cijenu. Međutim, nedostaci uključuju potencijalne lažne alarme zbog vanjskih toplinskih izvora i ograničenu upotrebu u ekstremnim uvjetima kao što su visoke temperature ili jako osvjjetljenje[22].

4.3.4. Enkoder i potencijometar

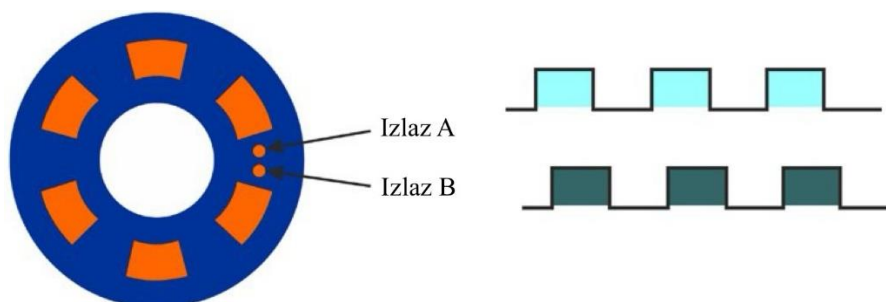
Enkoderi su senzori koji se koriste za mjerenje rotacijskog položaja ili brzine rotacije motora. Njihov princip rada temelji se na generiranju impulsa ili signala ovisno o promjeni položaja ili brzine rotacije. Postoje dva glavna tipa enkodera: inkrementalni i apsolutni. Inkrementalni enkoder korišten u radu prikazan na slici 44 oznake KY-040, generira impulsne signale koji se koriste za praćenje promjene položaja ili brzine. Prednost inkrementalnih enkodera je u tome što su jednostavni za implementaciju i ekonomični, ali im nedostaje apsolutna referenca, što znači da ne mogu odrediti apsolutni položaj. S druge strane, apsolutni enkoderi pružaju apsolutnu vrijednost položaja ili brzine, što ih čini preciznijima od inkrementalnih enkodera. Međutim, oni su često složeniji za implementaciju i skuplji. U radu se koriste enkoderi za upravljanje brzine istosmjernog motora, koračnog motora kod dozatora i pozicije koračnog motora na spremniku[25].



Slika 44. Enkoder KY-040[24]

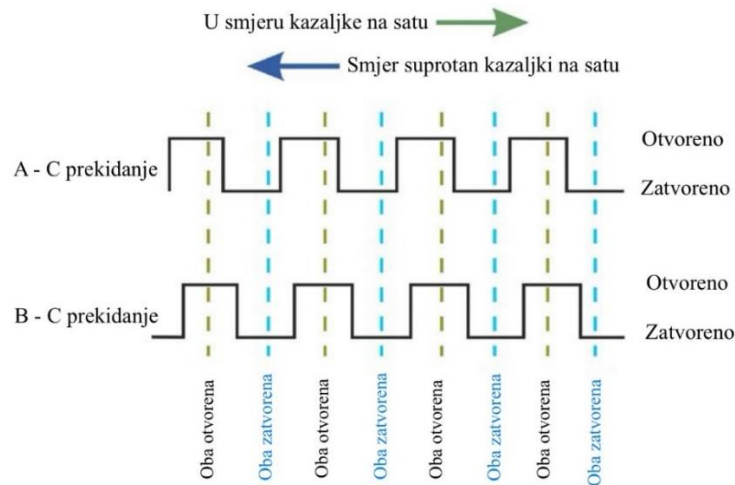
Enkoderi se koriste u različitim aplikacijama, uključujući industrijske strojeve, robotiku, CNC strojeve i druge sustave gdje je važno precizno praćenje rotacije motora. Prednosti uporabe enkodera uključuju visoku preciznost, pouzdanost i mogućnost povratne informacije o položaju ili brzini motora. Međutim, nedostatak enkodera može biti njihova cijena i složenost implementacije, posebno kod apsolutnih enkodera.

Rješenje upravljanja brzine motora se može realizirati potencimetrima, no oni imaju ograničenu preciznost i osjetljivi su na mehaničko trošenje[25]. Radni princip rotacijskog enkodera KY-040 temelji se na generiranju digitalnog signala (kvadratnih impulsa) prilikom rotacije. Enkoder ima disk s kontaktima ravnomjerno raspoređenima jedan od drugoga, koji su povezani sa zajedničkim pinom C (zemlja). Rotacijom prekidača enkodera, disk se također kreće i stupa u kontakt s izlaznim pinovima A i B jedan po jedan, čime istovremeno generira dva kvadratna vala, vidljivo na slici 45.



Slika 45. Generiranje impulsa enkodera[25]

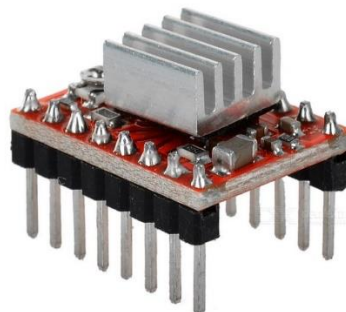
Jednostavnim brojanjem generiranih kvadratnih valova može se odrediti položaj okretanja. Ako se izlaz A prvi put promijenio, prepoznamo da se prekidač okreće u smjeru kazaljke na satu, dok ako se izlaz B prvi put promijeni, znamo da se prekidač okreće u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu, prikazano na slici 46.



Slika 46. Određivanje smjera vrtnje enkodera[25]

4.3.5. Upravljanje koračnim motorom

Kako bi se pravilno upravljalo otvaranjem i zatvaranjem spremnika te brzinom rotacije dozatora potrebno je na pravilan način upravljati koračnim motorima. Upravljanje koračnih motora se realizira odgovarajućim driverom. U radu je korišten driver oznake A4988 prikazan na slici 47.



Slika 47. Driver za koračni motor A4988 [26]

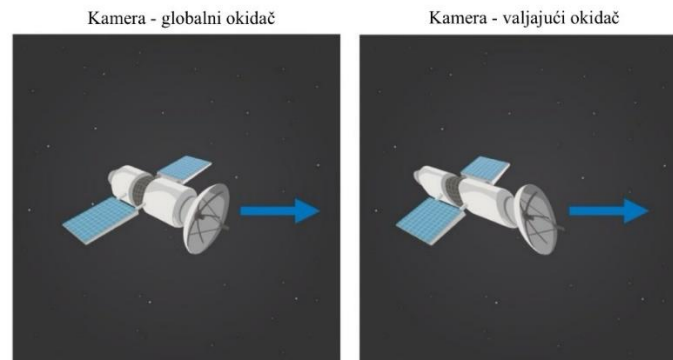
Driver A4988 za koračne motore koristi PWM signal, opisan u 4.3.1 potpoglavlju, za upravljanje rotacijom motora. Glavni princip rada je generiranje koraka rotacije motora pomoću pulsiranja struje kroz njegove namotaje. Uređaj prima kontrolne signale od mikrokontrolera, a zatim ih pretvara u odgovarajuće strujne impulse potrebne za rotaciju motora. Ovaj driver ima mogućnost rada u mikro koraku, što omogućuje fino podešavanje pozicije motora i smanjenje vibracija. Prednosti uključuju jednostavnu upotrebu, nisku cijenu i kompaktnu veličinu. Međutim, nedostaci uključuju ograničenu snagu koju može pružiti i potrebu za dodatnim hlađenjem pri visokim strujama[27].

4.4. Kamera

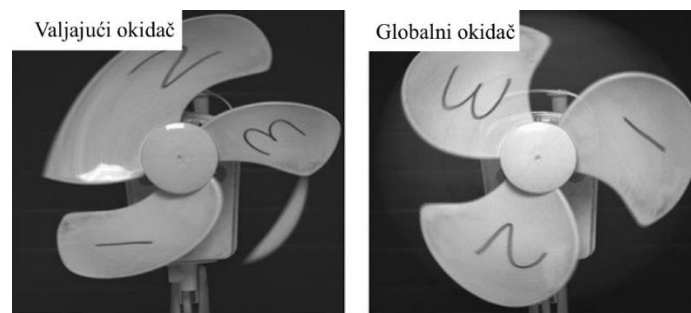
4.4.1. Globalni ili valjajući okidač

Kamera s valjajućim okidačem (eng. *rolling shutter*) čita piksele na senzoru red po red, stvarajući vremensko kašnjenje između očitavanja svakog reda. Ova tehnologija omogućuje brzo očitavanje slike i visoke brzine okvira, što je čini popularnom za snimanje brzih objekata i videozapisa. Međutim, valjajući okidač može rezultirati greškama poput valjanja slike pri brzim kretanjima, što može uzrokovati distorziju ili nepravilnosti u slici. Također, kod kamera s valjajućim okidačem, svaki red senzora ima svoje vlastito vrijeme izloženosti, što može rezultirati neusklađenim bojama i efektima pokreta. Unatoč ovim nedostacima, kamera s valjajućim zatvaračem ima prednosti u pogledu brzine i učinkovitosti, te je često ekonomičnija opcija u usporedbi s globalnim okidačem. Posebno je popularna u industriji zabave, sporta i brzim aplikacijama gdje je brzina bitnija od potpune preciznosti. Kamera sa globalnim okidačem (eng. *Global Shutter*) je kamera koja omogućuje čitanje svih piksela na senzoru kamere istovremeno, bez vremenskog kašnjenja između pojedinih piksela. Ova tehnologija omogućuje snimanje slika koje su trenuci jednog trenutka, čime se sprječava pojava "valjanja" (engl. *rolling*) slike tijekom brzih pokreta. Glavna prednost globalnog okidača je u tome što omogućuje sinkroniziranu ekspoziciju s izvorom svjetlosti, što je posebno korisno za znanstvene i industrijske primjene gdje je preciznost ključna. Globalni okidač kamere ima svoje prednosti i nedostatke kada se koristi na transportnim trakama. S obzirom na svoju sposobnost istovremenog čitanja svih piksela na senzoru, globalni okidač omogućuje precizno snimanje objekata u pokretu, bez rizika od distorzija ili valjanja slike. To znači da je kamera sa globalnim okidačem korisna za praćenje i detekciju objekata na transportnoj traci, posebno u situacijama gdje je potrebna visoka preciznost. Unatoč svojim prednostima, globalni okidači imaju nekoliko nedostataka. Jedan od glavnih nedostataka je sporije očitavanje, što može rezultirati smanjenim brzinama sličica u sekundi (eng. *FPS - frames per second*), ograničenim frekvencijama osvježavanja i duljim vremenskim ciklusima za kameru. Razlike između slika, slikanih s kamerom s valjajućim okidačem i globalnim okidačem mogu se vidjeti na slikama 48 i 49. Za potrebe završnog rada odabrana je kamera s globalnim okidačem zbog potrebe za visokokvalitetnom i preciznom slikom u problemu sortiranja zrna graha. U ovom kontekstu, kvaliteta slike ima prednost nad brzinom okidanja, jer su detalji na zrnu graha ključni za daljnju obradu kroz neuronsku mrežu.

Važno je da slike pružaju jasne i detaljne informacije o svakom zrnu graha, uključujući i manje nedostatke ili nesavršenosti. Odabrana kamera s globalnim okidačem osigurava da se svi potrebni detalji jasno vide, što olakšava daljnju analizu i obradu slika putem neuronske mreže[30].



Slika 48. Globalni i valjajući okidač - primjer 1[28]



Slika 49. Globalni i valjajući okidač - primjer 2[29]

4.4.2. Kamera Arducam CMOS AR0134

Arducam CMOS AR0134 modul je kamera s globalnim okidačem koja pruža visoku rezoluciju i dinamički raspon, idealna za primjene u nadzoru i sigurnosti, visokoj dinamičkoj rasvjeti, strojnom vidu i automatizaciji. Pruža 12-bitne sirove podatke i omogućuje programiranje za veličinu okvira, ekspoziciju, pojačanje i druge parametre, pružajući fleksibilnost u prilagodbi različitim potrebama primjene[31]. Kamera se nalazi na slici 50 uz specifikacije prikazane u tablici 8.



Slika 50. Arducam CMOS AR0134[31]

Tablica 9. Specifikacije kamere Arducam AR0134[31]

<i>Specifikacija</i>	<i>Opis</i>
Optički format	1/3 inča
Senzor	AR0134 globalni okidač
Rezolucija	1.2 MP (1280 x 960)
Veličina piksela	3.75 x 3.75 μm
Brzina okvira	54 fps pri punoj rezoluciji
Osjetljivost	5.3V/lux-sec
Dinamički raspon	64 dB
Napajanje	jednostruki ulaz 3.3V
Sučelje	paralelno
Objekti	osnovni M12 nosač sa 6mm LS-6020 objektivom

4.5. Upravljački uređaj Controllino MAXI

Controllino Maxi, vidljiv na slici 50, je programabilni PLC (eng. *Programmable Logic Controller*) koji je kompatibilan sa softverom Arduino. Namijenjen je privatnoj i industrijskoj upotrebi za široke tehničke primjene. Controllino se programira s pomoću Arduino IDE, otvorenog razvojnog okruženja koje olakšava programiranje u programskom jeziku C zahvaljujući unaprijed implementiranim funkcijama i brojnim bibliotekama. Uređaj kombinira fleksibilnost i pogodnosti otvorenog kodiranja Arduina s pouzdanošću i sigurnošću PLC-a po industrijskim standardima. Ovo ga čini korisnim ne samo za prototipove, već i za konačne proizvode, smanjujući složenost, vrijeme i troškove izrade eksperimentalnog modela.

Controllino Maxi koristi mikrokontroler ATmega328P na 20MHz i omogućuje lakšu implementaciju različitih projekata uz visoku razinu fleksibilnosti. Tehničke specifikacije controllina su prikazane u tablici 9.



Slika 51. Controllino MAXI[32]

Tablica 10. Tehničke specifikacije Controllina[33]

<i>Tehnička specifikacija</i>	<i>Iznos</i>
Napon napajanja	istosmjernih 12 ili 24 V
USB priključak (samo programiranje)	USB-B, 2.0
Radno temperatno područje	0°C - 55°C
Logička 0	0V - 1,5V
Logička 1	3V – 5,5V
Dimenzije	72 x 90 x 62 mm
Komunikacijski priključci	SPI, 2xUART, I2C, Reset
Interno napajanje	+3,3V, 5V
<u>Ulazi</u>	
Bez galvanske izolacije	12
Analogno/digitalni	10
Samo digitalni	2
Analogni 0-5V	14
<u>Izlazi</u>	
Bez galvanske izolacije	12
Sa galvanskom izolacijom (releji)	10

4.6. Napajanje sustava

Napajanje je ključni dio svakog elektroničkog sustava jer omogućava da uređaj radi ispravno. Svrha napajanja je pružiti potrebnu električnu energiju kako bi se napajali različiti dijelovi sustava, poput mikrokontrolera, senzora, motora ili drugih komponenti. Bitno je osigurati stabilno i pouzdano napajanje kako bi se izbjegle nepravilnosti u radu uređaja, prenaponski ili podnaponski uvjeti koji mogu oštetiti komponente, kao i prekidi u radu koji mogu prouzročiti gubitak podataka ili neželjene posljedice. Stoga je važno odabrati odgovarajuće napajanje koje će osigurati stabilnu i pouzdanu snagu potrebnu za rad svih dijelova elektroničkog sustava. Neke od komponentata će imati zasebno napajanje dok se recimo većina senzora napaja direktno iz Controllino uređaja. U tablici 10 su pobrojane komponente, koje zahtijevaju veće napajanje od ostatka, i njihov radni napon komponentata.

Tablica 11. Potrebna napajanja komponentata

<i>Komponenta</i>	<i>Potreban napon napajanja</i>
Controllino MAXI	24VDC
Istosmjerni motor	24VDC
Led trake (osvjetljenje za kameru)	12VDC
Kamera Arducam AR0134	5VDC (laptop)

Odabrana su napajanja od proizvođača Mean Well, oznaka NDR-75-24 i NDR-120-24, sa slika 52 i 53, uz njih tablice 12 i 13 sa tehničkim specifikacijama.



Slika 52. Napajanje Mean Well NDR-75-12 [36]

Tablica 12. Tehničke specifikacije napajanja[34]

<i>Tehnička specifikacija</i>	<i>Iznos</i>
Ulazni napon	90-264VAC
Broj izlaza	1
Izlaz	12VDC 0-6,3A
Snaga	75,6W
Kućište	Za DIN letvu
Hlađenje	pasivno



Slika 53. Napajanje Mean Well NDR-120-24 [35]

Tablica 13. Tehničke specifikacije napajnja[35]

<i>Tehnička specifikacija</i>	<i>Iznos</i>
Ulazni napon	90-264VAC
Broj izlaza	1
Izlaz	24VDC 0-5A
Snaga	120W
Kućište	Za DIN letvu
Hlađenje	pasivno

5. KLASIFIKACIJA ZRNA

5.1. Problematika prepoznavanja loših zrna

Prepoznavanje dobrih i loših zrna graha predstavlja ključni izazov u industriji prerade hrane i poljoprivredi. Ovaj proces je važan zbog utjecaja na kvalitetu proizvoda, učinkovitost proizvodnje i zadovoljstvo potrošača. Glavni problemi s kojima se suočavamo pri prepoznavanju kvalitete zrna graha uključuju varijabilnost u boji, veličini, obliku i teksturi zrna, kao i prisutnost nečistoća poput pijeska, kamenčića ili oštećenih zrna. Na slici 54 su prikazana dobra zrna dok na slici 55 mješavina dobrih i loših zrna, gdje su vidljive nečistoće i nepravilnosti zrna, što mora biti detektirano i uklonjeno.



Slika 54. Zrna graha klase : dobra

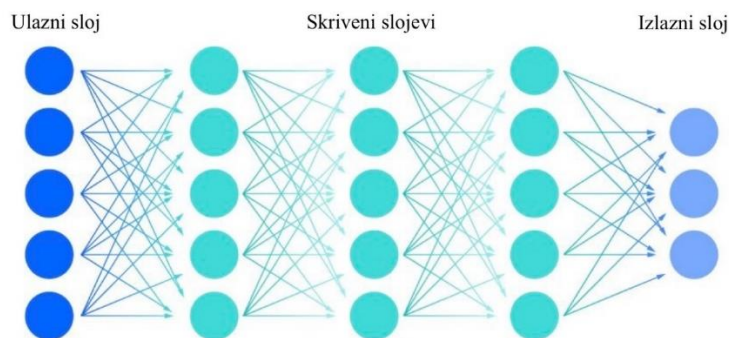


Slika 55. Detekcija loših zrna graha

Tradicionalni načini provjere kvalitete, poput ručnog pregleda ili upotrebe jednostavnih strojeva, često su neefikasni, skupi i nisu uvijek precizni. To može rezultirati gubitkom resursa i vremena, smanjenom kvalitetom proizvoda i gubitkom konkurentnosti na tržištu. Jedan od načina rješavanja ovog problema je korištenje naprednih tehnologija poput strojnog učenja, računalnog vida i senzorskih sustava. Strojno učenje omogućuje razvoj modela koji mogu automatski klasificirati zrna graha na temelju različitih karakteristika, poput boje, oblika i teksture. Računalni vid omogućuje precizno i brzo prepoznavanje nečistoća i oštećenja na zrnu, dok senzorski sustavi mogu detektirati nevidljive nedostatke poput unutarnjih oštećenja ili nepravilnosti. Implementacija ovih tehnologija zahtijeva integraciju kompleksnih sustava hardvera i softvera te prilagodbu na specifične uvjete i zahtjeve proizvodnje. Potrebno je razviti sustave koji mogu raditi u različitim okruženjima, od poljoprivrednih farmi do industrijskih pogona za preradu hrane. Također, potrebno je osigurati da ovi sustavi budu pouzdani, precizni i ekonomski isplativi.

5.2. Neuronske mreže

Neuronske mreže su računalni modeli koji oponašaju strukturu i funkcioniranje ljudskog mozga. Sastoje se od umjetnih neurona koji su organizirani u slojeve i povezani su težinama koje određuju snagu veze između neurona. Postoje različite vrste neuronskih mreža, a osnovna podjela temelji se na arhitekturi i načinu povezivanja neurona. Na slici 56 je prikazana općenita struktura neuronskih mreža.



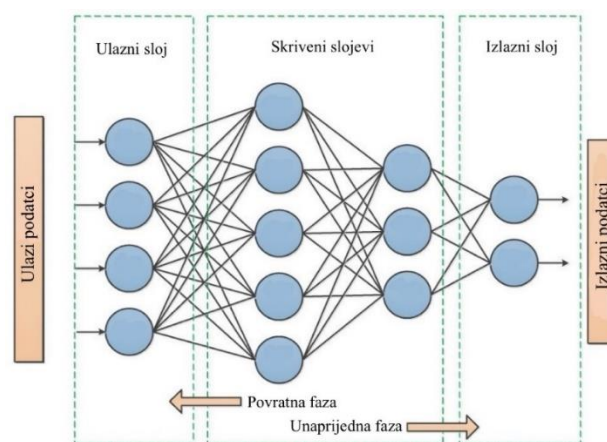
Slika 56. Struktura neuronskih mreža[40]

Prva podjela je prema arhitekturi, koja uključuje unaprijedne neuronske mreže (eng. *feedforward neural networks*) i rekurentne neuronske mreže (eng. *recurrent neural networks*). Unaprijedne neuronske mreže sastoje se od slojeva neurona koji prenose informacije u jednom smjeru, od ulaza do izlaza, bez povratne veze[37].

Ova vrsta se često koristi u zadacima klasifikacije i regresije. Druga podjela neuronskih mreža je prema zadacima za koje se koriste, kao što su nadzirano učenje (eng. *supervised learning*), nenadzirano učenje (eng. *unsupervised learning*) i pojačano učenje (eng. *reinforcement learning*). Nadzirano učenje uključuje treniranje neuronskih mreža na označenim podacima kako bi naučile mapirati ulazne podatke na odgovarajuće izlazne podatke. Nenadzirano učenje uključuje treniranje neuronskih mreža na nepotrebnim podacima kako bi otkrile skrivene strukture ili obrasce u podacima. Pojačano učenje je tehnika učenja koja omogućuje agentima da uče putem interakcije s okolinom i nagrađivanjem ili kaznom za svoje postupke[38]. Neuronske mreže se koriste u različitim područjima kao što su računalni vid, obrada prirodnog jezika (NLP), prevođenje jezika, upravljanje robotima, financije, medicina i drugi. Glavna prednost neuronskih mreža je njihova sposobnost učenja složenih i skrivenih uzoraka iz podataka bez eksplicitnog programiranja. Također su fleksibilne i mogu se prilagoditi različitim vrstama problema i podataka. Međutim, neuronske mreže zahtijevaju veliku količinu podataka za učenje i kompleksne računalne resurse za izvođenje, te mogu biti sklonije da daju krive izlazne podatke (predviđanja) na nepotpunim ili nebalansiranim skupovima podataka[39].

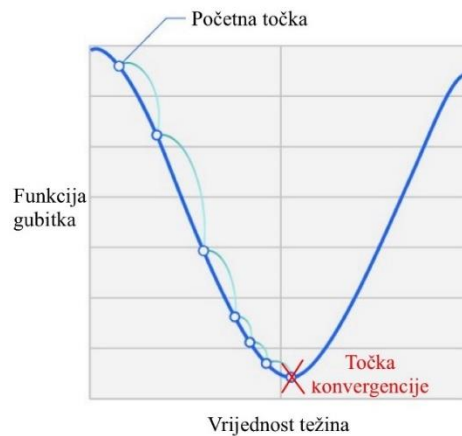
5.2.1. Povratno učenje

Povratno učenje (eng. *backpropagation*) je ključni algoritam učenja neuronskih mreža koji se koristi za prilagodbu težina veza između neurona kako bi se minimizirala funkcija gubitka (eng. *loss function*) tijekom procesa učenja. Ovaj algoritam radi tako što iterativno prilagođuje težine unatrag, počevši od izlaznog sloja prema ulaznom sloju, s ciljem minimiziranja greške između stvarnih i predviđenih izlaza neuronske mreže, smjer povratnog i unaprijednog učenja se može vidjeti na slici 57[40].



Slika 57. Povratno i unaprijedno učenje[40]

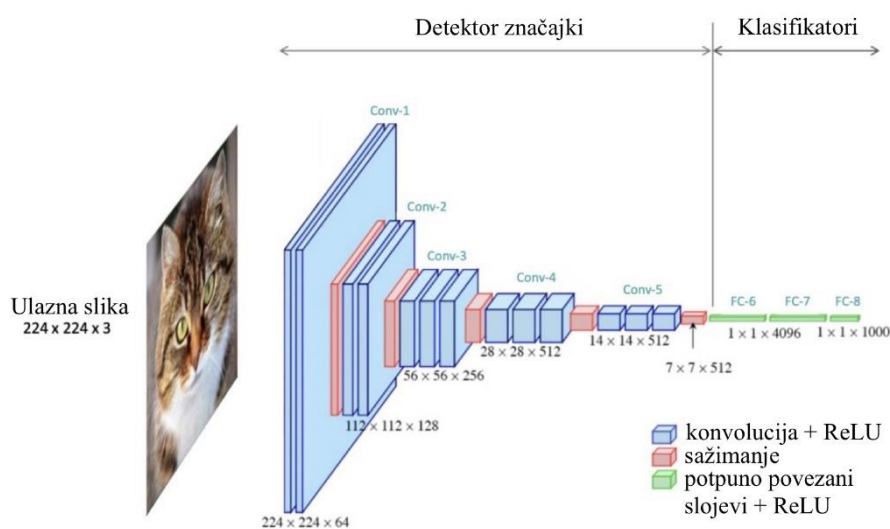
Kada neuronska mreža napravi predikciju na temelju ulaznih podataka, funkcija gubitka procjenjuje koliko su te predikcije udaljene od stvarnih vrijednosti. Povratno učenje koristi tu razliku kako bi prilagodio težine veza unatrag kroz mrežu, koristeći gradijent funkcije gubitka u odnosu na težine. Cilj je pronaći težine koje minimiziraju funkciju gubitka, što se postiže iterativnim prilagođavanjem težina u smjeru u kojem gubitak opada. Povratno učenje utječe na funkciju gubitka tako što optimizira težine veza kako bi se postigla minimalna vrijednost funkcije gubitka. Kroz iterativni proces prilagođavanja težina, algoritam pokušava pronaći lokalni minimum funkcije gubitka, kao što je prikazano na slici 58, što predstavlja optimalne težine za mrežu. Što je funkcija gubitka niža, to su predikcije mreže bliže stvarnim vrijednostima, što rezultira boljim performansama mreže u rješavanju zadataka poput klasifikacije ili regresije[41].



Slika 58. Minimizacija funkcije gubitka[42]

5.3. Konvolucijske neuronske mreže

Konvolucijske neuronske mreže (eng. *Convolutional Neural Networks - CNN*) su specifična vrsta neuronskih mreža koje su posebno dizajnirane za obradu vizualnih podataka poput slika i videozapisa, jedna od struktura je prikazana na slici 58. One su se pokazale izuzetno uspješnim u zadacima računalnog vida, uključujući klasifikaciju objekata, klasifikaciju slika, detekciju lica i segmentaciju slika. Glavna karakteristika konvolucijskih neuronskih mreža je korištenje konvolucijskih slojeva koji efikasno izdvajaju lokalne značajke iz ulaznih podataka [43].

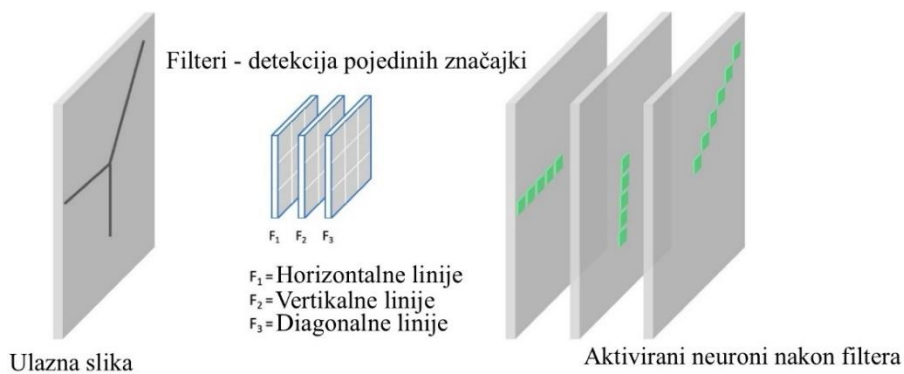


Slika 59. Jedna od mogućih struktura konvolucijskih mreža[43]

Konvolucijske neuronske mreže se sastoje od nekoliko slojeva, uključujući konvolucijske slojeve, slojeve sažimanja (eng. *pooling*), potpuno povezane slojeve i slojeve aktivacije. Konvolucijski slojevi koriste set filtara (eng. *kernel*) koji se kreću po ulaznoj slici i primjenjuju konvoluciju kako bi izdvojili različite značajke poput rubova, tekstura i oblika. Nakon toga, slojevi sažimanja se koriste za smanjenje dimenzionalnosti izlaza konvolucijskih slojeva, čime se smanjuje računalna složenost mreže. Potpuno povezani (eng. *fully connected*) slojevi služe za klasifikaciju izdvojenih značajki u određene kategorije, dok slojevi aktivacije primjenjuju nelinearne funkcije kako bi se dodatno obogatili prostorni odnosi između značajki. U prvim slojevima konvolucijskih mreža filteri detektiraju sitnije detalje (rubovi, teksture ili oblici), u odnosu na dublje slojeve gdje detektiraju veće i složenije značajke kao što su konture ili obrisi cijelog tijela što je vidljivo na slici 60. Način na koji filteri mapiraju ulaznu sliku i detektiraju značajke na slici, može se vidjeti na slici 61[43].



Slika 60. Detekcija značajki filtera po slojevima[43]



Slika 61. Princip mapiranja filtera[43]

Konvolucijske neuronske mreže se koriste u mnogim područjima, uključujući medicinsku dijagnostiku, video nadzor, automobilsku industriju, prepoznavanje rukopisa, prepoznavanje emocija, prepoznavanje znakova, analizu satelitskih slika, robotiku i druge. Primjena konvolucijskih neuronskih mreža uključuje automatsko prepoznavanje i klasifikaciju slika, detekciju objekata u stvarnom vremenu, praćenje pokreta, segmentaciju slika, generiranje slika visoke razlučivosti i mnoge druge zadatke[44]. Glavna prednost konvolucijskih neuronskih mreža je njihova sposobnost automatskog izvlačenja značajki iz ulaznih podataka bez potrebe za ručno definiranim značajkama. Također, konvolucijske neuronske mreže su vrlo efikasne u klasifikaciji i prepoznavanju objekata u složenim okruženjima. Međutim, te mreže zahtijevaju velike količine podataka za obuku kako bi postigli visoku razinu točnosti, te su potrebni intenzivni računalni resursi za obuku i izvođenje. Također, interpretacija unutarnjih značajki konvolucijskih neuronskih mreža može biti izazovna i može otežati razumijevanje kako mreža donosi odluke[45].

6. ZAKLJUČAK

Izrada stroja za sortiranje zrna graha korištenjem konvolucijskih neuronskih mreža predstavlja kompleksan inženjerski pothvat koji zahtijeva znanje iz različitih područja mehatronike i robotike. Kombinacija vještina u mehanici, elektronici, programiranju i robotici ključna je za uspješan razvoj ovakvog sustava. Integracija konvolucijskih neuronskih mreža u sustav za sortiranje zahtijeva duboko razumijevanje algoritama strojnog učenja i sposobnost implementacije tih algoritama u stvarnom svijetu. U procesu izrade ovog stroja uloženo je puno vremena, truda i resursa, uz mnoge zapreke na samom putu izrade. Razvoj konstrukcije stroja, izrada hardvera i softvera, testiranje i optimizacija svake komponente zahtijevali su temeljito planiranje i stručno znanje, koje se dodatnom literaturom i kroz razgovor sa stručnim osobama na koristan način primjenilo u završnom radu. Prednost vlastite izrade ovakvog stroja je višestruka. Prvo, izbjegava se visoki trošak industrijskih strojeva, čija cijena može doseći desetke tisuća eura. Umjesto toga, ulaganjem vremena i znanja, postignuto je rješenje koje je znatno jeftinije, ali jednako učinkovito. Tokom izrade cijelog stroja, vođena je evidencija troškova, pa se tako u priložima može vidjeti i troškovnik, koji dokazuje već spomenutu razliku u cijeni uspoređujući sa industrijskim sortirnicama. Tokom nabave komponenata, neke su već bile dostupne za korištenje od strane fakulteta, stoga u troškovniku nemaju navedenu cijenu. Drugo, ovakav pristup omogućava prilagodbu stroja specifičnim zahtjevima i uvjetima proizvodnje, što nije uvijek moguće s gotovim industrijskim rješenjima. U industriji prerade hrane i poljoprivredi, gdje je potrebno sortirati velike količine zrna graha, ovakav automatizirani sustav značajno olakšava proces proizvodnje, povećava učinkovitost i smanjuje troškove. Osim toga, mogućnost prilagodbe i poboljšanja sustava kroz daljnji razvoj i implementaciju novih tehnologija čini ga izuzetno vrijednim alatom. Poboljšanja samog sustava su moguća na mnoge načine i itekako postoji prostor za realizacijom istih. Neka od poboljšanja koja bi trebalo najprije razmatrati su odabir snažnijeg istosmjernog motora, ako se želi rad na dulja vremenska trajanja. Zatim, ugrađivanjem različitih senzora se znatno olakšava uporaba i upravljanje samog sustava, pa tako dodatkom senzora težine na spremnik može se realizirati neka vrsta upozorenja da je spremnik uskoro prazan pa da se signalnim upozorenjima upozori okolna nadzorna tijela. To su samo neke ideje poboljšanja koje je moguće realizirati, ali uz potrebno izdvajanje dodatnog vremena. Izrada ovog eksperimentalnog modela predstavljala je korak dalje u razvoju mojih vještina stečenih tijekom studija. Procesom konstrukcije, implementacije neuronskih mreža i testiranja, produbio sam svoje razumijevanje mehatronike i robotike.

Shvatio sam važnost rješavanja praktičnih problema u industriji te kako vlastiti rad može rezultirati korisnim inovacijama. Izrađujući ovaj model, osvijestio sam sposobnost ostvarivanja svojih ideja u stvarnom svijetu te stvorio temelje za buduće projekte i karijeru. Sveukupno, ovo iskustvo je obogatilo moje znanje i potaknulo me na daljnje profesionalno usavršavanje i istraživanje.

7. LITERATURA

1. „SORTEX S UltraVision“, Buhler, dostupno na: https://www.buhlergroup.com/global/en/products/sortex_s_ultravisionopticalsorter.html, pristup 15.01.2024.
2. “Matrix super brzi ventili”, Bibus, dostupno na: <https://www.bibus.hr/proizvodi-i-rjesenja/pneumatika/ventili-i-upravljanje/matrix-super-brzi-ventili/>, pristup 15.01.2014.
3. „Belt conveyor parts“, Industrialsafetyguide, dostupno na: <https://industrialsafetyguide.com/belt-conveyor-parts/>, pristup 15.01.2024.
4. „Introduction to Fused Deposition Modeling (FDM)“, University of Maryland, dostupno na: https://dozuki.umd.edu/Wiki/Introduction_to_Fused_Deposition_Modeling_%28FDM%29, pristup 15.01.2024.
5. „3D Printing: What It Is, How It Works, Examples“, Investopedia, dostupno na: <https://www.investopedia.com/terms/1/3d-printing.asp>, pristup 15.01.2024.
6. „Creality Ender 3 V2 kit“, DIYkits, dostupno na: https://www.diykits.eu/products/brands/creality/p_11710, pristup 15.01.2024.
7. „Creality Ender 3 V2 Review“, Craftcloud, dostupno na: <https://all3dp.com/1/creality-ender-3-v2-review-3d-printer-specs/>, pristup 15.01.2024.
8. „Kućište s ležajem UCFL 203 Toprol“, Trgo Agencija, dostupno na: <https://www.trgo-agencija.hr/kucista-za-lezajeve/sa-upetim-lezajem/ucfl/kuciste-s-lezajem-ucfl-203-toprol.html>, pristup 15.01.2024.
9. „Nema 17 step motor“, NKX MOTOR, dostupno na: <https://www.nkxmotor.si/hr/shop/koracni-motori-2/nema17/nema-17-stepper-motor-40ncm-konektor/>, pristup 15.01.2024.
10. „Koračni motori“, TME, dostupno na: <https://www.tme.eu/hr/news/library-articles/page/41861/koracni-motori-vrste-i-primjeri-primjene-koracnih-motora/>, pristup 15.01.2024.
11. „Koračni motori“, Tipteh, dostupno na: <https://tipteh.com/hr/koracni-motori/>, pristup 15.01.2024.
12. „Complete Guide for Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino“, Random Nerd Tutorials, dostupno na: <https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-ultrasonic-sensor-hc-sr04/>, pristup 15.01.2024.

13. „What is Ultrasonic Sensor“, Robocraze, dostupno na: <https://robocraze.com/blogs/post/what-is-ultrasonic-sensor>, pristup 15.01.2024.
14. „TRU COMPONENTS IG420004-15271R“, Conrad, dostupno na: <https://www.conrad.hr/hr/p/tru-components-ig420004-15271r-istosmjerni-motor-s-getribom-24-v-2100-ma-0-176519-nm-1445-u-min-promjer-osovine-8-mm-1601533.html?refresh=true>, pristup 15.01.2024.
15. „Istosmjerni (DC) motor“, Stem, dostupno na: <https://www.stem.ba/arduino-elektronika/tutorijali/item/299-istosmjerni-dc-motor>, pristup 15.01.2024.
16. „Modul - motor driver IBT2 BTS7960“, A/D electronic, dostupno na: <https://www.ad-electronic.hr/index.php/elektronika-i-elektrika%20-%202023/ure%C4%91aji-za-samogradnju%20-%2020485/arduino-program%20-%2020486/modul-motor-driver-ibt2-bts7960-6-27v-43a8154870-detajli>, pristup 15.01.2024.
17. „BTS7960 Motor Driver“, Handsontec, dostupno na: <https://www.handsontec.com/dataspecs/module/BTS7960%20Motor%20Driver.pdf>, pristup 15.01.2024.
18. „What is a PWM signal?“, CircuitBread, dostupno na: <https://www.circuitbread.com/ee-faq/what-is-a-pwm-signal>, pristup 16.01.2024.
19. „Pulsno širinska modulacija“, Arm MBED, dostupno na: <https://os.mbed.com/teams/TVZ-Mechatronics-Team/wiki/Pulsno-%C5%A1irinska-modulacija>, pristup 16.01.2024.
20. „Remenski prijenos“, Unizd, dostupno na: https://www.unizd.hr/Portals/1/nastmat/S_Elementi/REMENSKI%20PRIJENOS%20Read-Only.pdf, pristup 16.01.2024.
21. „Reduction Gear Belt“, Aliexpress, dostupno na: https://www.aliexpress.com/item/32855945814.html?pdp_npi=4%40dis%21USD%2146.79%2129.01%21%21%2146.79%2129.01%21%40212a6fbf17078600155147773d13e0%2112000027400970830%21affd%21%21%21&dp=531357-64225.93476225&aff_fcid=f230db611a934aabb4f5afa6dc1f1df2-1707860017719-07832&aff_fsk&aff_platform=api-new-product-detail&sk&aff_trace_key=f230db611a934aabb4f5afa6dc1f1df2-1707860017719-07832&terminal_id=ba1f88ada43a41e48cd7c90f50487634&afSmartRedirect=y&gatewayAdapt=4itemAdapt, pristup 16.01.2024.
22. „IR Sensor Working and Applications“, Robu, dostupno na: <https://robu.in/ir-sensor-working/>, pristup 16.01.2024.

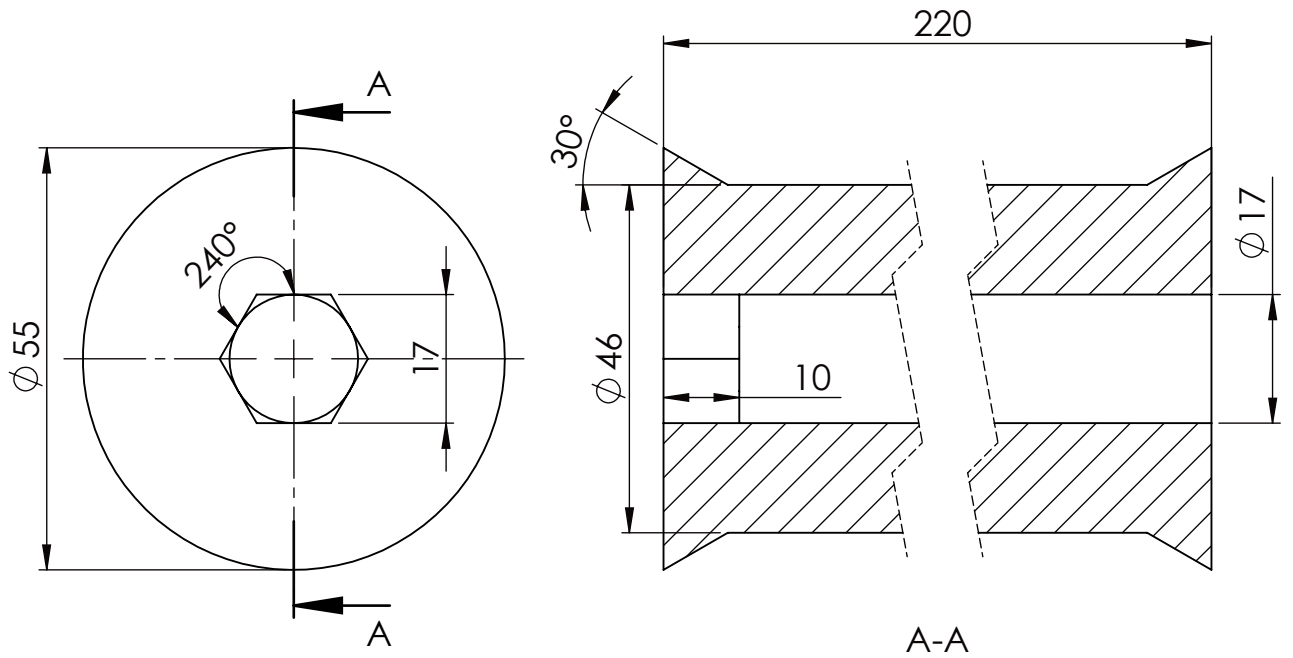
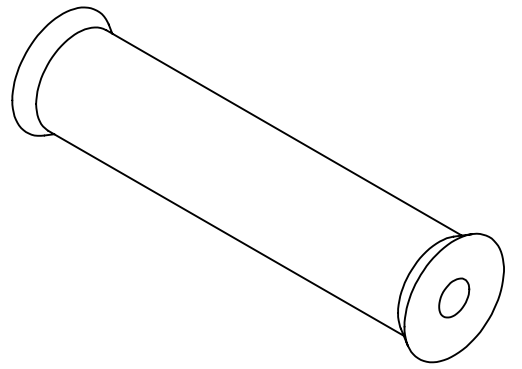
23. „IR Sensor Working Principle and Applications“, Vayuyaan, dostupno na: <https://www.linkedin.com/pulse/ir-sensor-working-principle-applications-vayuyaan-pltyf/>, pristup 16.01.2024.
24. „Modul - Enkoder KY-040“, A/D electronic, dostupno na: <https://ad-electronic.hr/index.php/elektronika-i-elektrika%20-%202023/modul-enkoder-ky-0402309564-detalji>, pristup 16.01.2024.
25. „KY-040 - Rotary Encoder Module“, Components101, dostupno na: <https://components101.com/modules/KY-04-rotary-encoder-pinout-features-datasheet-working-application-alternative>, pristup 16.01.2024.
26. „A4988 stepper motor driver“, DIYkits, dostupno na: https://www.diykits.eu/products/motor/p_10547, pristup 16.01.2024.
27. „A4988 Stepper Motor Driver Carrier“, Pololu, dostupno na: <https://www.pololu.com/product/1182>, pristup 16.01.2024.
28. „Rolling vs Global Shutte“, Teledyne, dostupno na: <https://www.photometrics.com/learn/advanced-imaging/rolling-vs-global-shutter>, pristup 16.01.2024.
29. „Rolling Shutter vs Global Shutter sCMOS Camera Mode“, Oxford Instruments, dostupno na: <https://andor.oxinst.com/learning/view/article/rolling-and-global-shutter>, pristup 16.01.2024.
30. „What is global shutter: 3 ways it can change photography“, Richard Butler, dostupno na: <https://www.dpreview.com/learn/6348932189/what-is-global-shutter>, pristup 16.01.2024.
31. „Arducam 1.2MP AR0134“, ArduCam, dostupno na: <https://www.arducam.com/product/arducam-cmos-ar0134-1-3-inch-1-2mp-color-camera-module-2/>, pristup 16.01.2024.
32. „Controllino Maxi“, Controllino, dostupno na: <https://www.controllino.com/product-category/controllers/maxi/>, pristup 16.01.2024.
33. „Controllino MAXI“, Conrad, dostupno na: <https://www.conrad.com/en/p/controllino-maxi-100-100-00-,-,-,,-ime>, ime, dostupno na: [plc-controller-12-v-dc-24-v-dc-1325475.html?refresh=true#boughtTogether](https://www.conrad.com/en/p/plc-controller-12-v-dc-24-v-dc-1325475.html?refresh=true#boughtTogether), pristup 16.01.2024.

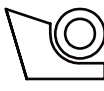
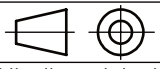
34. „Napajanje 230VAC/12VDC 75W“, A/D electronic, dostupno na: <https://www.ad-electronic.hr/index.php/baterije,-akumulatori-i-izvori-napajanja%20-%202021/izvori-napajanja%20-%2020640/industrijska-napajanja%20-%2020642/napajanje-230vac-12vdc-75w-6,3a-ndr75-12-za-%C5%A1inu8840183-detalji>, pristup 16.01.2024.
35. „Napajanje 230VAC/24VDC 120W“, A/D electronic, dostupno na: <https://www.ad-electronic.hr/index.php/baterije,-akumulatori-i-izvori-napajanja%20-%202021/izvori-napajanja%20-%2020640/industrijska-napajanja%20-%2020642/napajanje-230vac-24vdc-120w-5a-ndr120-24-za-%C5%A1inu6066171-detalji>, pristup 17.01.2024.
36. „Mean Well NDR-75-12 Power Supply“, Rs Online, dostupno na: <https://us.rs-online.com/product/mean-well/ndr-75-12/70473595/>, pristup 17.01.2024.
37. „Neuronske mreže za početnike“, Anđa Valent, dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/file/425148>, pristup 17.01.2024.
38. „Osnove neuronskih mreža“, Elements of AI, dostupno na: <https://course.elementsofai.com/hr/5/1>, pristup 17.01.2024.
39. „What is a Neural Network?“, AWS Amazon, dostupno na: <https://aws.amazon.com/what-is/neural-network/>, pristup 19.01.2024.
40. „Feedforward vs Backpropagation“, SattronEdge, dostupno na: <https://www.linkedin.com/pulse/feedforward-vs-backpropagation-ann-saffronedge1/>, pristup 19.01.2024.
41. „How Does Backpropagation in a Neural Network Work?“, BuiltIn, dostupno na: <https://builtin.com/machine-learning/backpropagation-neural-network>, pristup 19.01.2024.
42. „What is a neural network?“, IBM, dostupno na: <https://www.ibm.com/topics/neural-networks>, pristup 19.01.2024.
43. „Understanding Convolutional Neural Network“, LearnOpenCV, dostupno na: <https://learnopencv.com/understanding-convolutional-neural-networks-cnn/>, pristup 19.01.2024.
44. „What are convolutional neural networks?“, IBM, dostupno na: <https://www.ibm.com/topics/convolutional-neural-networks>, pristup 19.01.2024.
45. „Introduction to Convolution Neural Network“, Geeksforgeeks, dostupno na: <https://www.geeksforgeeks.org/introduction-convolution-neural-network/>, pristup 19.01.2024.

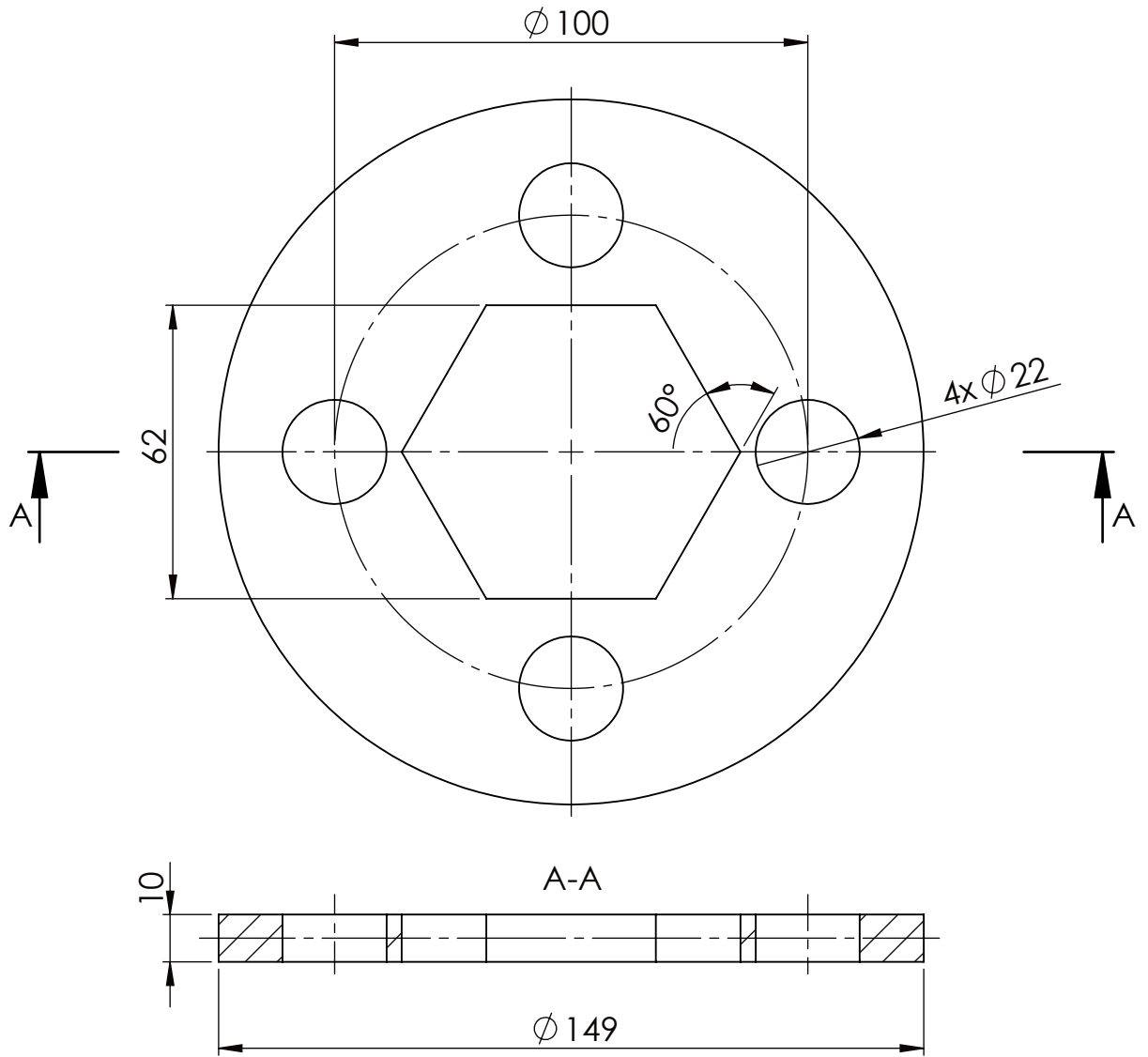
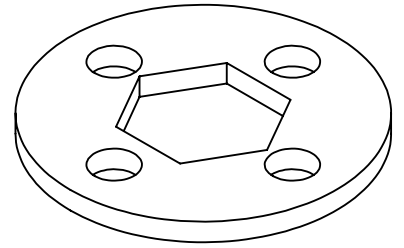
8. PRILOZI

- I. Troškovnik
- II. Tehnička dokumentacija

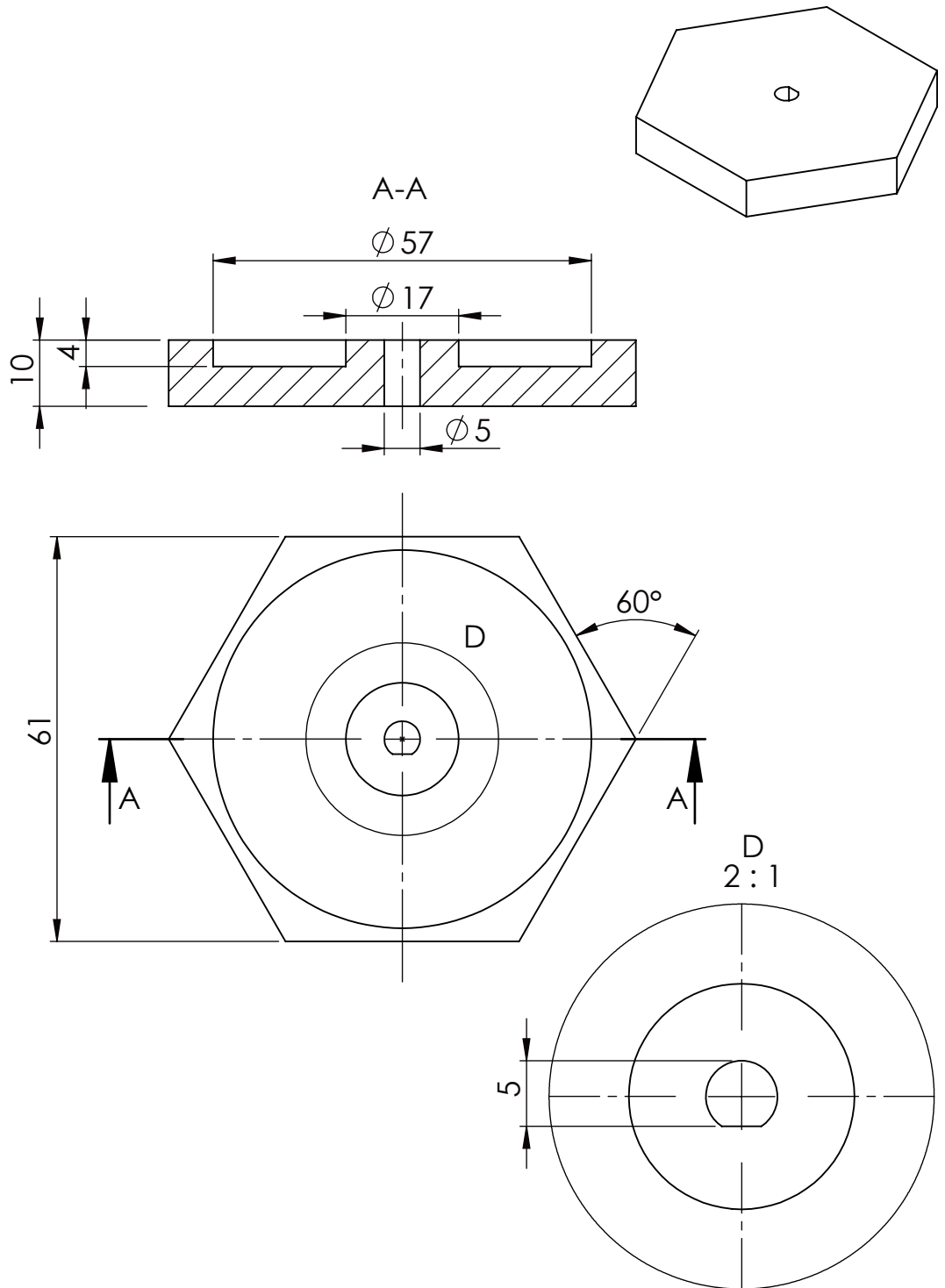
Naziv komponente	Komada	Ukupna cijena
Vijci i matice	594	193,15 €
Žice i vodiči	1	124,74 €
Online tečaj	1	150,00 €
Ventil MATRIX	1	- €
ALU profili	23	93,33 €
Aditivna proizvodnja	45	53,00 €
Pneumatske cijevi	3	- €
Napajanja	2	65,00 €
Controllino MAXI	1	- €
Kamera	1	- €
Upravljački dio (senzori, driveri, ...)	14	53,00 €
Transportna traka	1	148,00 €
Remenice i remen	3	15,00 €
Drvo	1	14,00 €
Koračni motori	2	32,00 €
Istosmjerni motor	1	88,00 €
Ležajevi	4	20,72 €
Led traka i profili za traku	1	- €
Usluge tokarenja, bušenja	1	50,00 €
Dostava - ukupna	4	24,00 €
Dodatci - uz ALU profile (kutnici, poklopci,...)	102	120,30 €
Dodatci - razno (alati, priljučnice, mjerni uređaji)	12	76,00 €
	UKUPNI TROŠAK	1.320,24 €



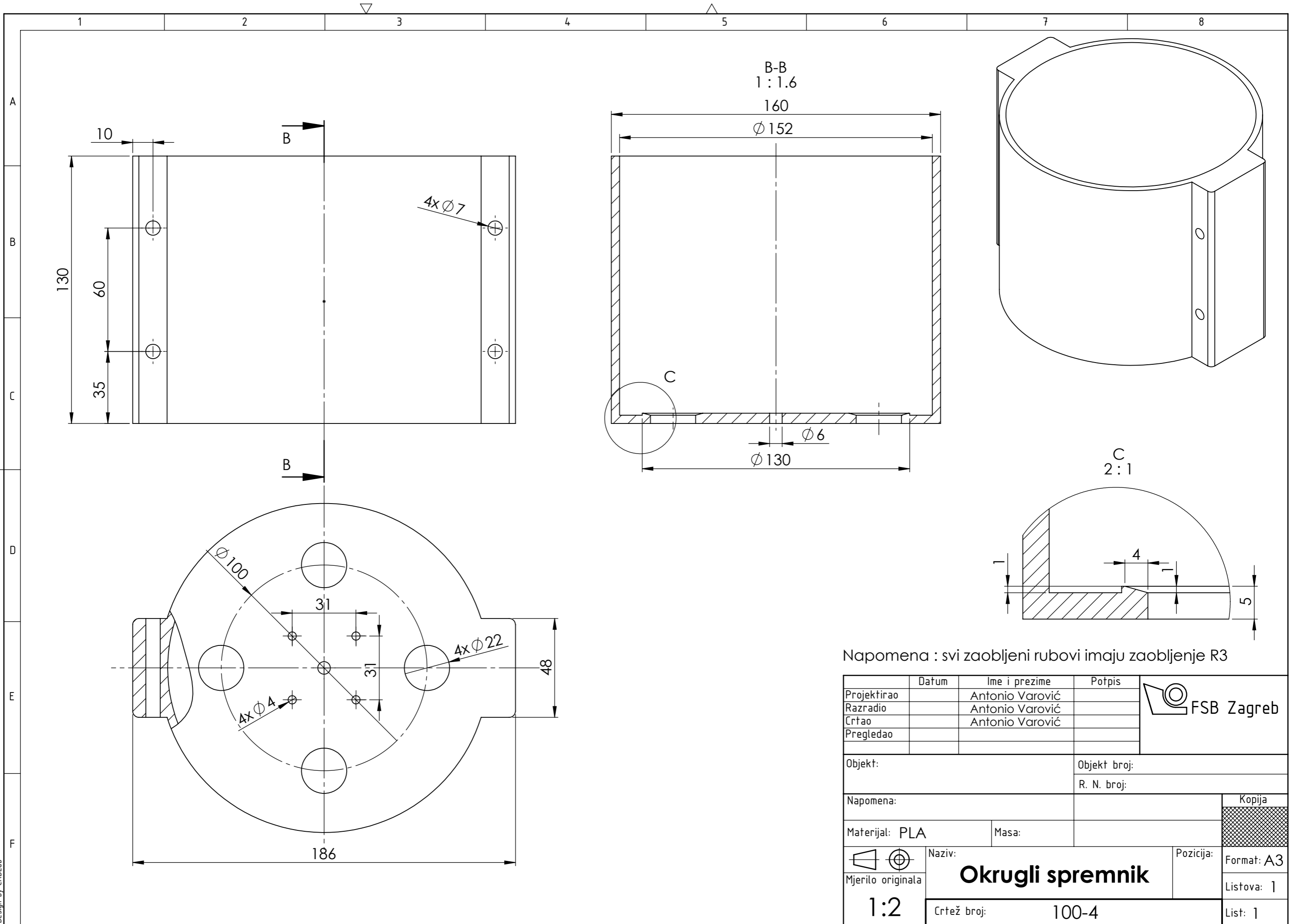
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Antonio Varović		
Razradio		Antonio Varović		
Crtao		Antonio Varović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				
Materijal: PLA		Masa:		
 Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:	Kopija
	Valjak			<input type="checkbox"/>
1:1	Crtež broj: 100-1		Format: A4	<input type="checkbox"/>
			Listova: 1	<input type="checkbox"/>
			List: 1	<input type="checkbox"/>



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Antonio Varović		
Razradio		Antonio Varović		
Crtao		Antonio Varović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: PLA		Masa:		
 Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
	Rotirajuća ploča			Listova: 1
1:1	Crtež broj: 100-2			List: 1

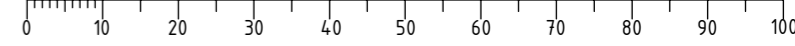


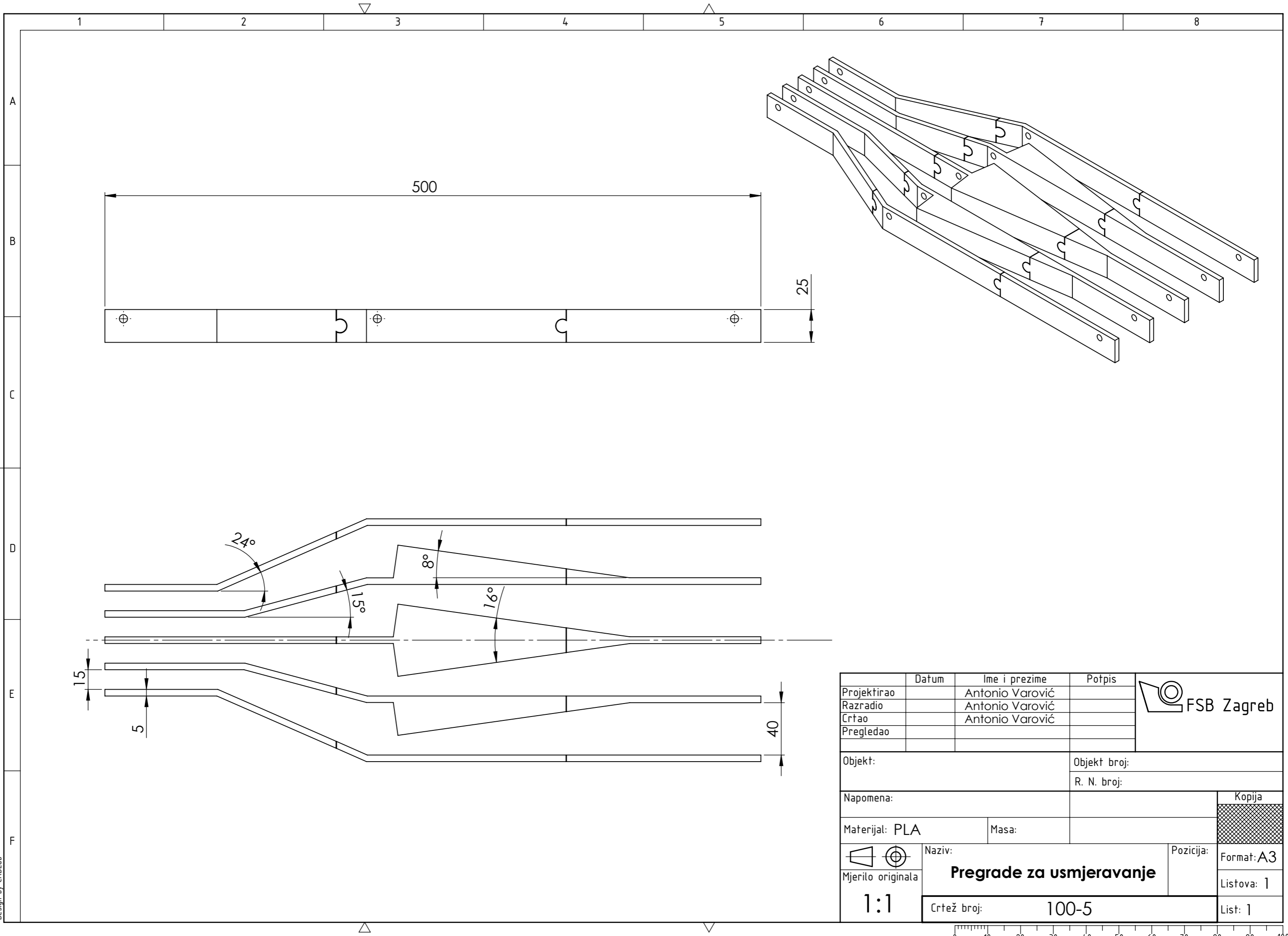
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Antonio Varović		
Razradio		Antonio Varović		
Črtao		Antonio Varović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				
Materijal: PLA		Masa:		
 Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:	Kopija
	Šesterokutna ploča			<input type="checkbox"/>
1:1	Crtež broj:		100-3	Format: A4
				Listova: 1
				List: 1



Napomena : svi zaobljeni rubovi imaju zaobljenje R3

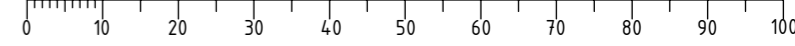
	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		Antonio Varović		
Razradio		Antonio Varović		
Crtao		Antonio Varović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: PLA		Masa:		
		Naziv:		
Mjerilo originala		Okrugli spremnik		Listova: 1
1:2		Crtež broj: 100-4		List: 1

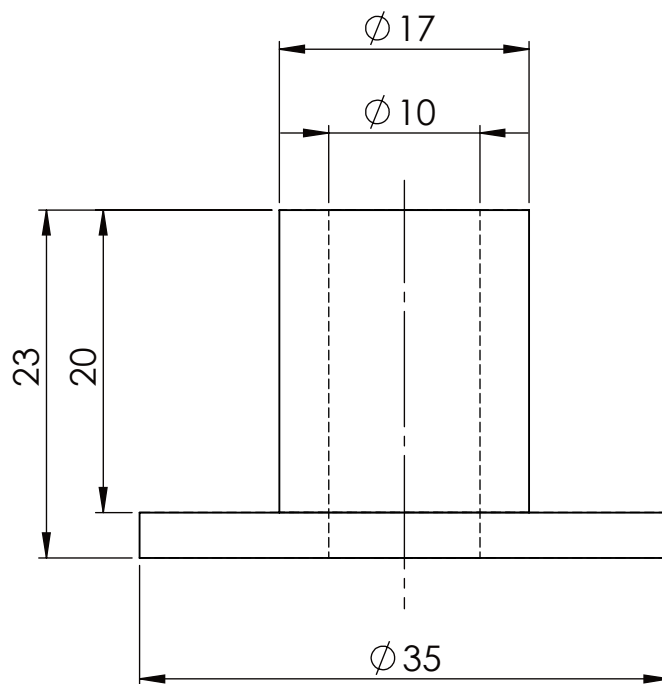
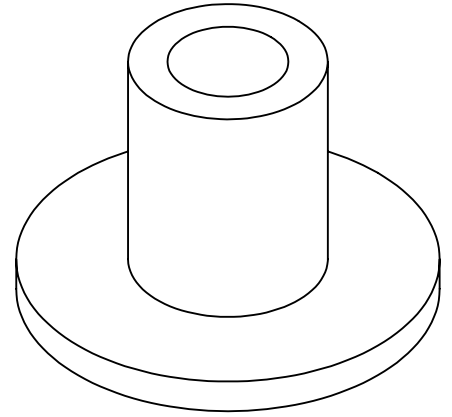


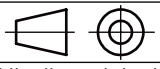


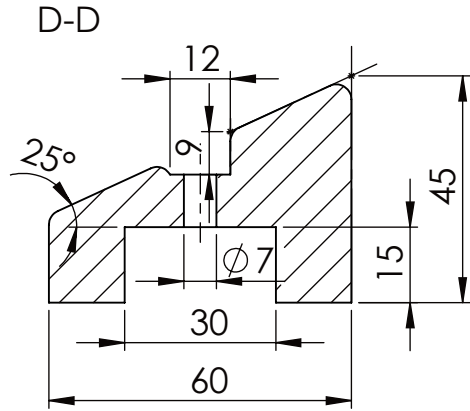
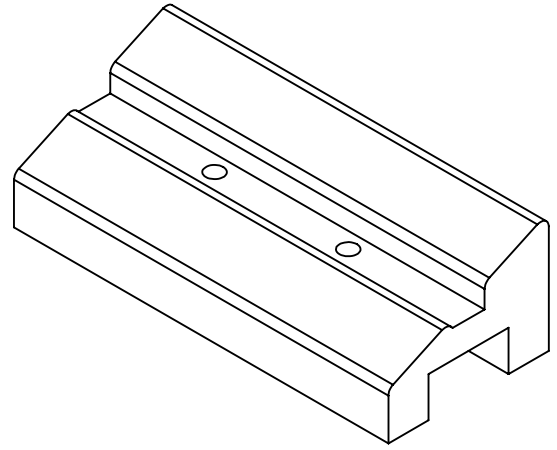
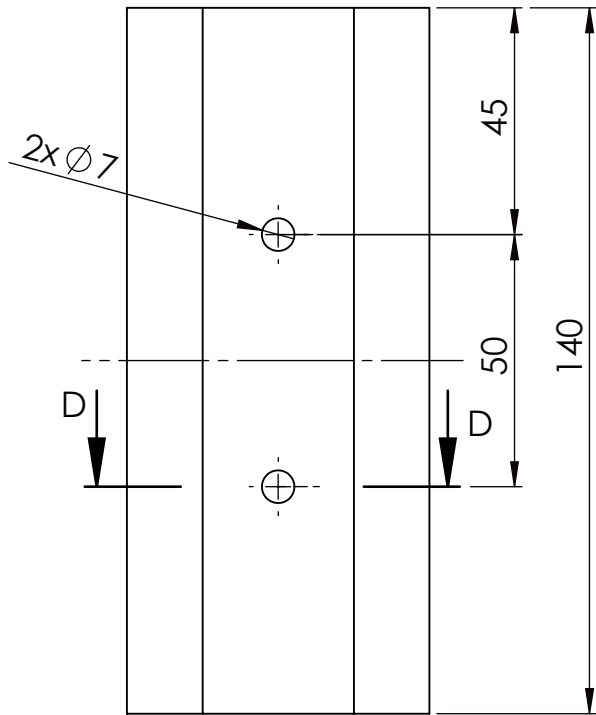
Design by CADLab

	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		Antonio Varović		
Razradio		Antonio Varović		
Crtao		Antonio Varović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: PLA		Masa:		
			Pozicija:	
Mjerilo originala			Format: A3	
1:1			Listova: 1	
Crtež broj: 100-5			List: 1	

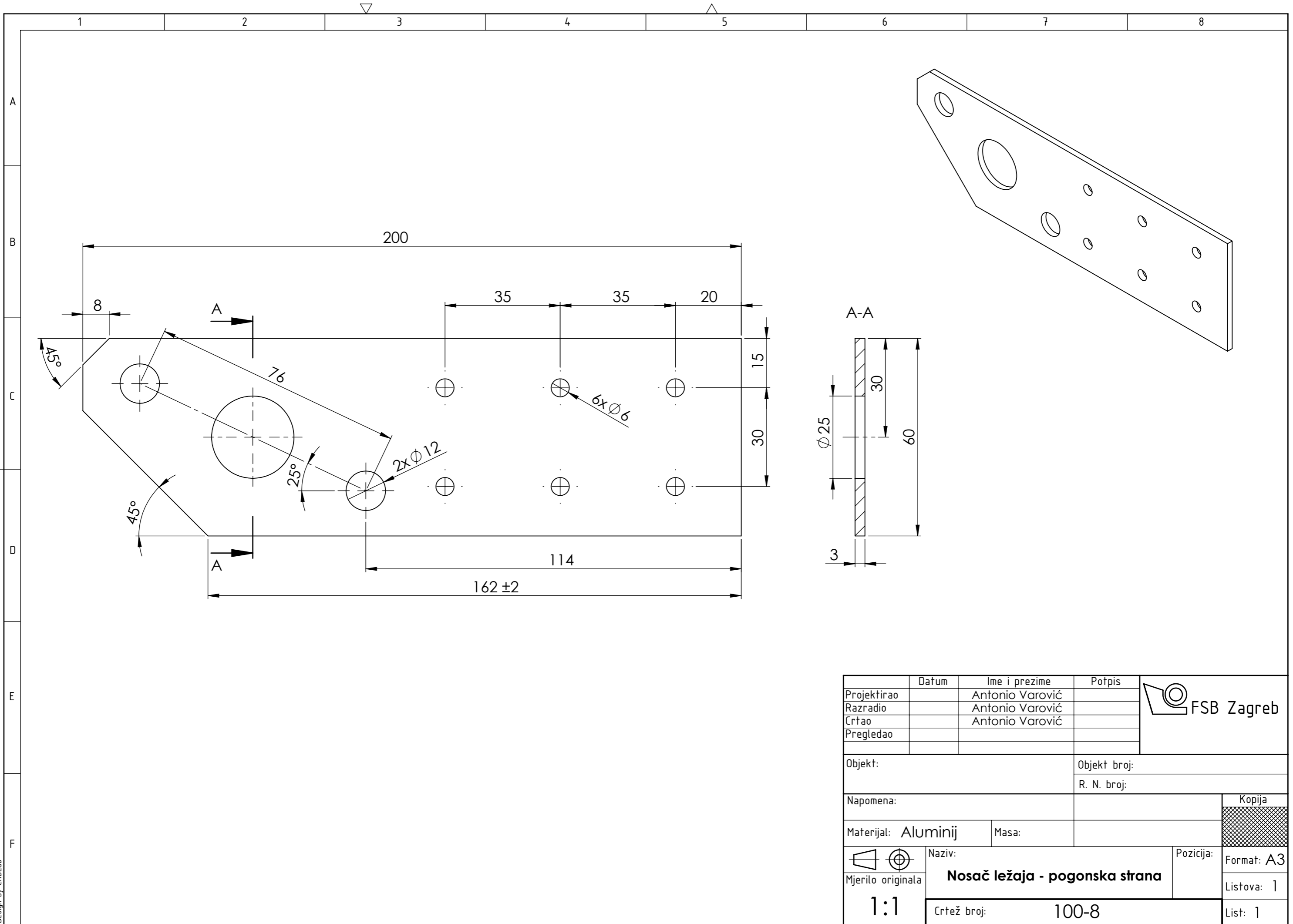




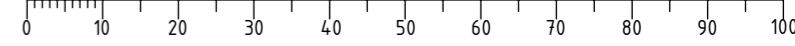
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Antonio Varović		
Razradio		Antonio Varović		
Crtao		Antonio Varović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: PLA			Masa:	
 Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
	Matica za centriranje			Listova: 1
2:1	Crtež broj: 100-6			List: 1

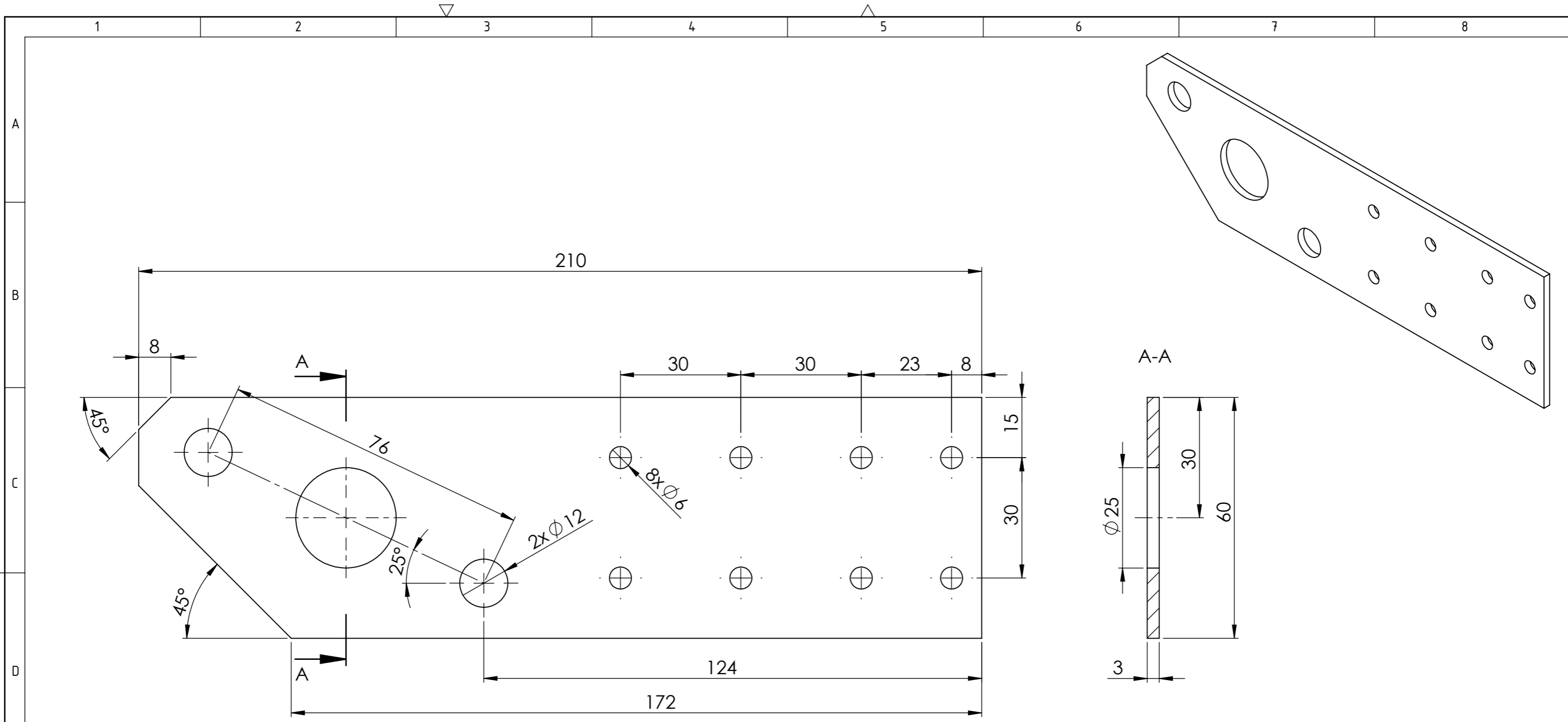


	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		Antonio Varović		
Razradio		Antonio Varović		
Crtao		Antonio Varović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: PLA		Masa:		
 Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
	Nosač spremika			Listova: 1
1:2	Crtež broj:		100-7	List: 1

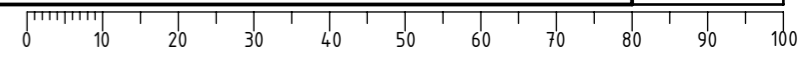


	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		Antonio Varović		
Razradio		Antonio Varović		
Crtao		Antonio Varović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: Aluminij		Masa:		
Naziv: Nosač ležaja - pogonska strana			Pozicija:	
Mjerilo originala: 1:1			Format: A3	
Crtež broj: 100-8			Listova: 1	
			List: 1	

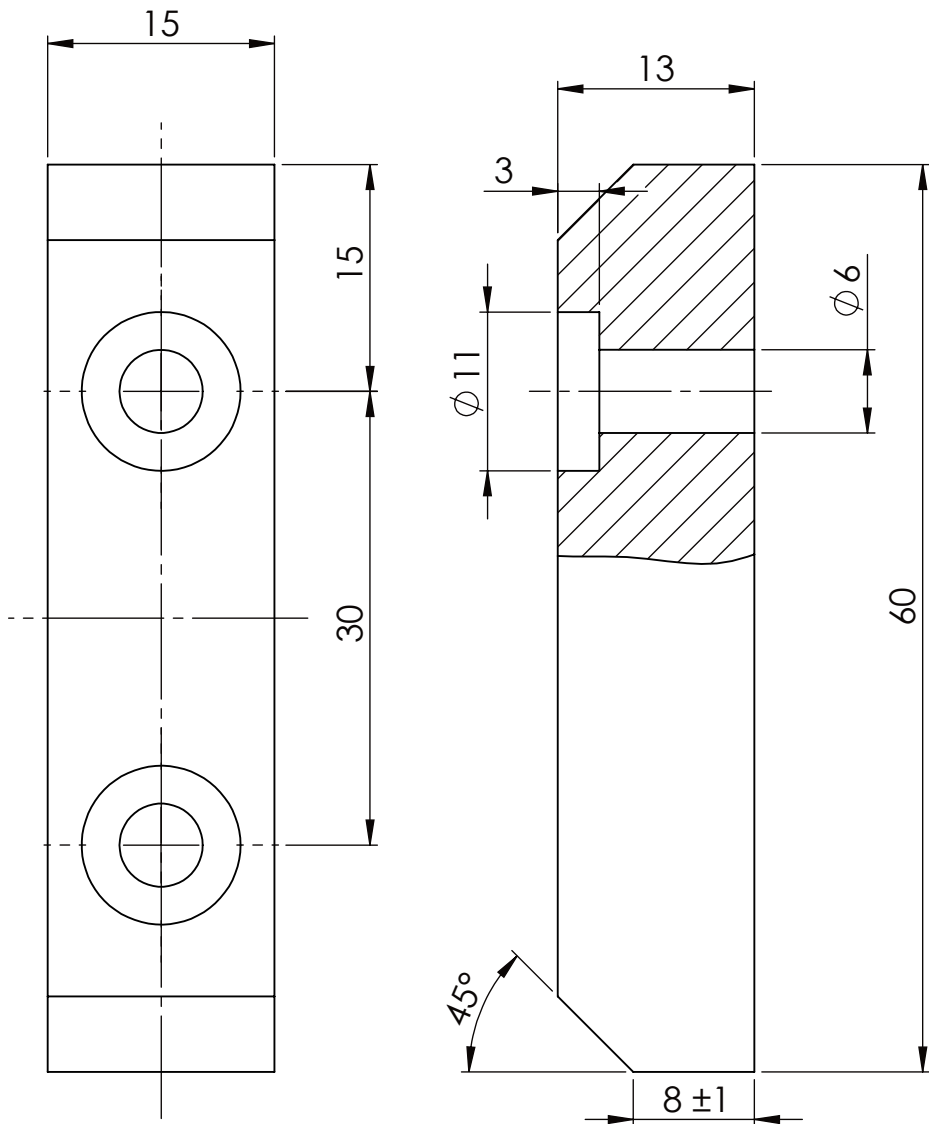




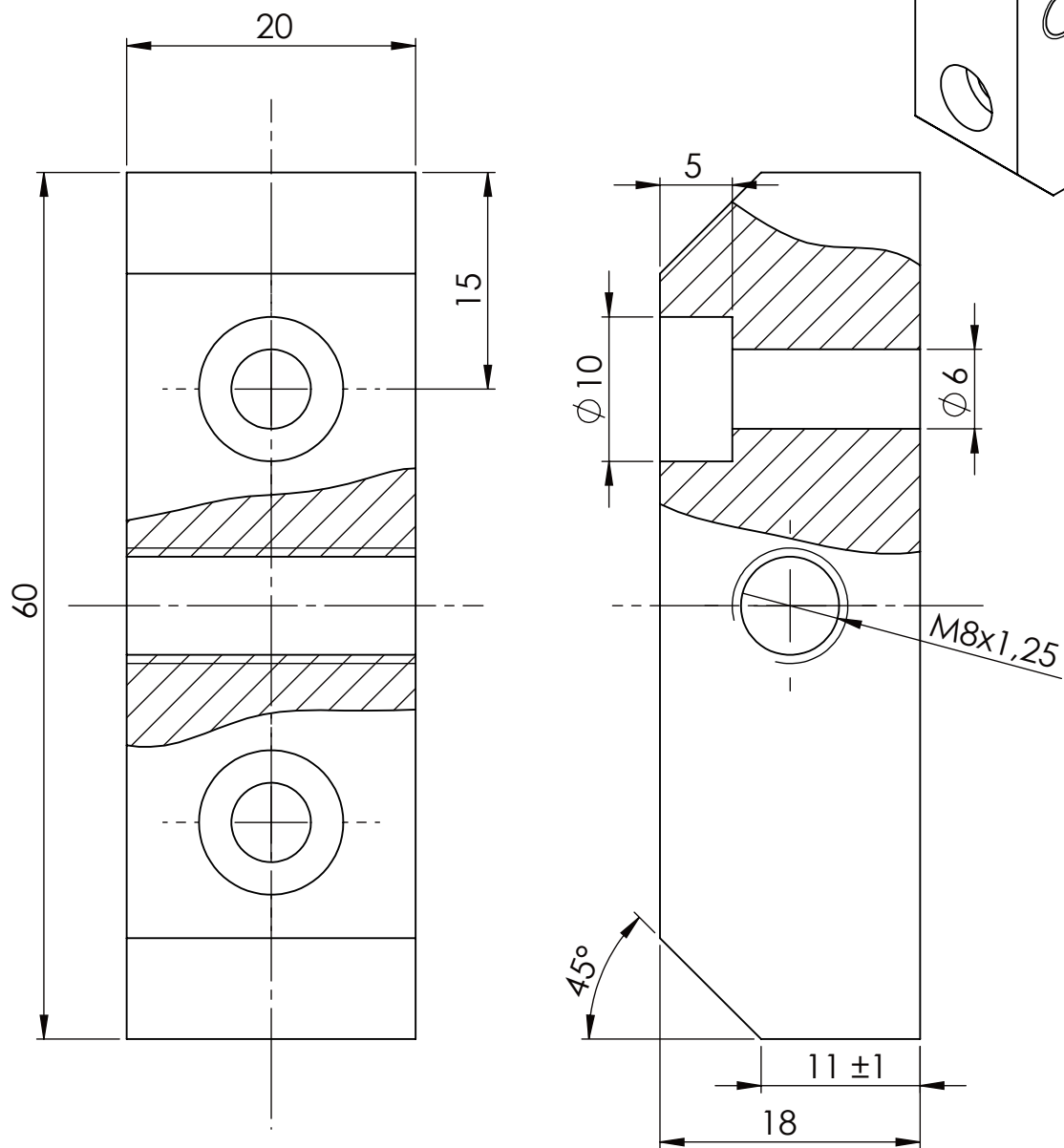
	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		Antonio Varović		
Razradio		Antonio Varović		
Crtao		Antonio Varović		
Pregledao				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal: Aluminij		Masa:		
		Naziv: Nosač ležaja - pogonjena strana		
Mjerilo originala		Naziv: Nosač ležaja - pogonjena strana		Posicija:
1:1		Crtež broj: 100-9		Listova: 1
				List: 1

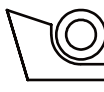
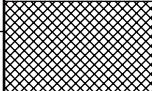
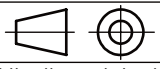


Design by CADLab



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Antonio Varović		
Razradio		Antonio Varović		
Crtao		Antonio Varović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
				
Materijal:	Aluminij	Masa:		
	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
Mjerilo originala	Blok 1- stezanje trake			Listova: 1
2:1	Crtež broj:	100-10		List: 1



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Antonio Varović		
Razradio		Antonio Varović		
Crtao		Antonio Varović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: Aluminij		Masa:		
	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
Mjerilo originala	Blok 2- stezanje trake			Listova: 1
2:1	Crtež broj: 100-11			List: 1