

# Razvoj koncepta stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka

---

**Pavlic, Nikola**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:529287>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-27**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Diplomski rad br. 114/STR/2024**

**Razvoj koncepta stroja za usitnjavanje  
biljnih žetvenih ostataka**

**Nikola Pavlic**

Varaždin, rujan 2024. godine



# Sveučilište Sjever

Diplomski sveučilišni studij Strojarsstvo

Diplomski rad br. 114/STR/2024

## Razvoj koncepta stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka

Student:

Nikola Pavlic

Mentor:

doc. dr. sc. Zlatko Botak

Varaždin, rujan 2024. godine

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Strojarstvo

POSTUPNIK Nikola Pavlic

IMBAG 1007/336D

DATUM 29.08.2024

KOLICIJ Konstrukcijski moduli

NASLOV RADA Razvoj koncepta stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Development of the concept of a shredder machine for a post-harvest residues

MENTOR doc.dr.sc. Zlatko Botak

ZVANJE docent

ČLANOV PUVJERENSTVA

1. doc.dr.sc. Matija Bušić, predsjednik povjerenstva
2. doc.dr.sc. Zlatko Botak, mentor
3. doc.dr.sc. Boris Jalušić, član povjerenstva
4. doc.dr.sc. Tomislav Veliki, rezervni član
- 5.

## Zadatak diplomskog rada

PROJ 114/STR/2024

OPIS

U uvodnom dijelu diplomskog rada potrebno je analizirati postojeća rješenja strojeva za usitnjavanje ostataka od žetve dostupnih na tržištu te navesti njihove dobre i slabe karakteristike. Na osnovu podataka analize potrebno je razviti nekoliko konstrukcijskih rješenja, koja će biti bolja u odnosu na postojeće u pogledu jednostavnosti korištenja i održavanja. Potrebno je razraditi tijek razvoja proizvoda od početne zamisli i ideje, definirati osnovne zahtjeve koje mora ispunjavati konstrukcija stroja, izabrati optimalna rješenja tehnologije za izradu dijelova te izraditi tehničku dokumentaciju za finalnu verziju stroja. Treba usporediti primjenu nekoliko novih tehnologija u pojedinim fazama razvoja proizvoda, kao što su dizajn, testiranje i prezentacija stroja.

U zaključku diplomskog rada potrebno je procijeniti i istaknuti prednosti razvijene konstrukcije stroja za obradu žetvenih ostataka te pretpostaviti smjernice za budući razvoj i poboljšanja.

ZADATAK OBRUČEN

29.08.2024.



POTPIS MENTORA

Botak Zlatko

Sveučilište  
SjeverSVEUČILIŠTE  
SJEVER

## IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Nikola Pavlic pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor diplomskog rada pod naslovom „Razvoj koncepta stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka“ te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

Nikola Pavlic

(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

## **Predgovor**

*Izjavljujem da sam diplomski rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i uz literaturu navedenu u radu. Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Zlatku Botaku na iskazanoj pomoći i stručnim savjetima tijekom izrade diplomskog rada.*

*Na kraju, najviše se zahvaljujem svojoj užoj obitelji na strpljenju i bezuvjetnoj podršci tijekom cjelokupnog studija, a posebice svojoj zaručnici.*

*Nikola Pavlic*

## Sažetak

Ovaj diplomski rad bavi se razvojem koncepta stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka, spajajući tako strojarstvo i poljoprivredu. Motivacija za rad proizlazi iz potrebe za učinkovitim i prilagodljivim strojem za male poljoprivrednike, s obzirom na to da postojeći strojevi na tržištu često nisu dostupni zbog svojih visokih cijena, niti prikladni iz razloga što velike dimenzije istih zahtijevaju i veliku vučnu silu traktora kojima često mali poljoprivrednici ne raspolažu.

Predstavljen je razvoj tri verzije stroja, pri čemu prva verzija predstavlja osnovni koncept s mogućnostima za poboljšanje, druga verzija uključuje unaprjeđenja i sofisticiraniji dizajn, dok treća verzija prikazuje moguća dodatna usavršavanja. Svaka verzija detaljno je opisana s naglaskom na konstrukcijske elemente i funkcionalnost.

Nadalje, opisan je i tijek razvoja stroja, koji uključuje početne zamisli i ideje, zatim razradu u 2D okruženju (AutoCAD) i u konačnici dokumentaciju i modeliranje u 3D okruženju (SolidWorks). Također, istražena je primjena novih tehnologija koje se odnose na proširenu stvarnost (AR), virtualnu stvarnost (VR), miješanu stvarnost (MR) i hologramske tehnologije, pri čemu je poseban naglasak stavljen na korištenje eDrawings alata za prezentaciju stroja.

**Ključne riječi:** usitnjavanje, žetveni ostaci, poljoprivredni strojevi, mali poljoprivrednici, nove tehnologije

## Summary

This master thesis deals with the development of the concept of a machine for shredding harvesting plant leftovers, thus combining mechanical engineering and agriculture. The motivation for the work comes from the need for an efficient and adaptable machine for small farmers, considering that the existing machines on the market are often not available due to their high prices, nor are they suitable due to the fact that their large dimensions require a large pulling power of tractors, which often small farmers do not have at their disposal.

The development of three versions of the machine is presented, where the first version represents the basic concept with possibilities for improvement, the second version includes improvements and a more sophisticated design, while the third version shows possible additional refinements. Each version is described in detail with an emphasis on structural elements and functionalities.

Furthermore, the development process of the machine is described, which includes initial thoughts and ideas, then elaboration in a 2D environment (AutoCAD) and finally documentation and modeling in a 3D environment (SolidWorks). Also, the application of new technologies related to augmented reality (AR), virtual reality (VR), mixed reality (MR) and hologram technologies was investigated, with a special emphasis on the use of eDrawings tool for machine presentation.

**Keywords:** shredding, harvest plant leftovers, agricultural machinery, small farmers, new technologies



## **Popis korištenih kratica**

CAD - Computer-Aided Design (oblikovanje pomoću računala)

AR - Augmented Reality (proširena stvarnost)

MR - Mixed Reality (miješana stvarnost)

VR - Virtual Reality (virtualna stvarnost)

PTO - Power Take-Off (kardanski prijenos snage)

# Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Potreba za strojem za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka.....	2
2.1.	Ciljevi i svrha razrade stroja za usitnjavanje žetvenih ostataka .....	3
2.2.	Analiza tržišta postojećih strojeva.....	3
2.3.	Prednosti novog koncepta .....	6
2.3.1.	Karakteristike traktora za koji se stroj razvija.....	8
3.	Princip rada stroja .....	11
4.	Razvoj tri verzije stroja.....	14
4.1.	Prva verzija - Osnovna verzija .....	14
4.1.1.	Kratak opis konstrukcije.....	15
4.1.2.	Mogućnosti za poboljšanje.....	16
4.2.	Druga verzija - sofisticiranija verzija .....	16
4.2.1.	Opis konstrukcije i funkcionalnosti.....	17
4.3.	Treća verzija - prostor za dodatna usavršavanja .....	19
4.3.1.	Kratki opis konstrukcije .....	20
5.	Tijek razvoja stroja .....	21
5.1.	Početne zamisli i ideje.....	21
5.2.	Razrada u 2D okruženju (AutoCAD).....	23
5.3.	Dokumentacija i modeliranje u 3D okruženju (SolidWorks).....	24
6.	Primjena novih tehnologija .....	26
6.1.	Proširena stvarnost (AR) .....	26
6.1.1.	Uloga AR-a u prezentaciji stroja.....	27
6.2.	Korištenje eDrawings alata .....	29
6.3.	Virtualna stvarnost (VR) .....	30
6.4.	Miješana stvarnost (MR).....	30
6.5.	Hologramske tehnologije .....	31
6.6.	Primjena HTC Vive Pro sustava .....	32
6.7.	Primjena Hololens naočala.....	33
7.	Razrada dijelova i konstrukcijskih elemenata.....	34
8.	Ekonomičnost i isplativost izrade stroja .....	38
9.	Zaključak.....	39
	Literatura.....	40
	Popis slika .....	41
	Popis tablica .....	42
	Prilozi.....	43

# 1. Uvod

Osiguravajući hranu i sirovine za sveukupno stanovništvo, poljoprivreda predstavlja jedan od temeljnih sektora svjetske ekonomije, no rastuća populacija i sve veći pritisak na poljoprivredne resurse zahtijevaju razvoj inovativnih tehnologija koje mogu unaprijediti efikasnost i održivost poljoprivrednih praksi. Jedno od područja koje nudi značajan potencijal za unapređenje je usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka, materijala koji se često zanemaruje unatoč njegovoj korisnosti.

Biljni žetveni ostaci, poput slame, kukuruzovine, stabljika suncokreta i sličnih biljnih dijelova, predstavljaju značajan dio biomase koja ostaje na poljima nakon žetve. Tradicionalno, ovi ostaci se ili spaljuju, što uzrokuje štetne emisije i gubitak vrijednih nutrijenata, ili se ostavljaju na poljima gdje mogu ometati daljnje poljoprivredne operacije, te čak služiti kao izvor hrane štetocinama u usjevima. S druge strane, pravilno usitnjeni biljni ostaci mogu se koristiti za poboljšanje kvalitete tla, kao stočna hrana, sirovina za proizvodnju bioenergije ili kao materijal za malčiranje.

Razvoj učinkovitog stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka može značajno doprinijeti održivom upravljanju poljoprivrednim resursima. Takav stroj treba biti sposoban efikasno obraditi različite vrste biljnih materijala, prilagoditi se varijabilnim uvjetima na terenu te pri tome biti energetski učinkovit i jednostavan za korištenje.

U diplomskom radu istražene su postojeće tehnologije i rješenja za usitnjavanje biljnih ostataka, identificirani su njihovi nedostaci te je na temelju dobivenih saznanja razvijen novi koncept stroja, koji odgovara potrebama suvremenog poljoprivrednika. Proces razvoja stroja obuhvaća fazu dizajna, te izrade 3D prototipa, s posebnim naglaskom na optimizaciju performansi i sigurnosnih aspekata.

Ovaj rad ima za cilj doprinijeti razvoju održivih poljoprivrednih tehnologija koje ne samo da povećavaju produktivnost, već i smanjuju negativan utjecaj na okoliš. Razvijeni koncept stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka predstavlja korak naprijed u ostvarivanju tih ciljeva, pružajući praktično i ekološki prihvatljivo rješenje za upravljanje biljnim resursima nakon žetve.

## 2. Potreba za strojem za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka

Ideja za razvoj stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka proizlazi iz nekoliko ključnih čimbenika, a koji su rezultat promišljanja o trenutnom stanju na tržištu, potrebama poljoprivrednika i tehnološkim mogućnostima koje donose nove tehnologije.

Mali poljoprivrednici svjesni su izazova s kojima se svakodnevno suočavaju, posebno kada je riječ o upravljanju žetvenim ostacima. Postojeći strojevi na tržištu često su veliki, skupi i zahtijevaju vučne strojeve visokih kapaciteta, što ih čini neprikladnima za male poljoprivredne posjede. Takvi strojevi dizajnirani su za velike farme i industrijsku poljoprivredu, ostavljajući male poljoprivrednike bez adekvatnog rješenja.



*Slika 2.1. Biljni žetveni ostatci [1]*

Osim toga, ekološki aspekti upravljanja poljoprivrednim otpadom postaju sve važniji u današnje vrijeme. Usitnjavanje biljnih ostataka može doprinijeti boljoj obradi tla i smanjenju potrebe za umjetnim kemijskim gnojivima, čime se pozitivno utječe na okoliš.

Tehnološki napredak, posebice u području proširene stvarnosti (AR), virtualne stvarnosti (VR) i miješane stvarnosti (MR), otvara nove mogućnosti za inovacije u dizajnu i prezentaciji strojeva. Alati kao što su eDrawings i uređaji poput HTC Vive Pro i Hololens omogućuju interaktivnu prezentaciju i virtualno testiranje strojeva na relaciji proizvođač-korisnik, što može značajno smanjiti troškove razvoja i optimizirati dizajn, prije nego što se krene u fizičku proizvodnju.

## **2.1. Ciljevi i svrha razrade stroja za usitnjavanje žetvenih ostataka**

Ciljevi razrade ovakvoga koncepta su višestruki i usmjereni na stvaranje inovativnog stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka, prilagođenog potrebama malih poljoprivrednih posjeda. Prvi cilj je razviti stroj koji će biti kompaktan, ekonomičan i učinkovit, čime će se popuniti praznina na tržištu gdje dominiraju veliki i skupi strojevi, i neprikladni za manje poljoprivrednike.

Drugi cilj je iskoristiti napredne tehnologije poput proširene stvarnosti (AR) i virtualne stvarnosti (VR) za dizajn, modeliranje i prezentaciju stroja, čime se omogućuje detaljna analiza i testiranje prije stvarne proizvodnje. Korištenje alata kao što su SolidWorks za 3D modeliranje i eDrawings za interaktivnu prezentaciju omogućit će optimizaciju dizajna i smanjenje troškova razvoja.

Treći cilj je razviti tri različite verzije stroja, počevši od osnovne, preko sofisticiranije verzije koja uključuje poboljšanja i dodatne funkcionalnosti, do verzije koja prikazuje moguća dodatna usavršavanja. Svaka verzija bit će detaljno razrađena kako bi se pokazala mogućnost paralelnog razvoja i optimizacije.

Konačno, rad teži povezivanju teoretskog znanja i praktične primjene, pružajući cjelovit pristup razvoju novog poljoprivrednog stroja. Cilj je stvoriti alat koji će olakšati rad malih poljoprivrednika, povećati produktivnost i smanjiti ekološki otisak, uz istovremeno promicanje korištenja novih tehnologija u tradicionalnim industrijama. Osim na tehnički uspjeh, ovaj rad cilja i na dugoročni doprinos održivoj poljoprivredi i inovacijama u inženjerstvu.

## **2.2. Analiza tržišta postojećih strojeva**

Analiza tržišta postojećih strojeva za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka otkriva niz ključnih karakteristika, te prednosti i nedostatke trenutno dostupnih rješenja. Na globalnom tržištu postoji nekoliko vodećih proizvođača poljoprivrednih strojeva, koji nude različite modele strojeva za usitnjavanje namijenjenih velikim poljoprivrednim posjedima i industrijskim upotrebama. Ovi strojevi uglavnom se karakteriziraju velikim dimenzijama, visokim radnim učinkom obrade i visokim cjenovnim razredima.

Neki od najpoznatijih proizvođača koji nude strojeve za usitnjavanje biljnih ostataka su Saphir, Krone, He-Va, Rolmako, itd. Ovi proizvođači nude širok spektar modela s različitim kapacitetima

i specifikacijama, ali svi dijele zajedničke karakteristike kao što su veliki radni zahvati, visoki cjenovni razred i složenost upotrebe.



Slika 2.2. Saphire SinusCut 300 [2]

Ovaj stroj dizajniran je za učinkovito usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka i ima nekoliko ključnih karakteristika:

- radna širina: 3 metra
- dizajn rotora: dvostruki spiralno postavljeni noževi koji omogućuju visoki stupanj usitnjavanja
- masa: 410 kg, utezi za stabilnost (dodatno)
- kočanje: pogodan za prednji priključak na traktor

Tablica 2.1. Analiza uočenih nedostataka konkurentnih strojeva

Uočeni nedostaci konkurentnih strojeva	Opis uočenih detalja
1. velike dimenzije i kapacitet	<ul style="list-style-type: none"> <li>- većina komercijalno dostupnih strojeva za usitnjavanje biljnih ostataka dizajnirana je za rad na velikim površinama</li> <li>- ovi strojevi obično zahtijevaju vučne traktore visoke snage kako bi mogli efikasno obrađivati velike površine</li> <li>- dimenzije ovih strojeva često prelaze mogućnosti obrade malih poljoprivrednih posjeda, što ih čini neprikladnima za korištenje na manjim parcelama</li> </ul>
2. visoki troškovi nabave i održavanja	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zbog svoje veličine i složenosti, ovi su strojevi</li> </ul>

	<p>vrlo skupi, kako u nabavi tako i u održavanju</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- već sami početni troškovi nabave mogu biti izuzetno visoki, često izvan budžeta malih poljoprivrednika</li> <li>- u konačnici, održavanje i popravci zahtijevaju specijalizirane dijelove i stručnu radnu snagu, što dodatno povećava ukupne troškove vlasništva</li> </ul>
3. energetske zahtjevi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- veliki strojevi za usitnjavanje biljnih ostataka imaju i visoke energetske zahtjeve, što podrazumijeva korištenje traktora velike snage i značajnu potrošnju goriva</li> <li>- osim povećavnih operativnih troškova, prisutan je i negativan utjecaj na okoliš zbog povećane emisije stakleničkih plinova</li> </ul>
4. ograničena fleksibilnost	<ul style="list-style-type: none"> <li>- trenutnim strojevima često nedostaje fleksibilnost u prilagodbi različitim vrstama biljnih ostataka i specifičnim uvjetima rada na terenu</li> <li>- većina komercijalnih modela dizajnirana je za određene vrste žetvenih ostataka, što može ograničiti njihovu upotrebljivost u različitim poljoprivrednim situacijama</li> </ul>
5. složenost upotrebe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- korištenje ovakvih strojeva za specijalnu namjenu često zahtijeva obuku i iskustvo, što može predstavljati problem manjim poljoprivrednicima koji nemaju pristup takvim resursima za edukaciju</li> <li>- složenost upravljanja i održavanja može dodatno ograničiti njihovu primjenu na manjim posjedima gdje radna snaga može biti ograničena</li> </ul>

Zaključci prethodno provedene analize tržišta su da postojeći strojevi nisu optimalni i izrađeni za male poljoprivrednike. Njihove karakteristike i potrebe predstavljaju značajne prepreke za njihovu primjenu na manjim posjedima. Ovi nedostaci naglašavaju potrebu za razvojem novog, kompaktnog i ekonomičnog stroja, koji bi zadovoljio specifične potrebe, ciljano malih poljoprivrednika.

Također, analiza tržišta postojećih strojeva pokazuje jasnu potrebu za inovacijama koje će omogućiti razvoj pristupačnijih, fleksibilnijih i ekološki prihvatljivijih rješenja.

U sljedećim poglavljima, rad će se fokusirati na razvoj koncepta stroja koji će adresirati ove izazove i pružiti učinkovito rješenje za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka na malim poljoprivrednim posjedima.

### 2.3. Prednosti novog koncepta

Razvoj novog koncepta stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka donosi niz prednosti koje će značajno unaprijediti učinkovitost i održivost malih poljoprivrednih posjeda i smanjiti ranije spomenute nedostatke konkurentnih strojeva na tržištu. Glavne prednosti novog stroja temelje se na njegovoj prilagodljivosti, ekonomičnosti, jednostavnosti korištenja i održavanja i smanjenom utjecaju na okoliš.

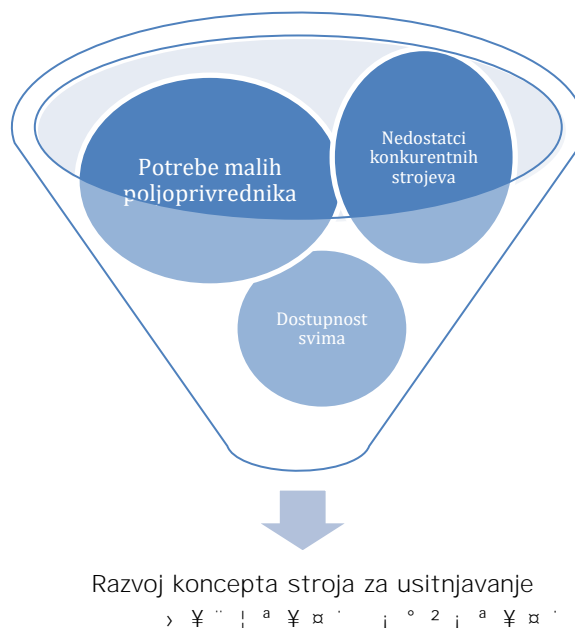
*Tablica 2.2. Analiza prednosti razvoja novog stroja*

Prednosti kod razvoja novog koncepta	Opis prednosti
1. prilagodljivost svim traktorima	- novi stroj je dizajniran tako da bude kompatibilan s traktorima manje snage, starijih godišta, koji su već u širokoj upotrebi na malim poljoprivrednim posjedima - stroj je dizajniran tako da se može prikopčati na sve kategorije trotočja traktora
2. ekonomičnost	- jedna od ključnih prednosti novog koncepta je njegova ekonomičnost - početni troškovi nabave znatno su niži u usporedbi s velikim komercijalnim strojevima, što čini ovaj stroj pristupačnijim za male poljoprivrednike
3. pojednostavljeno korištenje	- novi koncept je dizajniran s naglaskom na jednostavnost korištenja, što omogućuje poljoprivrednicima svih razina vještina da ga učinkovito koriste - i sam dizajn također znači da su potrebni manji naponi za učenje i prilagodbu, što povećava produktivnost
4. jednostavno održavanje	- održavanje novog stroja je pojednostavljeno zahvaljujući modularnom dizajnu i korištenju



	<p>standardnih dijelova dostupnih na tržištu</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ovaj pristup omogućuje brzu i jednostavnu zamjenu dijelova te smanjuje vrijeme zastoja zbog održavanja ili kvara</li> <li>- poljoprivrednici mogu sami obavljati osnovne popravke i održavanje, bez potrebe za skupim stručnim servisima</li> </ul>
5. prilagodljivost različitim vrstama biljnih ostataka	<ul style="list-style-type: none"> <li>- stroj je dizajniran da bude fleksibilan i prilagodljiv različitim vrstama biljnih ostataka</li> <li>- ova univerzalnost omogućuje poljoprivrednicima da koriste isti stroj za različite kulture, smanjujući potrebu za kupnjom više specijaliziranih strojeva</li> </ul>
6. unaprijeđena produktivnost	<ul style="list-style-type: none"> <li>- brže i učinkovitije usitnjavanje biljnih ostataka omogućuje poljoprivrednicima da brže pripreme polja za sljedeću sjetvenu sezonu</li> <li>- veća brzina kretanja po polju znatno povećava radni učinak</li> </ul>

Proučavajući sve specifikacije konkurentnih strojeva na tržištu koje imaju istu funkciju kao i novi koncept, utvrđeni su i izdvojeni nedostaci, odnosno prepreke za mala poljoprivredna gospodarstva, koje je trebalo uzeti u obzir prilikom razrade novog koncepta i prenamijeniti ih kako bi stroj i dalje bio konkurentan i prepoznat na tržištu.



Slika 2.3. Misli kojima se vodilo tokom cijelog razvoja stroja

Navedene prednosti novog koncepta stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka jasno pokazuju njegovu vrijednost i potencijal za unapređenje poljoprivredne prakse na malim posjedima. Osim što zadovoljava specifične potrebe poljoprivrednika, razvoj ovakvog stroja doprinosi održivijoj i ekonomski isplativijoj poljoprivredi.

### **2.3.1. Karakteristike traktora za koji se stroj razvija**

1. Stroj je predviđen za priključak na traktor Massey Ferguson MF 3635, a njegove specifikacije i tehnički podaci navedeni su u nastavku.

#### 1.1. Opće specifikacije:

- proizvođač: Massey Ferguson
- model: MF 3635
- serija: 3600
- godina proizvodnje: 2009 - 2015
- vrsta traktora: višenamjenski traktor s pogonom na četiri kotača (4WD).

#### 1.2. Dimenzije:

- dužina traktora: 3,98 metara
- širina traktora: 1,2 metara
- visina traktora: 2,37 metara
- međuosovinski razmak: 2,76 metara
- ukupna težina traktora: 2835 kg.

#### 1.3. Motor:

- vrsta motora: 3-cilindrični AGCO SisuDiesel
- snaga motora: 59 kW (oko 80 KS)
- brzina motora: 2200 RPM
- zapremina motora: 3,3L.

#### 1.4. Hidraulički sustav:

- kapacitet protoka pumpe: 84,8 L/min
- broj stražnjih ventila: 1 do 3
- broj prednjih ventila: 2 (dodatno).

#### 1.5. Mjenjač:

- tip mjenjača: 8 brzina (standardno), 12 brzina s usklađenim pomakom (dodatno), 24 brzine s djelomičnim prijenosom snage (dodatno)
- broj prijenosnih omjera: 8 naprijed i 8 nazad.

#### 1.6. PTO (kardanski prijenos):

- stražnji PTO: nezavisni
- brzina vrtnje stražnjeg PTO: 540 RPM (standardno), 540/1000 RPM (dodatno).

#### 1.7. Kočnice i upravljanje:

- vrsta kočnica: hidraulične mokre disk kočnice
- upravljanje: hidrostatsko.

#### 1.8. Kabina:

- opcije kabine: grijana kabina (standardno), klima uređaj (dodatno).



*Slika 2.4. Višenamjenski traktor MF 3635 [3]*



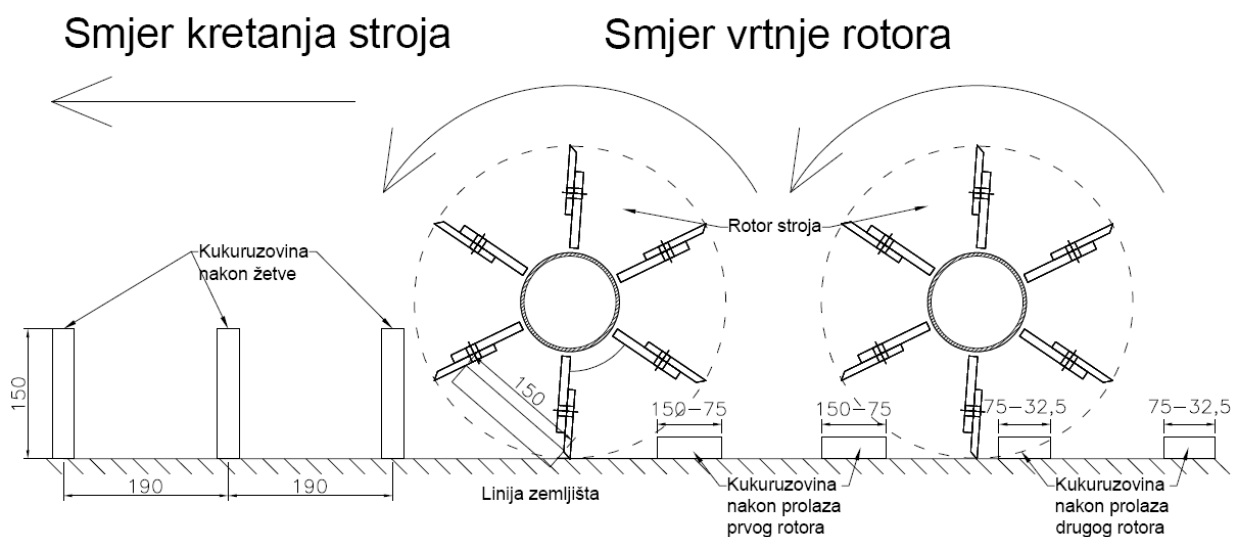
*Slika 2.5. Trotočje traktora MF 3635 [4]*

### 3. Princip rada stroja

Stroj za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka dizajniran je tako da mu je osnovni zadatak učinkovito usitnjavanje ostataka nakon žetve, na način da ostatke pretvara u sitne dijelove koji se lako mogu integrirati u tlo kao organska gnojiva ili koristiti za druge svrhe. Osnovni princip rada stroja temelji se na nekoliko ključnih komponenti i koraka koji osiguravaju njegovu funkcionalnost i učinkovitost.

Kao što je i ranije spomenuto, razrada koncepta stroja vođena je idejom da isti može usitnjavati razne vrste žetvenih ostataka, od sitne do visoke trave, razne korove preostale nakon žetve, slamu nakon pšenice i sličnih žitarica, pa sve do kompleksnije i teže obradive kukuruzovine.

Kod konvencionalnih strojeva za malčiranje, za pogon je potreban prijenos snage kardanskim vratilom od traktora do samog sklopa zupčanika, koji služe kao multiplikator brzine vrtnje radnih tijela, koji u zatvorenom bubnju usitnjavaju različite vrste biljnih ostataka. Za razliku od njih, ovom konceptu nije potreban prijenos snage s traktora kardanskim vratilom, već samo pravocrtno kretanje traktora i za njega priključen stroj, koji pravocrtno gibanje rotorima s noževima pretvara u kružno.



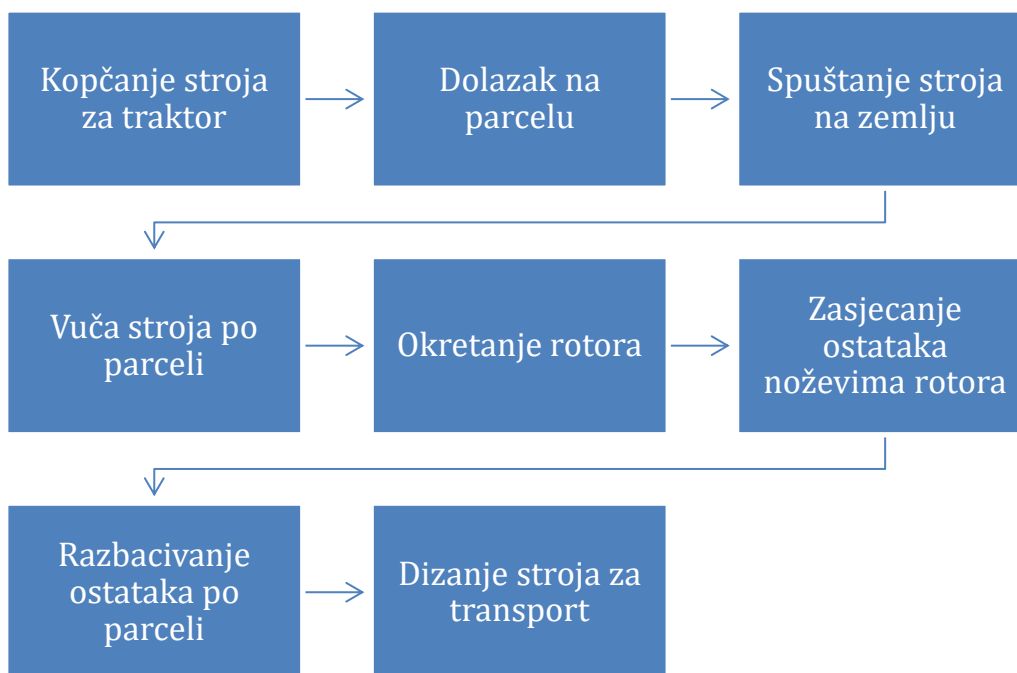
Slika 3.1. Prikaz principa rada stroja

Princip rada stroja temelji se na usitnjavanju biljnih žetvenih ostataka, u ovom slučaju kukuruzovine, koja nakon prolaska kombajna i sličnih strojeva, ostaje kao žetveni ostatak na površini zemljišta u visini od 150 mm. Kretanjem stroja po liniji zemljišta, nož na obodu rotora svojom reznom oštricom, te zahvaljujući težini stroja od 410 kg, zasijeca kukuruzovinu. Moguće

je da zbog svog rasporeda nož nijednom ne zasiječe kukuruzovinu, te da ona ostane u cijeloj visini od 150 mm, a ukoliko u najboljem slučaju nož kukuruzovinu zasiječe na polovici visine, ona može biti usitnjena do duljine od 75 mm.

Do već jednom tako usitnjene kukuruzovine dolazi drugi rotor, koji još jednom zasijeca istu i koji ju može umanjiti za pola duljine. Nakon drugog prolaza rotora kukuruzovina je savinuta na liniju zemljišta, duljine od 32,5 do 75 mm, raspršena po cijeloj širini stroja, u tankom sloju, što doprinosi lakšem deponiranju u zemljište prilikom sljedećeg prolaska strojevima koji su za to namijenjeni.

Tako usitnjeni žetveni ostaci kasnije su lakše obradivi u daljnjim postupcima obrade zemljišta za nadolazeću sjetvu, omogućuju lakšu razgradnju istih u kompost, gnojivo i bitne nutrijente i doprinose sprečavanju gljivičnih bolesti. Također, usitnjavanjem do krune korijena onemogućen je daljnji razvoj štetnih organizama, primjerice ličinki kukuruznog moljca, koje mogu uveliko napraviti štetu nadolazećim usjevima.



Slika 3.2. Opis tijeka rada sa strojem





*Slika 3.3. Izgled žetvenih ostataka prije i poslije prolaska konvencionalnim strojevima za malčiranje [5]*

Nakon svih navedenih prednosti kojima se ovaj koncept ističe, valja napomenuti i neke mane kako bi se dalo do znanja da uvijek kod svakog stroja postoji još mogućnosti za poboljšanje i dovođenje do vrha savršenosti. Prva mana koju valja spomenuti je način na koji se prelazi iz jednog u drugi prohod, odnosno da je prilikom dolaska na same granice polja potrebno podići stroj u zrak budući da je nemoguće sa spuštenim strojem, radi geometrije reznih tijela i loma istih, napraviti polukružno okretanje.

Sljedeća stavka kojom se ovaj i svi slični strojevi na tržištu ne mogu pohvaliti su uvjeti rada. Takve vrste strojeva nisu namijenjene za rad u vrijeme sezona s velikom količinom kiše, zbog toga što tada dolazi do smanjenja napetosti zemlje na vrhu i prilikom prolaska stroj ne može zasjeći žetvene ostatke, već ih utiskuje u zemljište i time ne izvršava svoju radnu funkciju.

Posljednja stavka, koja se i ne može u potpunosti smatrati nedostatkom, odnosi se na to da je za pravilan rad stroja potrebna velika brzina kretanja pogonskog stroja, tj. traktora, zbog toga što veća brzina vrtnje rotora doprinosi boljem zasijecanju i usitnjavanju biljne mase. To znači da mala brzina kretanja ne omogućuje normalan rad stroja, a samim time smanjuje se i radni učinak stroja po jedinici vremena.

## 4. Razvoj tri verzije stroja

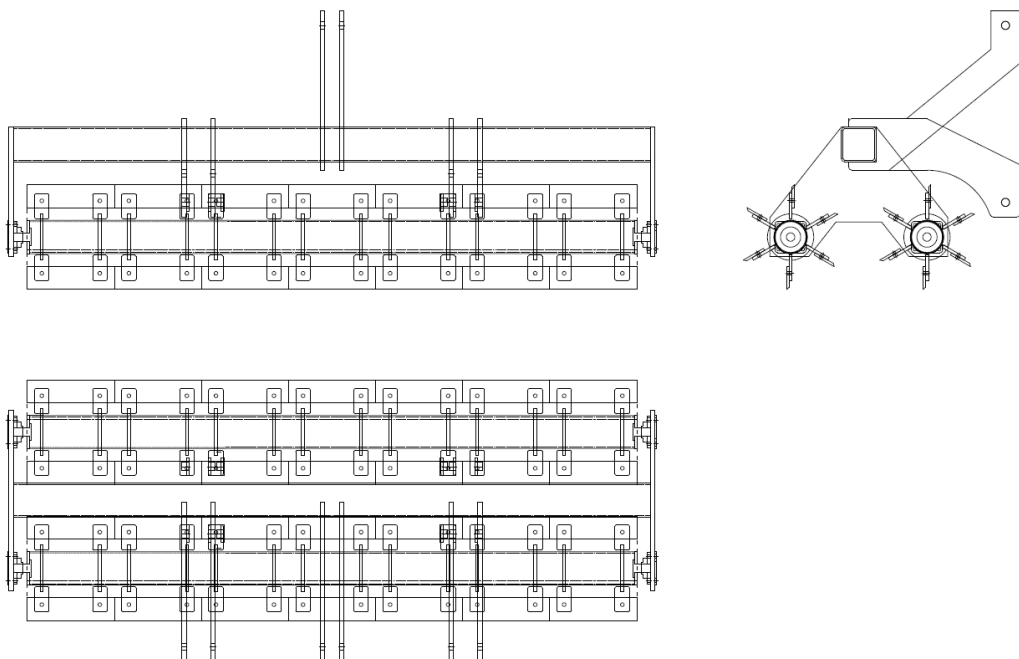
Svaka razrada novog koncepta, pa tako i ova, krenula je od najvažnije stvari, a to je postizanje funkcionalnosti i svrhe stroja, a paralelno s tim vodilo se računa i o mogućnostima i dostupnosti tehnologije za izradu istoga. Iz verzije u verziju, počevši od najjednostavnijih, svaka sljedeća je bila zamjetno unaprijeđena u odnosu na prethodnu, dok se nije postigla zadovoljavajuća konstrukcija koja je bila funkcionalna i sofisticirana, ali „otvorena“ za dorade koje će se ustvrditi tokom primjene izrađenog prototipa.

Kombiniranjem znanja iz strojarstva i razumijevanja poljoprivrednih potreba, cilj je stvoriti stroj koji će biti pristupačan, jednostavan za korištenje i održavanje i dovoljno robustan da izdrži zahtjevne uvjete rada. Prateći tako mane, ali i dobre karakteristike konkurentnih strojeva na tržištu, te primjenom znanja i vještina u korištenju naprednih CAD alata kao što su AutoCAD i SolidWorks, moguće je jednostavno i brzo ideju pretočiti u dizajn, razvijajući i dokumentirajući tako nebrojeno verzija stroja, od kojih će se spomenuti tri najznačajnije.

### 4.1. Prva verzija - Osnovna verzija

Prva, odnosno osnovna verzija (slika 4.1) najbolje opisuje početnu ideju kojom je započeo razvoj koncepta stroja, te ju je kao takvu važno i spomenuti.

Verzija 1



Slika 4.1. Verzija 1

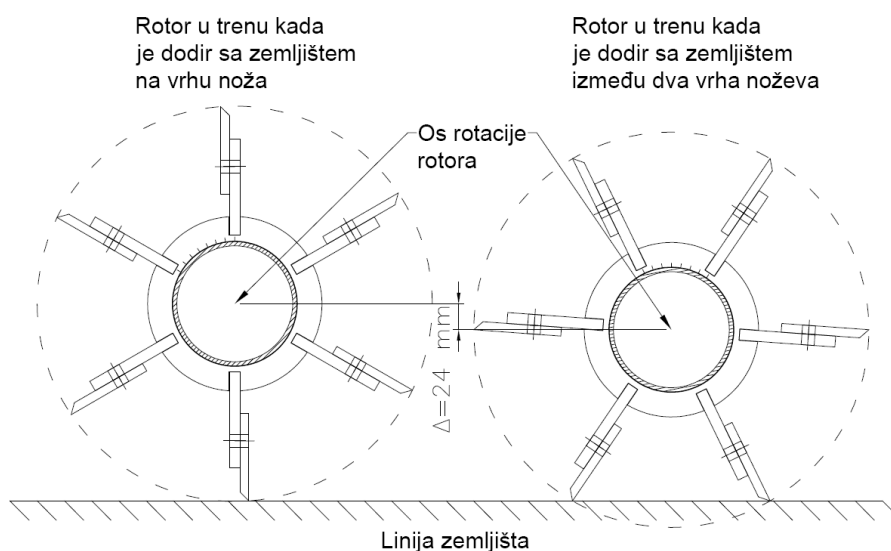


Konstrukcija je umjesto povlačenjem olovke po papiru odmah bila rađena u CAD programu, kako bi u svakom trenutku bila spremna za doradu. U njoj je prikazan razvoj koncepta koji je slijedio kako dobre, tako i loše primjere postojećih strojeva u praksi. Pretpostavlja se da ovakva izvedba ne bi dala zadovoljavajuće rezultate u radu te nije bila uzeta u obzir za izradu, ali je kao takva davala dobar početni prikaz i daljnje smjernice za usavršavanje. U njoj se ponajviše orijentiralo na omjere veličina pojedinih dijelova, grubi oblik konstrukcije i mogućnost kopčanja na vučni stroj, tj. traktor.

#### 4.1.1. Kratak opis konstrukcije

Sama konstrukcija stroja koji je priključen na trotočje traktora fiksnog je oblika i ne dozvoljava „kopiranje“ zemljišta, tj. nema nikakve mogućnosti okomitog zakreta u smjeru kretanja, pa se i najmanja neravnina po zemljištu prenaša preko stroja do traktora, a time i do operatera, što dugoročno dovodi do zamora istog.

Stroj ima dva rotora po dužini, od kojih svaki rotor po svojoj širini ima 7 setova noževa. Svaki set sastoji se od 6 noževa pa je kut između njih  $60^\circ$ . To u konačnici dovodi do velikih vibracija prilikom rada strojem, zbog toga što os rotacije rotora nije prilikom vrtnje u svakom trenu u jednakoj visini od poda, već dolazi do oscilacija u iznosu od 24 mm, koliko iznosi razlika kada je rotor u dodiru sa zemljištem na vrhu noža i kada je u dodiru između dva vrha noževa, slika 4.2.



Slika 4.2. Visinska razlika osi rotacije rotora verzije 1

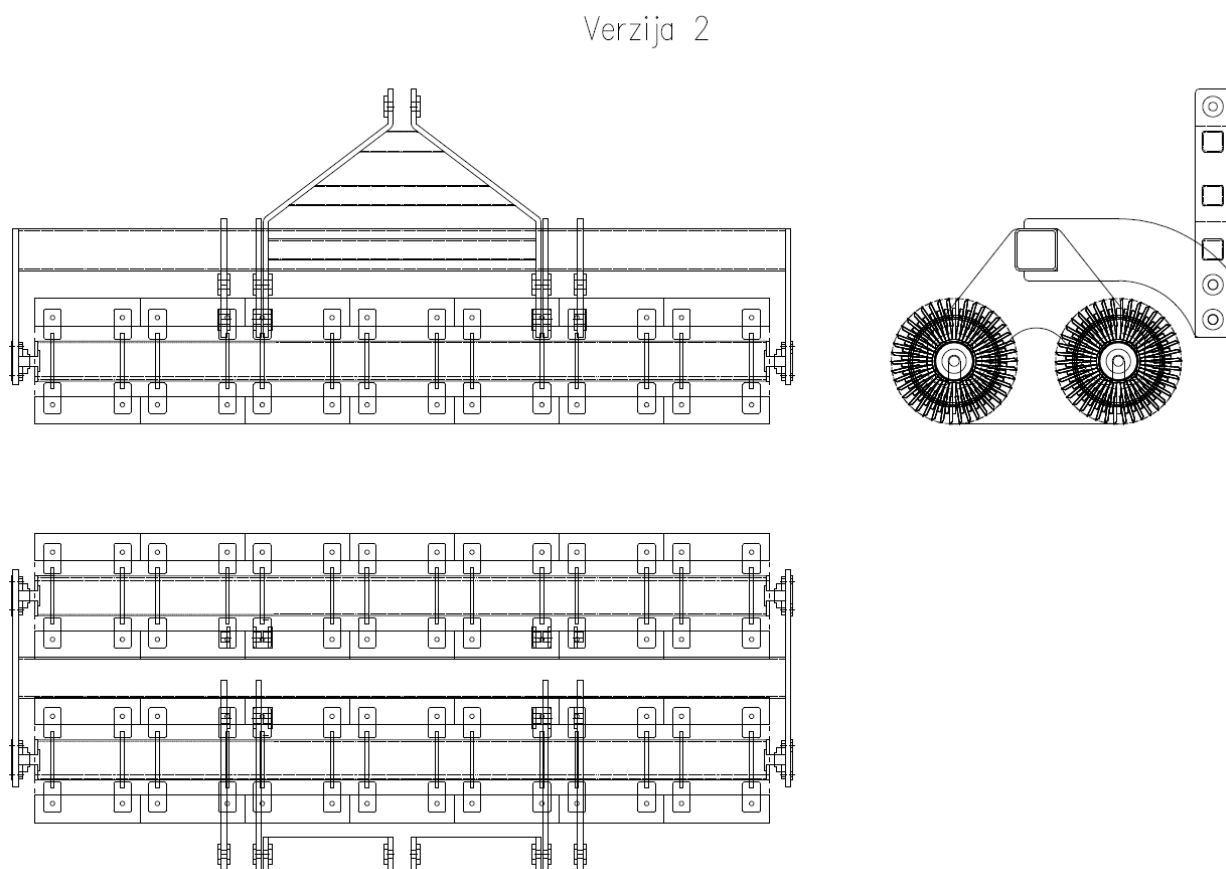
### 4.1.2. Mogućnosti za poboljšanje

Opisujući konstrukciju ove verzije, moguće je dokučiti koje je preinake potrebno napraviti kako bi se u radu, prije svega stroj zaštitio od prekomjernih vibracija, koje uzročno-posljedičnom vezom dovode do kvarova stroja i do mogućih ozljeda operatera.

Potrebno je omogućiti stroju da sam prati neravnine terena, kako bi mogao u potpunosti izvršiti svoju funkciju i obraditi sve žetvene ostatke. Još važnija stvar, potrebno je omogućiti da os rotacije rotora ima što je manje moguće oscilacija u visini do tla.

### 4.2. Druga verzija - sofisticiranija verzija

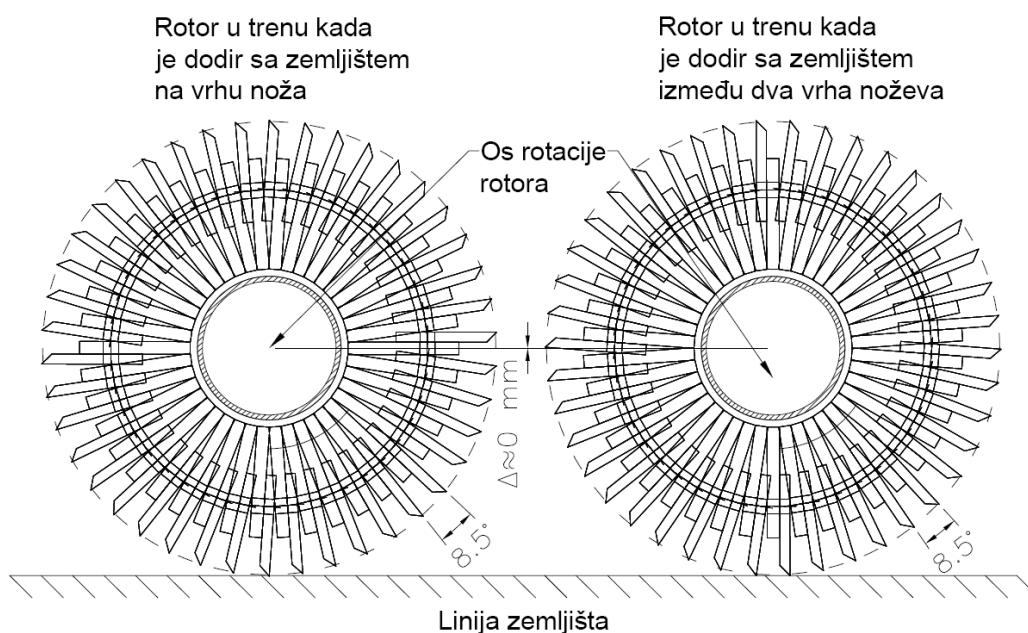
Razrada ove verzije počela je idejom da se stroju omogući održavanje konstantne visine osi rotacije rotora u odnosu na samo zemljište, jednostavno rečeno, da se položaj osi ne mijenja, slika 4.3.



*Slika 4.3. Verzija 2*

Zakretanjem seta noževa po širini rotora u odnosu na prethodi set, postignuta je linija krivulje po cijeloj dužini rotora, stoga je cijelo vrijeme po širini stroja jedan nož u kontaktu sa linijom zemljišta, slika 4.4

Zatim, nastojalo se omogućiti, kao što je i ranije spomenuto, „kopiranje“ zemljišta, odnosno okomiti zakret u smjeru kretanja, kako bi se lakše savladale bilo kakve neravnine na zemljištu ili omogućio prelazak preko nekog stranog tijela koji može dovesti do udaraca. Navedeno se postiglo na način da se maknula čvrsta veza između konstrukcije koja se kopča na trotočje traktora i konstrukcije, odnosno okvira samog stroja.



Slika 4.4. Visinska razlika svedena na minimum u verziji 2

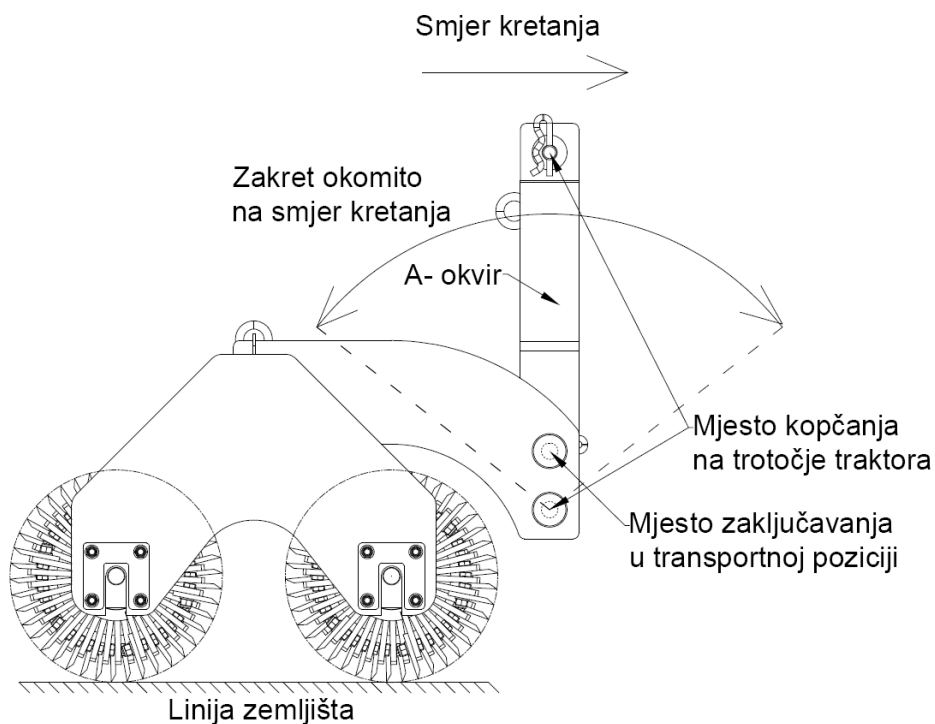
#### 4.2.1. Opis konstrukcije i funkcionalnosti

Početak razrade verzije 2 stroja za usitnjavanje žetvenih ostataka bio je zakret/kružni pomak noževa u odnosu na prethodni set noževa. To se postiglo tako što se duž jedne osovine rotora, svaki od ukupno sedam kompleta nosača noževa na osovini, zakrenuo za  $8.57^\circ$  čime je dobiven korak pomaka i, gledajući točke na vrhovima noževa, geometrijski oblik krivulje. To je s gledišta proizvodnje i održavanja bilo puno lakše za izvesti, nego izrada noža u tom obliku koji bi se prostirao po cijeloj dužini rotora.

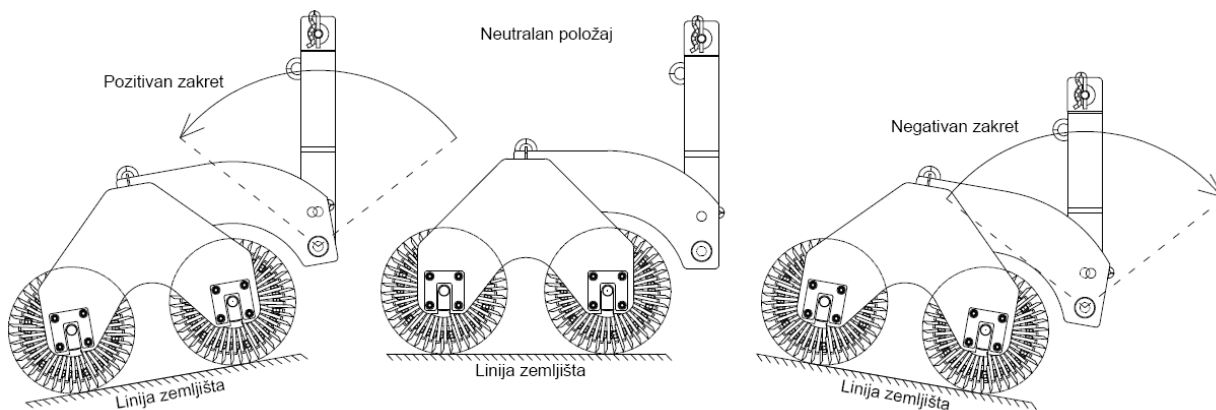
Sljedeća stavka razrade i usavršavanja bilo je „kopiranje“ zemljišta. Rastavljanjem stroja na više zasebnih sklopova i ukidanjem čvrste veze, smanjeno je prenošenje vibracija na relaciji stroj-

traktor. Dio stroja koji se kopča na trotočje traktora, A-okvir koji je u prethodnoj verziji bio direktno zavaren za sam okvir, sada je dizajniran tako da se omogući rotacija na mjestu kopčanja prilikom rada na polju. Kada je stroj u poziciji transporta ta dva dijela fiksno su vezana i omogućuju siguran prijevoz od točke A do točke B, slika 4.5.

Stroj se na trotočje traktora kopča pomoću tri klina, po dva na donju, ujedno i nosivu točku kopčanja i jedan na gornju točku kopčanja na A-okviru koja služi za balansiranje, a svi klinovi zaštićeni su od ispadanja R osiguračem, slika 4.6.



Slika 4.5. Prikaz slobodnog zakreta stroja



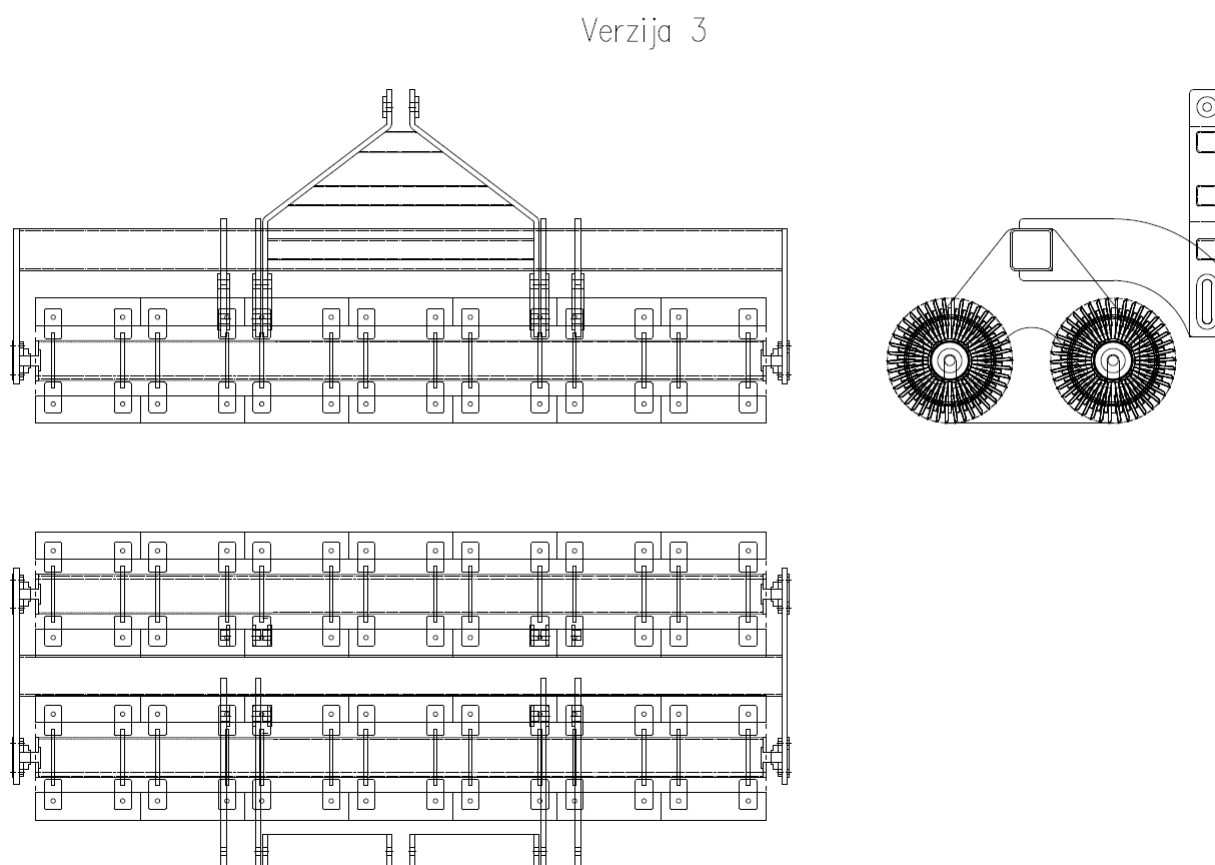
Slika 4.6. Prikaz kopiranja terena

Tablica 4.1. Tehničke specifikacije stroja

Dimenzije (DxŠxV):	971x2226x925	Brzina kretanja:	5 – 18 km/h
Radni zahvat:	2 m	Radni učinak:	do 3.6 ha/h
Potrebna snaga traktora	35 – 80 ks	Broj noževa:	84
Tip konstrukcije:	nošeni	Maks. deb. usitnjavanja:	do 35 mm
Masa stroja:	410 kg	Kategorija kopčanja:	II. kategorija

### 4.3. Treća verzija - prostor za dodatna usavršavanja

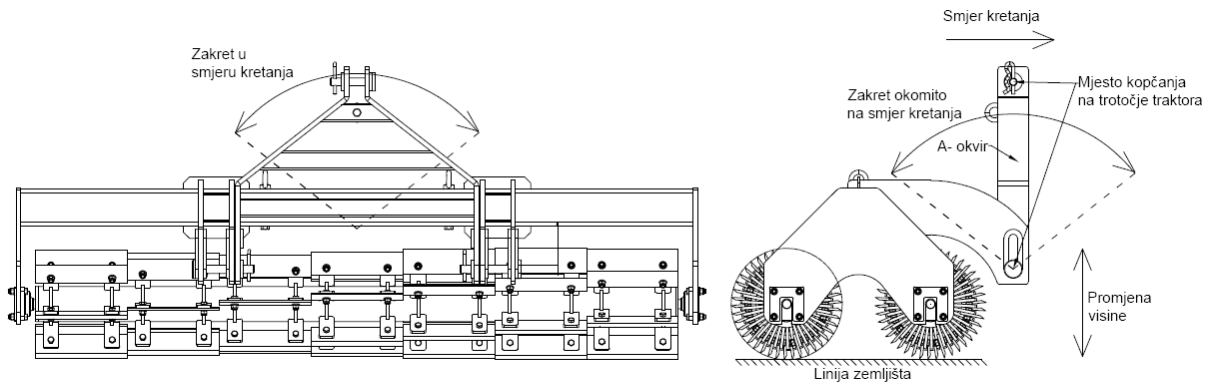
Pošto je maksimalno razrađen problem visinske promjene osi rotacije rotora u odnosu na zemljište i samim time smanjena vibracija, preostalo je dodatno usavršiti „kopiranje“ zemljišta i omogućiti, osim zakreta okomito na smjer kretanja, i zakret u smjeru kretanja, što je riješeno konstrukcijom prikazanom na slici 4.7.



Slika 4.7. Verzija 3

Između ostalog, stroju bi se dopustila i promjena visine bez direktnog podizanja od strane operatera u traktoru, ako bi došlo do neke prepreke na zemljištu, čime bi se stroj dodatno zaštitio

od kvara ili mogućih preopterećenja. Time bi se dozvolilo da se stroj, točnije dio konstrukcije koji je zadužen za zasijecanje žetvenih ostataka, kreće u sva tri smjera, slika 4.8.

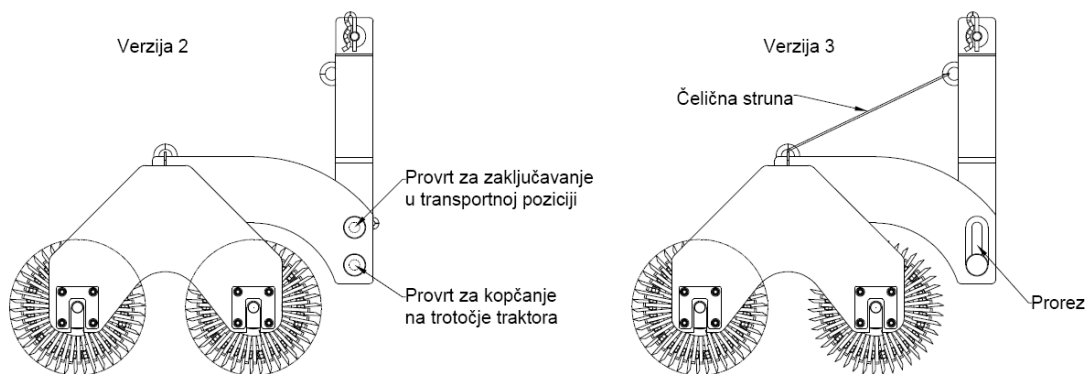


Slika 4.8. Prikaz slobodnih zakreta stroja u verziji 3

#### 4.3.1. Kratki opis konstrukcije

Umjesto kružnog oblika mjesta na prihvatnoj ploči A-okvira (dijelovi koji se kopčaju na trotočje) i mjesta zaključavanja samog stroja u transportnom položaju, ta dva provrta bila bi izvedena u obliku proreza čime bi se omogućilo da stroj prilikom neravnina ili nailaska na strano tijelo samostalno izbjegne prepreku, bez potrebne konstantne intervencije operatera.

S obzirom da konstrukcija nema ni jednu fiksnu vezu, zbog potrebe podizanja stroja prilikom prelaska u novi prohod ili prilikom transporta, potrebno je ograničiti preveliki pozitivan zakret stroja okomito na smjer kretanja, što se može postići ugradnjom čelične strune/užeta. Čelično uže služi kao veza između A-okvira i okvira stroja na kojem se nalaze rotori, dovoljno čvrsto da podnese masu stroja, a opet dovoljno fleksibilno da ne ograniči slobodan zakret stroja, slika 4.9.



Slika 4.9. Prikaz razlika između verzije 2 i verzije 3

## 5. Tijek razvoja stroja

U nastavku rada detaljno su opisane pojedine faze u razvoju stroja, od početnih ideja i zahtjeva, pa sve do izrade dokumentacije za završnu konstrukciju.

### 5.1. Početne zamisli i ideje

Razvoj koncepta stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka započeo je s jasnim ciljem koji je bio stvoriti učinkovit, pristupačan i ekološki prihvatljiv stroj, prilagođen potrebama ponajprije malih poljoprivrednih posjeda. Početne zamisli i ideje bile su temeljene na detaljnoj analizi postojećih rješenja, identificiranju njihovih nedostataka te prepoznavanju specifičnih potreba korisnika:

#### 1. Identifikacija potrebe

Prvi korak u razvoju stroja bio je identifikacija potrebe za takvim strojem na malim poljoprivrednim posjedima, putem razgovora s korisnicima. Postojeći strojevi često su neprikladni zbog svoje veličine, složenosti i početnih visokih troškova. Cilj je bio razviti kompaktan i ekonomičan stroj koji može raditi s traktorima manje snage, čime bi bio pristupačan širokom krugu korisnika.

#### 2. Definiranje osnovnih zahtjeva

Na temelju prikupljenih informacija iz literature, tržišne analize i povratnih informacija od poljoprivrednika, definirani su osnovni zahtjevi za novi stroj:

- kompaktnost i prilagodljivost: stroj mora biti dovoljno kompaktan za rad na manjim poljoprivrednim posjedima i kompatibilan s traktorima manje snage
- ekonomičnost: troškovi nabave, održavanja i operativni troškovi moraju biti niski
- jednostavnost korištenja i održavanja: stroj mora biti jednostavan za upotrebu i održavanje, bez potrebe za specijaliziranom obukom
- efikasnost usitnjavanja: stroj mora učinkovito usitnjavati različite vrste biljnih ostataka na prihvatljivu veličinu.

### 3. Početni dizajn

Razvoj početnog dizajna započeo je izradom početnih skica, prateći specifikacije konkurentnih strojeva. Fokus je bio na jednostavnom, ali učinkovitom dizajnu, koji bi uključivao sve ključne funkcionalnosti. Razmotreni su različiti načini usitnjavanja ostataka, kopčanje na traktor, transportni položaj, itd.

### 4. Izbor tehnologije i komponenti

Sljedeći korak bio je izbor tehnologije izrade komponenti koje će se koristiti u proizvodnji stroja. Uzeta je u obzir upotreba pristupačnih materijala i dijelova, kako bi se osigurala dugotrajnost i pouzdanost stroja, na relaciji cijena-kvaliteta. Analizirane su različite opcije za oblik noževa, načini međusobnog spajanja dijelova, postizanje dugotrajnosti stroja i sl., kako bi se pronašla optimalna rješenja.

### 5. Prototip i testiranje

Na temelju početnog dizajna izrađen je prvi prototip stroja. Prototipiranje je uključivalo izradu modela u 2D i 3D CAD alatima, kao što su AutoCAD i SolidWorks, kako bi se precizno definirale sve dimenzije i mehaničke komponente.

### 6. Postepeni razvoj

Na temelju CAD modela, izvršena su poboljšanja dizajna. Postepeni razvoj uključivao je kontinuirano analiziranje i optimizaciju komponenti i sustava. Svaki zaseban razvoj rezultirao je sve boljim performansama stroja i većom prilagodljivošću različitim vrstama biljnih ostataka.

### 7. Implementacija novih tehnologija

Kako bi se dodatno unaprijedio dizajn i funkcionalnost stroja, razmotrena je primjena novih tehnologija kao što su proširena stvarnost (AR) i virtualna stvarnost (VR) za vizualizaciju i optimizaciju dizajna. Korištenje alata poput eDrawings omogućilo je interaktivnu prezentaciju i detaljnu analizu svakog dijela stroja.



## 8. Konačni dizajn i dokumentacija

Nakon završetka postepenog razvoja i implementacije svih poboljšanja, izrađen je sofisticiran dizajn stroja. Sve komponente i funkcionalnosti detaljno su dokumentirane, uključujući tehničke nacрте, specifikacije te u konačnici i upute za održavanje. Ovaj korak osigurao je da su svi aspekti stroja temeljito pregledani i spremni za proizvodnju.

Početne zamisli i ideje za razvoj stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka rezultirale su inovativnim i praktičnim rješenjem, koje zadovoljava specifične potrebe malih poljoprivrednih posjeda. Kroz pažljivo planiranje, prototipiranje i postepeni razvoj, konstruiran je stroj koji će biti učinkovit, jednostavan za korištenje i održavanje te ekonomski isplativ i prihvatljiv.

### 5.2. Razrada u 2D okruženju (AutoCAD)

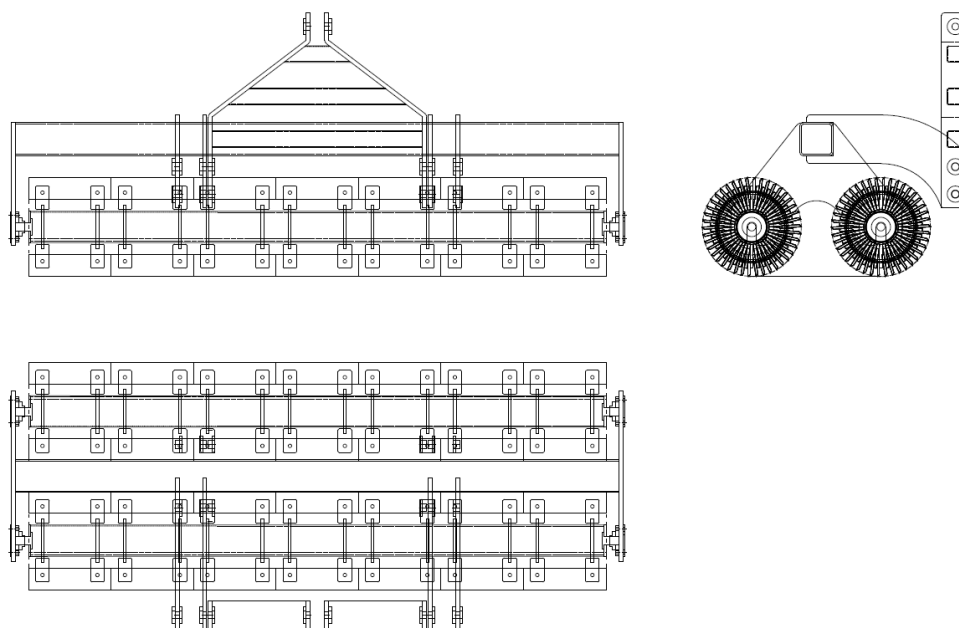
Razrada dizajna stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka započela je u 2D okruženju koristeći programski paket AutoCAD, jedan od najzastupljenijih alata u inženjerskom projektiranju. AutoCAD omogućuje precizno crtanje tehničkih nacрта i detaljnu razradu svih komponenti stroja, što je ključna faza u razvoju bilo kojeg inženjerskog proizvoda, a najvažnije za napomenuti, daje najbolji prikaz omjera veličina komponenata, te brzu i jednostavno doradu. Korištenje AutoCAD-a olakšava izradu početnih skica i planova, omogućujući inženjerima da vizualiziraju osnovne oblike i dimenzije stroja.

Unatoč pojavi novih pristupa i alata poput 3D modeliranja u SolidWorks-u, AutoCAD i dalje ostaje nezamjenjiv za mnoge inženjere zbog svoje jednostavnosti, široke primjene i dugogodišnje pouzdanosti u industriji. U ovom projektu AutoCAD je korišten za stvaranje početnih okvirnih 2D nacрта svih ključnih komponenti. Ovi početni i okvirni nacrti pružili su temelj za kasniju fazu 3D modeliranja, osiguravajući da su sve dimenzije i omjeri između komponenti točno definirani.

Kroz razradu u AutoCAD-u, identificirani su i riješeni potencijalni problemi i nedostaci u dizajnu, što je omogućilo glatku tranziciju prema 3D modeliranju i konačnoj izradi stroja. Iako se AutoCAD sve više zamjenjuje modernijim 3D alatima, njegova uloga u ovom projektu bila je neprocjenjiva za početnu fazu projektiranja, osiguravajući preciznost i pouzdanost dizajna.

Prednost korištenja AutoCAD-a u ovom razvoju koncepta je to što je davao najbolji prikaz omjera veličina komponenata, potrebne dimenzije za usklađivanje svih elemenata u funkcionalnu

cjelinu, te brzu i jednostavnu mogućnost implementacije preinaka i ideja u što kvalitetniji dizajn stroja.



*Slika 5.1. Prikaz stroja u tri osnovne projekcije izrađene u AutoCAD-u*

### **5.3. Dokumentacija i modeliranje u 3D okruženju (SolidWorks)**

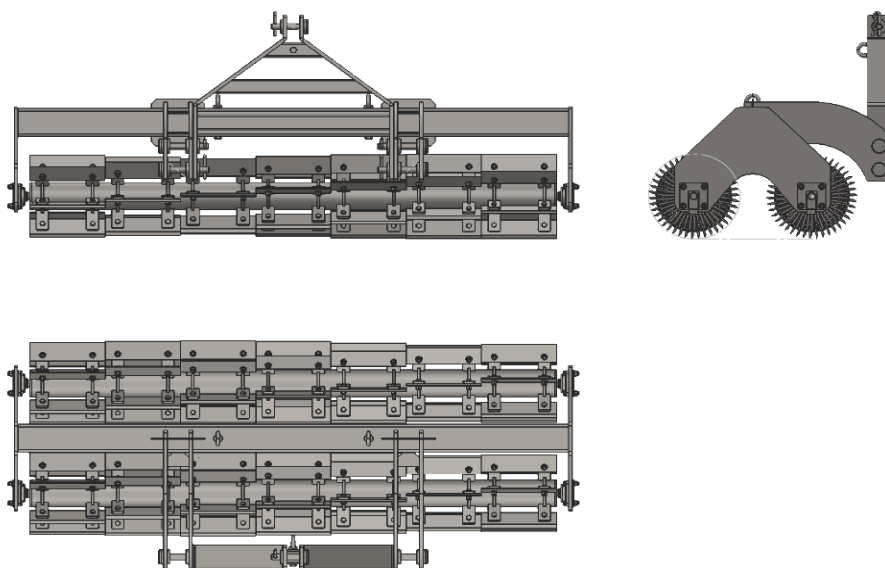
U fazi izrade dokumentacije, što radioničke, što sklopne, korišten je SolidWorks, jedan od najzastupljenijih alata u tvrtkama u Hrvatskoj koje se bave proizvodnjom složenih konstrukcija i strojeva, pa tako i u ovom slučaju poljoprivrednih strojeva. On nudi široke mogućnosti za inženjersko projektiranje, uključujući napredne alate za modeliranje i detaljnu razradu složenih komponenti. U ovom projektu, SolidWorks je korišten za kreiranje preciznih 3D modela svih dijelova stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka.

Korištenjem modula za obradu limova (SheetMetal) izrađene su detaljne specifikacije za sve komponente stroja koje se izrađuju od lima, omogućujući točnu proizvodnju i jednostavnu montažu. SolidWorks također podržava pripremu 3D CAD modela za prikaz u proširenoj stvarnosti (AR), što je ključno za modernu prezentaciju i testiranje dizajna u realnim uvjetima.

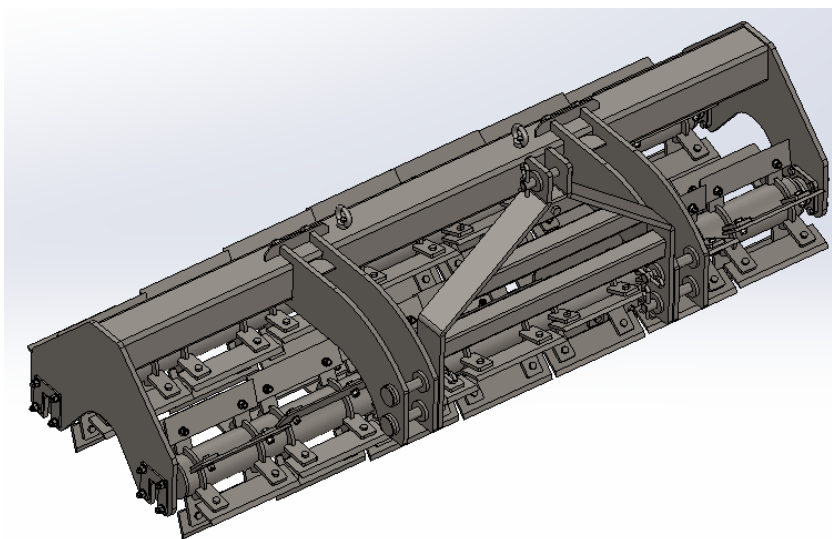
Tijekom modeliranja, identificirane su sve potrebne prilagodbe i optimizacije, osiguravajući da konačni dizajn zadovoljava sve tehničke zahtjeve i standarde. SolidWorks je omogućio detaljnu vizualizaciju svakog aspekta stroja, od unutarnjih mehanizama do vanjskih zaštitnih elemenata, pružajući sveobuhvatan uvid u funkcionalnost i učinkovitost dizajna.

Između ostaloga, ovaj programski paket daje izvrsne uvide u sve korake, od početnih izrada elemenata, sklapanja i provjere točnosti istih, pa do dijela kada je potrebno dobiti geometriju koja se tada ubacuje u strojeve, u ovom slučaju „fiber“ laser, kojim je odrađena obrada odvajanjem čestica bez rezne oštrice.

Korištenjem SolidWorks-a stvorena je sveobuhvatna tehnička dokumentacija koja uključuje 3D modele, tehničke crteže i popise materijala, čime je osigurana spremnost za proizvodnju i montažu stroja. Ova faza modeliranja i dokumentiranja ključna je za uspješnu realizaciju projekta i njegovu primjenu u poljoprivrednoj praksi.



*Slika 5.2. Prikaz stroja u tri osnovne projekcije izrađene u SolidWorks-u*



*Slika 5.3. Prikaz stroja u izometriji u SolidWorks-u*

## 6. Primjena novih tehnologija

Primjena novih tehnologija u razvoju stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka predstavlja značajan iskorak u modernizaciji i poboljšanju inženjerskih procesa i povezivanje dviju različitih grana, kao što su poljoprivreda i strojarstvo. U ovom poglavlju istražuje se kako proširena stvarnost (AR), virtualna stvarnost (VR), miješana stvarnost (MR), te hologramske tehnologije mogu unaprijediti prezentaciju, dizajn i testiranje stroja. Posebna pažnja posvećena je ulozi AR-a u prezentaciji stroja i korištenju eDrawings alata, koji omogućuje interaktivno pregledavanje 3D modela. Nadalje, razmatra se primjena VR-a i MR-a za stvaranje vizualnih iskustava koja pomažu inženjerima u razradi dizajna. U sklopu hologramskih tehnologija, spomenut će se korištenje uređaja kao što su HTC Vive Pro i Microsoft HoloLens za prikaz i prezentaciju inženjerskih proizvoda koji pružaju inovativne metode za vizualizaciju i demonstraciju stroja. Ove tehnologije ne samo da olakšavaju proces dizajniranja i testiranja, već pospješuju i komunikaciju između timova te prezentaciju konačnog proizvoda potencijalnim korisnicima i investitorima.

### 6.1. Proširena stvarnost (AR)

Proširena stvarnost (AR) je tehnologija koja kombinira digitalne informacije s fizičkim svijetom, omogućujući korisnicima interakciju s virtualnim elementima u stvarnom okruženju. Za razliku od virtualne stvarnosti (VR), koja stvara potpuno virtualni svijet, AR dodaje sloj digitalnih podataka na ono što korisnik već vidi oko sebe. To se postiže pomoću uređaja kao što su pametni telefoni, tableti ili specijalizirane AR naočale, koji mogu prikazivati holograme, 3D modele ili druge digitalne objekte integrirane u stvarni prostor.

Primjena AR-a je široka i obuhvaća razna područja, od zabave i edukacije do industrije i medicinske primjene. U inženjerstvu se AR koristi za vizualizaciju dizajna, što inženjerima omogućuje da vide kako će se novi dijelovi uklopiti u postojeće sustave ili kako će konačni proizvod izgledati i funkcionirati u stvarnom okruženju. Ova tehnologija poboljšava razumijevanje dizajna, olakšava prepoznavanje potencijalnih problema i omogućuje učinkovitiju komunikaciju među članovima tima.

AR također zauzima posebnu ulogu u prezentaciji proizvoda, omogućujući potencijalnim kupcima ili investitorima da interaktivno istražuju i razumiju proizvod prije nego što je stvarno proizveden. Na taj način, proširena stvarnost donosi novu dimenziju u proces dizajniranja, testiranja i marketinga inženjerskih proizvoda, čineći ga učinkovitijim i interaktivnijim.



*Slika 6.1. Korištenje proširene stvarnosti u raznim granama poslovanja [6]*

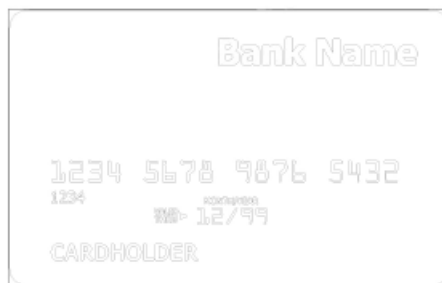
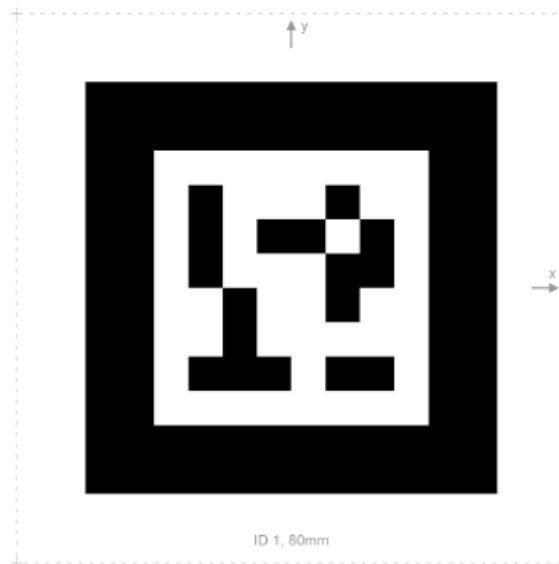
### **6.1.1. Uloga AR-a u prezentaciji stroja**

Proširena stvarnost (AR) igra ključnu ulogu u prezentaciji razvoja koncepta stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka. Korištenjem AR tehnologije, inženjeri i dizajneri mogu prikazati digitalne modele stroja u stvarnom okruženju, omogućujući detaljnu i interaktivnu vizualizaciju. Ovo pomaže korisnicima da bolje razumiju kako će stroj izgledati i funkcionirati prije nego što je fizički proizveden. Na primjer, s pomoću AR naočala ili mobilnih uređaja, mogu se vidjeti virtualni prikazi stroja na polju, što olakšava procjenu njegovih dimenzija, operativnih karakteristika i uklapanja u postojeći sustav.

Koristeći pametni telefon Samsung Fold 4 te ispisani QR kod izvezen iz aplikacije eDrawings na dovoljno velikom formatu papira, moguće je prikazati stroj u radnoj okolini u toj mjeri da je moguće vidjeti svaki element u stvarnoj veličini. To uvelike doprinosi shvaćanju funkcije stroja, a može pomoći i u procesu održavanja i servisiranja istog zahvaljujući funkcijama u aplikaciji kao što su „hide“, s pomoću koje se može isključiti dio iz pogleda u 3D prostoru, i „transparent“ koja može poslužiti da se element pretvori u prozirni pogled kako bi se vidjeli unutarnji sklopovi.



**Augmented Reality  
Global Marker**  
(Point your device camera this way!)



Check for proper scale with your credit card



[www.edrawingsviewer.com](http://www.edrawingsviewer.com)

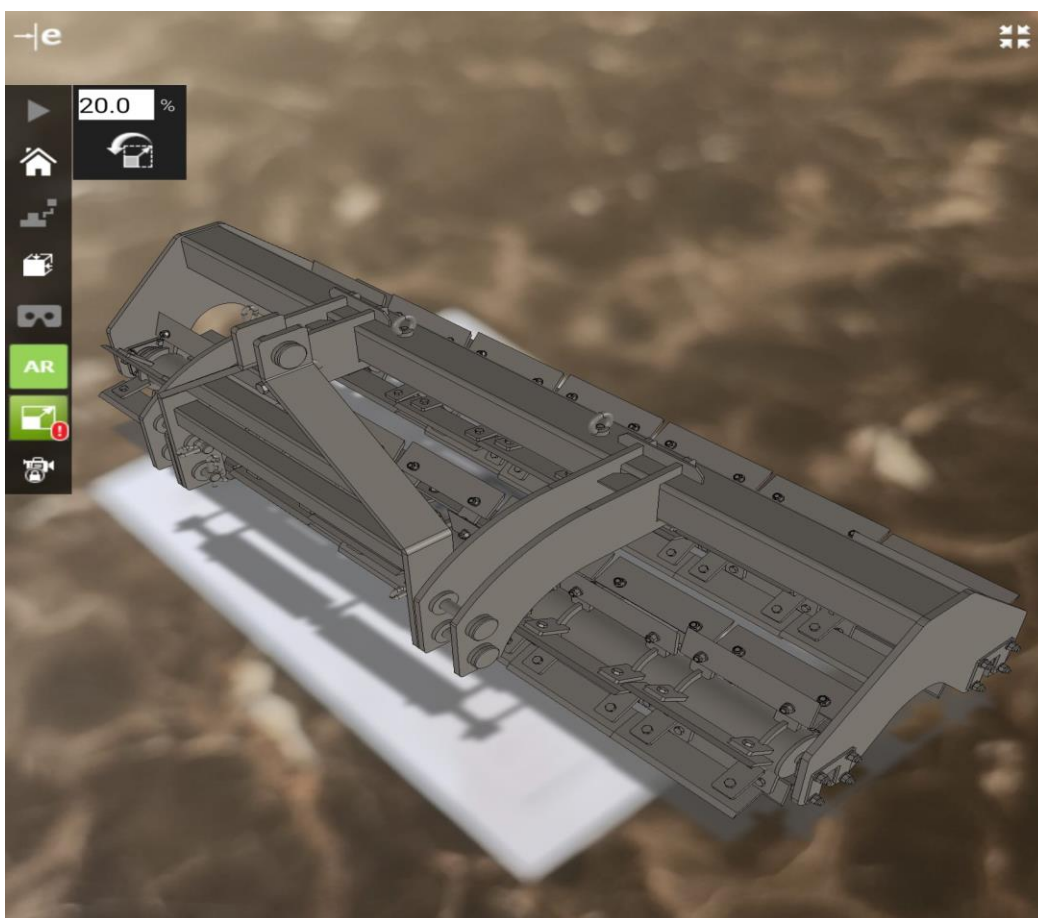
*Slika 6.2. QR kod za prikaz stroja u proširenoj stvarnosti*

AR omogućuje demonstraciju složenih mehaničkih dijelova i njihove interakcije na način koji je intuitivan i lako razumljiv. Kupci, investitori i članovi tima mogu istraživati različite aspekte stroja, mijenjati perspektive i dobiti uvid u unutarnje komponente bez potrebe za fizičkim rastavljanjem. Ova tehnologija također pomaže u prepoznavanju i rješavanju potencijalnih problema u ranoj fazi razvoja, smanjujući tako troškove i vrijeme proizvodnje. Kroz interaktivne AR prezentacije, proces komunikacije postaje učinkovitiji jer svi sudionici mogu jasno vidjeti i razumjeti dizajnerske odluke, čime se olakšava suradnja i donošenje odluka.

## 6.2. Korištenje eDrawings alata

Korištenje eDrawings alata predstavlja inovativan pristup u prezentaciji modela izrađenih u SolidWorks-u, omogućujući inženjerima i dizajnerima da svoje 3D modele prikažu na interaktivan i lako razumljiv način. Programski alat eDrawings omogućuje dijeljenje i pregledavanje CAD modela bez potrebe za složenim CAD programima i upotrebe računala. Integracija s proširenom stvarnošću (AR) dodatno poboljšava ovu funkcionalnost na način da omogućava korisnicima da vide digitalne modele stroja u stvarnom okruženju.

S pomoću eDrawings alata, korisnici mogu pregledavati detaljne 3D prikaze stroja, manipulirati modelom, zumirati određene dijelove i pregledavati unutarnje komponente putem presječenih pogleda. Kada se poveže s AR tehnologijom, ovi modeli mogu se prikazati na terenu ili u radnom prostoru i na taj način omogućiti realistično razumijevanje kako će stroj izgledati i funkcionirati u stvarnom svijetu. Na primjer, koristeći mobilni uređaj ili AR naočale, inženjeri i potencijalni kupci mogu vidjeti virtualni prikaz stroja u stvarnom vremenu, odnosno svaki detalj i funkcionalnost.



Slika 6.3. Prikaz stroja u proširenoj stvarnosti korištenjem aplikacije eDrawings

Ova kombinacija eDrawings alata i AR tehnologije ne samo da poboljšava proces dizajna i testiranja, već i olakšava komunikaciju između timova i klijenata. Svi sudionici mogu interaktivno pregledavati model, identificirati eventualne probleme i sugerirati poboljšanja prije nego što započne fizička proizvodnja. Ovaj pristup digitalne proizvodnje smanjuje troškove, ubrzava razvojne procese i povećava ukupnu efikasnost, čineći prezentaciju stroja intuitivnijom i impresivnijom.

### **6.3. Virtualna stvarnost (VR)**

Virtualna stvarnost (VR) je tehnologija koja stvara potpuno digitalno okruženje u kojem korisnici mogu uroniti i interaktivno se kretati. Korištenjem posebnih VR naočala ili „headsetova“, poput Oculus Rift ili HTC Vive, korisnici mogu doživjeti osjećaj prisutnosti u virtualnom svijetu koji može biti potpuno različit od stvarnog. VR tehnologija koristi senzore pokreta, zvuka i ponekad čak i povratnu informaciju (osjećaj dodira) kako bi stvorila impresivno iskustvo.

Primjene VR-a su raznolike i obuhvaćaju igre, edukaciju, medicinu, arhitekturu i industriju. U inženjerskom dizajnu, VR omogućuje inženjerima da istražuju i testiraju svoje projekte u realističnom 3D okruženju prije nego što se pokrene fizička izrada. Ovo može pomoći u otkrivanju potencijalnih problema, optimizaciji dizajna i boljem razumijevanju složenih struktura. VR također omogućuje timovima da surađuju na daljinu, pružajući zajednički virtualni prostor za pregled i raspravu o projektima.

Osim toga, VR je koristan alat za obuku jer omogućuje simulaciju složenih ili opasnih situacija u sigurnom virtualnom okruženju. Na ovaj način, korisnici mogu steći iskustvo i vještine bez rizika povezanih s praktičnim treninzima. Ukupno gledano, virtualna stvarnost donosi revolucionarne promjene u načinu na koji se dizajnira, testira, surađuje i uči, čineći procese učinkovitijima i sigurnijima.

### **6.4. Miješana stvarnost (MR)**

Miješana stvarnost (MR) je napredna tehnologija koja kombinira elemente proširene stvarnosti (AR) i virtualne stvarnosti (VR) kako bi stvorila interaktivno okruženje u kojem digitalni i stvarni svjetovi koegzistiraju i komuniciraju u stvarnom vremenu. MR omogućuje korisnicima da vide i interaktivno se povežu s digitalnim objektima koji su postavljeni u stvarno okruženje. Korištenjem MR uređaja poput Microsoft HoloLens-a, korisnici mogu manipulirati hologramima, istraživati složene 3D modele i interaktivno sudjelovati u simulacijama.



Ova tehnologija ima široku primjenu u raznim industrijama, uključujući inženjering, obrazovanje, medicinu i zabavu. U kontekstu inženjerskog dizajna, MR omogućuje inženjerima da vizualiziraju i testiraju dizajnerske koncepte u stvarnom prostoru, pružajući dublje razumijevanje funkcionalnosti i ergonomije proizvoda. Na ovom primjeru, može se koristiti MR za prikaz stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka u stvarnom okruženju, što omogućuje da se vidi kako će se stroj uklopiti u postojeće procese i prostor.

MR također olakšava suradnju na daljinu jer više korisnika može istovremeno pregledavati i raditi s istim digitalnim objektima bez obzira na svoju fizičku lokaciju. Ovo poboljšava timsku komunikaciju i ubrzava proces donošenja odluka. Sve ove mogućnosti čine miješanu stvarnost moćnim alatom za unapređenje dizajna, testiranja i prezentacije inženjerskih proizvoda.

## **6.5. Hologramske tehnologije**

Hologramske tehnologije omogućuju stvaranje trodimenzionalnih (3D) prikaza koji se čine kao da „lebde“ u prostoru i mogu se gledati iz različitih kutova. Za razliku od tradicionalnih 2D slika na zaslonu, hologrami pružaju realističan prikaz objekata, dajući osjećaj dubine i prostora. Ove tehnologije koriste se u raznim uređajima, poput projektoru holograma i naprednih AR/VR naočala kako bi prikazale virtualne objekte na način koji se čini stvarnim.

U inženjerskom dizajnu, hologramske tehnologije omogućuju inženjerima i dizajnerima da vizualiziraju i analiziraju složene modele u stvarnom prostoru. Na primjer, hologrami stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka mogu se projicirati u stvarnom okruženju, dozvoljavajući tako korisnicima da vide stroj iz svih kutova, razumiju njegove dimenzije i funkcionalnost, te identificiraju potencijalne probleme prije izrade fizičkog prototipa.

Hologramske tehnologije također poboljšavaju suradnju i prezentaciju, pružajući timovima priliku da interaktivno rade s 3D modelima, bez obzira na njihovu fizičku lokaciju. Investitori, klijenti i drugi dionici mogu dobiti detaljan uvid u dizajn i funkcionalnost proizvoda kroz impresivnu i intuitivnu vizualizaciju. Time se smanjuje rizik od nesporazuma i povećava učinkovitost komunikacije, čineći hologramske tehnologije vrijednim alatom u suvremenom inženjerskom procesu.

## 6.6. Primjena HTC Vive Pro sustava

HTC Vive Pro sustav je napredna platforma za virtualnu stvarnost (VR), koja pruža izuzetno realistična i interaktivna iskustva. Korištenjem visokokvalitetnih VR naočala i preciznih kontrolera korisnicima omogućuje uranjanje u potpuno digitalne svjetove gdje mogu istraživati, manipulirati objektima i surađivati u realnom vremenu. U inženjerskom dizajnu, HTC Vive Pro sustav koristi se za vizualizaciju i testiranje složenih 3D modela prije nego što krenu u fizičku proizvodnju.



*Slika 6.4. HTC Vive PRO 2 [7]*

Korištenjem HTC Vive Pro sustava, inženjeri mogu pregledavati modele stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka u virtualnom okruženju, istražujući svaki detalj iz različitih kutova. Ovo omogućava detaljnu analizu dizajna, otkrivanje potencijalnih problema i optimizaciju komponenti. Pored toga, VR iskustvo olakšava suradnju među članovima tima koji se mogu "sastati" u virtualnom prostoru, raspravljati o dizajnerskim rješenjima i donositi informirane odluke.

HTC Vive Pro sustav također je koristan za edukaciju i obuku, omogućujući korisnicima da uče i prakticiraju radne zadatke u sigurnom i kontroliranom virtualnom okruženju. Sve ove mogućnosti čine HTC Vive Pro sustav moćnim alatom za unapređenje dizajna, testiranja i suradnje u inženjerskom procesu.

## 6.7. Primjena HoloLens naočala

HoloLens naočale su napredni uređaj za miješanu stvarnost (MR) koje kombiniraju fizički i digitalni svijet, omogućujući korisnicima da vide i interaktivno se povežu s hologramima u stvarnom okruženju. Korištenjem HoloLens naočala, inženjeri i dizajneri mogu vizualizirati 3D modele svojih projekata izravno u radnom prostoru, pružajući dublje razumijevanje dizajna i njegove funkcionalnosti. Ove naočale projiciraju digitalne informacije preko stvarnih objekata, omogućujući korisnicima da pregledaju, prilagođavaju i testiraju dizajn u stvarnom vremenu.

U kontekstu razvoja stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka, HoloLens naočale dozvoljavaju inženjerima da vide kako će stroj izgledati i funkcionirati u stvarnom okruženju prije nego što je fizički proizveden. Ova tehnologija olakšava identifikaciju potencijalnih problema, optimizaciju dizajna i poboljšanje ukupne učinkovitosti procesa razvoja. Također, osiguravaju bolju suradnju među timovima jer više korisnika može pregledavati i raspravljati o holografskim prikazima modela bez obzira na njihovu fizičku lokaciju.

HoloLens naočale poboljšavaju komunikaciju s klijentima i investitorima jer uvelike olakšavaju prezentaciju projekata. Potencijalni korisnici mogu interaktivno istražiti i razumjeti sve aspekte dizajna, što olakšava donošenje odluka i povećava povjerenje u konačni proizvod. Sve ove prednosti čine HoloLens naočale neprocjenjivim alatom za modernizaciju i unapređenje inženjerskog projektiranja i prezentacije.



*Slika 6.5. Microsoft HoloLens 2 [8]*

## 7. Razrada dijelova i konstrukcijskih elemenata

Razrada dijelova i konstrukcijskih elemenata stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka ključna je faza u razvoju, koja osigurava da svi aspekti dizajna zadovoljavaju tehničke specifikacije i funkcionalne zahtjeve. U ovom poglavlju analiziraju se dizajn i analiza dijelova, načini spajanja i montaže te materijali i tehnologije izrade.

Dizajn i analiza dijelova uključuju stvaranje detaljnih tehničkih crteža i 3D modela svakog dijela stroja. Svaki dio mora biti dizajniran s precizno kako bi se osigurala njegova funkcionalnost i integracija s drugim komponentama. Kroz analizu se procjenjuju različiti aspekti dizajna, uključujući čvrstoću, otpornost na trošenje i optimalnu geometriju.

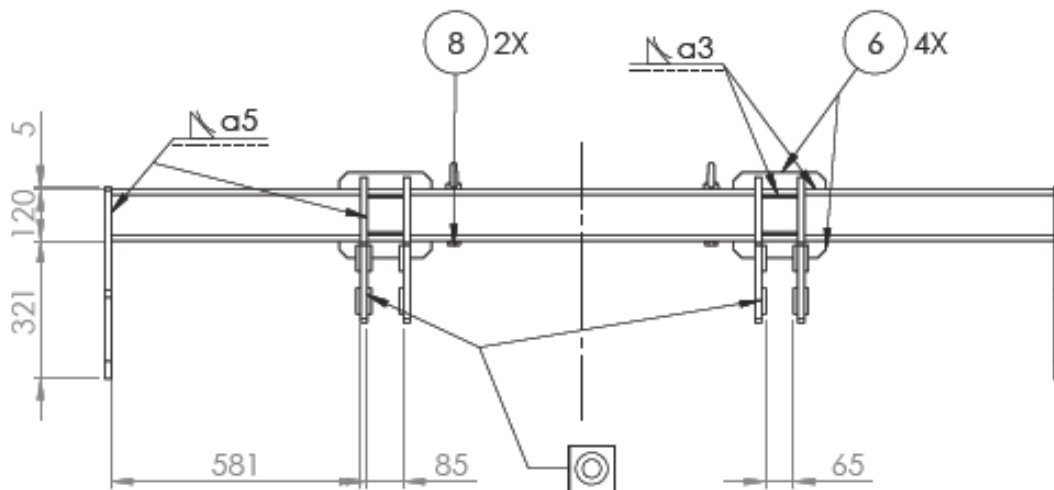
Materijali i tehnologije izrade temelj su svakog kvalitetnog stroja. Odabir odgovarajućih materijala osigurava potrebnu čvrstoću i izdržljivost, dok napredne tehnologije izrade, kao što su CNC obrada, lasersko rezanje i hladno oblikovanje, omogućuju preciznu proizvodnju dijelova. Za izradu ovog stroja, proučavajući svojstva te uz praktično znanje, izbor je pao na nelegirani konstrukcijski čelik S235JR (EN standard 10025-2: 2004).

Tablica 7.1. Kemijski sastav odabranog materijala

Standard	EN 10025-2:2004
Materijal	S235JR
	1,0038
C	za debljine do 40 mm: $\leq 0.17$ za debljine preko 40 mm: $\leq 0.20$
Mn	$\leq 1.40$
P	$\leq 0.035$
S	$\leq 0.035$
N	$\leq 0.012$
Cu	$\leq 0.55$

Načini spajanja i montaže ključni su za osiguravanje stabilnosti i dugotrajnosti stroja. Razmatrane se različite metode spajanja, a odabrane su dvije koje se najviše koriste u izradi poljoprivrednih strojeva, a to su zavarivanje i vijčani spoj. Proces montaže mora biti učinkovit i praktičan uz lako sastavljanje i rastavljanje radi održavanja ili zamjene dijelova. Najčešći oblik

zavara kod spajanja stroja bio bi isprekidani kutni zavar, zaobljenog oblika, debljine zavara jednak debljini najtanjeg od dva susjedna elementa, kako ne bi došlo do prevelikog nakupljanja toplinske energije koja bi dovela do savijanja materijala.



*Slika 7.1. Prikaz zavara na sklopnom crtežu*

Osovina rotora izvedena je iz cijevi kružnog poprečnog presjeka, promjera  $\text{Ø}114$  mm i debljine stijenke 4 mm, dok je greda okvira izvedena iz cijevi kvadratnog poprečnog presjeka, dimenzije  $120 \times 120$  mm, debljine stijenke 6 mm. Obje cijevi rezane su tračnom pilom iz cijevi nazivnih duljina 6 m.



*Slika 7.2. Osovina rotora i greda okvira*

Većina ostalih dijelova proizvedena je postupkom odvajanja čestica bez primjene rezne oštrice, rezanjem „fiber“ laserom marke PrimaPower Platino EVO snage 6 kW, iz tabli lima različitih debljina, od 3 mm, pa se sve do 15 mm. Koristeći SolidWorks za izradu radioničkih nacrti,



geometrija dijela izvezena je u obliku „dxf“ datoteke u upravljačku jedinicu samog lasera, što uvelike skraćuje vrijeme proizvodnje istih.



*Slika 7.3. Dio elemenata rezanih „fiber“ laserom*

Još valja spomenuti da je bok A-okvira nakon rezanja „fiber“ laserom podvrgnut hladnoj strojnoj obradi bez odvajanja čestica, tj. savijanju na CNC servo-električnoj savijačici lima, marke PrimaPower eP-2040 snage 200 t. Koristeći modul SheetMetal u programu SolidWorks moguće je dobiti točnu dimenziju razvijenog komada, uz korektivni faktor savijanja u vrijednosti od 0.421, uz točno naznačenu liniju savijanja.



*Slika 7.4. Bok A-okvira*



*Slika 7.5. Materijal za izradu stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka*

Nakon spajanja elemenata u sklopove na red dolazi i antikorozivna zaštita cijelog stroja. Odlučeno je da će se zasebni dijelovi i cijeli sklopovi zaštititi postupkom elektrokemijskog pocinčavanja, kako bi se osigurala dugotrajnost samog stroja. Na spojevima sklopova koji se sastoje od cijevi kružnog i okruglog poprečnog presjeka predviđeno je više dovoljno velikih provrta kako bi se mogli uroniti u kupku cinka. Prije svega, sve dijelove potrebno je odmastiti od mogućih onečišćenja i nastalih površinskih korozija u cilju boljeg nanošenja prevlake.

Kombinacijom pažljivog dizajna, učinkovitih načina spajanja i montaže te primjene naprednih materijala i tehnologija izrade, nastoji se postići optimalan balans između performansi, trajnosti i troškova proizvodnje stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka.

## 8. Ekonomičnost i isplativost izrade stroja

Ekonomičnost i isplativost izrade stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka ključni su faktori koji određuju uspjeh projekta. U ovom poglavlju bit će spomenuto koji sve faktori, počevši od troškova proizvodnje, troškova nabave materijala, itd., trebaju biti analizirani kako bi se mogli odrediti resursi potrebni za izradu i kako bi se u konačnici mogla procijeniti isplativost projekta.

Analiza troškova proizvodnje uključuje procjenu svih troškova povezanih s izradom stroja, od nabave materijala i komponenti, preko proizvodnih procesa do troškova rada. Ova analiza pomaže identificirati najskuplje faze proizvodnje i omogućuje optimizaciju troškova kroz odabir povoljnijih materijala ili tehnologija, kao i kroz efikasniju organizaciju proizvodnog procesa.

Vrijeme i resursi potrebni za izradu stroja procjenjuju se, kako bi se osiguralo da projekt bude dovršen unutar zadanih rokova i s dostupnim resursima. To uključuje planiranje proizvodnih aktivnosti, raspored potrebne radne snage i koordinaciju s dobavljačima. Detaljno planiranje omogućuje predviđanje i smanjenje potencijalnih kašnjenja, čime se osigurava pravovremena realizacija projekta.

Isplativost projekta analizira se kroz procjenu povrata na investiciju (ROI), troškovnu učinkovitost i dugoročnu održivost projekta. Uzimaju se u obzir ne samo inicijalni troškovi izrade već i operativni troškovi održavanja, te predviđeni prihodi od prodaje ili korištenja stroja. Isplativost projekta ocjenjuje se na temelju mogućnosti tržišnog uspjeha i potencijalnih ušteda u poljoprivrednoj proizvodnji koje stroj omogućava.

Kroz temeljitu analizu svih ovih aspekata, cilj je osigurati da izrada stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka bude ekonomski opravdana i financijski održiva, pružajući poljoprivrednicima pristupačno i učinkovito rješenje koje će im pomoći u optimizaciji njihovih procesa i smanjenju troškova.



## 9. Zaključak

U zaključku ovog diplomskog rada, sažeti su ključni rezultati postignuti tijekom razvoja stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka, istaknute prednosti razvijenog koncepta i pružene preporuke za budući rad i istraživanja.

U diplomskom radu obuhvaćene su sve faze razvoja stroja, počevši od identifikacije potreba i zahtjeva, imajući u vidu uočene nedostatke kod sličnih konkurentnih strojeva na tržištu, preko dizajna i analize dijelova, do završne implementacije i testiranja. Razrađeni su detaljni tehnički nacrti i 3D modeli koji osiguravaju visoku razinu preciznosti i funkcionalnosti. Korištenje naprednih tehnologija poput proširene stvarnosti (AR) i virtualne stvarnosti (VR), omogućuje interaktivnu prezentaciju i optimizaciju dizajna prije fizičke proizvodnje.

Prednosti razvijenog koncepta uključuju njegovu prilagodljivost traktorima starijih godišta manje snage, ekonomičnost, jednostavnost korištenja i održavanja te ekološku prihvatljivost. Stroj je dizajniran tako da zadovolji specifične potrebe malih poljoprivrednih posjeda, pružajući učinkovit i pristupačan alat za usitnjavanje biljnih ostataka. Integracija novih tehnologija omogućila je detaljnu vizualizaciju i testiranje, čime su smanjeni troškovi i vrijeme razvoja.

Preporuke za budući rad i istraživanja usmjerene su na daljnje unapređenje dizajna i funkcionalnosti stroja. Preporučuje se istraživanje novih materijala i tehnologija izrade koje mogu dodatno smanjiti troškove i povećati učinkovitost. Također, daljnje korištenje AR i VR tehnologija može poboljšati proces obuke korisnika i održavanje stroja. Konačno, predlaže se istraživanje mogućnosti primjene stroja u različitim poljoprivrednim uvjetima, kako bi se osigurala njegova univerzalnost i prilagodljivost.

Ovim zaključkom sumirana su postignuća i prednosti razvijenog stroja u odnosu na slične konkurentne strojeve, te se pružaju smjernice za budući rad koji će dodatno unaprijediti ovu važnu tehnologiju u poljoprivredi.

## Literatura

- [1] <https://agroinfonet.com/poljoprivreda/ratarstvo/zaoravanje-kukuruzovine/>
- [2] <https://www.mascus.hr/poljoprivreda/poljoprivredni-valjci/saphir-sinuscut-300-messerwalze/bphplvam.html>
- [3] <https://www.landwirt.com/gebrauchte,3962812,Massey-Ferguson-MF-3635-A.html>
- [4] <https://www.tractorprovider.co.mz/tractor-detail/TP11181911/>
- [5] <https://www.agroklub.com/ratarstvo/malciranjem-smanjite-upotrebu-gnojiva/10975/>
- [6] <https://www.inglobetechnologies.com/augmented-reality-changing-furniture-industry/>
- [7] <https://www.conrad.hr/hr/p/htc-vive-pro-2-naocale-za-virtualnu-stvarnost-crna-uklj-senzor-pokreta-s-integriranim-zvucnim-sustavom-2369238.html>
- [8] <https://get-it-easy.de/en/hololens-2-rent/>

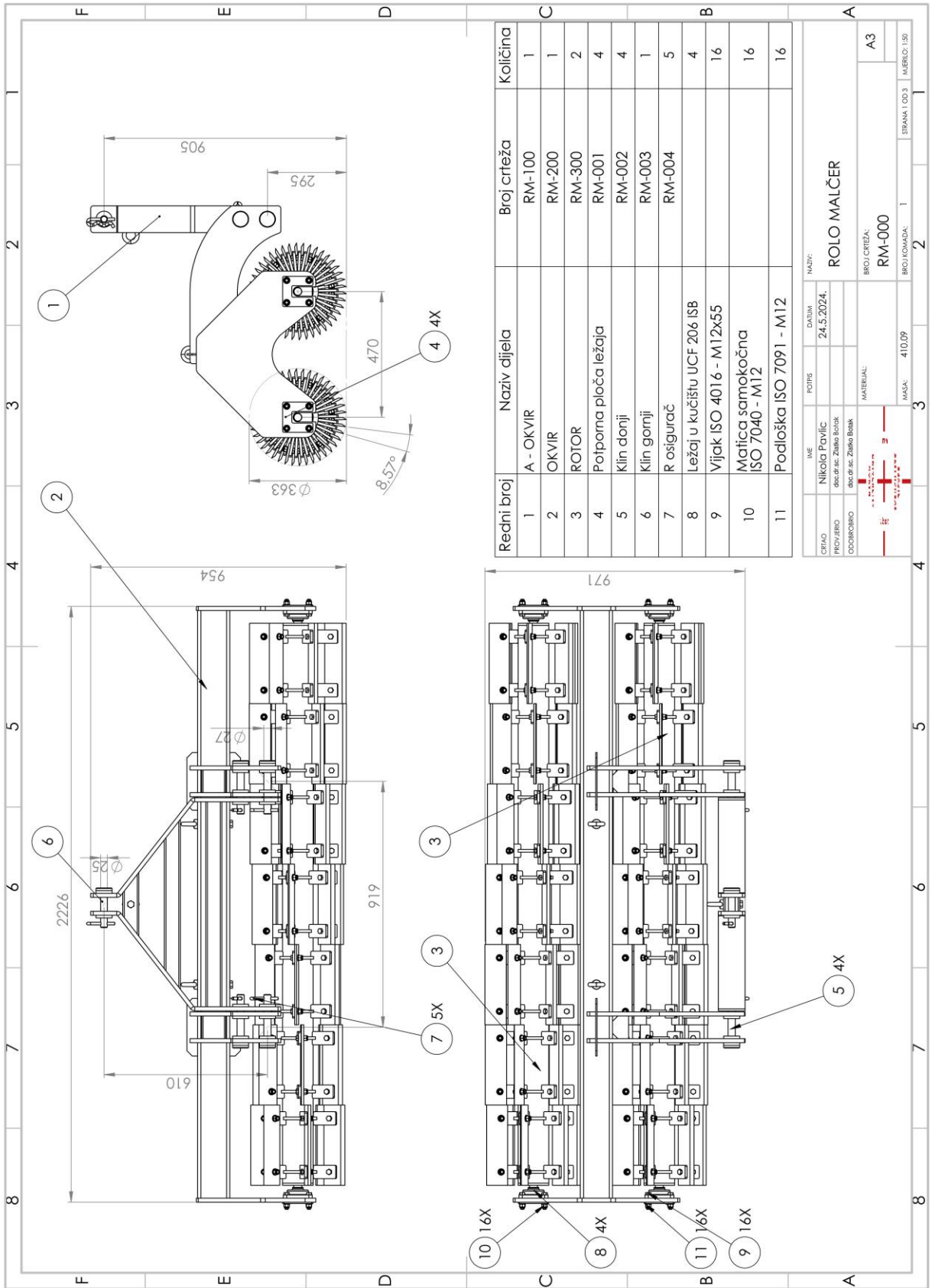
## Popis slika

Slika 2.1. Biljni žetveni ostatci [1].....	2
Slika 2.2. Sapphire SinusCut 300 [2].....	4
Slika 2.3. Misli kojima se vodilo tokom cijelog razvoja stroja.....	7
Slika 2.4. Višenamjenski traktor MF 3635 [3].....	9
Slika 2.5. Trotočje traktora MF 3635 [4].....	10
Slika 3.1. Prikaz principa rada stroja.....	11
Slika 3.2. Opis tijeka rada sa strojem.....	12
Slika 3.3. Izgled žetvenih ostataka prije i poslije prolaska konvencionalnim strojevima za malčiranje [5].....	13
Slika 4.1. Verzija 1.....	14
Slika 4.2. Visinska razlika osi rotacije rotora verzije 1.....	15
Slika 4.3. Verzija 2.....	16
Slika 4.4. Visinska razlika svedena na minimum u verziji 2.....	17
Slika 4.5. Prikaz slobodnog zakreta stroja.....	18
Slika 4.6. Prikaz kopiranja terena.....	18
Slika 4.7. Verzija 3.....	19
Slika 4.8. Prikaz slobodnih zakreta stroja u verziji 3.....	20
Slika 4.9. Prikaz razlika između verzije 2 i verzije 3.....	20
Slika 5.1. Prikaz stroja u tri osnovne projekcije izrađene u AutoCAD-u.....	24
Slika 5.2. Prikaz stroja u tri osnovne projekcije izrađene u SolidWorks-u.....	25
Slika 5.3. Prikaz stroja u izometriji u SolidWorks-u.....	25
Slika 6.1. Korištenje proširene stvarnosti u raznim granama poslovanja [6].....	27
Slika 6.2. QR kod za prikaz stroja u proširenoj stvarnosti.....	28
Slika 6.3. Prikaz stroja u proširenoj stvarnosti korištenjem aplikacije eDrawings.....	29
Slika 6.4. HTC Vive PRO 2 [7].....	32
Slika 6.5. Microsoft HoloLens 2 [8].....	33
Slika 7.1. Prikaz zavara na sklopnom crtežu.....	35
Slika 7.2. Osovina rotora i greda okvira.....	35
Slika 7.3. Dio elemenata rezanih „fiber“ laserom.....	36
Slika 7.4. Bok A-okvira.....	37
Slika 7.5. Materijal za izradu stroja za usitnjavanje biljnih žetvenih ostataka.....	37

## **Popis tablica**

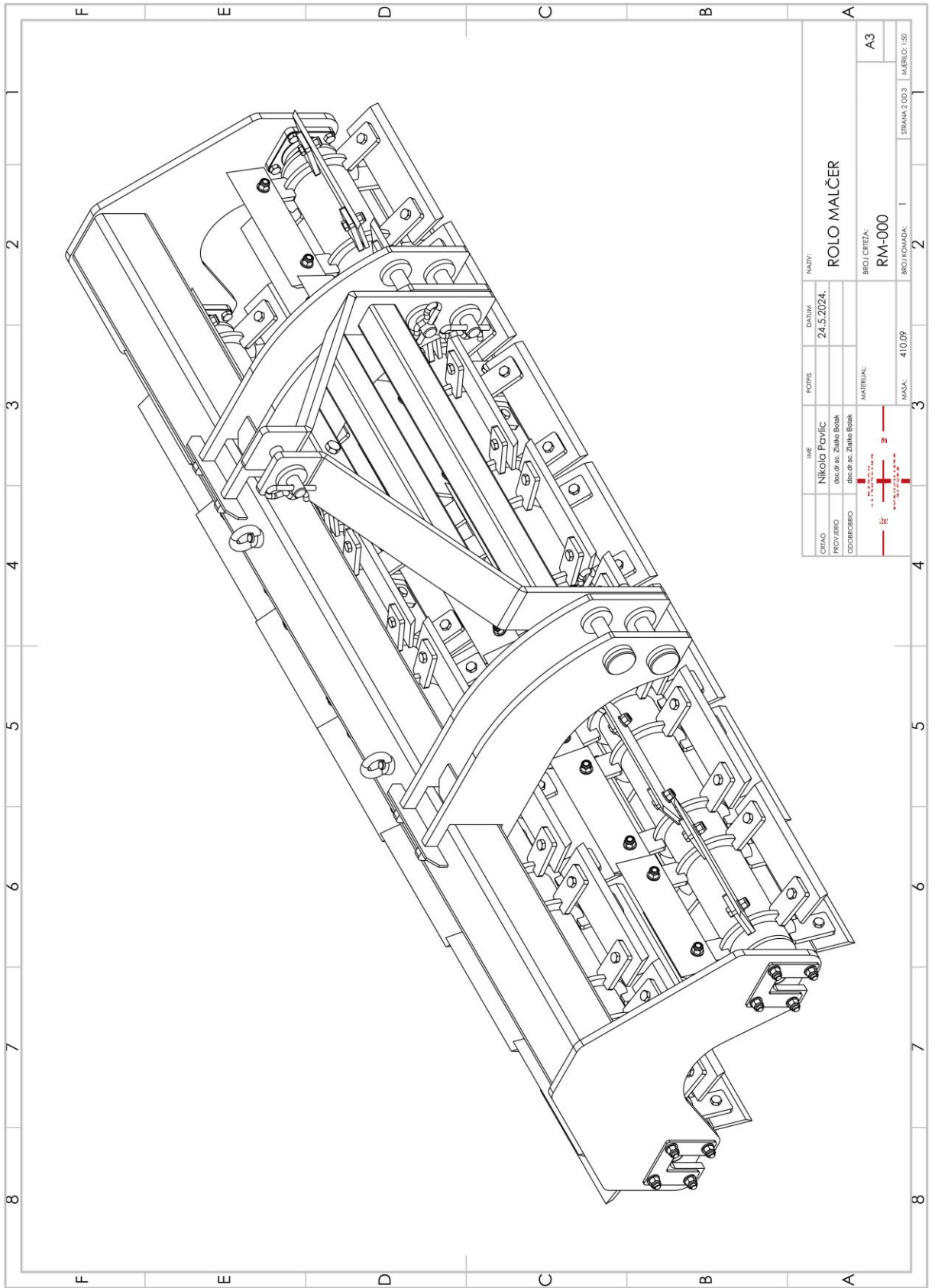
Tablica 2.1. Analiza uočenih nedostataka konkurentnih strojeva.....	5
Tablica 2.2. Analiza prednosti razvoja novog stroja.....	7
Tablica 4.1. Tehničke specifikacije stroja.....	19
Tablica 7.1. Kemijski sastav odabranog materijala.....	34

# Prilozi

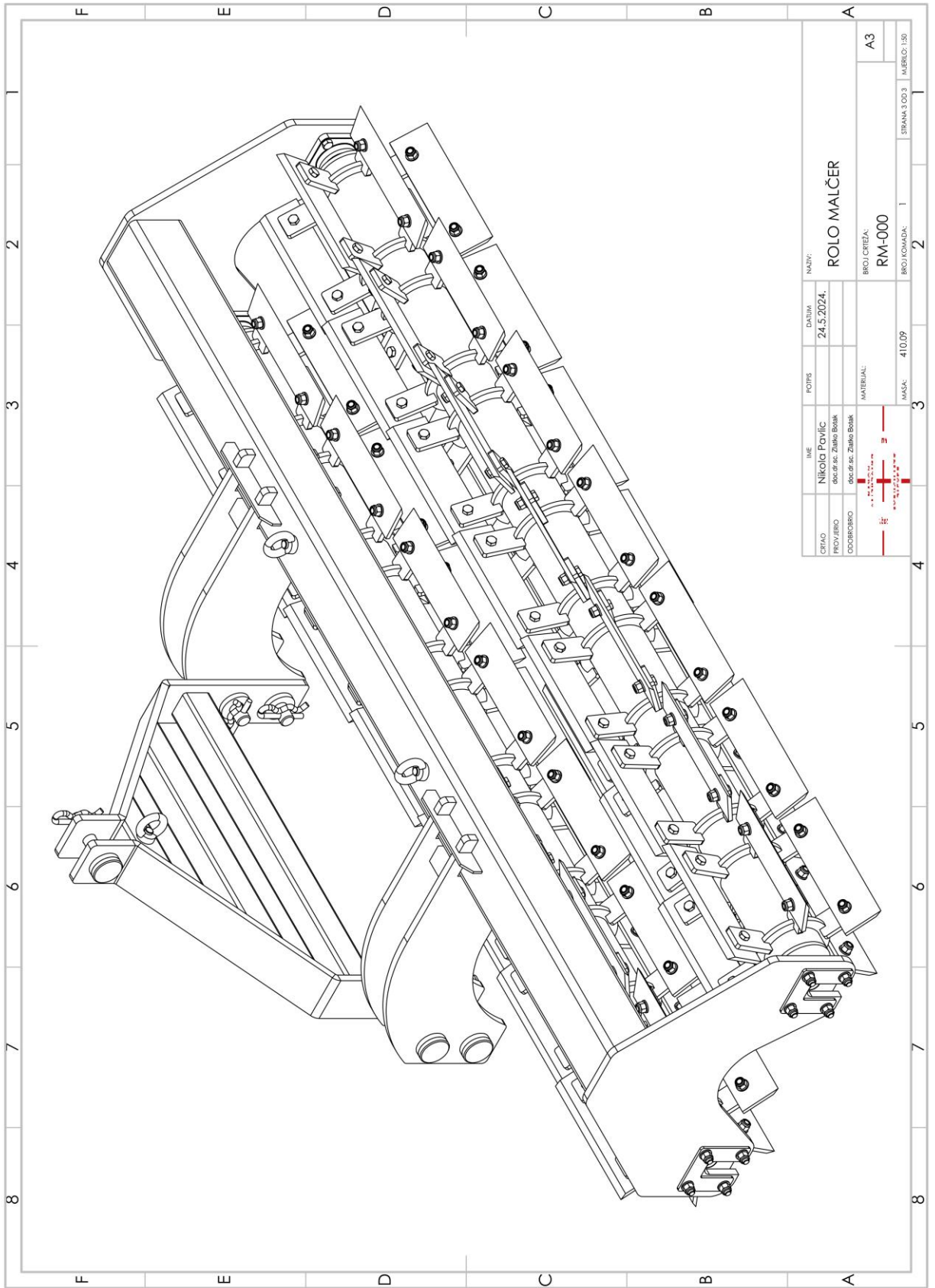


Redni broj	Naziv dijela	Broj crteža	Količina
1	A - OKVIR	RM-100	1
2	OKVIR	RM-200	1
3	ROTOR	RM-300	2
4	Polporna ploča ležaja	RM-001	4
5	Klin donji	RM-002	4
6	Klin gornji	RM-003	1
7	R osigurač	RM-004	5
8	Ležaj u kućištu UCF 206 ISB		4
9	Vijak ISO 4016 - M12x55		16
10	Matica samokočna ISO 7040 - M12		16
11	Podloška ISO 7091 - M12		16

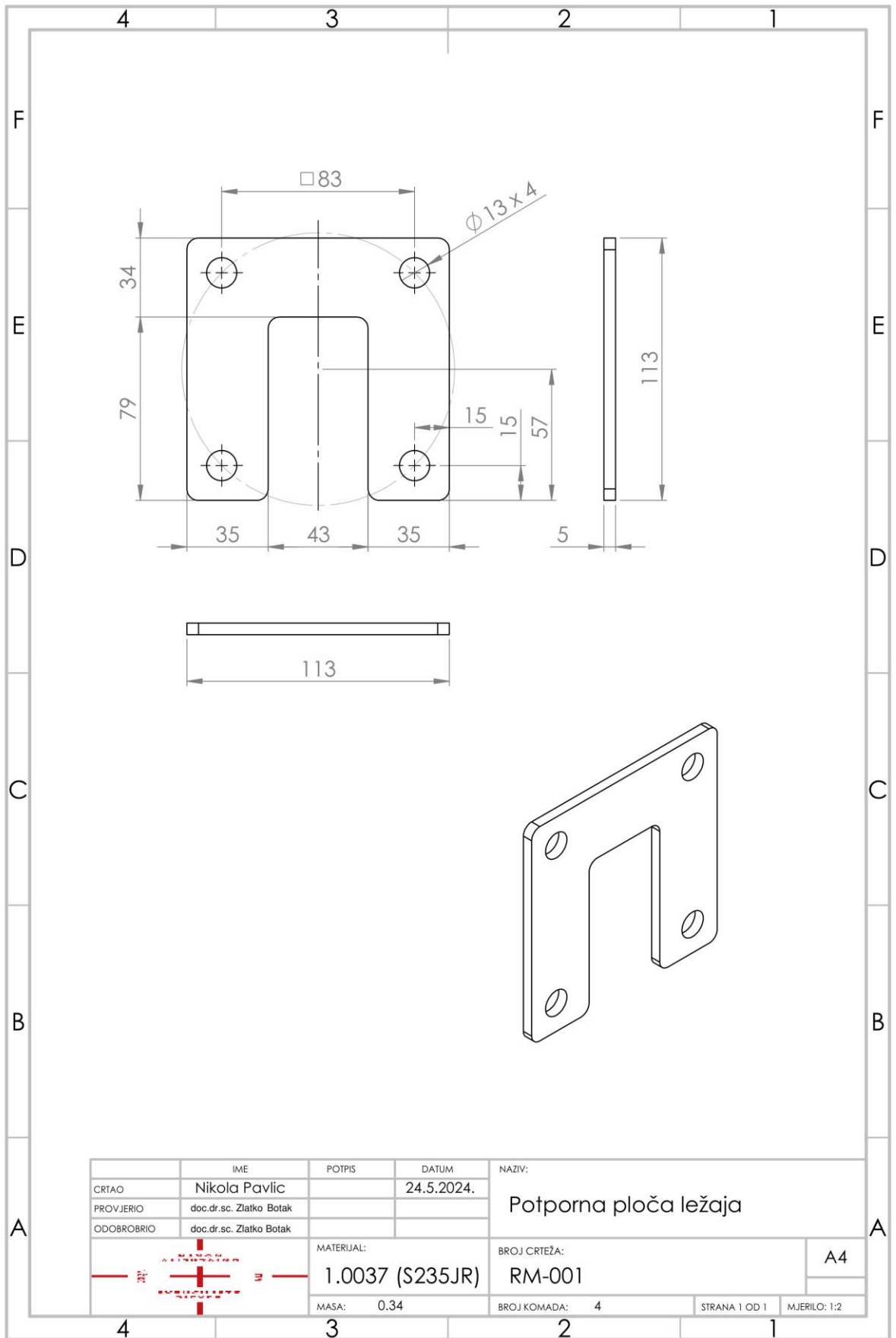
IME	ROLO MALČER
DATUM	24.5.2024.
PROJEKTOR	Nikola Pavlic
ODOBRILO	doc.ing. Zlatko Borak
MATERIJAL	doc.ing. Zlatko Borak
MAŠA	410.09
BR. KOMADA	1
BR. CRTEŽA	RM-000
STRANA I OD 3	2
MERECI: 1:5	A3



IME	POIS	DATA	NADVI:
Nikoig Povic		24.5.2024.	ROLO MALČER
PROJEKTO			
ODOBORO			
IME	MATERIJAL:	BROJ CRTEŽA:	A3
		RM-000	
	MAŠA:	BROJ KVAĐA:	2
		110.09	
			STRANA 2 OD 3
			ŠKALO: 1:50

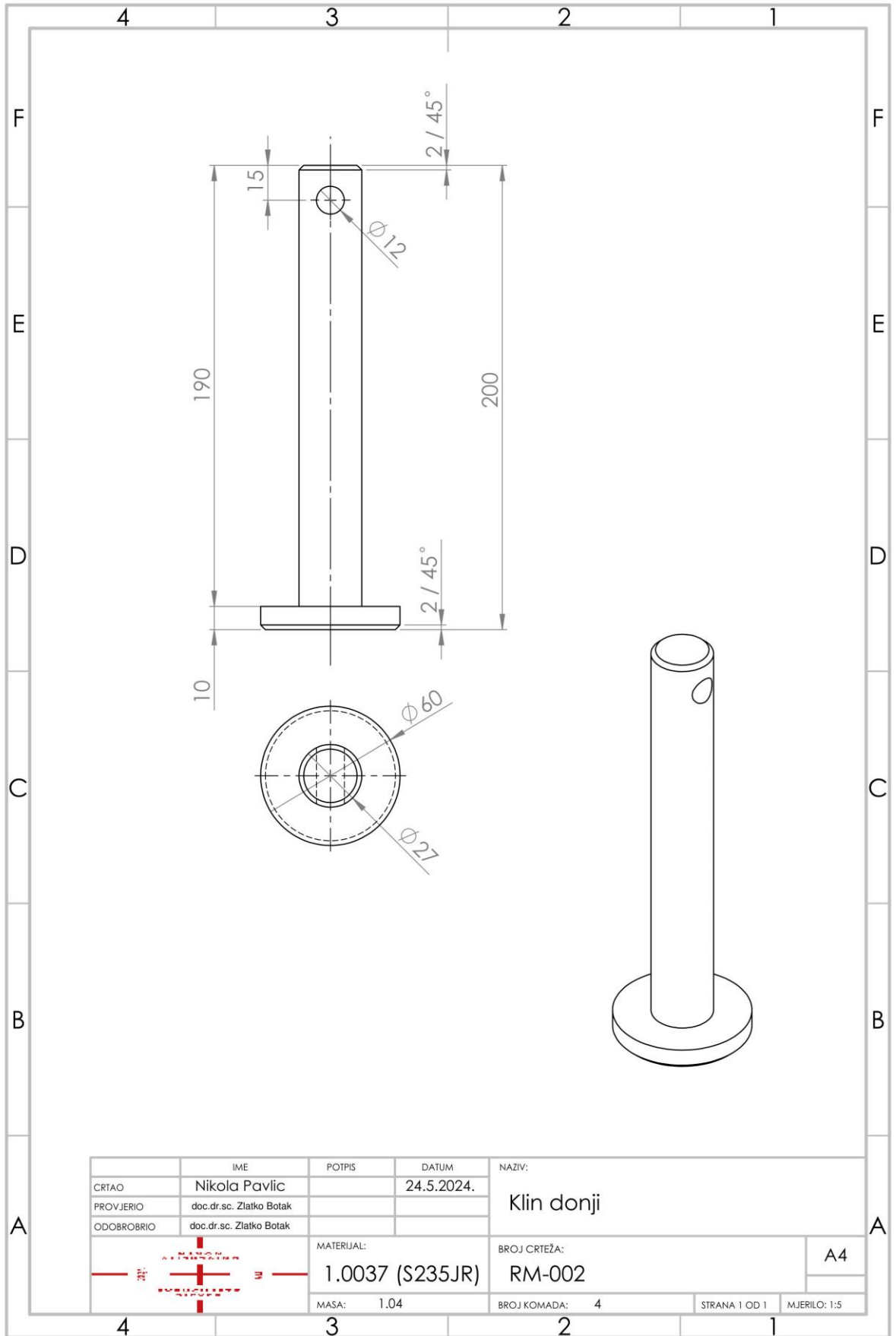


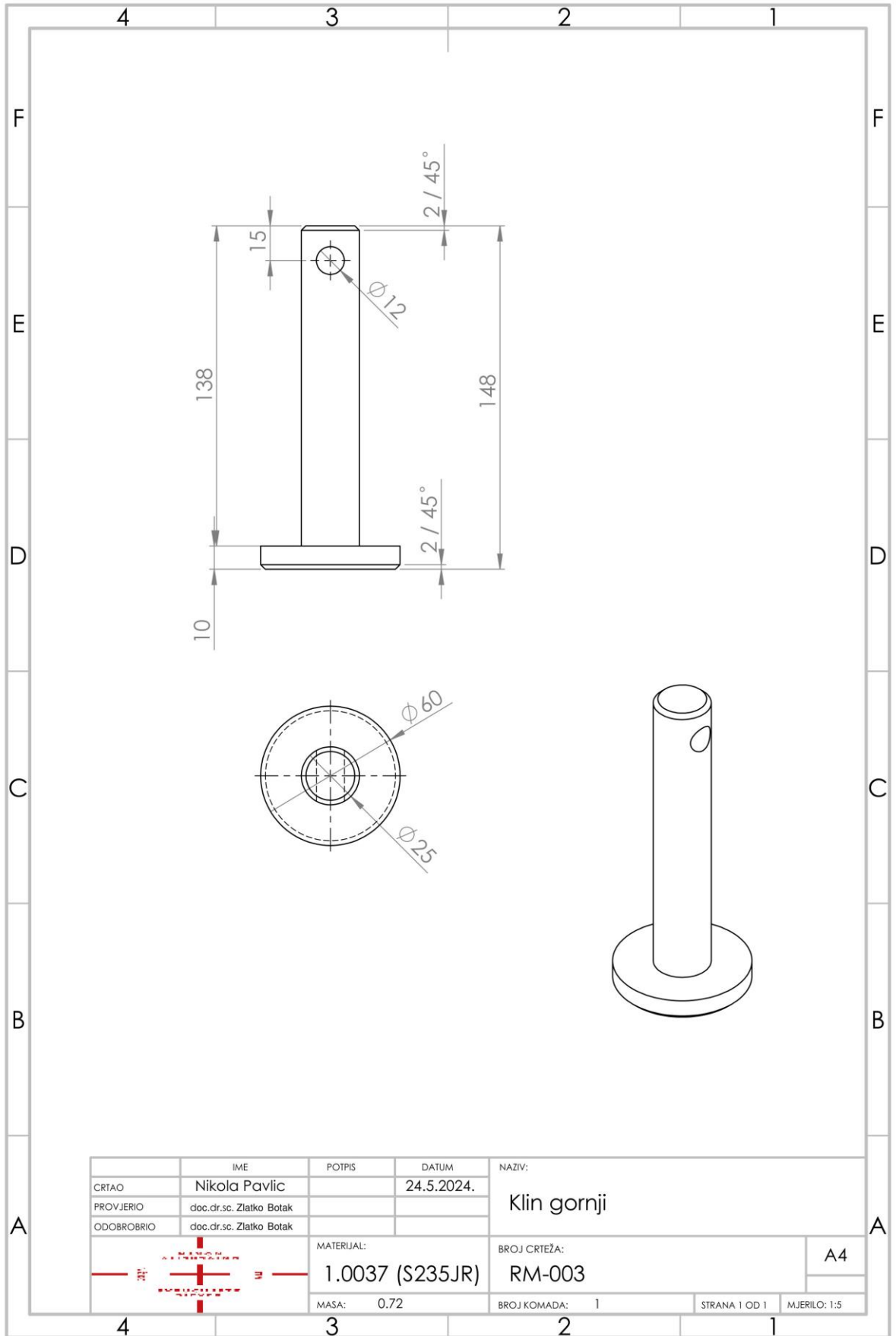
IME	POPS	DATA	NADVI:
NIKOLJ POVIĆ		24.5.2024.	ROLO MALČER
PROJEKTO			
ODOBROBU			
IME	MATERIJAL:	BROJ CRTEŽA:	A3
		RM-000	
	MAŠKA:	BROJ KADRA:	2
	410.09	STRANA 3 OD 3	ŠIFRA: 130

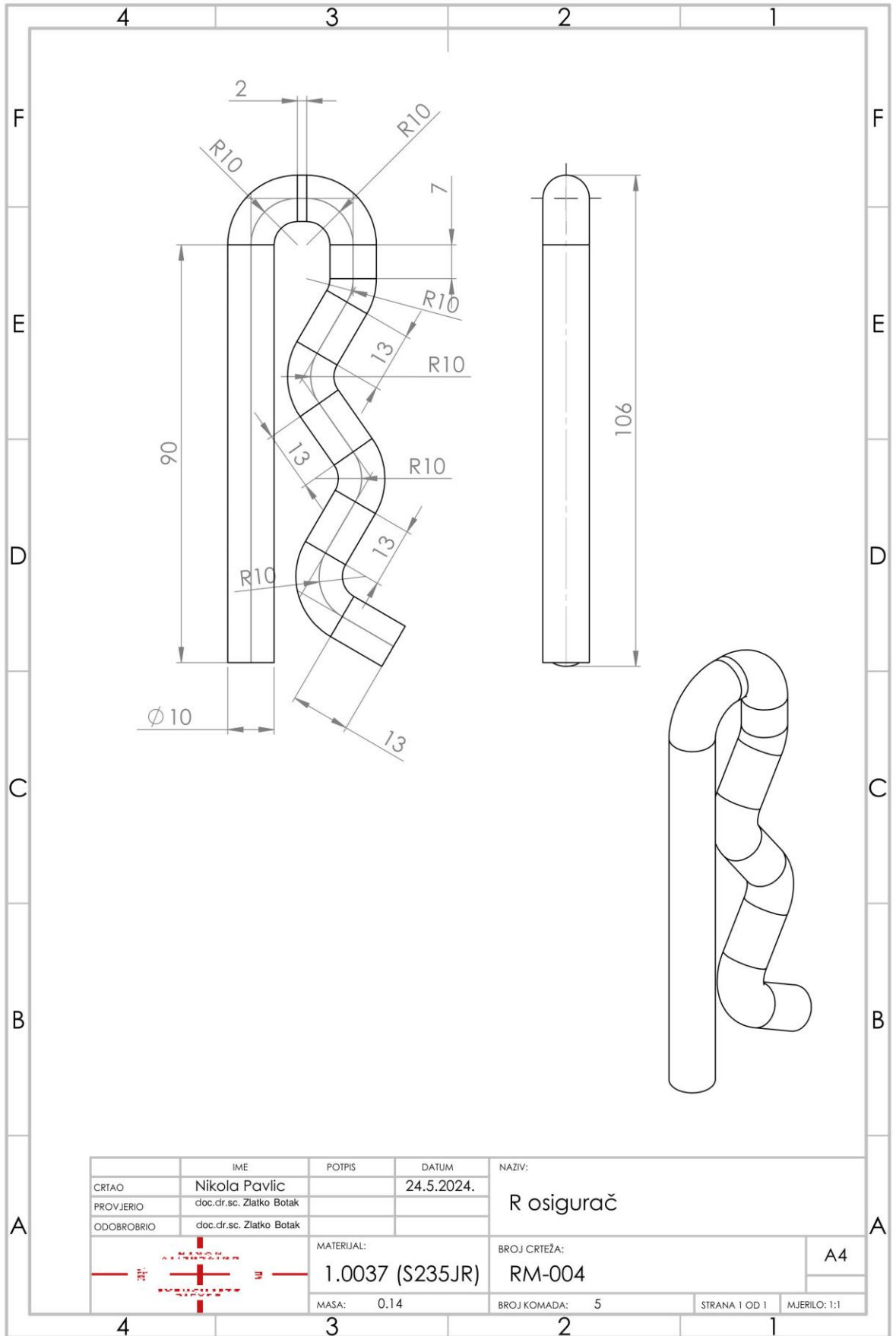


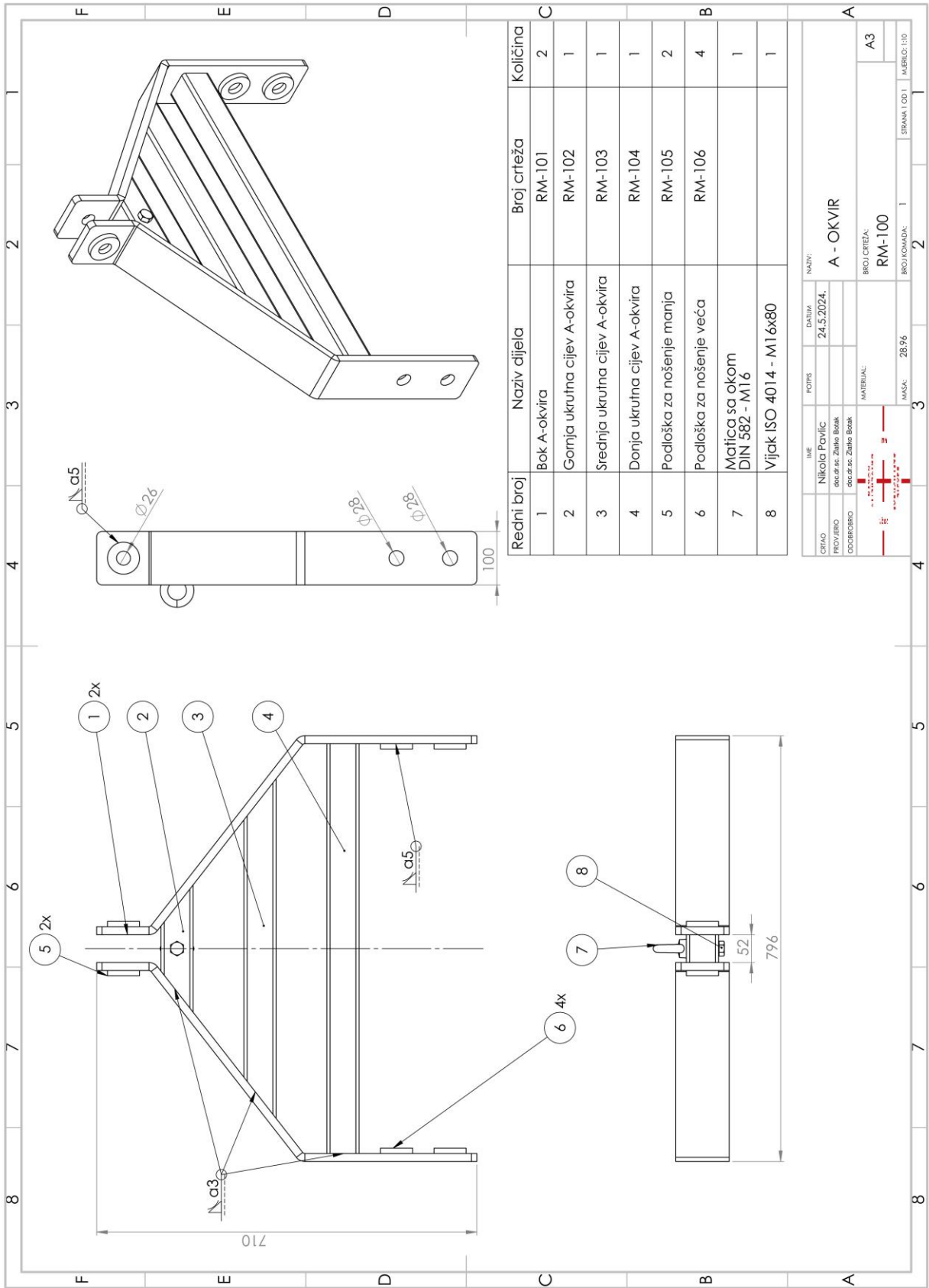
	IME	POTPIS	DATUM	NAZIV:
CRTAO	Nikola Pavlic		24.5.2024.	Potporna ploča ležaja
PROVJERIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
ODOBROBIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
		MATERIJAL:	BROJ CRTEŽA:	A4
		1.0037 (S235JR)	RM-001	
MASA: 0.34		BROJ KOMADA: 4	STRANA 1 OD 1	MJERILO: 1:2





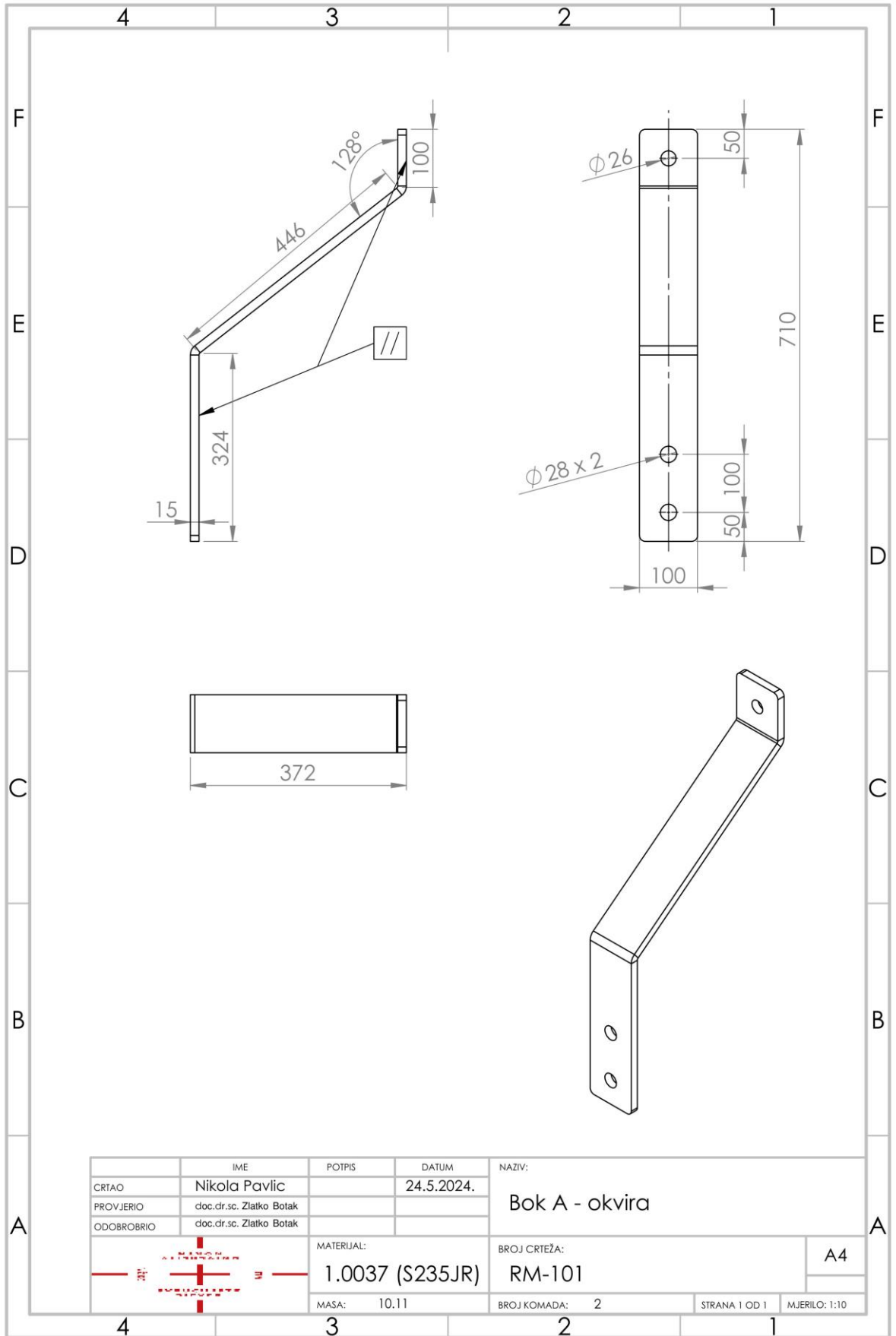


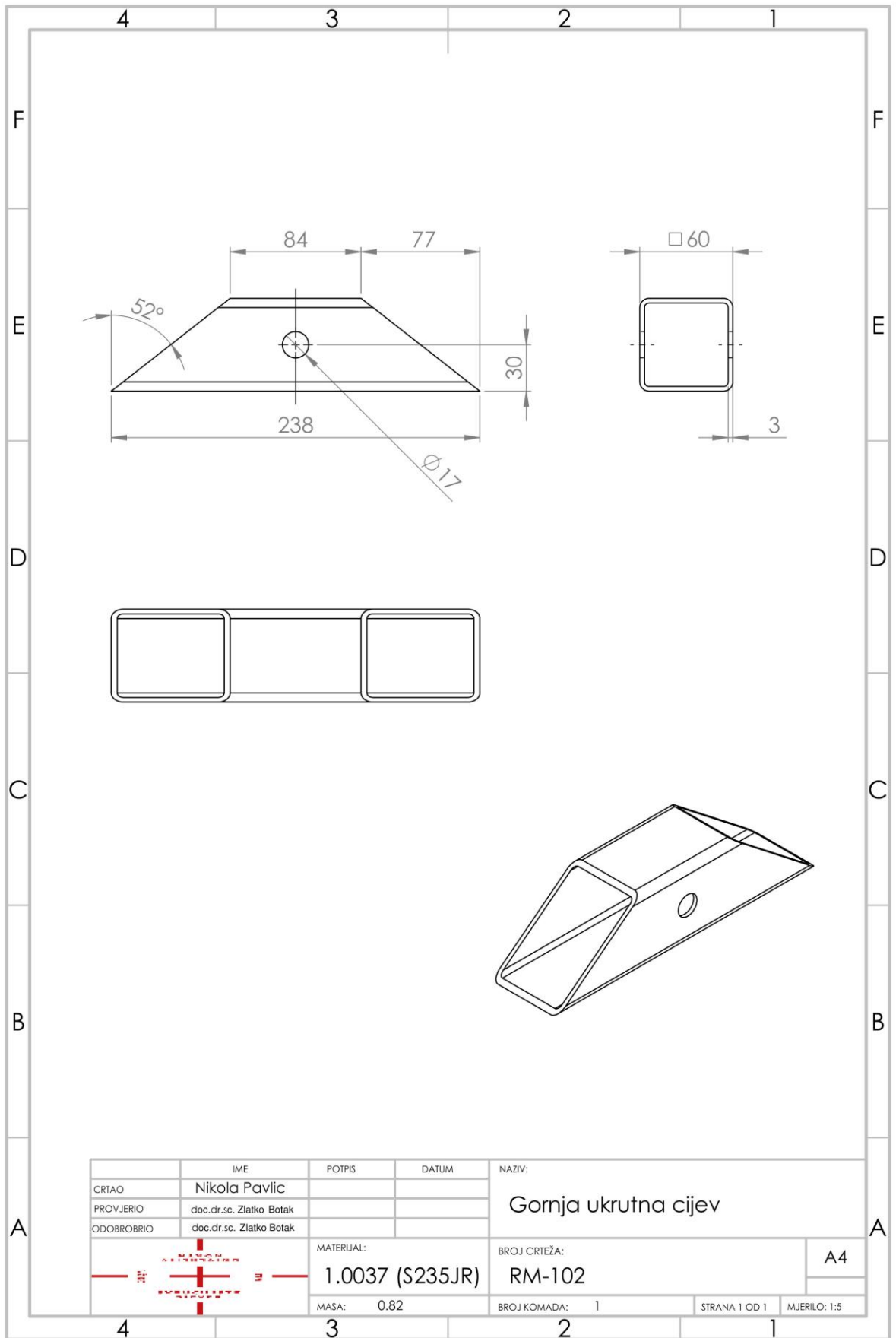




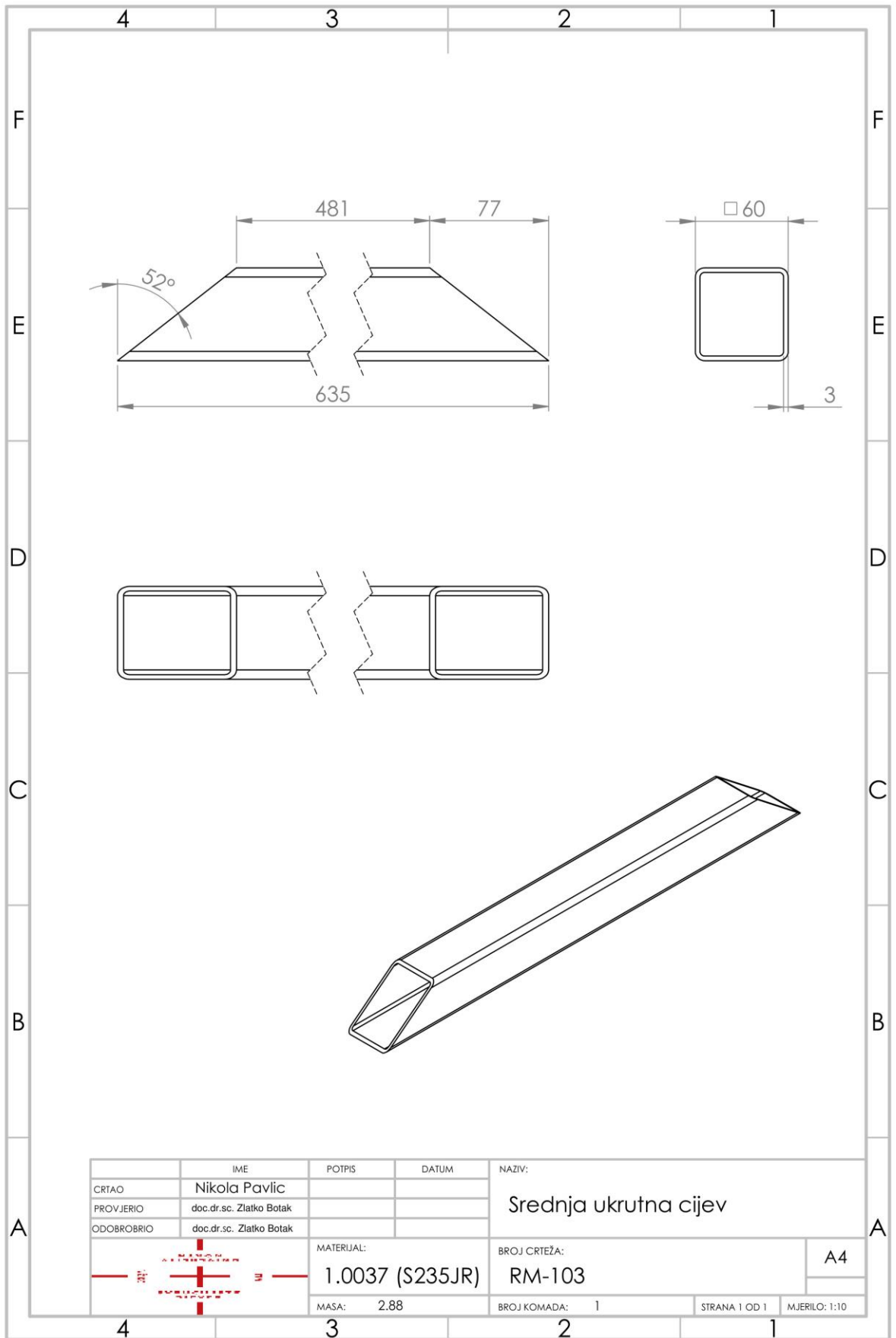
Redni broj	Naziv dijela	Broj crteža	Količina
1	Bok A-okvira	RM-101	2
2	Gornja ukrutna cijev A-okvira	RM-102	1
3	Srednja ukrutna cijev A-okvira	RM-103	1
4	Donja ukrutna cijev A-okvira	RM-104	1
5	Podloška za nošenje manja	RM-105	2
6	Podloška za nošenje veća	RM-106	4
7	Matica sa okom DIN 582 - M16		1
8	Vijak ISO 4014 - M16x80		1

IME	POPS	DATUM	NADIM
Nikola Pavlic		24.5.2024.	A - OKVIR
PROJEKTO			
ODOBRILO			
MATERIJAL:			
RM-100			
MASA: 28,96			BROJ CRTEŽA: 2
STRANA I OD I			UVEĆANJE: 1:10

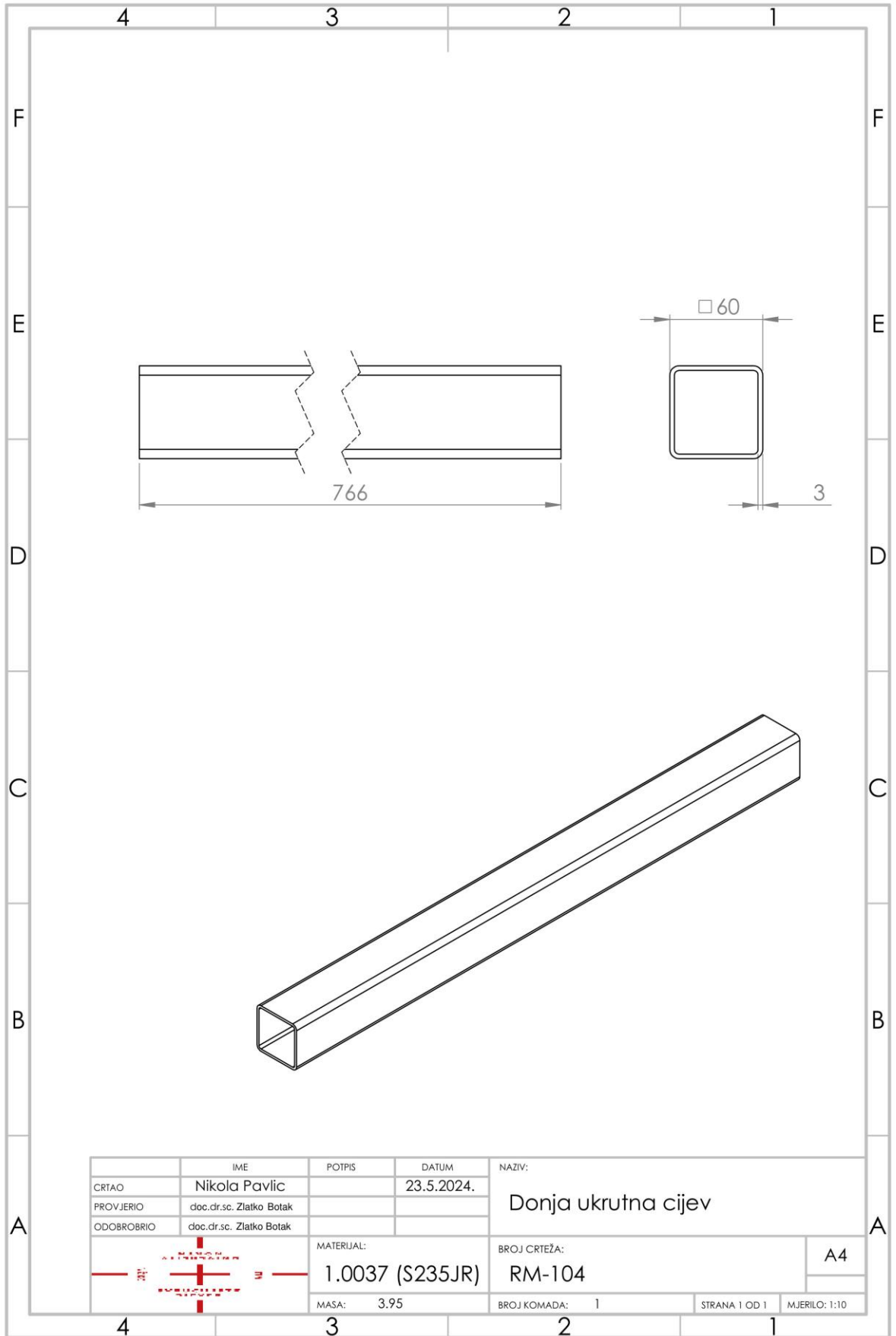




	IME	POTPIS	DATUM	NAZIV:
CRTAO	Nikola Pavlic			Gornja ukrutna cijev
PROVJERIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
ODOBROBIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
		MATERIJAL:	BROJ CRTEŽA:	A4
		1.0037 (S235JR)	RM-102	
		MASA: 0.82	BROJ KOMADA: 1	STRANA 1 OD 1

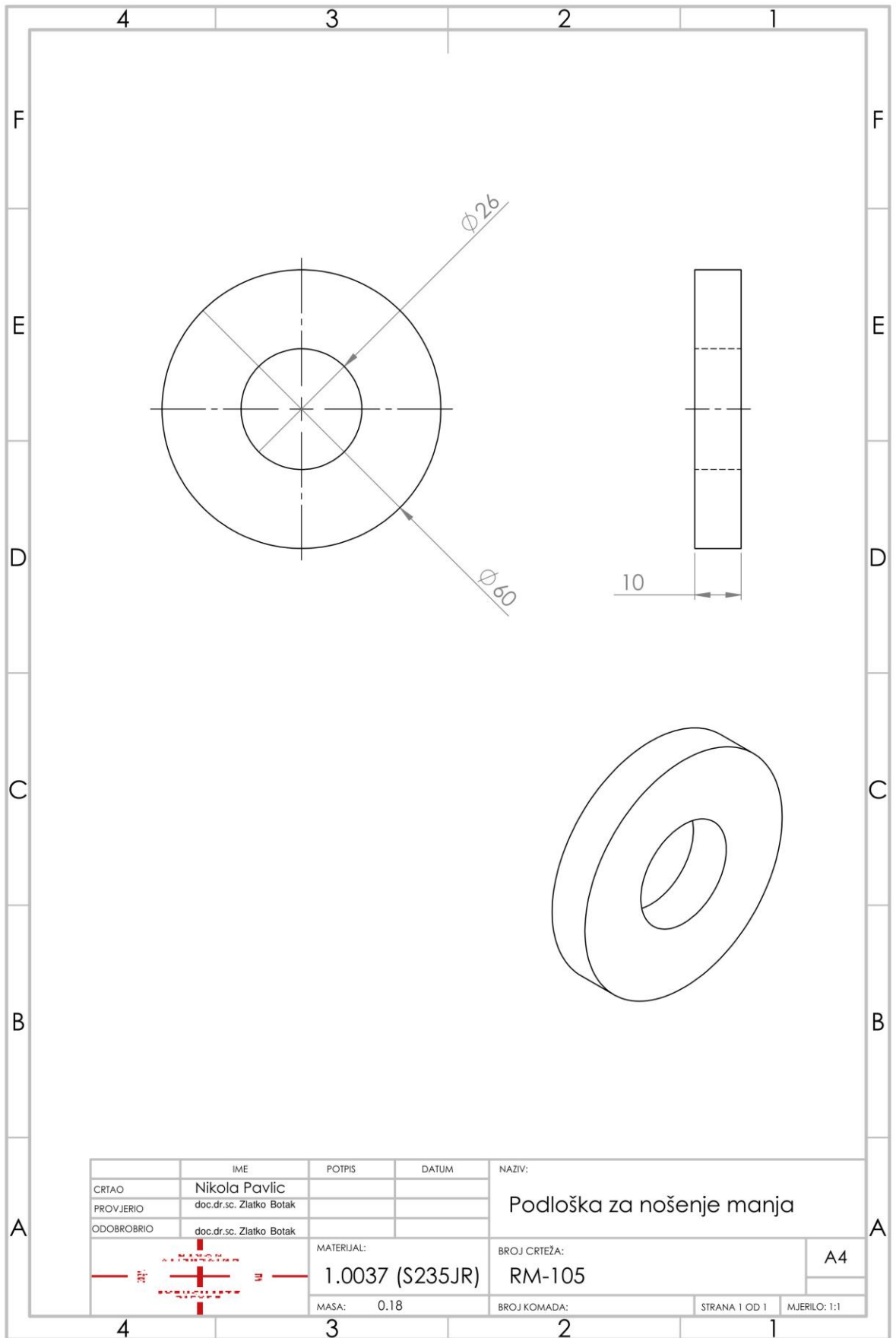


	IME	POTPIS	DATUM	NAZIV:
CRTAO	Nikola Pavlic			Srednja ukrutna cijev
PROVJERIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
ODOBROBIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
		MATERIJAL:	BROJ CRTEŽA:	A4
		1.0037 (S235JR)	RM-103	
		MASA: 2.88	BROJ KOMADA: 1	STRANA 1 OD 1
				MJERILO: 1:10

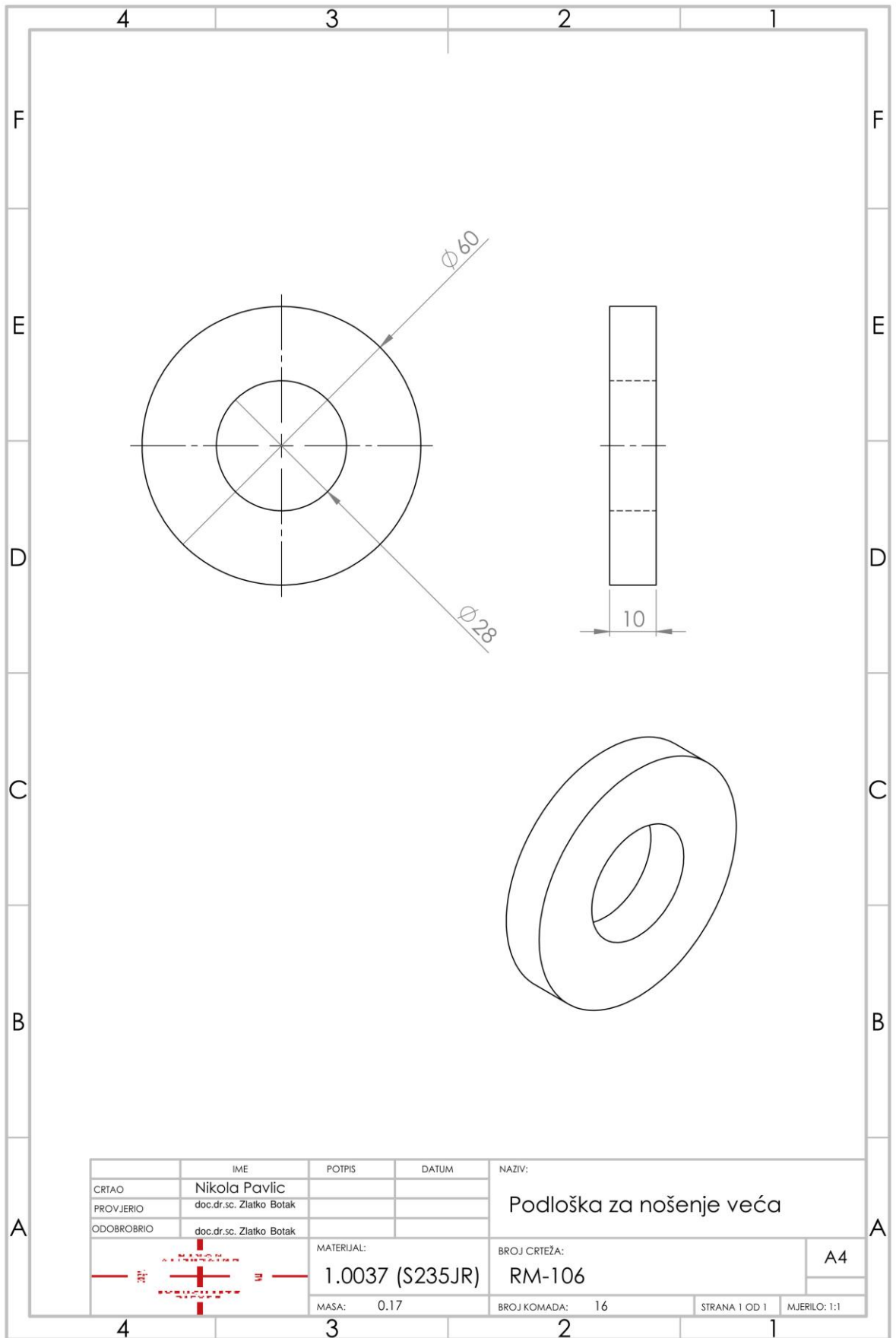


	IME	POTPIS	DATUM	NAZIV:
CRTAO	Nikola Pavlic		23.5.2024.	Donja ukrutna cijev
PROVJERIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
ODOBROBIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
		MATERIJAL:		BROJ CRTEŽA:
		1.0037 (S235JR)		RM-104
MASA: 3.95		BROJ KOMADA: 1		STRANA 1 OD 1
				MJERILO: 1:10



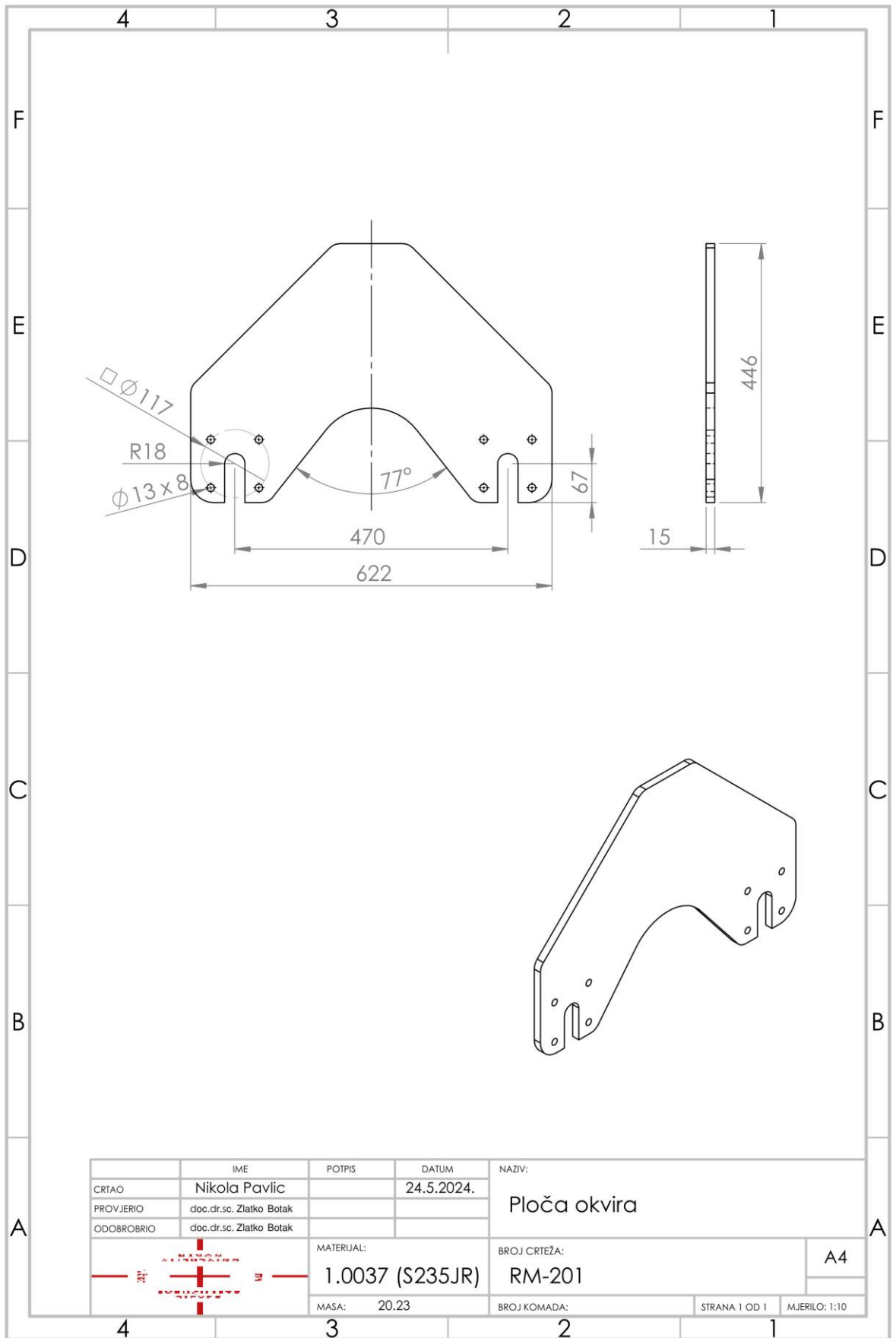


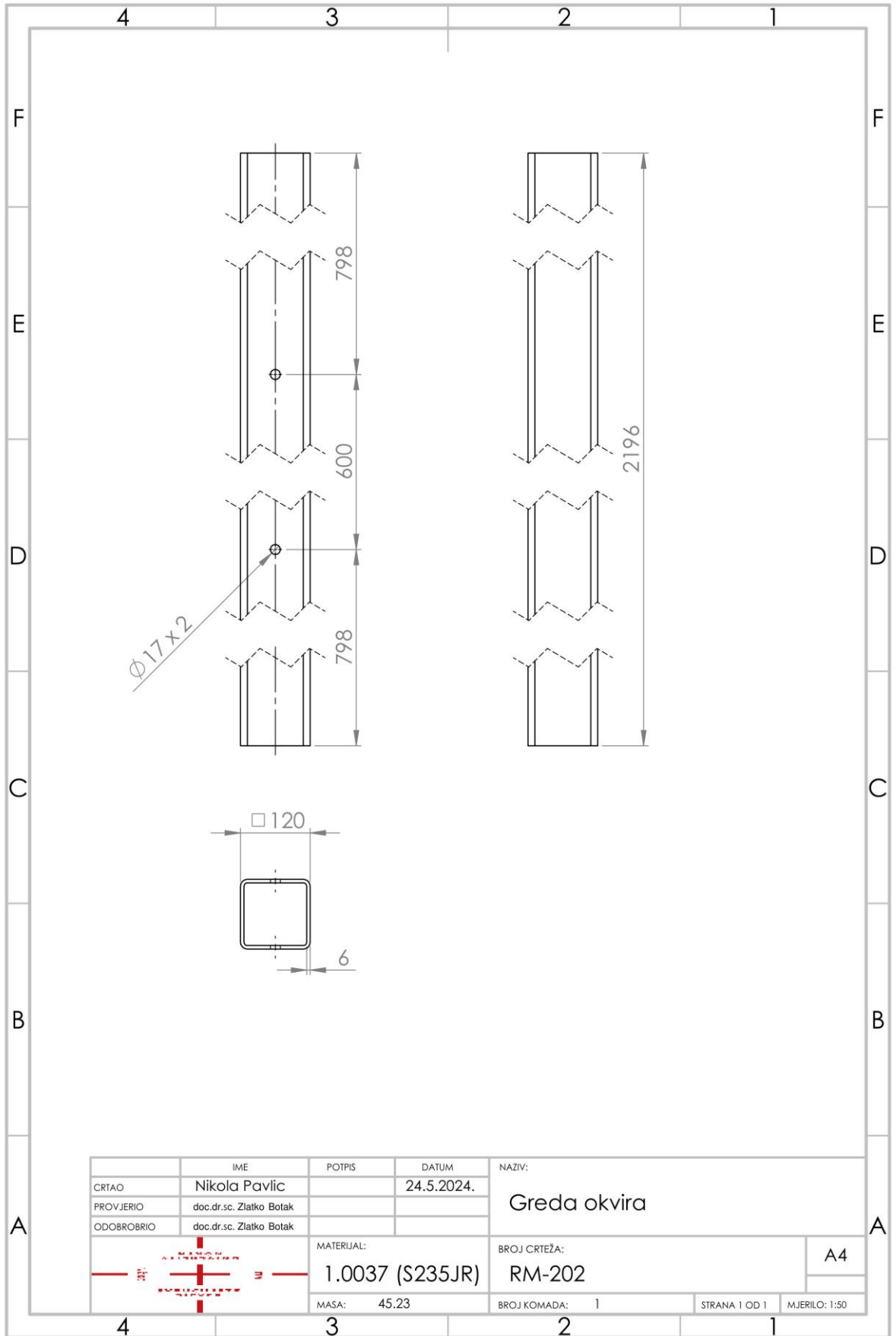
	IME	POTPIS	DATUM	NAZIV:
CRTAO	Nikola Pavlic			Podložka za nošenje manja
PROVJERIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
ODOBROBIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
		MATERIJAL:	BROJ CRTEŽA:	A4
		1.0037 (S235JR)	RM-105	
		MASA: 0.18	BROJ KOMADA:	STRANA 1 OD 1
				MJERILO: 1:1



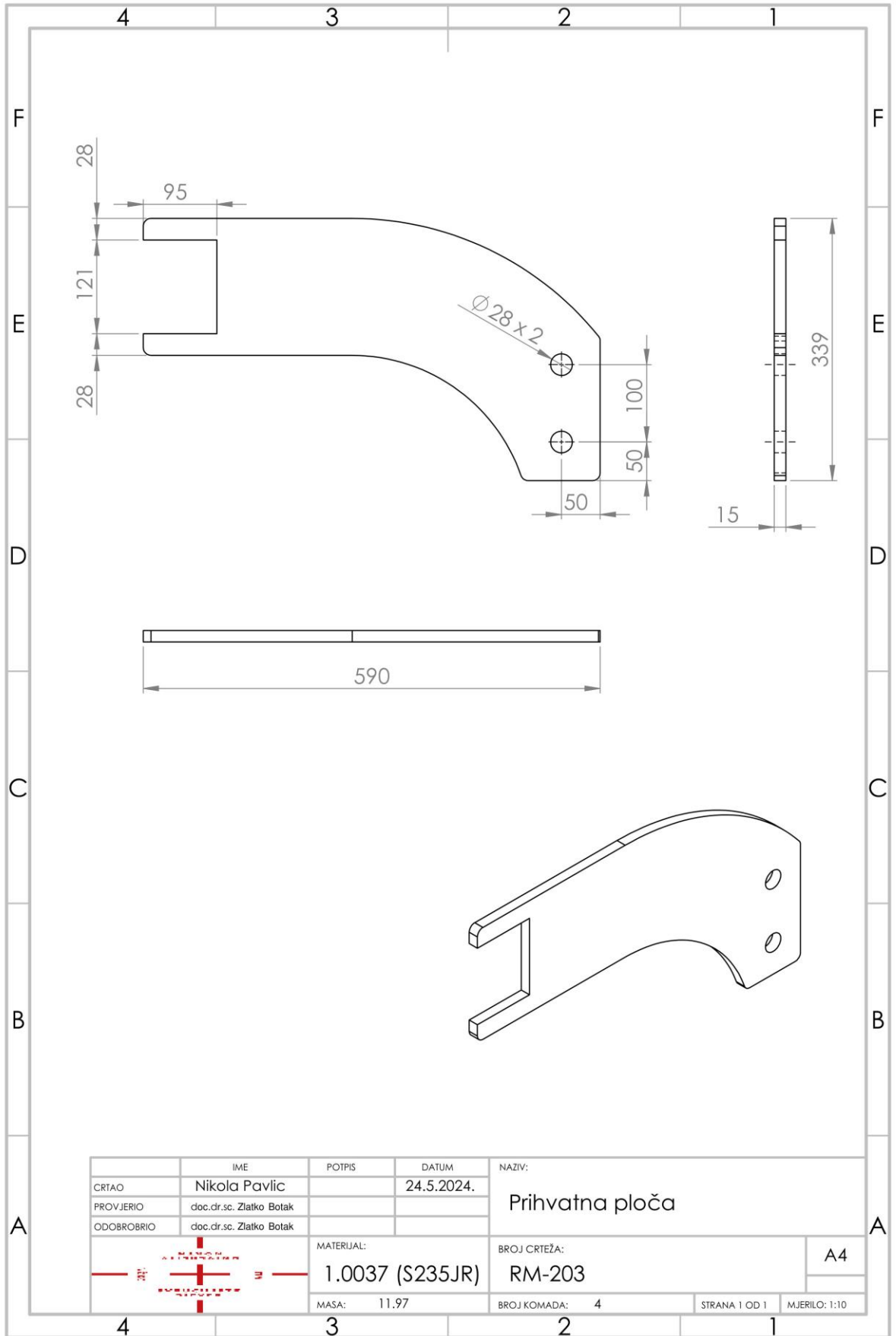
	IME	POTPIS	DATUM	NAZIV:
CRTAO	Nikola Pavlic			Podloška za nošenje veća
PROVJERIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
ODOBROBIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
		MATERIJAL:	BROJ CRTEŽA:	A4
		1.0037 (S235JR)	RM-106	
MASA: 0.17		BROJ KOMADA: 16	STRANA 1 OD 1	MJERILO: 1:1

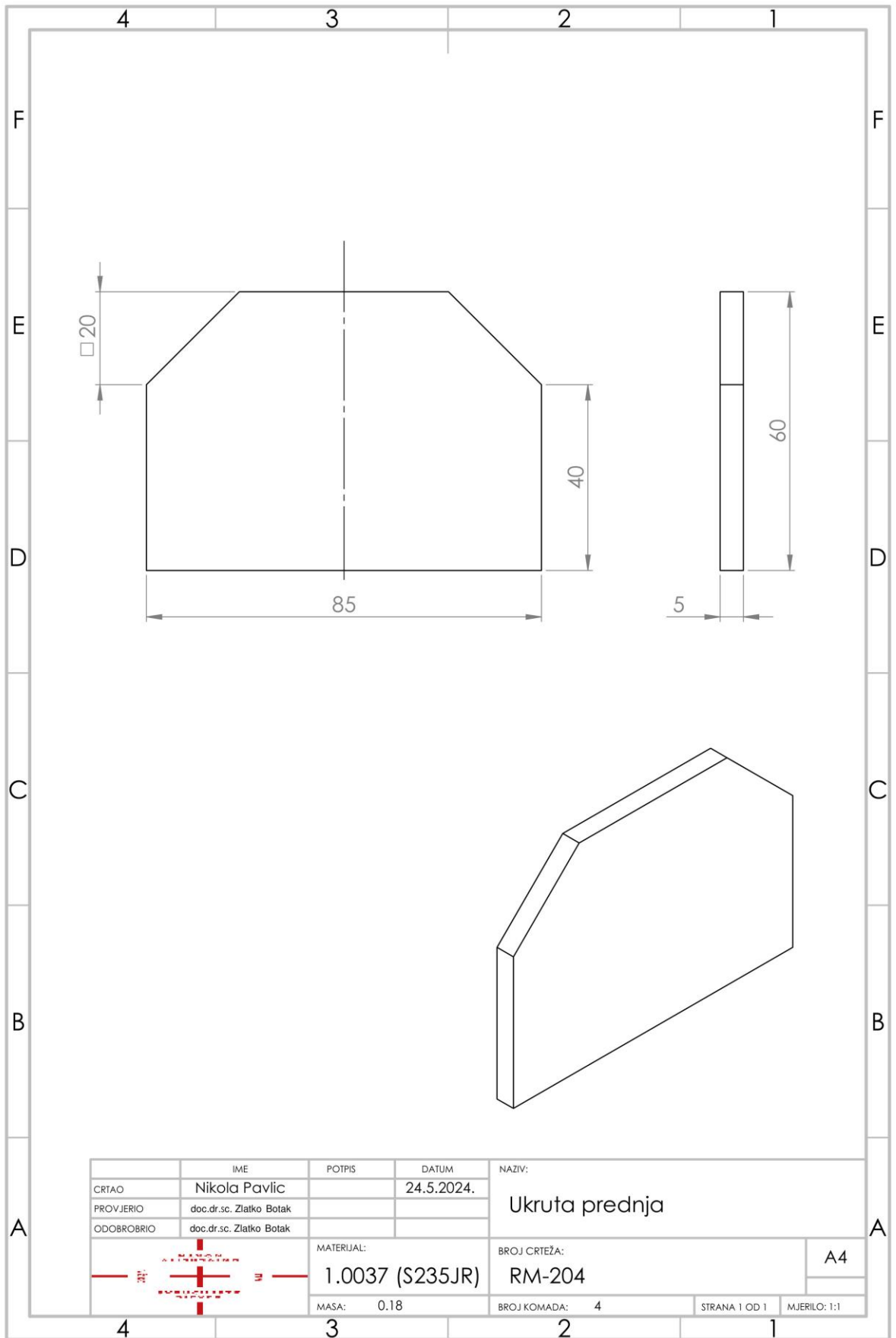




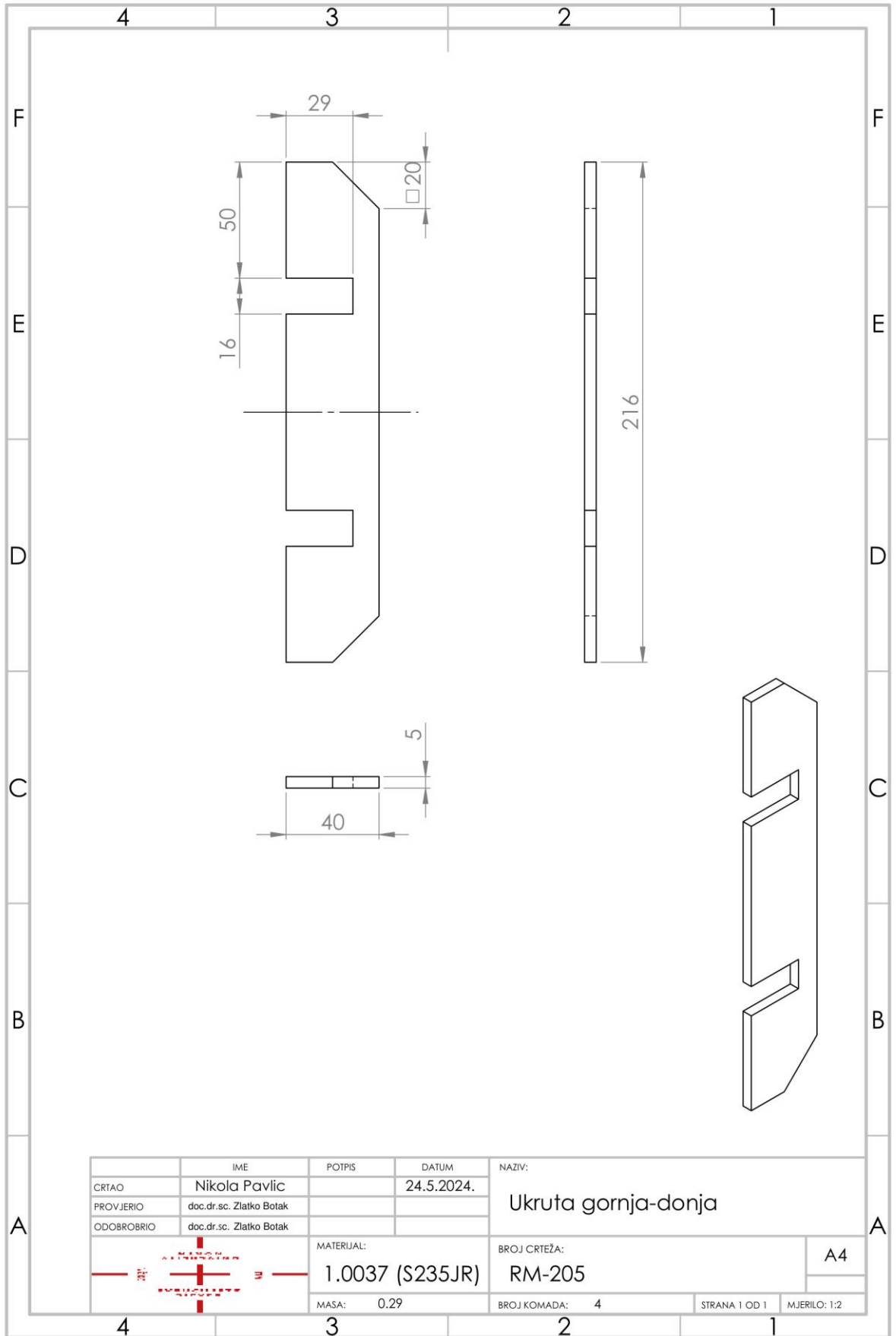


	IME	POTPIS	DATUM	NAZIV:
CRTAO	Nikola Pavlic		24.5.2024.	Greda okvira
PROVJERIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
ODOBROBIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
		MATERIJAL:		BROJ CRTEŽA:
		1.0037 (S235JR)		RM-202
MASA: 45.23		BROJ KOMADA: 1		STRANA 1 OD 1
				MJERILO: 1:50

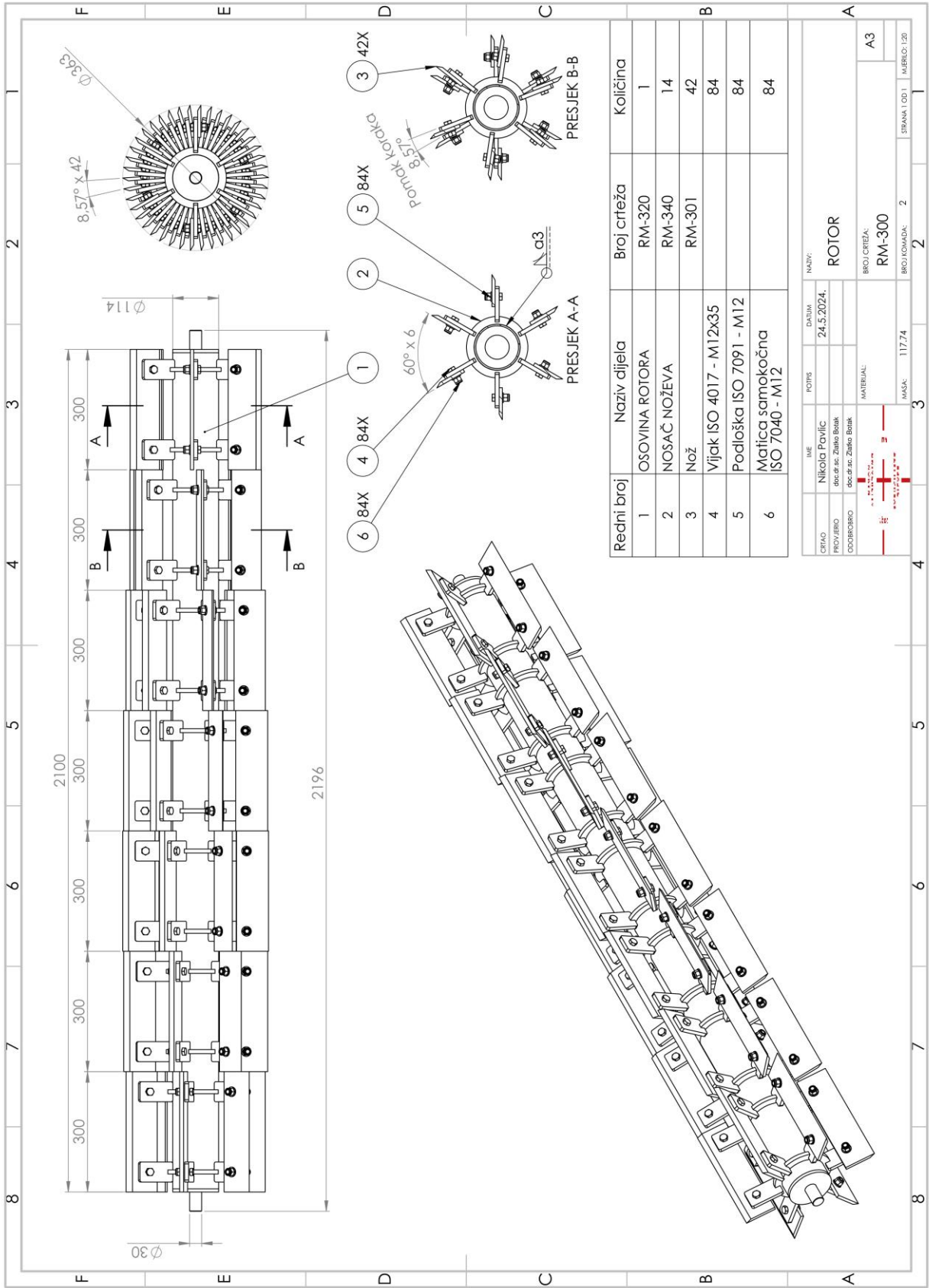




	IME	POTPIS	DATUM	NAZIV:
CRTAO	Nikola Pavlic		24.5.2024.	Ukruta prednja
PROVJERIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
ODOBROBIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
		MATERIJAL:	BROJ CRTEŽA:	A4
		1.0037 (S235JR)	RM-204	
MASA: 0.18		BROJ KOMADA: 4	STRANA 1 OD 1	MJERILO: 1:1

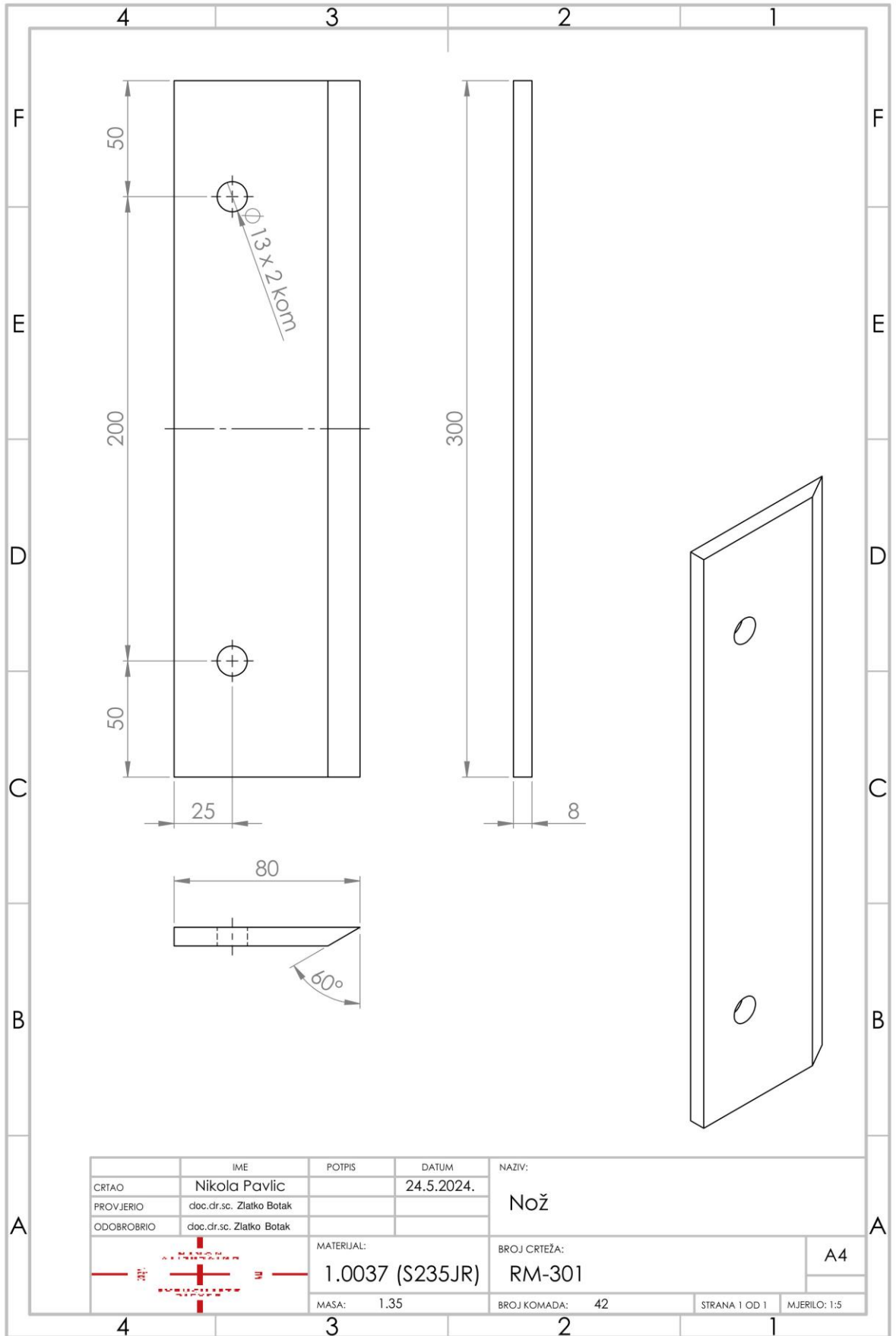


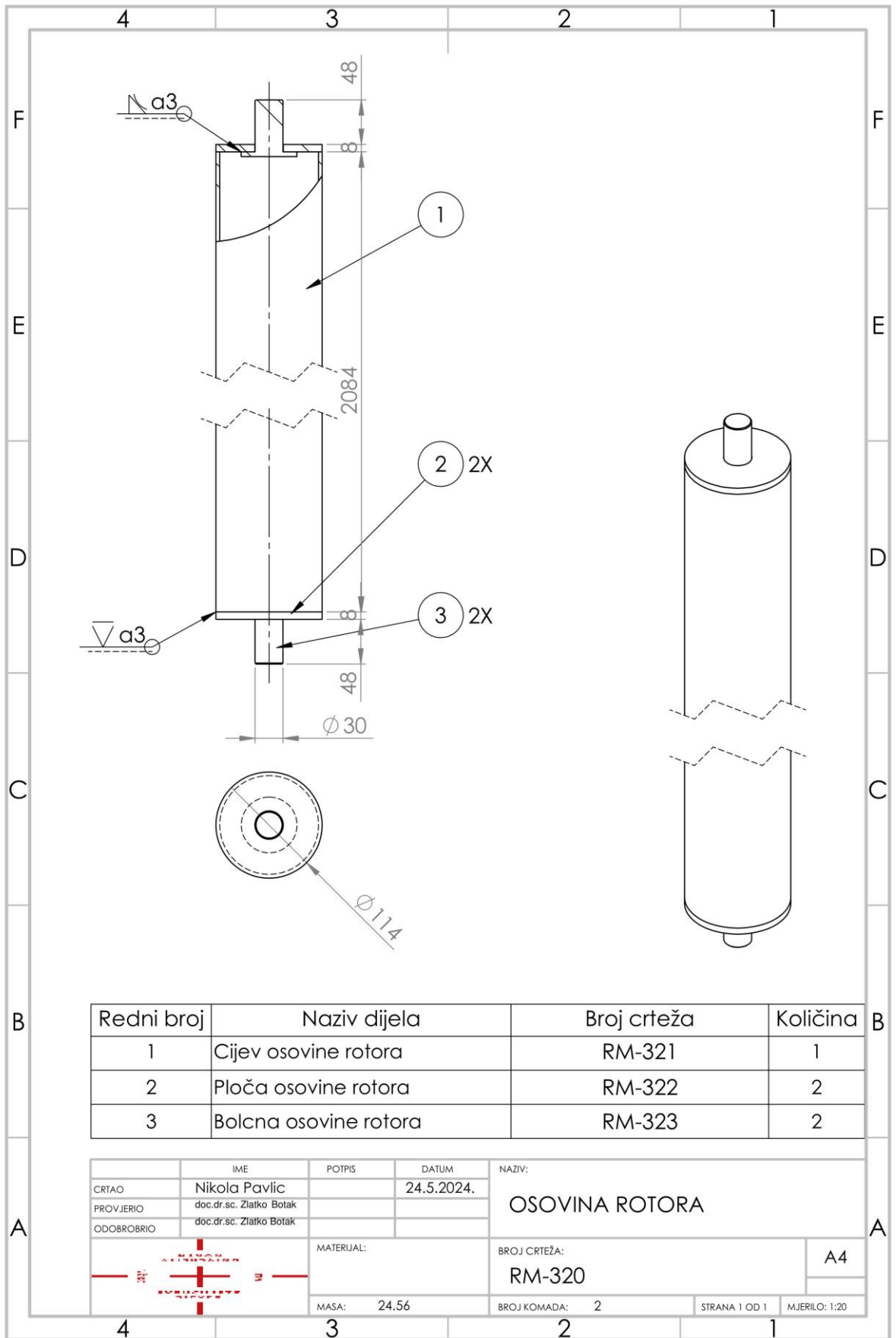




Redni broj	Naziv dijela	Broj crteža	Količina
1	OSOVIINA ROTORA	RM-320	1
2	NOŠAČ NOŽEVA	RM-340	14
3	Nož	RM-301	42
4	Vijak ISO 4017 - M12x35		84
5	Podloška ISO 7091 - M12		84
6	Matica samokočna ISO 7040 - M12		84

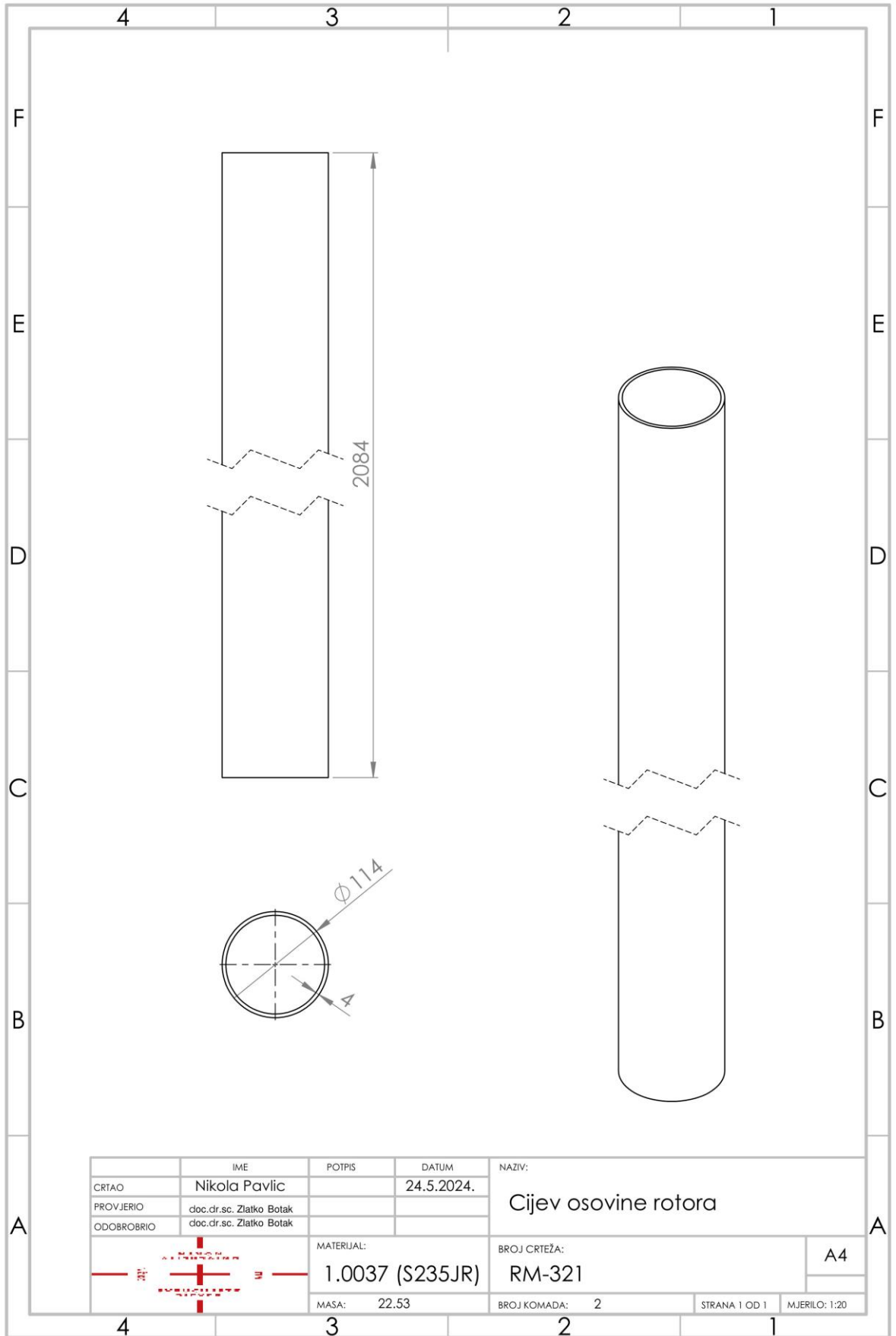
IME	POIS	DATUM	NADZ:
NIKOLA PAVIĆ		24.5.2024.	ROTOR
PROJEKTOR			
ODOBRILO			
MATERIJAL:			
BRD CRTEŽA:			
RM-300			A3
BRD KOMADA:			
2			
MAŠKA:	117.74		
STRANA I OD 1			
2			
BRD IZ OBLASTI:			



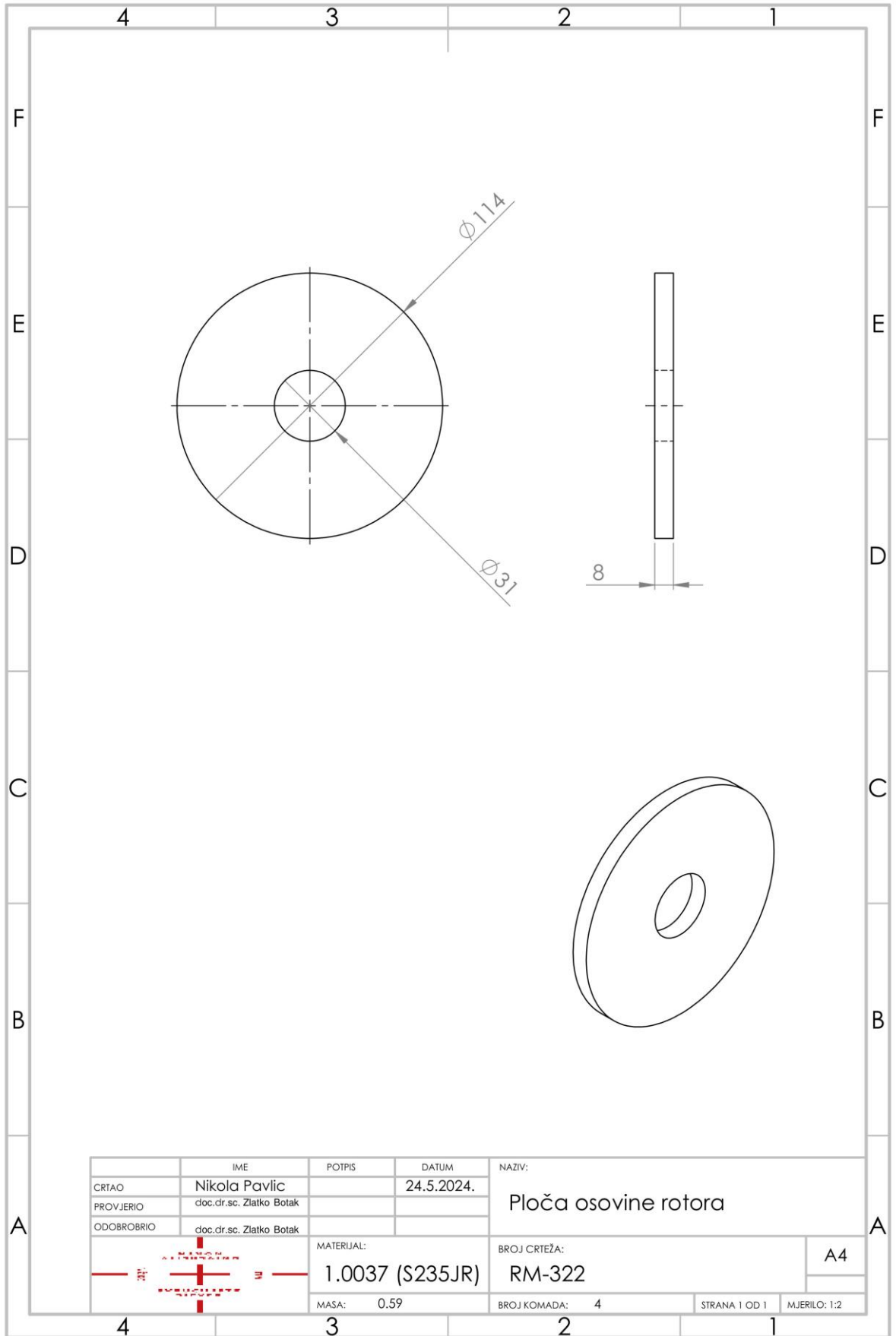


Redni broj	Naziv dijela	Broj crteža	Količina
1	Cijev osovine rotora	RM-321	1
2	Ploča osovine rotora	RM-322	2
3	Bolcna osovine rotora	RM-323	2

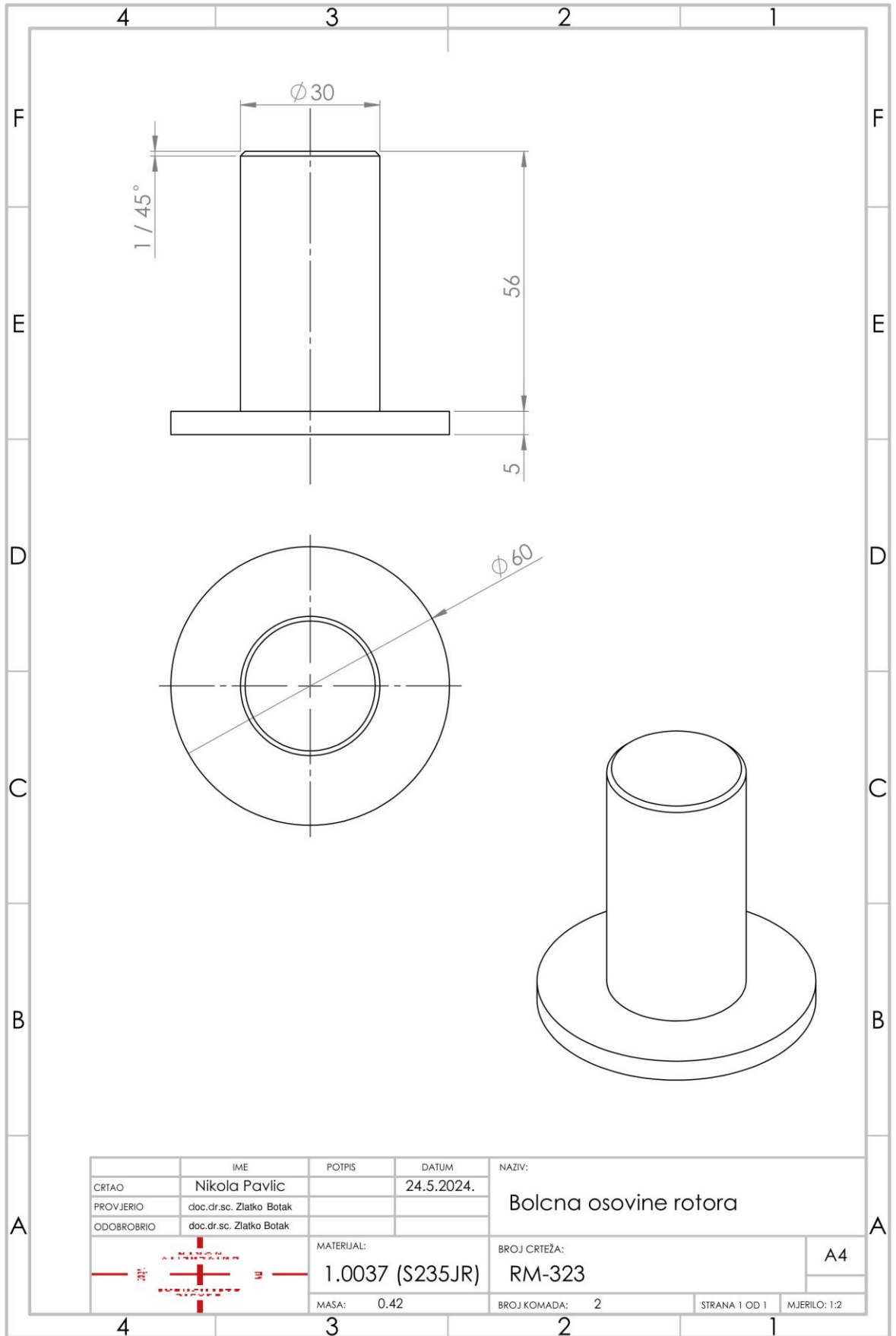
	IME	POTPIS	DATUM	NAZIV:
CRTAO	Nikola Pavlic		24.5.2024.	OSOVINA ROTORA
PROVJERIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
ODOBROBIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
MATERIJAL:				BROJ CRTEŽA:
MASA: 24,56				RM-320
				BROJ KOMADA: 2
				STRANA 1 OD 1
				MJERILO: 1:20

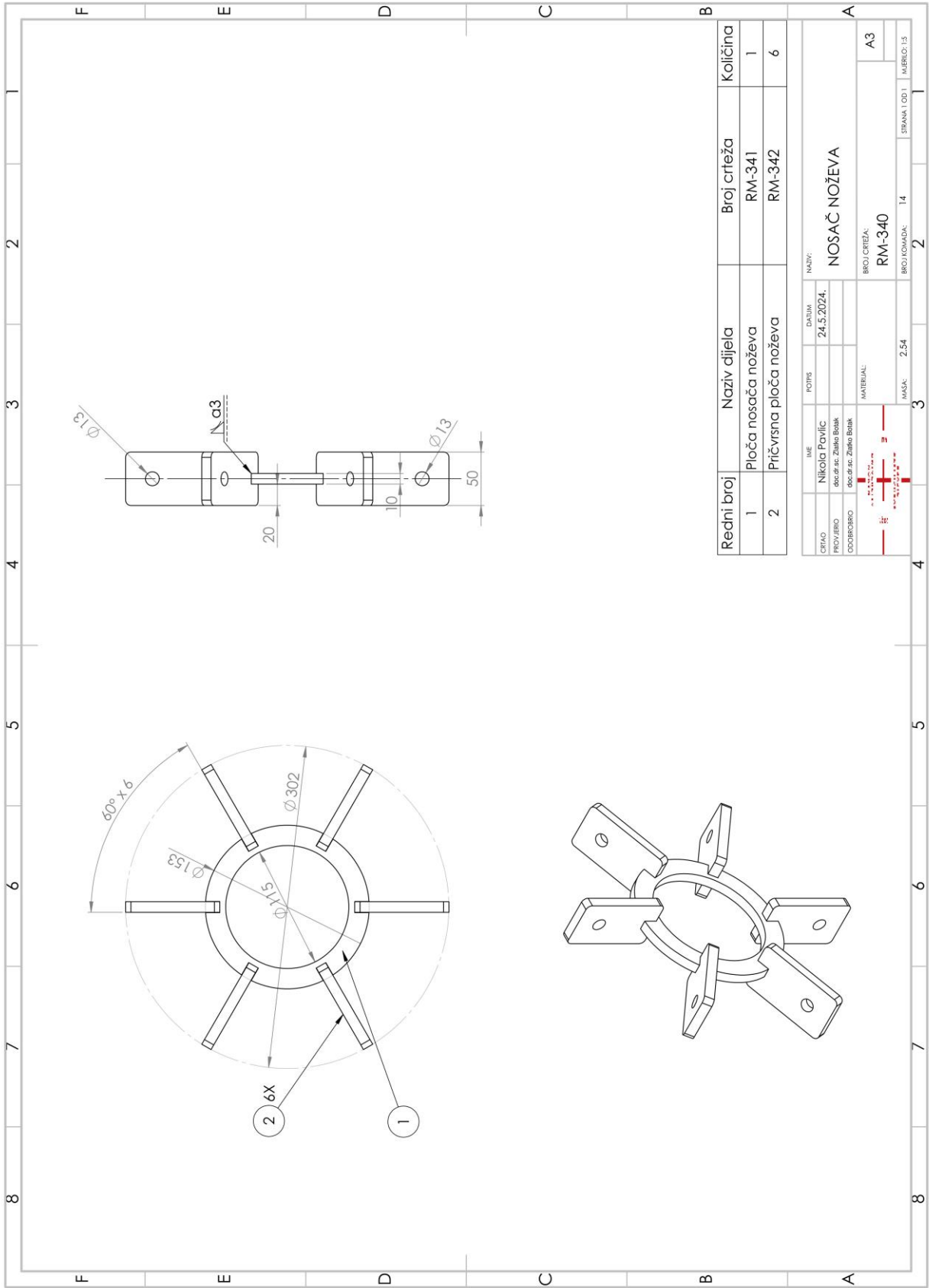


	IME	POTPIS	DATUM	NAZIV:
CRTAO	Nikola Pavlic		24.5.2024.	Cijev osovine rotora
PROVJERIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
ODOBROBIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
		MATERIJAL:	BROJ CRTEŽA:	A4
		1.0037 (S235JR)	RM-321	
MASA: 22,53		BROJ KOMADA: 2	STRANA 1 OD 1	MJERILO: 1:20



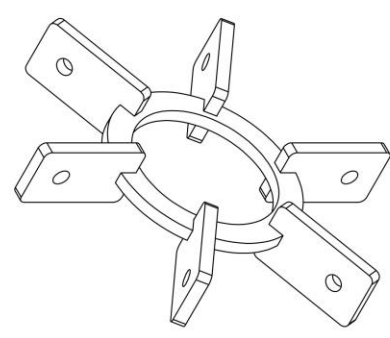
	IME	POTPIS	DATUM	NAZIV:
CRTAO	Nikola Pavlic		24.5.2024.	Ploča osovine rotora
PROVJERIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
ODOBROBIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
		MATERIJAL:	BROJ CRTEŽA:	A4
		1.0037 (S235JR)	RM-322	
		MASA: 0.59	BROJ KOMADA: 4	STRANA 1 OD 1

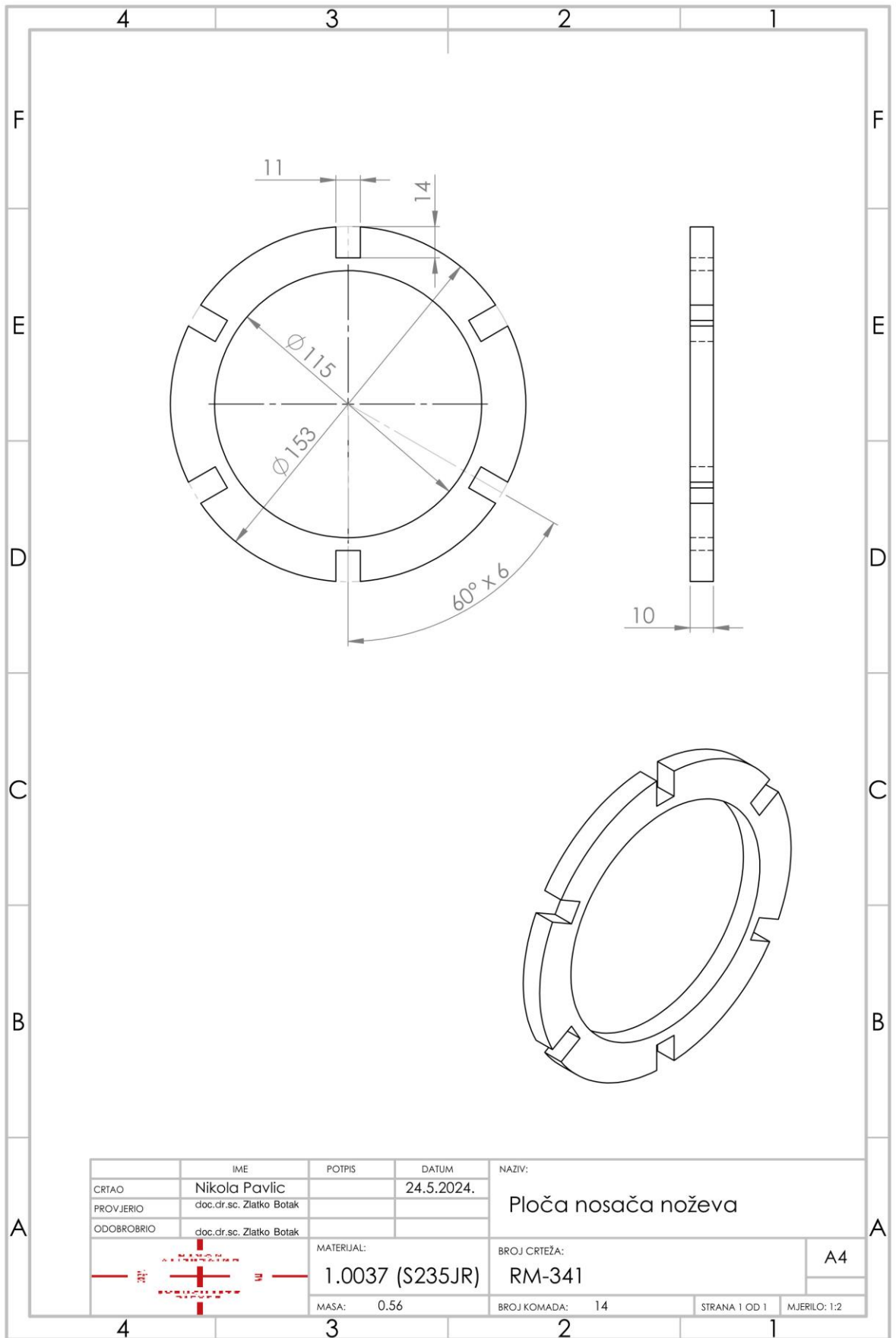




Redni broj	Naziv dijela	Broj crteža	Količina
1	Ploča nosača noževa	RM-341	1
2	Pričvrstna ploča noževa	RM-342	6

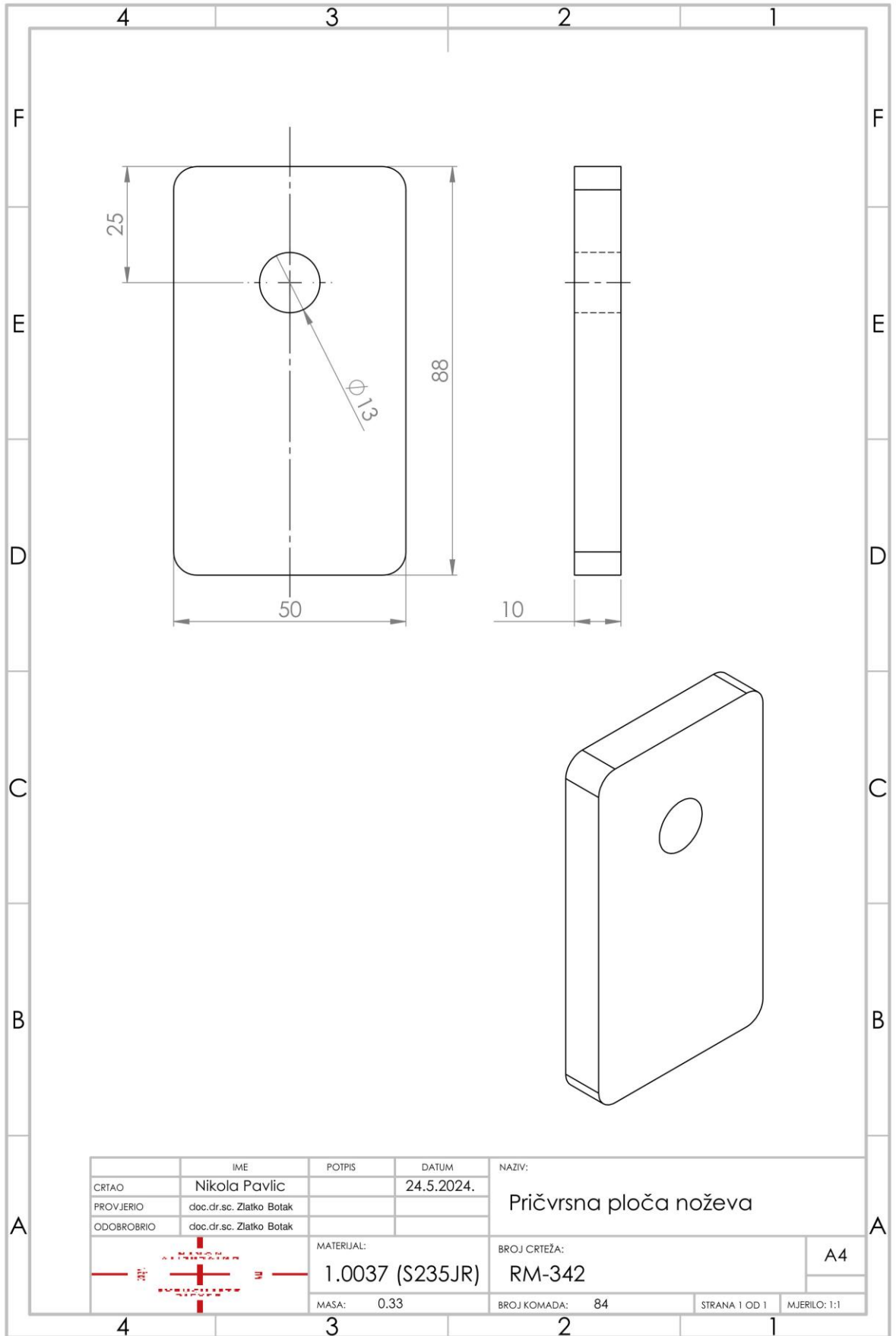
IME	POJIS	DATUM	NAMEN
NIKOLA PAVIĆ		24.5.2024.	NOSAČ NOŽEVA
PROJEKTOR			
ODOBRILO			
MATERIJAL:			
BROJ CRTEŽA: RM-340			
MASA: 2,54			
BROJ KOMADA: 14			STRANA I OD 1
			MBROJ: 15





	IME	POTPIS	DATUM	NAZIV:
CRTAO	Nikola Pavlic		24.5.2024.	Ploča nosača noževa
PROVJERIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
ODOBROBIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
		MATERIJAL:	BROJ CRTEŽA:	A4
		1.0037 (S235JR)	RM-341	
		MASA: 0.56	BROJ KOMADA: 14	STRANA 1 OD 1
				MJERILO: 1:2





	IME	POTPIS	DATUM	NAZIV:
CRTAO	Nikola Pavlic		24.5.2024.	Pričvrtna ploča noževa
PROVJERIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
ODOBROBIO	doc.dr.sc. Zlatko Botak			
		MATERIJAL:	BROJ CRTEŽA:	A4
		1.0037 (S235JR)	RM-342	
MASA: 0.33		BROJ KOMADA: 84	STRANA 1 OD 1	MJERILO: 1:1