

Konstrukcija i izrada naprave za uvijanje

Premuš, Daren

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:130532>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-31**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





Sveučilište Sjever

Završni rad br. 329/PS/2020

Konstrukcija i izrada naprave za uvijanje

Daren Premuš, 1524/336

Varaždin, rujan 2020. godine



**Sveučilište
Sjever**

Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 329/PS/2020

Konstrukcija i izrada naprave za uvijanje

Student

Daren Premuš, 1524/336

Mentor

Katarina Pisačić, dipl. ing.

Varaždin, rujan 2020. godine

Sažetak

Praktična nastava na Sveučilištu često zahtijeva opremu koja je skupa te ne bi opravdala visoku cijenu, stoga je zadatak ovog rada izrada naprave za testiranje uvijanja okruglih punih i šupljih profila. Opisan je način proizvodnje ekstrudiranih aluminijskih profila kao i najvažnija svojstva aluminija i njegovih legura te je opisani postupak izrade 3D modela i sastavljanje dijelova u programu Autodesk Inventor. Detaljno je prikazan postupak izrade svih dijelova naprave. U posljednjem poglavlju postavljena su tri zadatka koji su računski riješeni pomoću računalnog programa Mathcad, provela se simulacija ispitnog profila u programu Autodesk Inventor te su ispitani ispitni profili na izrađenoj napravi.

Ključne riječi: uvijanje, naprava, konstruiranje, okrugli profili, ispitivanje

Abstract

Practical classes at the University often require equipment which is expensive and it would not justify its high price, therefore the main task of this paper is to design and build torsion apparatus for solid and hollow circular shafts. The production method of extruded aluminum profiles and the most important properties of aluminum and aluminum alloys are described, as well as the method of making 3D models and assembly using the Autodesk Inventor software. The process of manufacturing all of the apparatus parts is described in details. In the last chapter three tasks were set which were solved using the Mathcad software, simulating circular shafts using the Autodesk Inventor software and performing a test using the newly built torsion apparatus.

Key words: torsion, apparatus, designing, circular bars, testing

Korištene oznake

Oznaka	Jedinica	Opis
L, a, b	mm	Duljina
r, ρ	mm	Polumjer
σ	N/mm ²	Normalno naprezanje
I _p	cm ⁴	Polarni moment tromosti
W _p	cm ³	Polarni moment otpora
D, d	mm	Promjer
M _t	N m	Okretni moment
α	°	Kut uvijanja
ϑ	°/m	Relativni kut uvijanja
G	N/mm ²	Modul smicanja
γ	-	Kutna deformacija
τ	N/mm ²	Posmično naprezanje
τ _{dop}	N/mm ²	Dopušteno posmično naprezanje
τ _{max}	N/mm ²	Maksimalno posmično naprezanje
A	mm ²	Površina
ϑ _{dop}	°/m	Dopušteni relativni kut uvijanja
ϑ _{dop}	°/m	Maksimalni relativni kut uvijanja
K	-	Omjer unutarnjeg i vanjskog promjera šupljeg vratila
J	Nm	Rad
R _{eup}	MPa	Granica proporcionalnosti
R _{eu0,4}	MPa	Konvencionalna granica uvijanja

R_{mu}	MPa	Uvojna čvrstoća
E	GPa	Youngov modul elastičnosti
ν	-	Poissonov koeficijent
F	N	Sila
g	m/s^2	Gravitacijsko ubrzanje
m	kg	Masa

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Uvijanje i konstrukcije opterećene na uvijanje.....	3
2.1.	Uvijanje.....	3
2.2.	Dimenzioniranje elemenata opterećenih na uvijanje.....	7
2.3.	Konstrukcije opterećene na uvijanje	8
2.3.1.	Ravne torzijske opruge.....	10
3.	Ispitivanje materijala uvijanjem	12
4.	Razvoj i izrada naprave za test uvijanja	15
4.1.	Tehnički zahtjevi i želje.....	15
4.1.1.	Prva varijanta.....	16
4.1.2.	Druga varijanta	16
4.2.	Odabir najprihvatljivije varijante	17
4.3.	Aluminij i legure aluminija	18
4.4.	Ekstrudirani aluminijski profili složenog presjeka.....	21
4.4.1.	Istiskivanje ili ekstruzija aluminijskih profila	21
4.4.2.	Aluminijski strukturni profili	24
4.5.	Konstruiranje naprave pomoću računala.....	26
4.6.	Tehnološka priprema prije izrade.....	27
4.6.1.	Redoslijed operacija	28
4.6.2.	Nabava materijala.....	31
4.6.3.	Priprema potrebnih programa.....	32
4.7.	Izrada dijelova i montaža.....	34
5.	Proračun uvijanja.....	43
5.1.	Puni okrugli aluminijski profil	43
5.1.1.	Proračun u Mathcadu.....	44
5.1.2.	Analiza uvijanja u Autodesk Inventoru	46
5.1.3.	Rezultati mjerenja.....	48
5.2.	Šuplji okrugli aluminijski profil	50
5.2.1.	Proračun u Mathcadu.....	50
5.2.2.	Analiza uvijanja u Autodesk Inventoru	53
5.2.3.	Rezultati mjerenja.....	54
5.3.	Puni okrugli profil od nehrđajućeg čelika	55
5.3.1.	Proračun u Mathcadu.....	55
5.3.2.	Analiza uvijanja u Autodesk Inventoru	58
5.3.3.	Rezultati mjerenja.....	59

5.4. Usporedba rezultata.....	60
6. Zaključak.....	62
7. Literatura.....	64

1. Uvod

Strojni, a i ostali konstrukcijski elementi vrlo su često opterećeni na uvijanje, područje koje proučava Nauka o čvrstoći. Nakon implementacije završnog rada pod nazivom „Izrada didaktičkog uređaja za savijanje“ Ivica Novaka u praktičnu nastavu na Sveučilištu javila se potreba za novim uređajem, uređajem za demonstraciju uvijanja štapova poprečnog presjeka oblika kruga ili kružnog vijenca. Određivanje naprezanja u štapovima ne okruglog poprečnog presjeka je složeni matematički problem i rješava se u okviru teorije elastičnosti te se u ovom završnom radu neće razmatrati. [1]

Kako već postoji postolje izrađeno u svrhe završnog rada Ivica Novaka, novu napravu za test uvijanja potrebno je konstruirati na način da se na jednostavan način može montirati na postojeće postolje, ali i da zadovoljava slijedeće zahtjeve:

1. Mogućnost testiranja profila promjera barem 15 mm
2. Testiranje profila duljine oko 800 mm
3. Jednostavno očitavanje rezultata na barem dvije udaljenosti od uklještenja.

Na slici 1.1. prikazan je uređaj za uvijanje koji se prodaje na više internetskih trgovina te može služiti kao vodič prilikom konstruiranja.



Slika 1.1 Komercijalna naprava za test uvijanja

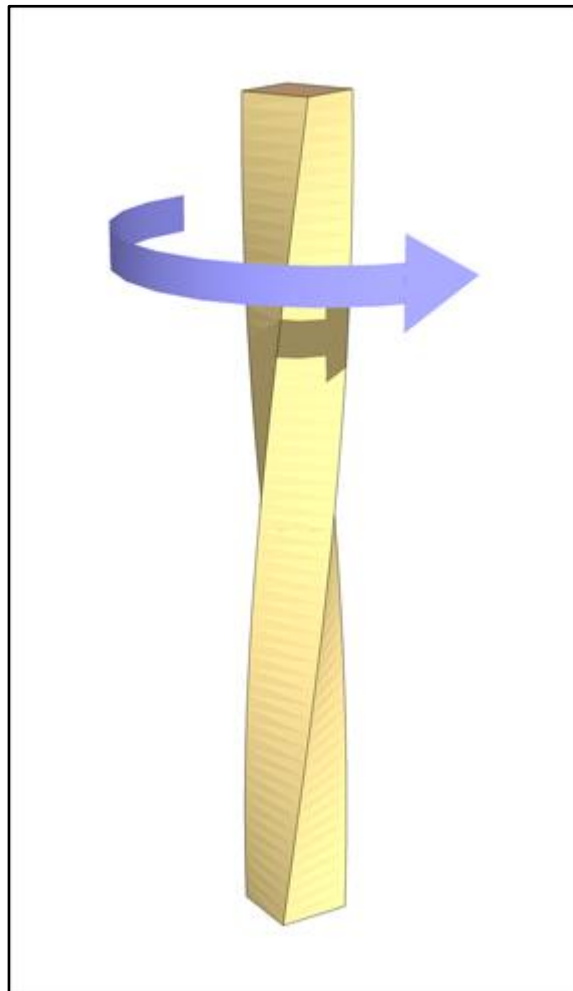
Osim funkcionalnih zahtjeva naprave, u obzir se mora uzeti i mogućnost izrade većine dijelova u tvrtki „Obrada limova Premuš“, mogućnost nabave potrebnih dijelova i troškovi naprave. Dijelovi naprave također moraju biti iz materijala koji su otporni na vanjske uvjete ili se moraju zaštititi površinskom zaštitom.

Kako bi se smanjili troškovi naprava bi trebala biti potpuno mehanička, bez elektronskih dijelova za stvaranje momenta, stezanje ispitnog profila ili očitavanje rezultata. Osim za ovaj završni rad, naprava bi kasnije trebala služiti i za potrebe nastave na Sveučilištu.

2. Uvijanje i konstrukcije opterećene na uvijanje

2.1. Uvijanje

Mnogo elemenata strojeva i strojarskih konstrukcija opterećeno je na način da se jedan kraj nekog elementa okreće u jednu stranu, dok na drugom kraju nema nikakvog pomaka ili se drugi kraj okreće u suprotnom smjeru. Na krajeve elementa tada djeluje moment koji se izražava u jedinici njutn metar, a najjednostavniji primjer bi bio da krelu prstima zaokrećemo kao na slici 2.1 sve dok ne dođe do loma. Naprezanje koje je izazvalo lom krede naziva se uvijanje ili torzija, a najčešće su tako opterećeni elementi koji služe za prijenos snage s jednog kraja na drugi kao pogonsko vratilo u automobilu.



Slika 2.1 Pojednostavljeni prikaz uvijanja

Kod vratila okruglog poprečnog presjeka opterećenih na uvijanje poprečni presjeci okomiti na uzdužnu os elementa ne mijenjaju svoj prvobitni oblik i položaj, ostaju u istoj ravnini, isto kao i polumjer r i duljina L koji također ostaju nepromijenjeni. [2]

Analizirati će se naprezanja i deformacije uvijanja ravnih štapova uz pretpostavke o deformiranju i raspodjeli naprezanja:

1. Poprečni presjeci zakreću se kao krute figure, polumjeri pri zakretanju ostaju ravni i ne deformiraju se u svojoj ravnini.
2. Pri deformaciji, poprečni presjeci štapa ostaju ravni i okomiti na uzdužnu os štapa.
3. Normalno naprezanje σ_x je jednako nuli. [1]

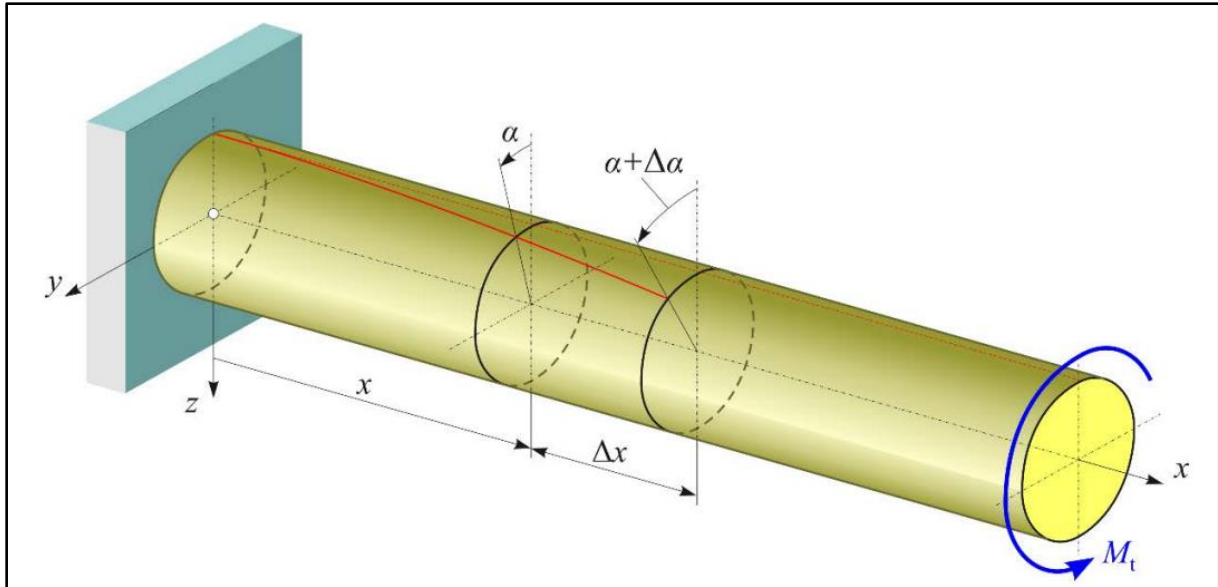
Izrazi koji će biti izvedeni vrijediti će jedino uz sljedeća ograničenja:

1. Štapovi su ravni, konstantnog poprečnog presjeka.
2. Promatrani presjeci dovoljno su udaljeni od mjesta djelovanja koncentriranih momenata (zadovoljavajuća udaljenost je oko jedan polumjer presjeka).
3. Poprečni presjek može imati samo oblik kruga ili kružnog vijenca. [1]

Kod elemenata opterećenih na uvijanje izračunavaju se posmična naprezanja u poprečnom presjeku i kut uvijanja, a za što je potrebno izračunavati polarni moment otpora i polarni moment tromosti. Polarni moment otpora i polarni moment tromosti u slučaju poprečnog presjeka štapa koji je puni krug izračunavaju se prema izrazima:

$$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32}, \quad W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16},$$

gdje je I_p polarni moment tromosti, a W_p polarni moment otpora. [2]



Slika 2.2 Kut uvijanja dva infinitezimalno bliska presjeka

Na slici 2.2 na štap okruglog poprečnog presjeka djeluje moment M_t koji je prema pravilu desne ruke pozitivan, a kut uvijanja poprečnog presjeka ovisan je o x koordinati,

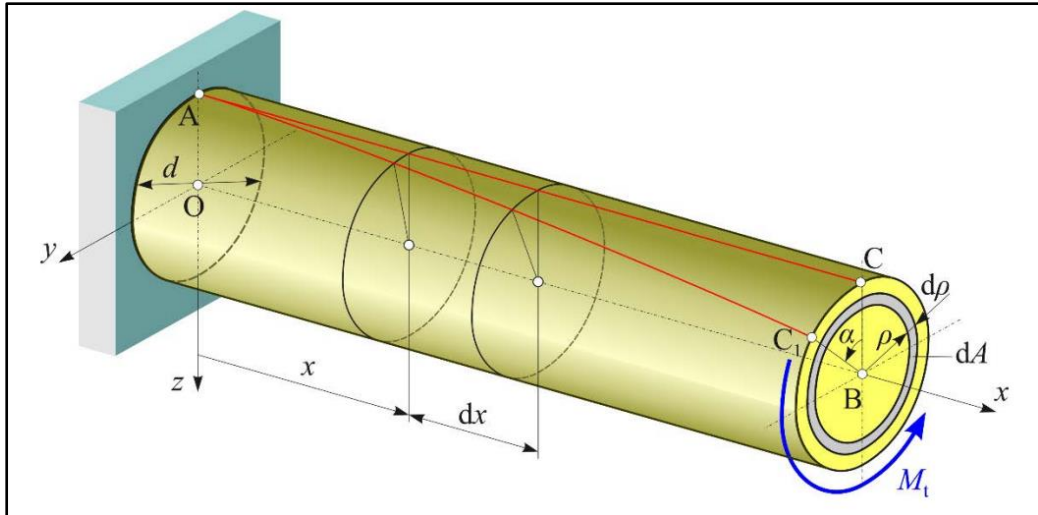
$$\alpha = \alpha(x). [2]$$

Pretpostavlja se da je relativni kut uvijanja ϑ konstantna veličina pa vrijedi izraz:

$$\alpha = \alpha_0 + \vartheta \cdot (x - x_0). [2]$$

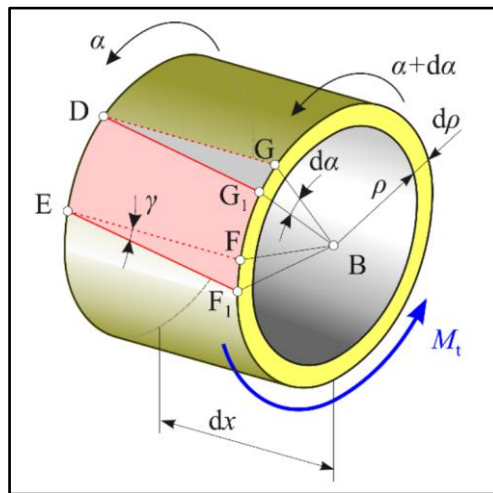
Relativni kut uvijanja ϑ ovisi o momentu uvijanja M_t , promjeru štapa d i o materijalu štapa (materijal utječe na modul smicanja G). Ako su sve te veličine konstantne, tada se može govoriti o relativnom kutu uvijanja kao konstantnoj veličini. Veličina α_0 predstavlja zakret lijevog kraja štapa te ne utječe na pojavu naprezanja i deformacija, već će se naprezanja i deformacije u štapu pojaviti samo ako postoji relativni kut uvijanja jednog presjeka u odnosu na drugi. [2]

Na slici 2.3 je lijevi kraj nepomičan, a slobodni desni kraj se zakreće, pod djelovanjem momenta M_t , za neki kut i pri tome ravnina $OACB$ prelazi u zavojni plohu OAC_1B . [2]



Slika 2.3 Analiziranje uvijanja elemenata kružnog štapa

Vidi se da je na štapu na slici 2.3 izdvojen jedan dio štapa duljine dx , unutarnjeg polumjera ρ i vanjskog polumjera $\rho + d\rho$. Detaljnije je taj infinitezimalno mali element štapa prikazan na slici 2.4, gdje je na plaštu ucrtan pravokutnik DEFG koji kod zakretanja desnog kraja za kut $d\alpha$ prelazi u romboid DEF_1G_1 . [2]

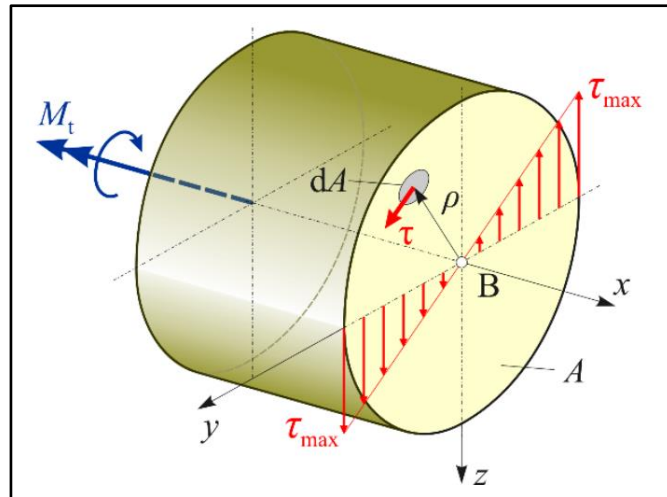


Slika 2.4 Izdvojeni dio kružnog štapa

Kutna deformacija γ kod smicanja elementa je: $\gamma = \frac{\overline{GG_1}}{DG} = \rho \cdot \vartheta$, gdje je ϑ nepoznati parametar. Kutna je deformacija u uzdužnoj osi štapa jednaka nuli i raste linearno do najveće vrijednosti koja se nalazi na vanjskom rubu štapa. Primijenimo li Hookeov zakon za čisto smicanje tada vrijedi: $\tau = \gamma \cdot G = \rho \cdot \vartheta \cdot G$. [2]

Posmično naprezanje u osi štapa je jednako nuli i raste linearno do najveće vrijednosti $\tau_{max} = r \cdot \vartheta \cdot G$ prema vanjskom rubu. Na slici 2.5 je prikazani štap koji je opterećen momentom uvijanja M_t s lijeve strane, dok je u desnom presjeku štap opterećeni infinitezimalno malim silama $\tau \cdot dA$ te svaka od tih sila stvara oko uzdužne osi moment

$$\tau \cdot dA \cdot \rho. [2]$$



Slika 2.5 Analiza ravnoteže okruglog štapa

Primijeni li se uvjet ravnoteže dobije se izraz za relativni kut uvijanja $\vartheta = \frac{M_t}{G \cdot I_p}$, gdje je $G \cdot I_p$ torzijska krutost štapa, a konačni izraz za raspodjelu posmičnih naprezanja u poprečnom presjeku štapa glasi: $\tau = \frac{M_t}{I_p} \cdot \rho$, $\tau_{max} = \frac{M_t}{I_p} \cdot \rho_{max} = \frac{M_t}{W_p}$. [2]

2.2. Dimenzioniranje elemenata opterećenih na uvijanje

Vratila i ostali štapovi opterećeni na uvijanje dimenzioniraju se prema uvjetu čvrstoće i uvjetu krutosti. Za laka je vratila malog promjera najvažnija krutost, a za teška vratila čvrstoća. Način na koji će doći do loma štapa ovisi o materijalu štapa pa će tako kod štapova od krhkog materijala do loma doći kada najveće vlačno naprezanje prijeđe vlačnu čvrstoću materijala te će lom nastati po presjeku koji čini s osi štapa kut od 45° . Kod štapova izrađenih od duktilnih materijala lom će nastupiti nakon znatnije plastične deformacije, a kada posmično naprezanje prijeđe smičnu čvrstoću. [1]

Kod proračuna na čvrstoću potrebno je znati dopušteno smično naprezanje τ_{dop} materijala štapa pa uvjet čvrstoće glasi:

$$\tau_{max} = \frac{|M_{t,max}|}{W_p} \leq \tau_{dop}$$

Kod dimenzioniranja punog vratila mora biti zadovoljen uvjet: $d \geq \sqrt[3]{\frac{16M_t}{\pi \cdot \tau_{dop}}}$, a za šuplje vratilo vanjski promjer mora zadovoljavati uvjet: $D \geq \sqrt[3]{\frac{16M_t}{\pi \cdot (1-k^4) \tau_{dop}}}$, $k = \frac{d}{D}$

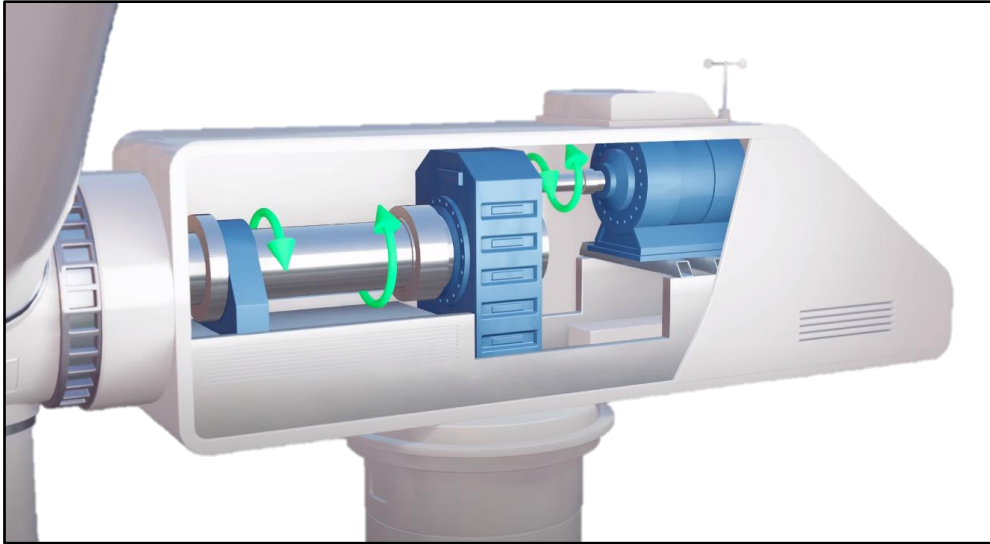
Kod proračuna na krutost potrebno je znati dopušteni relativni kut uvijanja ϑ_{dop} materijala štapa, a uvjet krutosti vratila je: $\vartheta_{max} = \frac{|M_{t,max}|}{G \cdot I_p} \leq \vartheta_{dop}$.

Za kružni poprečni presjek vratila mora se zadovoljiti uvjet: $d \geq \sqrt[4]{\frac{32M_t}{\pi \cdot G \cdot \vartheta_{dop}}}$, dok je za poprečni presjek vratila oblika kružnog vijenca, odnosno šuplje vratilo, vanjski će promjer tada biti: $D \geq \sqrt[4]{\frac{32M_t}{\pi \cdot (1-k^4) \cdot G \cdot \vartheta_{dop}}}$, $k = \frac{d}{D}$. [3]

2.3. Konstrukcije opterećene na uvijanje

Jedan od najjednostavnijih primjera uvijanja bio bi ključ kojim pritežemo vijak ili maticu. Okretanjem ključa stvaramo moment koji djeluje na vijak ili maticu gdje dolazi do uvijanja i posmičnih naprezanja u poprečnom presjeku. Kod vjetroturbina vratila prenose snagu od lopatica turbine do električnog generatora kao i kod automobila gdje pogonsko vratilo prenosi snagu od motora s unutarnjim izgaranjem do kotača i pri tome su vratila opterećena na uvijanje.

Na slici 2.7 prikazana je plinska turbina kod koje su vratila opterećena vrlo velikim momentima uvijanja. [3]



Slika 2.6 Momenti uvijanja na vratilima vjetroturbine

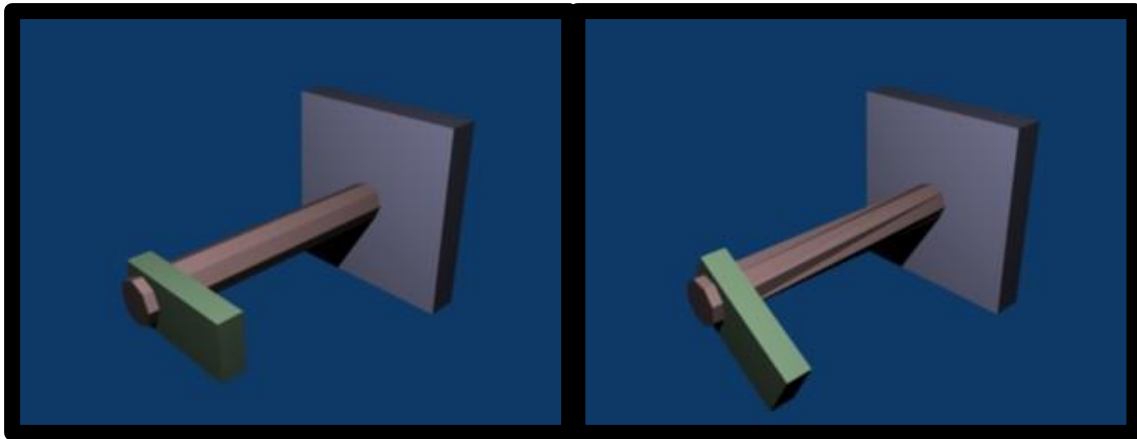


Slika 2.7 Plinska turbina

2.3.1. Ravne torzijske opruge

Torzijske se opruge upotrebljavaju u automobilskoj industriji za prigušivanje torzijskih vibracija, za mjerenje momenta pritezanja kod momentnih ključeva, kod elastičnih spojki itd. To su ravni okrugli štapovi ukliješteni na krajevima i opterećeni na uvijanjem, a opruženje nastaje uvijanjem njihovog srednjeg dijela koji je otanjen. Materijal koji se koristi za takve opruge je kaljeni i popušteni čelik. [4]

Prednosti korištenja ravnih torzijskih opruga umjesto zavojnih opruga u automobilskoj industriji su bolje prigušivanje vibracija, izdržljivost, lako podešavanje visine vozila i zauzimaju manje mjesta od zavojnih opruga. Najviše su se koristile sredinom dvadesetog stoljeća kada su znanja o elastičnim svojstvima i zamoru materijala još bila relativno mala. [9]



Slika 2.8 Princip rada torzijske opruge

Torzijska vaga je naprava pomoću koje se iznos neke sile određuje zakretnim momentom uvijanja napete okomite metalne niti koja je na jednom kraju učvršćena, a na drugom kraju niti je obješena transverzalna horizontalna šipka. Za male zakrete šipke sila je proporcionalna kutu uvijanja te je na taj način francuski fizičar Coulomb 1785. godine eksperimentalno utvrdio zakon privlačenja električnih naboja. [6]



Slika 2.9 Torzijska vaga

3. Ispitivanje materijala uvijanjem

Ispitivanje materijala za određivanje njihovih mehaničkih svojstava započelo je još s razvojem ljudskog društva. Prvi pisani podaci o ispitivanju mehaničkih svojstava materijala su iz 16. stoljeća od znanstvenika Leonarda da Vinci koji je izvodio pokuse ispitivanja izdržljivosti materijala. Iako su se metali koristili i ranije, tek krajem 19. stoljeća kada je otkriveno da se svojstva metala mogu poboljšati postupcima prerade, započela su istraživanja o svojstvima metala i metalnih legura. Time se razvila grana znanosti fizička metalurgija koja ispituje fizička, kemijska, strukturna i mehanička svojstva metala i legura te unapređuje metode istraživanja i svojstva materijala. Zbog sve većeg broja različitih materijala koji se koriste došlo je do potrebe standardizacije osnovnih svojstava raznih vrsta materijala i standardizacije postupaka ispitivanja. Metali se ispituju kako bi se utvrdila svojstva prilikom proizvodnje, ali i u svrhu određivanja načina na koji će se upotrebljavati i odgovornosti koja nastaje kod upotrebe. Vrlo je veliki značaj ispitivanja metala za razvoj tehnologija u poljima automobilske industrije, kod izgradnje brodova, zrakoplova, željezničkih vozila i željeznica, turbina, svemirskih letjelica itd. [7]

Ispitivanje svojstava metala kao tvrdoće, žilavosti, čvrstoće i drugih vrši se mehaničkim postupcima ispitivanja, zatim postoje tehnološka ispitivanja kojima se ispituju uporabna svojstva materijala kao deformabilnost u vrućem ili hladnom stanju. Ispitivanjem bez razaranja ispituju se greške u materijalima kao pukotine, poroznost itd. Metalografska ispitivanja daju saznanja o mikro i makrostrukтури, veličini zrna, stanju termičke obrade, kemijskim se ispitivanjem može ispitati na primjer otpornost prema koroziji, dok se toplinska, električna i magnetna svojstva ispituju fizičkim ispitivanjima. [7]

Ispitivanje uvijanjem važno je za materijale koji se koriste za izradu elemenata strojeva opterećenih na uvijanje, a širu primjenu ima kao tehnološko ispitivanje za žice. Sile koje djeluju kod uvijanja dovode do smičnih naprezanja u presjeku materijala, a veličine tih naprezanja mogu se odrediti provođenjem testa uvijanja na uzorcima materijala. [7]

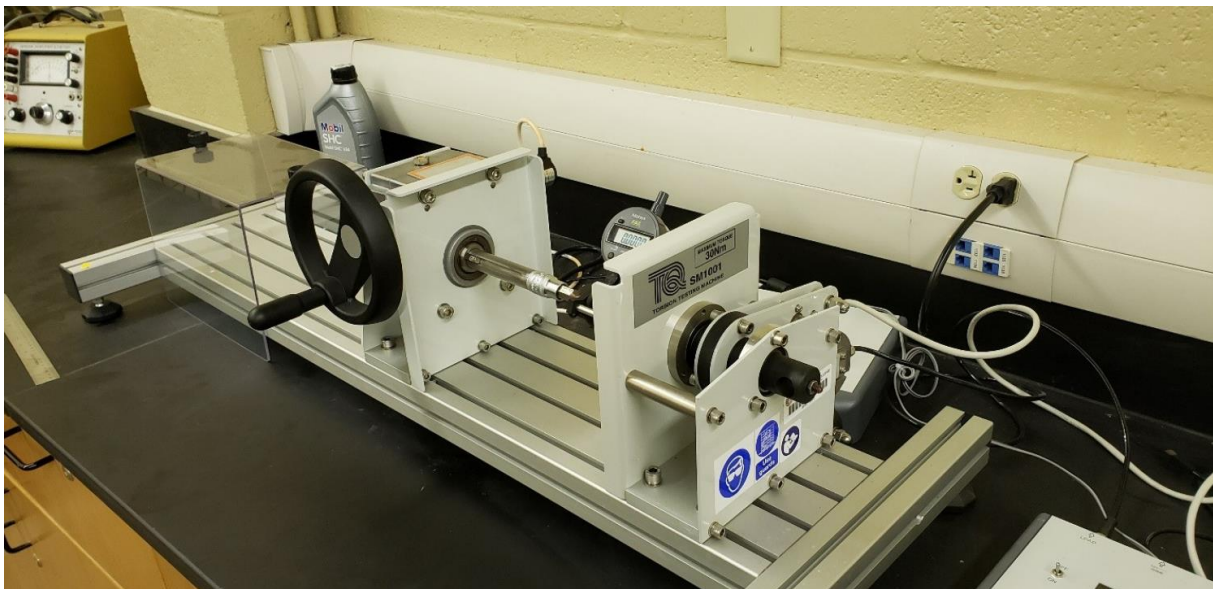
Testom uvijanja određuju se razna svojstva materijala kao:

1. Granica elastičnosti kod smicanja
2. Modul elastičnosti kod smicanja
3. Vijek trajanja materijala opterećenog na uvijanje

4. Duktilnost materijala. [7]

Test uvijanja ima široku primjenu u proizvodnji raznih alata poput vijaka i odvijača koji su najvećim djelom opterećeni na uvijanje.

Naprave za ispitivanje uvijanjem sastoje se od dvije stezne glave koje sadrže stezne čeljusti za prihvat testnih epruveta od kojih je jedna stezna glava pomična, a druga je nepomična i pričvršćena za mjerni uređaj. Obično su naprave konstruirane na način da jedna od steznih glava može mijenjati položaj za različite duljine testnih epruveta u smjeru uzdužne osi, a epruvete su obično kružnog presjeka. [8]



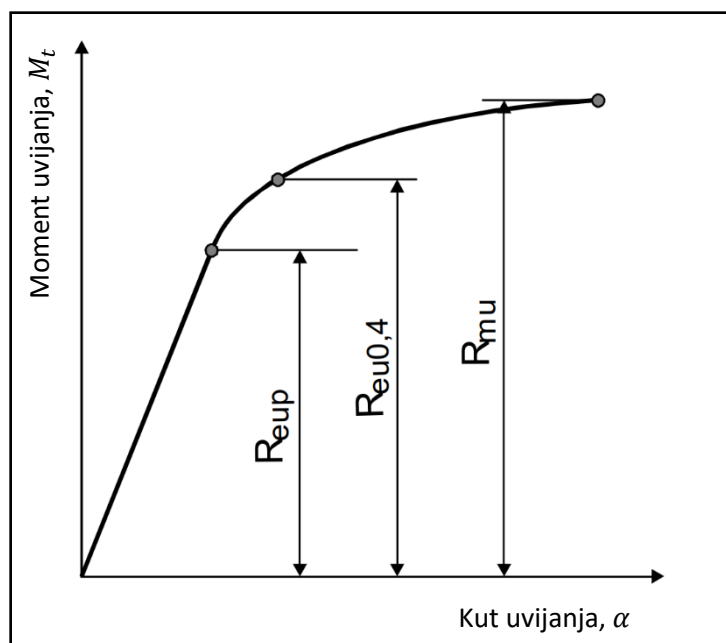
Slika 3.1 Profesionalni uređaj za ispitivanje uvijanja

Tijekom testiranja epruveta se pričvršćuje u stezne čeljusti mjernog uređaja kao na slici 4.1 i opterećuje se okretnim momentom, presjeci ne mijenjaju oblik već se jedan prema drugome zakreću za neki kut. S povećanjem momenta uvijanja kutna deformacija raste kao i naprezanja na uvijanje. Naprave za ispitivanje uvijanjem mogu biti konstruirane u vertikalnoj ili horizontalnoj izvedbi, a obično su maksimalni momenti uvijanja od 500 do 1500 J. [7]

Prilikom ispitivanja bilježi se dijagram „moment uvijanja – kut uvijanja“ ($M_t - \alpha$), a za ispitivanje uvijanjem karakteristično je to što epruveta tijekom ispitivanja zadržava početni poprečni presjek pa se lakše prate promjene deformacije i ne dolazi do lokalizirane deformacije epruvete. Naprezanje uvijanja se prenosi jednako po cijeloj duljini epruvete, a po presjeku nije

jednoliko već je najveće tangencijalno naprezanje na površini i jednoliko se smanjuje do nule na središnjoj osi. Na dijagramu „Moment uvijanja – Kut uvijanja“ na slici 3.2 su prikazane tri karakteristične točke:

1. Granica proporcionalnosti, R_{eup}
2. Konvencionalna granica uvijanja, $R_{eu0,4}$, određuje se pri trajnoj deformaciji od 0,4%
3. Uvojna čvrstoća R_{mu} [7]

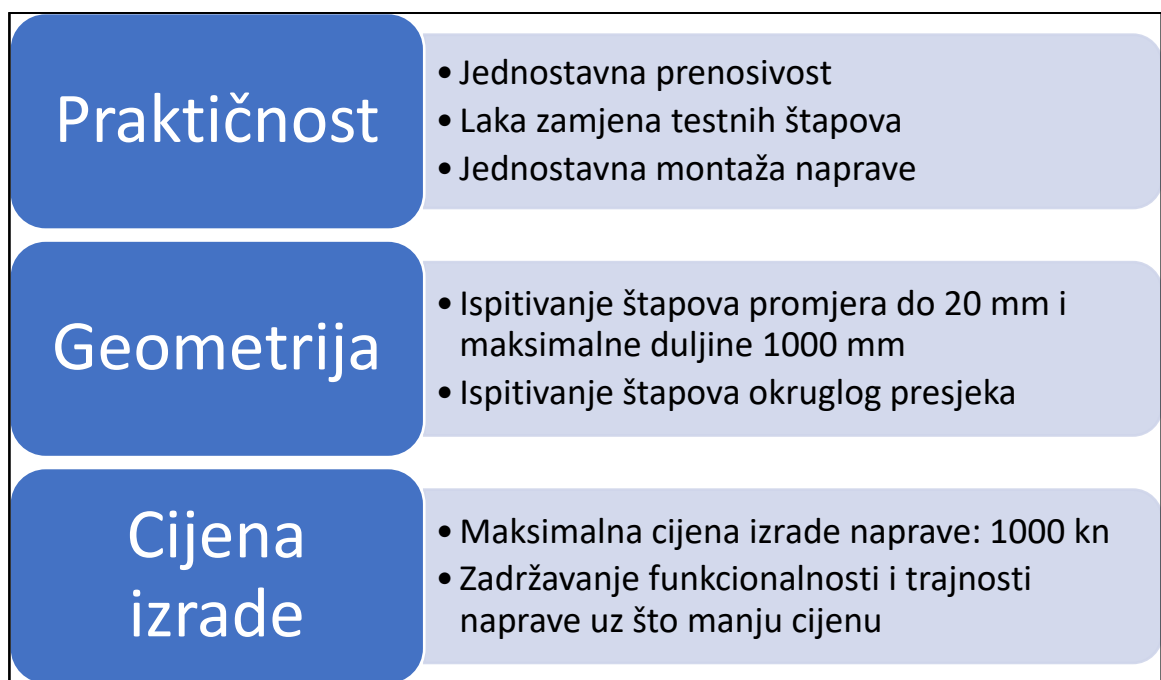


Slika 3.2 Dijagram uvijanja „Moment uvijanja – Kut uvijanja“

4. Razvoj i izrada naprave za test uvijanja

4.1. Tehnički zahtjevi i želje

Prilikom razvijanja naprave koja će se koristiti za potrebe ovog završnog rada, a kasnije i za potrebe nastave bilo je potrebno uzeti u obzir više zahtjeva i želja, ali i mogućnost praktične izrade i konačne cijene naprave.

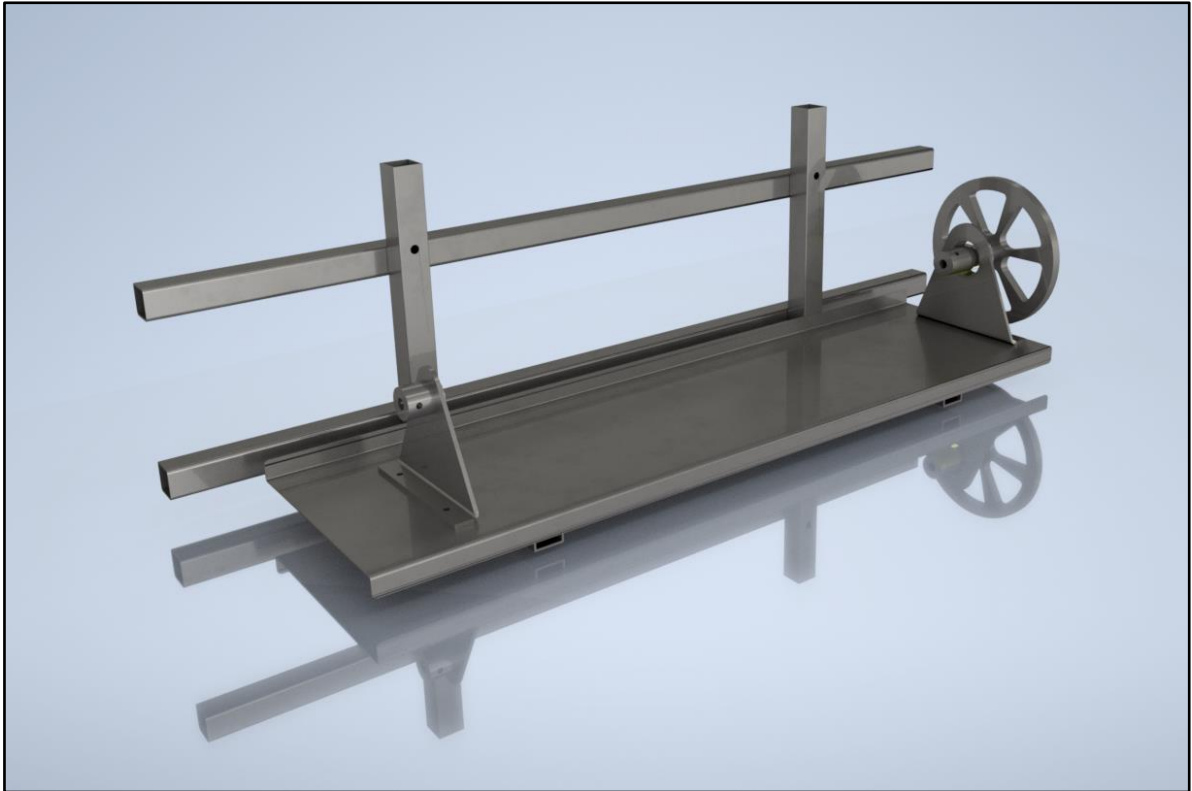


Slika 4.1 Zahtjevi i želje za napravu

Na slici 4.1 su navedeni zahtjevi koje bi naprava trebala ispuniti te je na temelju tih zahtjeva nastalo nekoliko varijanti naprave od kojih su dvije bile najprihvatljivije. Napravljeni su idejni crteži na temelju već postojećih mehaničkih naprava za test uvijanja koje se koriste u laboratorijima. Strukturni elementi na raspolaganju, za izradu konstrukcije naprave, bile su kvadratne i pravokutne čelične cijevi, čelični U-profil i L-profil, aluminijske kvadratne cijevi i ekstrudirani aluminijski profili složenog presjeka. Kao najprihvatljiviji strukturni elementi odabrane su kvadratne čelične cijevi i ekstrudirani aluminijski profili te su obje varijante naprave nacrtane kao idejni crtež u programu „Autodesk Inventor Professional 2019“ .

4.1.1. Prva varijanta

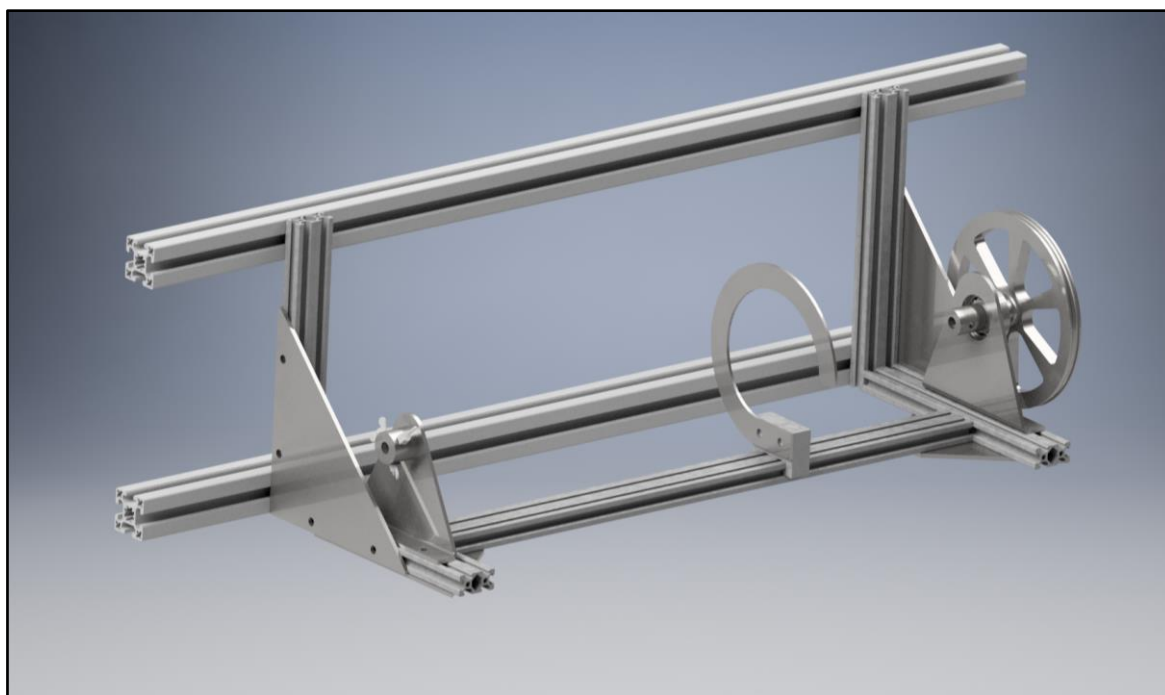
Model prve varijante u 3D prikazu je na slici 4.2 . Kompletna konstrukcija sastoji se od čeličnih cijevi dimenzije 30x30 mm debljine stjenke 2 mm, a postolje je od čeličnog lima debljine 2 mm i savinuto s dvije strane. Oslonci su od aluminijskog lima debljine 4 mm, a kolotura i prihvat su isto od aluminijskog lima. Spajanje elemenata je izvršeno zavarivanjem, a najvećim dijelom vijcima i maticama.



Slika 4.2 Prva varijanta naprave

4.1.2. Druga varijanta

Druga je varijanta vrlo slična prvoj, ali je konstrukcija izrađena od ekstrudiranih aluminijskih profila složenog presjeka i od elemenata izrađenih od aluminijskog lima. U ovoj su varijanti svi elementi spojeni vijcima i maticama. Oslonci su kao i kod prve varijante od aluminijskog lima debljine 4 mm, isto kao i kolotura i prihvat. U ovoj je varijanti većina elemenata izrađena od aluminijskog lima.



Slika 4.3 Druga varijanta naprave

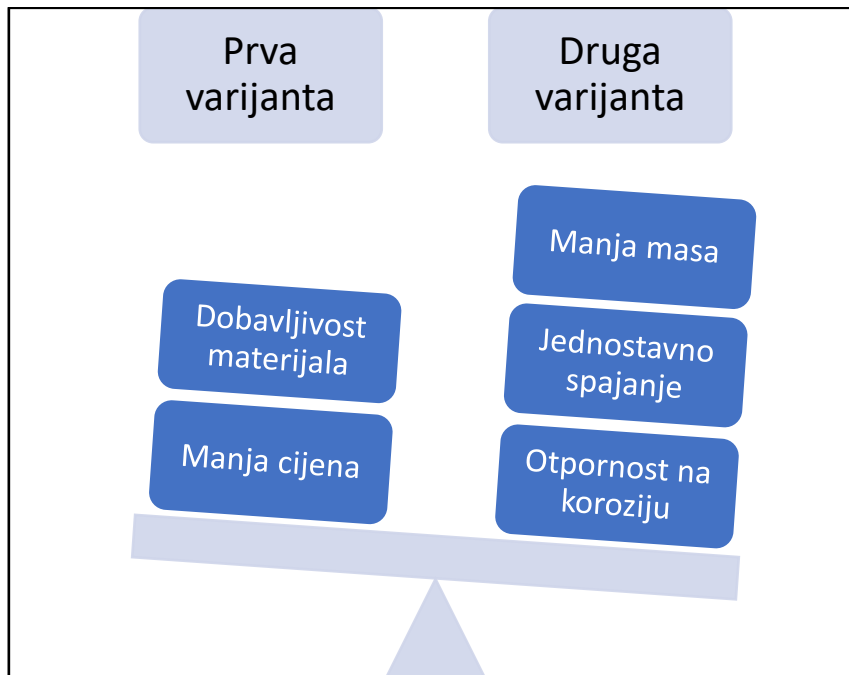
4.2. Odabir najprihvatljivije varijante

U prvoj je varijanti materijal konstrukcije čelik koji ima veću masu od aluminijskih stoga je teže prenosiv, nije otporan na koroziju pa ga je zato potrebno zaštititi, konstrukcija je jednim dijelom spajana zavarivanjem, ali s druge strane, čelik ima manju cijenu od aluminijskih i lakša je dobavljaljivost čeličnih cijevi i limova od aluminijskih profila.

U drugoj varijanti cjelokupna je konstrukcija izrađena od ekstrudiranih aluminijskih profila koji imaju relativno malu masu, izrazito su jednostavni za spajanje vijcima, profili dolaze eloksirani što štiti aluminij od korozije i habanja pa nije potrebna dodatna korozijska zaštita. U odnosu na čelične cijevi koji su osnovni dio konstrukcije prve varijante naprave, aluminijski profili iz druge varijante imaju puno veću cijenu i teže su dobavljaljivi.

Na slici 4.4 su prikazani pozitivni faktori koji su bili odlučujući kod konačnog odabira najprihvatljivije varijante izrade naprave za test uvijanja. Iako je cijena ekstrudiranih aluminijskih profila veća od čeličnih cijevi i limova koji imaju i lakšu dobavljaljivost, manja masa,

jednostavnost spajanja i otpornost na koroziju bili su odlučujući faktori za konačni odabir druge varijante naprave.



Slika 4.4 Pozitivni faktori obje varijante

4.3. Aluminij i legure aluminija

Aluminij i njegove legure imaju povoljna mehanička i kemijska svojstva koja su zaslužna za sve veću primjenu aluminija i legura u automobilskoj, zrakoplovnoj, transportnoj i svemirskoj industriji kao i u brodogradnji. Najvažniji razlog velike primjene aluminija i legura u navedenim industrijama je mala masa koja pridonosi uštedi goriva. Zbog toga što nije otrovan, aluminij se koristi i u prehrambenoj industriji za izradu posuda, limenki, spremnika i slično, a ima primjenu i u građevinskoj industriji gdje se aluminij i njegove legure koriste u izradi profila, fasada, okvira, a zbog dobre električne vodljivosti koristi se u elektrotehnici za izradu vodiča i konstrukcijskih elemenata dalekovoda. [9]

Aluminij je metal i treći najrasprostranjeniji element nakon kisika i silicija u zemljinoj kori, gdje je sadržaj aluminija 8%, a jedino čelik danas ima veću primjenu od aluminija. Primarni se aluminij dobiva iz rude boksita, prikazanog na slici 4.5 (sadrži od 35 do 60% aluminijevog oksida), postupkom elektrolize te je potrebna velika količina električne energije, oko 16 kWh po kilogramu aluminija i proizvodnja aluminija uključuje vrlo visoku emisiju

stakleničkih plinova i ostalih zagađivača. S druge strane proizvodnja sekundarnog aluminijsa zahtjeva puno manje energije i emisija stakleničkih plinova je puno manja, manje od 5% energije koja je potrebna za proizvodnju primarnog aluminijsa potrebno je kod proizvodnje sekundarnog aluminijsa. [10]



Slika 4.5 Boksit

Neka od svojstava i razlozi vrlo široke primjene aluminijsa i legura su mala gustoća, oko jedne trećine gustoće čelika, velika prekidna čvrstoća u odnosu na masu, električna vodljivost pri istoj masi dvostruko veća nego kod bakra, dobra toplinska vodljivost, otpornost na koroziju, dobra obradljivost valjanjem, vučenjem, ekstruzijom i ostalim postupcima. [10]

Aluminij je vrlo prikladan za plastično oblikovanje zbog dobre istezljivosti, ali ima loša mehanička svojstva koja se mogu poboljšati legirajućim elementima, a najviše se poboljšava vlačna čvrstoća i tvrdoća, rezljivost, krutost, livljivost, ali i zavarljivost i žilavost. Najvažniji elementi kojima se aluminij legira su magnezij (Mg), bakar (Cu), cink (Zn), mangan (Mn), a kao primjese i dodaci prisutni su i željezo (Fe), titan (Ti) i krom (Cr). Topljivost, udio, oblik, raspodjela i veličina legiranih elemenata u aluminiju određuju kemijska, fizikalna i proizvodna svojstva aluminijskih legura. U tablici 4.1 su prikazani legirajući elementi i njihov utjecaj na aluminij. [11]

Tablica 4.1 Legirajući elementi i utjecaj na aluminijsku leguru

Legirajući element	Utjecaj elementa na aluminijsku leguru
Bakar	Smanjuje otpornost koroziji, smanjuje električnu vodljivost, poboljšava obradivost i otpornost puzanju
Mangan	Poboljšava mehanička svojstva i otpornost na koroziju
Silicij	Poboljšava livljivost, smanjuje obradivost, dobra otpornost na koroziju
Magnezij	Poboljšava otpornost na koroziju i zavarljivost, poboljšava mehanička svojstva ovisno o udjelu
Magnezij i silicij	Poboljšava mehanička svojstva i istiskivanje, jako dobra otpornost na koroziju i prikladnost za površinske obrade
Cink	Poboljšava mehanička svojstva, dobra zavarljivost, loša otpornost na koroziju
Željezo	Smanjuje plastičnost, pogoršava livljivost i antikorozivnost
Krom	Povećava otpornost na koroziju

U praksi se najviše koriste aluminijske legure namijenjene za proizvodnju hladnom ili toplom deformacijom kao valjanjem, ekstruzijom, kovanjem i vučenjem te se takve gnječene legure označavaju sa četiri znamenke (XXXX). U tablici 4.2 su prikazane serije aluminijskih legura i glavni legirajući elementi. [12]

Tablica 4.2 Serije aluminijskih legura

Serijska legura aluminijska	Glavni legirajući element
1XXX	Komercijalno čisti aluminij (>99% Al)
2XXX	Bakar
3XXX	Mangan

4XXX	Silicij
5XXX	Magnezij
6XXX	Magnezij i silicij
7XXX	Cink
8XXX	Ostali elementi (litij, kositar, cirkonij, bor)
9XXX	Još se ne koristi

Od navedenih serija, najzastupljenija serija legura u komercijalnoj upotrebi je 6XXX serija, a koja se koristi u automobilske i željezničkoj industriji. [12]

4.4. Ekstrudirani aluminijski profili složenog presjeka

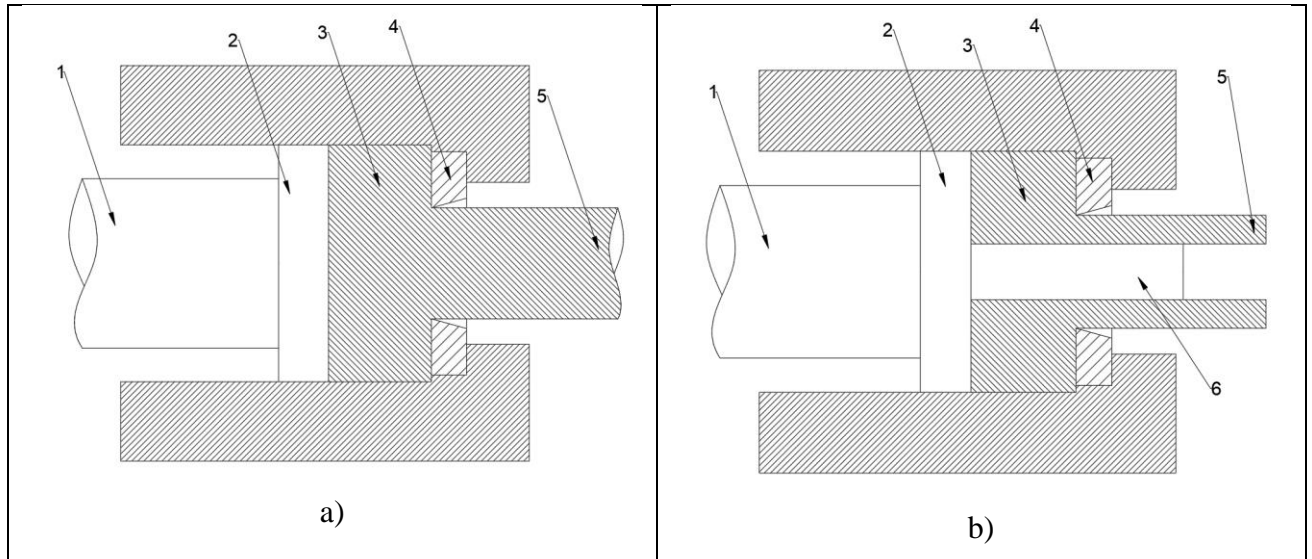
Ekstrudirani aluminijski profili imaju široku primjenu u izradi raznih konstrukcija i u automatizaciji, a glavni razlozi su njihova izdržljivost, mala masa, otpornost na koroziju, lako i brzo sastavljanje i mogućnost ponovnog korištenja u druge svrhe. [13]

4.4.1. Istiskivanje ili ekstruzija aluminijskih profila

Relativno niska cijena proizvodnje ekstrudiranih aluminijskih profila, zajedno s lakim recikliranjem i ponovnim korištenjem aluminija, dovela je do vrlo široke primjene u industriji, prijevozu, kućanstvu i svakodnevnoj upotrebi. Raznovrsni profili od cijevi i štapova do složenih presjeka profila nude vrlo mnogo različitih dizajna i prednosti poput male mase, nepotrebne dodatne obrade, lakoća spajanja i montaže, laka zamjena dijelova itd. Profili koji se drugačije ne mogu proizvesti proizvode se postupkom ekstruzije ili istiskivanja. [13]

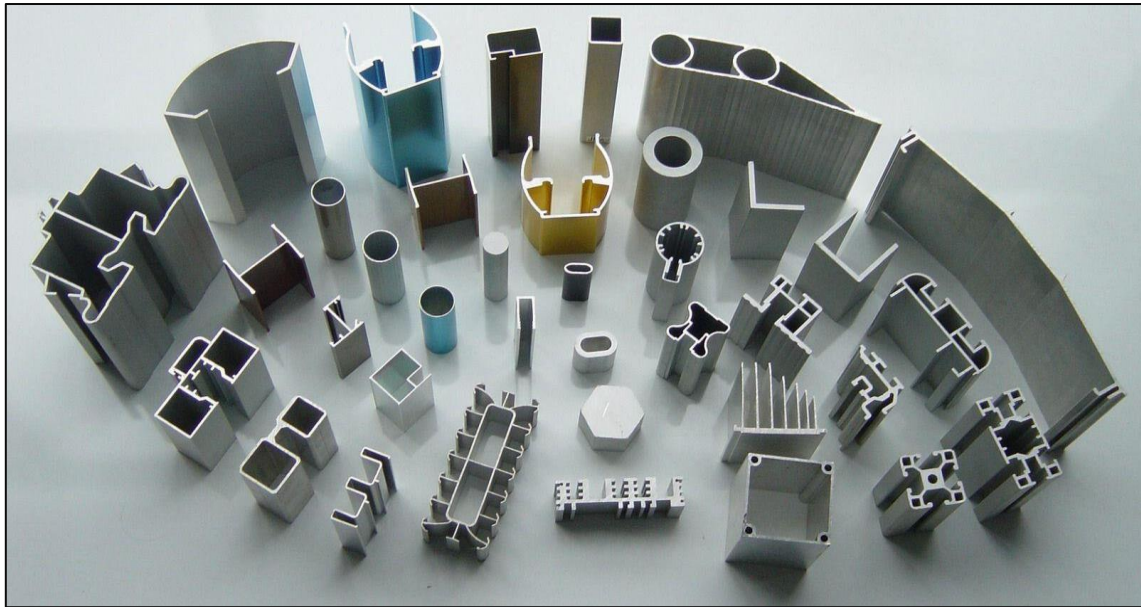
Kod istiskivanja, u cilindar se stavlja trupac, u hladnom, toplom ili polutoplom stanju lijevan postupkom kontinuiranog lijeva, koji ne smije sadržavati šupljine, pukotine ili nakupine troske. Trupac se podvrgava postupku homogenizacije kako bi se dobila što homogenija struktura bez strukturalnih razlika i razlika u kemijskom sastavu, a ponekad se trupac i površinski obrađuje čime se uklanjaju površinski nedostaci poput šupljina, pukotina, oksida na

površini itd. Profili malih poprečnih presjeka proizvode se istovremenim istiskivanjem više profila kroz matricu s više otvora. [14]



Slika 4.6 Postupak istiskivanja punog i šupljeg profila

Na slici 4.6 je prikazani postupak istiskivanja punog (a) i šupljeg (b) profila gdje su označeni dijelovi preše za istiskivanje. U slučaju istiskivanja punog profila (a) cilindar (1) pritišće žig (2) prema materijalu (3) kroz matricu (4) koja određuje presjek gotovog proizvoda (5). U drugom slučaju (b) žig nosi trn (6) pomoću kojeg se dobiju profili šupljeg presjeka, a kombinirani alati omogućuju izradu profila složenijih presjeka. [14]



Slika 4.7 Alumijski proizvodi dobiveni istiskivanjem

Porastom temperature raste i deformabilnost materijala, ali previsoka temperatura izaziva lijepljenje materijala na površini matrice stoga se materijal prije istiskivanja ne zagrijava previše. Obično su temperature trupca od 300 do 595 °C, ovisno o leguri aluminija, a također se legure aluminija mogu istiskivati u hladnom stanju. Neke od više duktilnih legura koje se lakše istiskuju u hladnom stanju su 1100 i 3003, ali gotovo sve legure se mogu istiskivati u hladnom stanju. Kako su ekstrudirani profili na izlasku iz matrice u vrućem stanju, lako se deformiraju te je potrebno nakon istiskivanja provesti postupak ravnjanja na ravnalicama ili natezanjem uz trzaj. [14]

Kao nusprodukt procesa istiskivanja ponekad se javljaju male, slabo vidljive linije na površini profila, a pojavljuju se zbog alata kod istiskivanja te se mogu ukloniti dodatnom obradom površine poput površinskog glodanja. Površina se dodatno obrađuje kada je potrebno vrlo precizno pozicioniranje dijelova. Površinske obrade također mogu pridonijeti dodatnoj otpornosti na koroziju, povećati tvrdoću, dodati svojstvo električne izolacije itd. [14]

Sposobnost istiskivanja ili ekstruzije može se svrstati prema brzini ekstruzije. Alumijske legure koje se lako ekstrudiraju dosežu brzine do 100 m/min, dok se neke legure istiskuju brzinom od samo 0,6 do 1,2 m/min. [14]

4.4.2. Aluminijski strukturni profili

Proizvodi se više od stotinu različitih vrsta profila kao i tisuće prilagodljivih spojnih elemenata i dodataka, a ovisno o zahtjevima i krajnjoj upotrebi. Najviše se koriste aluminijski profili u obliku šupljih kvadratnih profila, ali postoje i mnogi drugi presjeci profila poput trokutastih, L-profila, s radijusom na jednom rubu itd. Profili se koriste u automobilskoj industriji, u izradi sigurnosne opreme, u logistici, automatizaciji, elektronici, za izradu konstrukcija štandova i sl. [16]

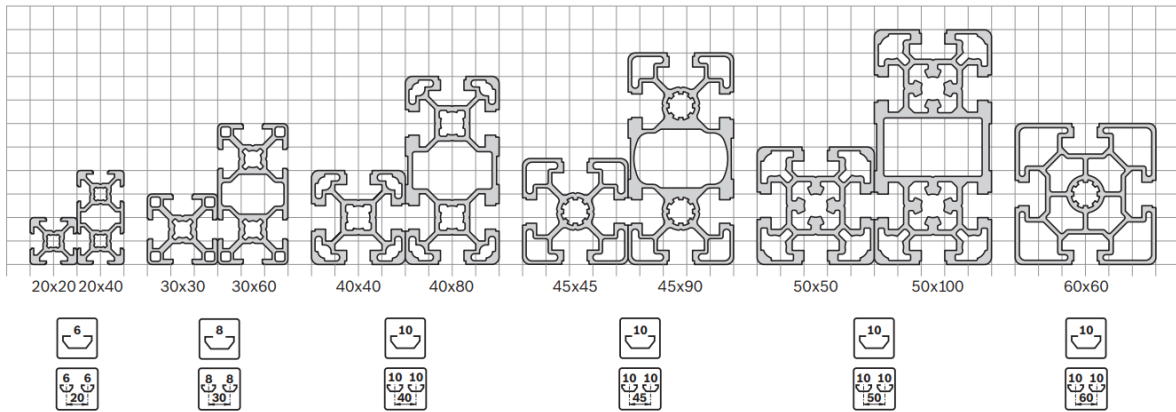


Slika 4.8 Primjer upotrebe strukturnih aluminijskih profila



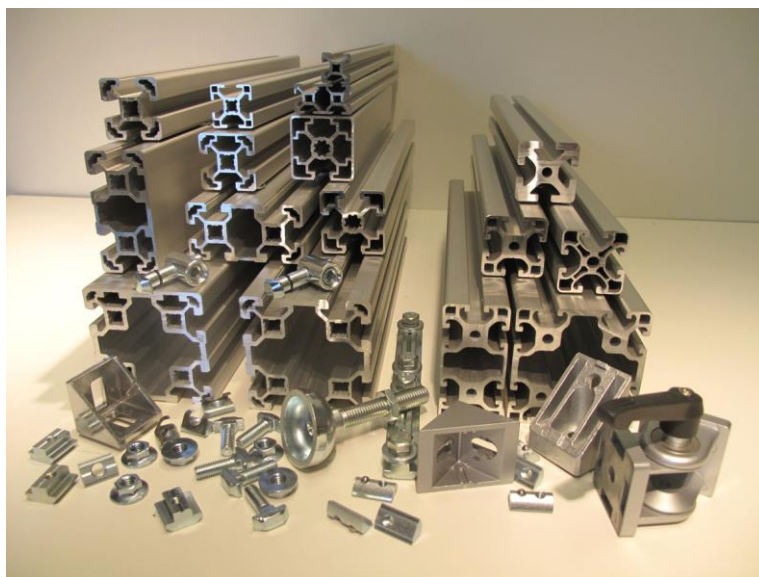
Slika 4.9 Primjer upotrebe strukturnih aluminijskih profila u proizvodnom pogonu

Najviše korišteni strukturni profili su kvadratni i pravokutni profili s T-utorom dimenzija od 20 do 60 mm, dok su utori širine od 6 do 10 mm. Na slici 4.10 su prikazani poprečni presjeci najviše korištenih profila i dimenzije utora. Profili mogu imati utor s jedne, dvije, tri ili na sve četiri strane, ovisno o primjeni [16]



Slika 4.10 Kvadratni i pravokutni strukturni profili

Svi profili su kompatibilni i mogu se spajati jedni s drugima. Za spajanje se koriste razni T-vijci, samourezni vijci, T-matice, nazubljene matice, podloške, kutni spojevi, poklopci za kutne spojeve, zglobovi itd. Također se mogu ugraditi i poklopci za profile, noge, kotači, ručke, senzori, vodilice itd.



Slika 4.11 Strukturni profili i dodatci za spajanje

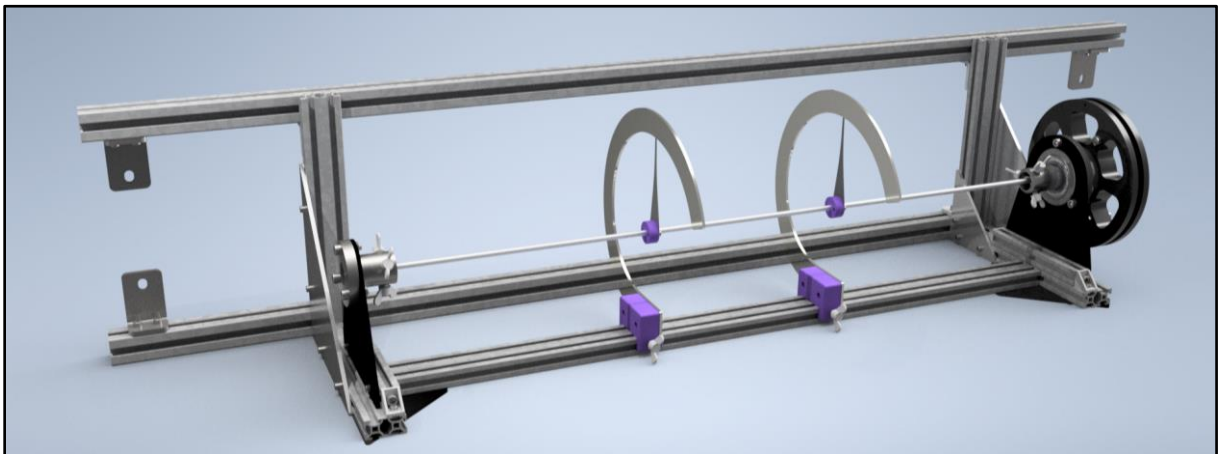
4.5. Konstruiranje naprave pomoću računala

Nakon što je odabrana najbolja varijanta naprave, bilo je potrebno detaljnije razraditi idejni crtež. Za izradu 3D modela i sklopnog nacrtu korišteni je računalni softver Autodesk Inventor Professional 2019. Autodesk Inventor je CAD (Computer-aided design, oblikovanje pomoću računala) softver koji se koristi za 3D modeliranje, simulaciju, vizualizaciju i dokumentaciju. Modeliranje pomoću CAD softvera ima mnogo prednosti pred tradicionalnim metodama crtanja nacrtu pomoću ravnala, šestara i ostalih pomagala. Modeli se mogu prepravljati vrlo lako, detalji na modelu se mogu pregledavati uz opciju približavanja i rotiranja po bilo kojoj osi, moguće je napraviti presjek modela koji otkriva unutarnje šupljine koje se ne bi mogle vidjeti, generiranje radioničkih crteža iz 3D modela je vrlo lako i brzo.

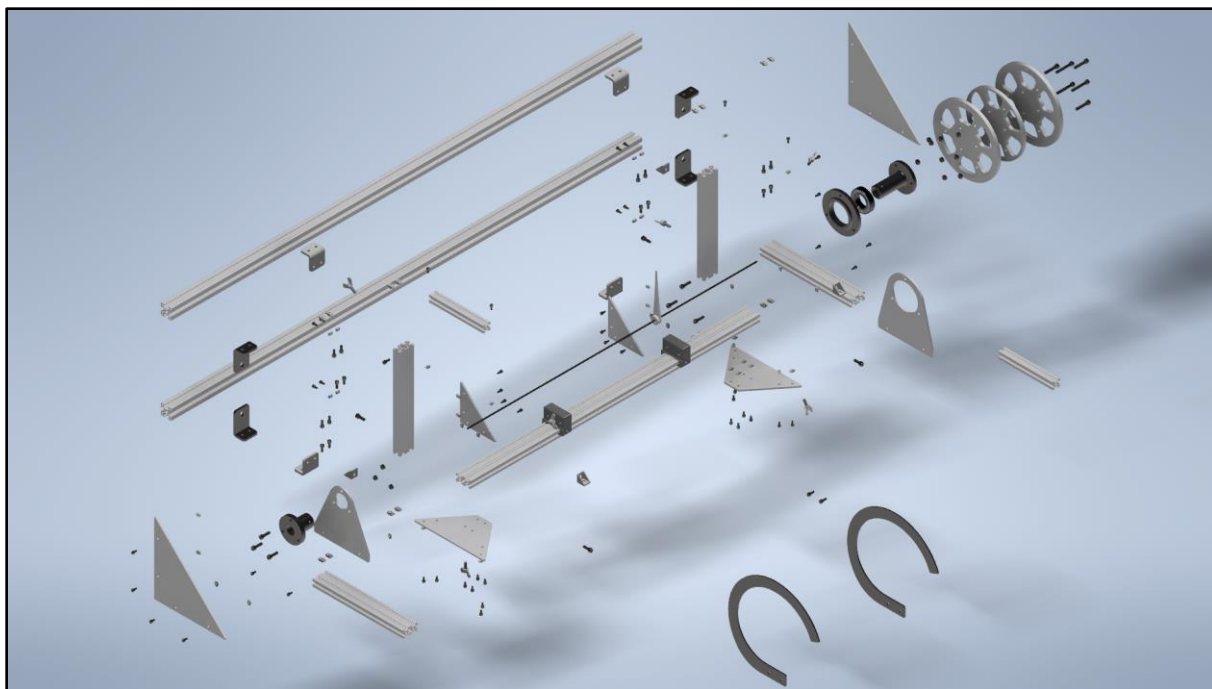
Proces izrade sklopnog nacrtu naprave za uvijanje bio je sljedeći:

1. 3D modeliranje dijelova naprave u modulu Sheet metal i Standard programa Autodesk Inventor 2019
2. Preuzimanje gotovih 3D modela aluminijskih profila i spojnih elemenata koje stavlja na raspolaganje proizvođač.
3. Spajanje svih 3D modela naprave i preuzimanje modela vijaka i matica iz Autodeskove ugrađene biblioteke u modulu Assembly.

Nakon izrade sklopnog nacrtu sa slike 4.12 trebalo je predvidjeti sve moguće nedostatke i nepravilnosti do kojih bi moglo doći prilikom procesa izrade i montaže naprave. Na slici 4.13 su prikazani svi dijelovi kao uputa za montažu.



Slika 4.12 Vizualizacija gotovog sklopa



Slika 4.13 Prikaz svih dijelova sklopnog nacrt

4.6. Tehnološka priprema prije izrade

Prije početka same proizvodnje potrebno je obaviti tehnološku pripremu koja se koristi i usavršava tijekom proizvodnje. Pošto se tehnološka priprema proizvodnje provodi jednom, a koristi se kroz dulji vremenski period, može imati veliki utjecaj na rezultate proizvodnje i ekonomičnost pa se treba provesti vrlo kvalitetno i detaljno. Tehnološkom se pripremom određuje proizvodna oprema, materijali izrade, alati i pribor, vremena izrade, potrebna radna snaga i mnogi drugi podaci koji bi mogli posredno ili neposredno utjecati na ekonomičnost i efikasnost proizvodnje.

U tablici 4.3 su prikazani alati i strojevi, operacije i potrebna vremena za obavljanje pojedine operacije.

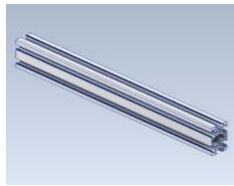
Tablica 4.3 Popis svih operacija

Naziv alata/stroja	Operacija br.	Naziv operacije	Vrijeme
Tračna pila	10	Rezanje na potrebnu dužinu	20 min
CNC laser	20	Rezanje pozicija prema nacrtima	20 min
Hidraulična preša	30	Kutno savijanje	15 min
Tokarilica	40	Tokarenje pozicija	60 min
Stupna bušilica	50	Bušenje provrta nakon tokarenja	20 min
Ručna ureznica	60	Urezivanje navoja	10 min
Dvostrana brusilica	70	Skidanje oštih bridova na pozicijama	15 min
3D printer	80	3D printanje pozicija	80 min
Lemilica	90	Utiskivanje matica	10 min
Imbus ključevi	100	Montaža	30 min
		UKUPNO	280 min

4.6.1. Redosljed operacija



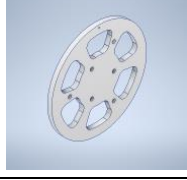
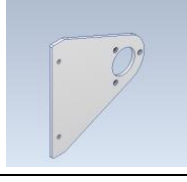
Pozicije su podijeljene prema vrsti obrade, odnosno prema stroju na kojem se obrađuju i alatu koji se koristi prilikom obrade. U tablici 4.4 su navedene sve pozicije koje se režu na tračnoj pili, u tablici 4.5 su sve pozicije koje se režu na CNC laseru, a na poziciji broj 2.1 izvršeno je i graviranje također na CNC laseru. U tablici 4.6 su pozicije koje se tokare.


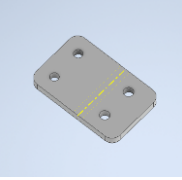

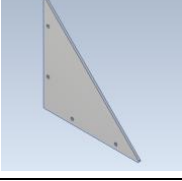
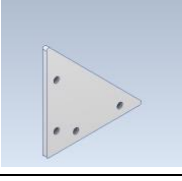
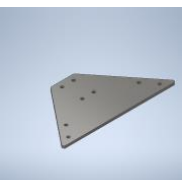



Tablica 4.4 Pozicije koje se režu na tračnoj pili


Broj pozicije	Naziv pozicije	3D prikaz	Količina
1.1	20x40_L250		4

1.2	20x20_L800		2
1.3	20x20_L 150		2
1.4	30x30_L1300		2


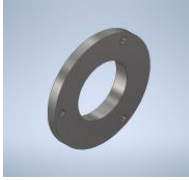

Tablica 4.5 Pozicije koje se režu na CNC laseru

Broj pozicije	Naziv pozicije	3D prikaz	Količina
2.1	Kutomjer		2
2.2	Kotač 1		2
2.3	Kotač 2		1
2.4	Lijevo nosač prihvaća		1

2.5	Desni nosač prihvata		1
2.6	Stražnji kutni nosač		4
2.7	Glavni vanjski nosač		4
2.8	Veliki trokut		2
2.9	Mali trokut		2
2.10	Donji nosač		2
2.11	Kazaljka fi6		2
2.12	Kazaljka fi9		2
2.13	Kazaljka fi13		2

2.14	Kazaljka fi16		2
------	---------------	--	---

Tablica 4.6 Pozicije koje se tokare

Broj pozicije	Naziv pozicije	3D prikaz	Količina
3.1	Lijevi prihvat		1
3.2	Nosač ležaja		1
3.3	Desni prihvat		1

4.6.2. Nabava materijala

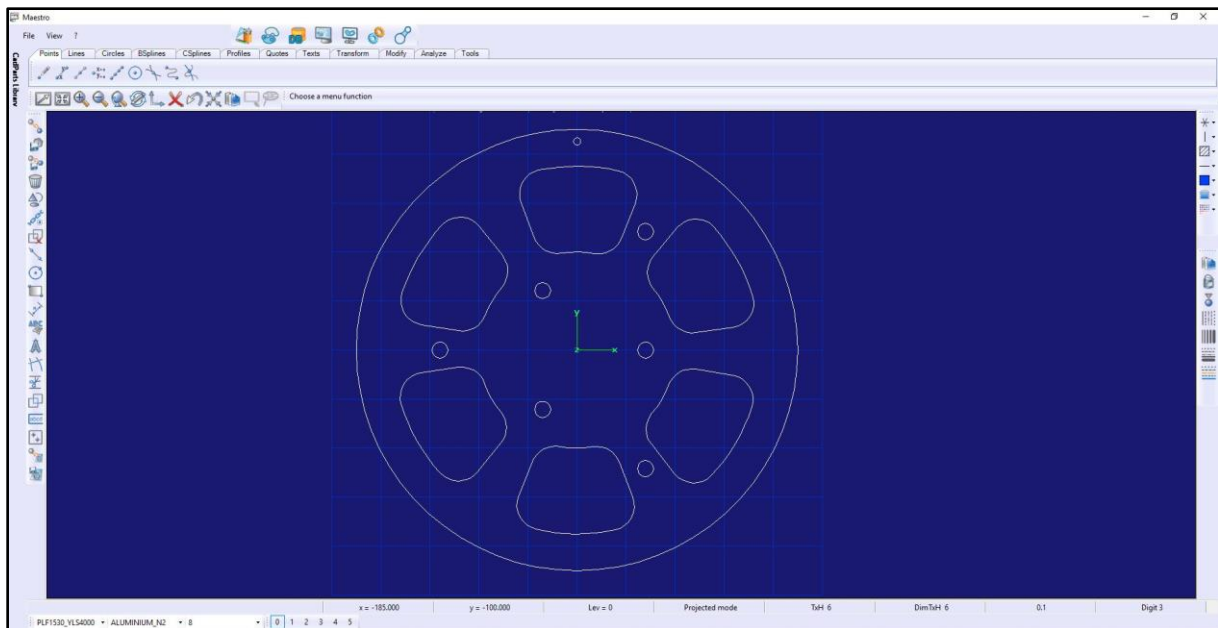
Prije početka izrade dijelova potrebno je nabaviti sirovi materijal koji će se obrađivati. Vrsta materijala određena je prilikom konstrukcije naprave. Svi dijelovi koji nisu kupljeni izrađeni su u tvrtki Obrada limova Premuš d.o.o., gdje je na skladištu bilo dovoljno materijala te nije bilo potrebe za dodatnom nabavom. Ekstrudirani aluminijski profili i spojni elementi kupljeni su na internetskog trgovini „Motedis“, vijci, matice i ostali spojni elementi kupljeni su u trgovini „Helcos“ u Čakovcu dok je ležaj kupljeni u trgovini „Expino“ u Čakovcu. U tablici 4.7 su dati svi polazni materijali i kupljeni dijelovi.

Tablica 4.7 Popis nabavljenog materijala i dijelova

Naziv	Oznaka	Dimenzije	Količina
Aluminijski profil 20×20	20×20 B-Type slot 6	950 mm	2 kom.
Aluminijski profil 20×40	20×40 B-Type slot 6	1000 mm	1 kom.
Aluminijski profil 30×30	30×30 B-Type slot 8	1300 mm	2 kom.
Aluminijski lim	EN-5083 H111	400×400×4 mm	1 kom.
Aluminijski lim	EN-5083 H111	320×320×8 mm	2 kom.
Nehrđajući čelični lim	EN 1.4301	200×200×5 mm	1 kom.
Nehrđajući čelični lim	EN 1.4301	500×400×2,5 mm	1 kom.
Nehrđajući čelični lim	EN 1.4301	300×300×1 mm	1 kom.
Okrugla čelična šipka	EN 1.7227	Ø110×150 mm	1 kom.
Matica za profil 20×20	T-nut B-type slot-6 M4	M4	48 kom.
Matica za profil 30×30	T-nut B-type slot-8 M5	M5	16 kom.
Kutnik 20×20	20×20 B-type slot 6	20×20 mm	4 kom.
Vijak ručka	DIN 6336 M6×25	M6×25 mm	6 kom.
Imbus vijak	DIN 912 M6×30	M6×30 mm	7 kom.
Imbus vijak	DIN 912 M6×20	M6×20 mm	6 kom.
Imbus vijak	DIN 912 M6×40	M6×40 mm	3 kom.
Sigurnosna matica	DIN 985 M6	M6	12 kom.
PLA polimerni filament	-	-	180 g
Utisna matica	-	M6×9 mm	12 kom.
Radijalni ležaj	60006-ZZ	30×55×13 mm	1 kom.

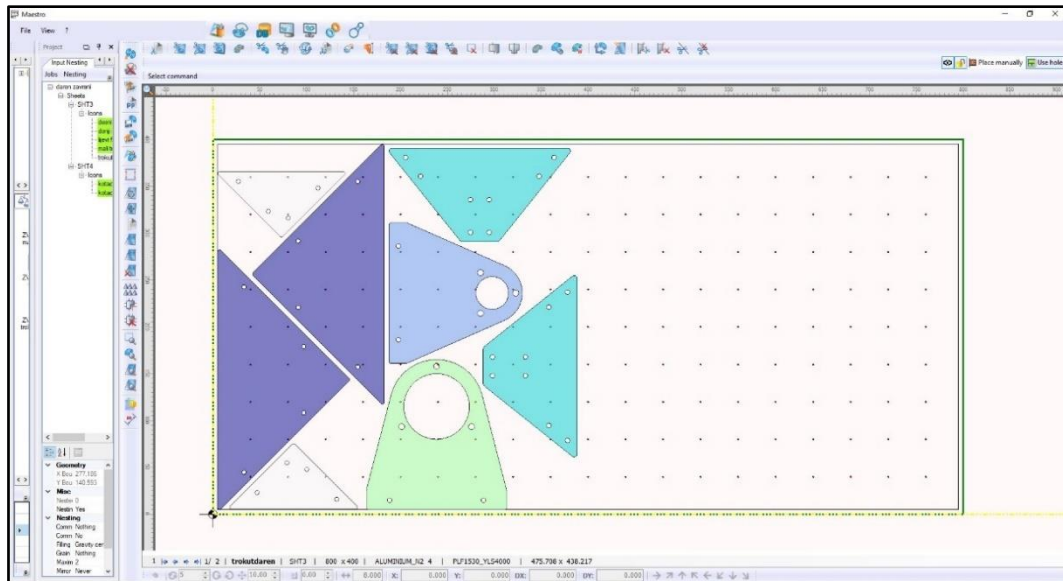
4.6.3. Priprema potrebnih programa

Za rezanje na CNC laseru potreban je program koji se izrađuje u programu *Maestro Libellula*, CAD/CAM program koji omogućuje 2D crtanje i programiranje rezanja na laseru Platino Fiber 1530. Nacrti u „.dxf“ formatu generirani su iz 3D modela u programu *Autodesk Inventor* pa nije potrebno raditi posebne 2D nacрте te se nacрти samo uvezu u program *Maestro Libellula* u CAD modulu programa. Nakon toga potrebno je odabrati željeni materijal i spremiti svaku poziciju zasebno.

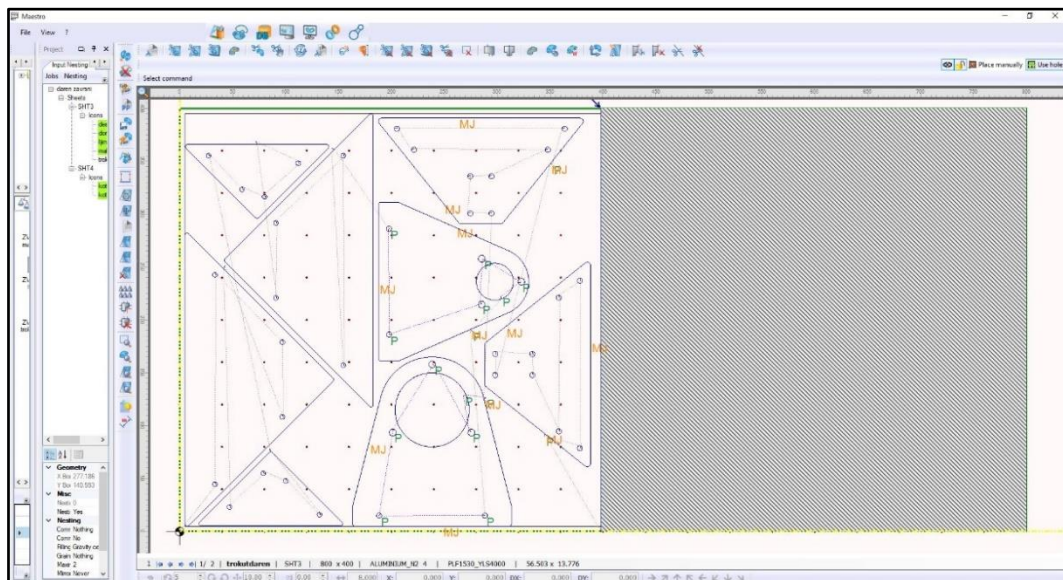


Slika 4.14 CAD modul programa Maestro Libellula

U CAM (*Computer Aided Machining*) modulu programa, modulu za proizvodnju pomoću računala, upisuju se dimenzije ploča iz kojih će se rezati pozicije za svaki materijal, upiše se potrebna količina i program automatski razmješta pozicije na ploče na način da se iskoristi čim više materijala, odnosno da bude što manje otpada. Nakon razmještanja pozicija moguće je automatski generirati program za rezanje ili raditi program ručno. U ovom slučaju program se radi automatski zbog male količine pozicija. Na slici 4.15 su prikazane pozicije razmještene po pločama, a na slici 4.16 je prikazana putanja glave lasera nakon generiranja programa. Pokreće se simulacija rezanja koja daje vrijeme rezanja svake ploče posebno, a koje se koristi kod planiranja tehnološke pripreme proizvodnje. Generirani programi se spremaju i prebacuju na laser te se generira plan rezanja i lista svih pozicija.



Slika 4.15 Razmještaj pozicija na ploči



Slika 4.16 Putanja glave lasera

4.7. Izrada dijelova i montaža

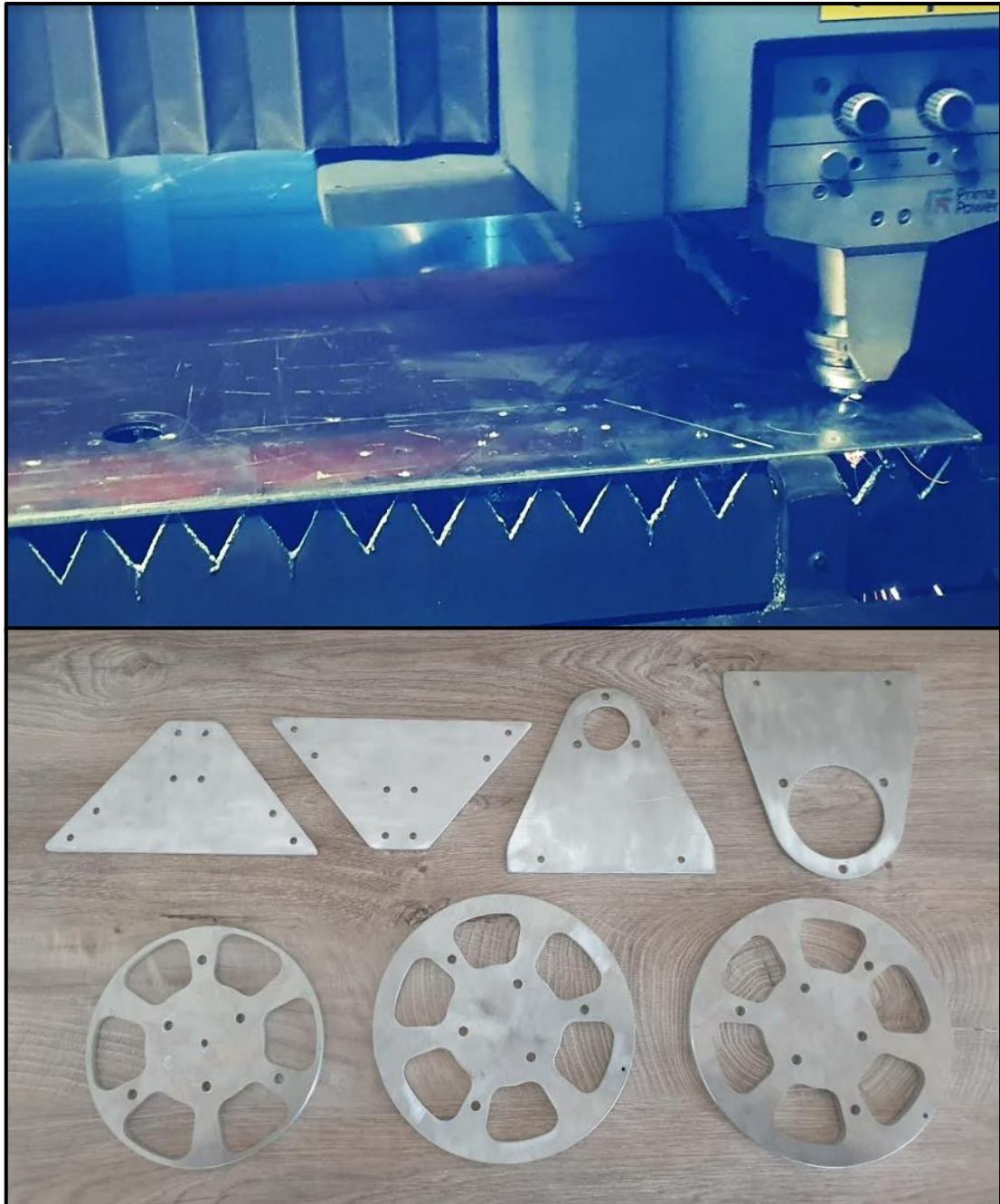
U nastavku su navedene i prikazane fotografijama sve pozicije i postupci obrade.

1. Rezanje aluminijskih profila iz tablice 4.4 na potrebne dimenzije prema nacrtima na tračnoj pili „Thomas Zip 28“.



Slika 4.17 Rezanje aluminijских profila

2. Lasersko rezanje dijelova dušikom na stroju „Prima Power Platino fiber 1530“ iz aluminijских limova debljine 4 i 8 mm te iz nehrđajućeg čelika debljine 2,5 i 5 mm. Lasersko su rezane sve pozicije iz tablice 4.5.



Slika 4.18 Rezanje na laseru i izrezane aluminijske pozicije

3. Kutno savijanje pozicija na hidrauličnoj preši „Darley EHP 80“ prema razvijenim nacrtima generiranim iz programa *Autodesk Inventor 2019*.



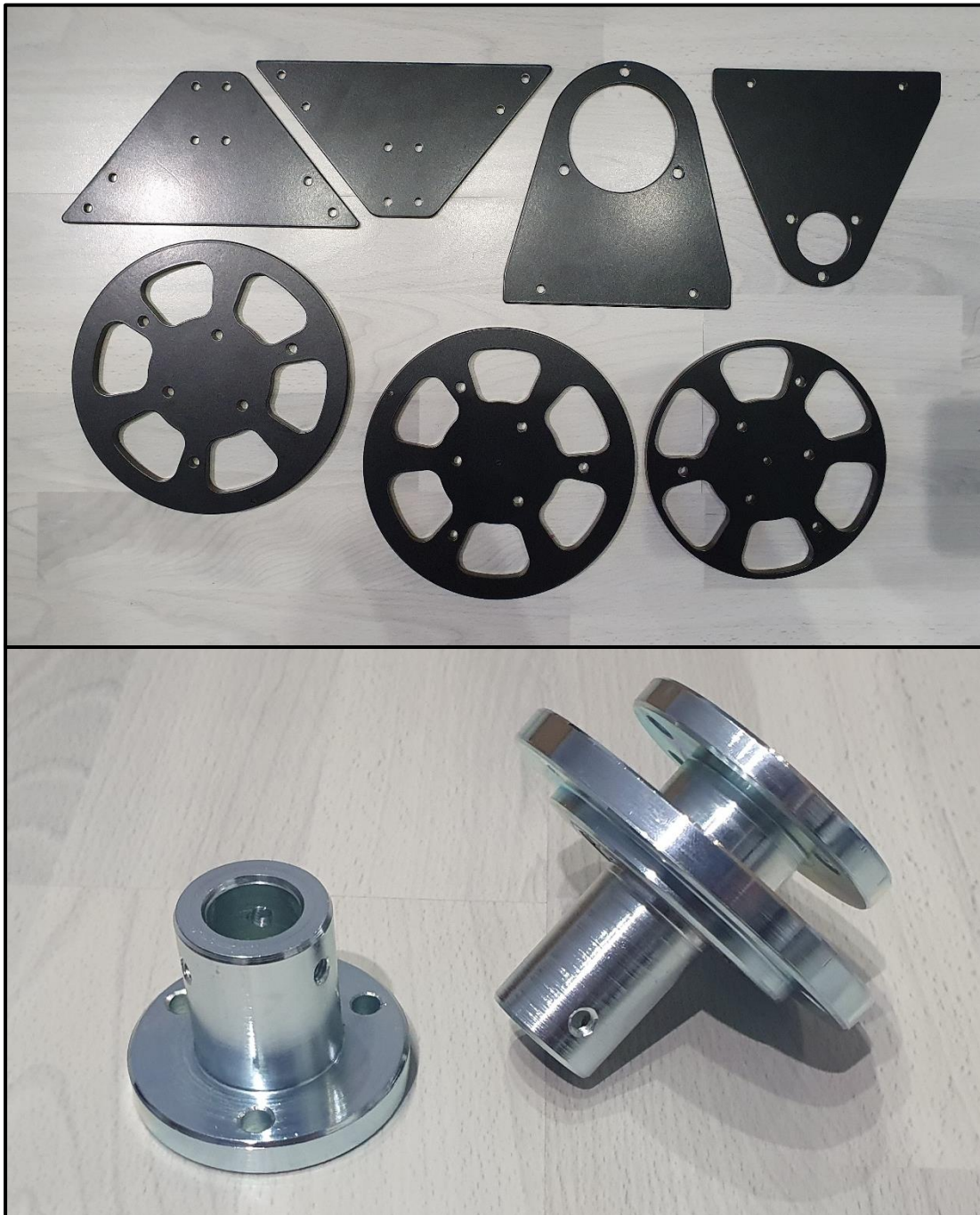
Slika 4.19 Kutno savijanje pozicija

4. Tokarenje dijelova na univerzalnoj tokarilici, bušenje rupa na stupnoj bušilici i urezivanje navoja ručnom ureznicom.



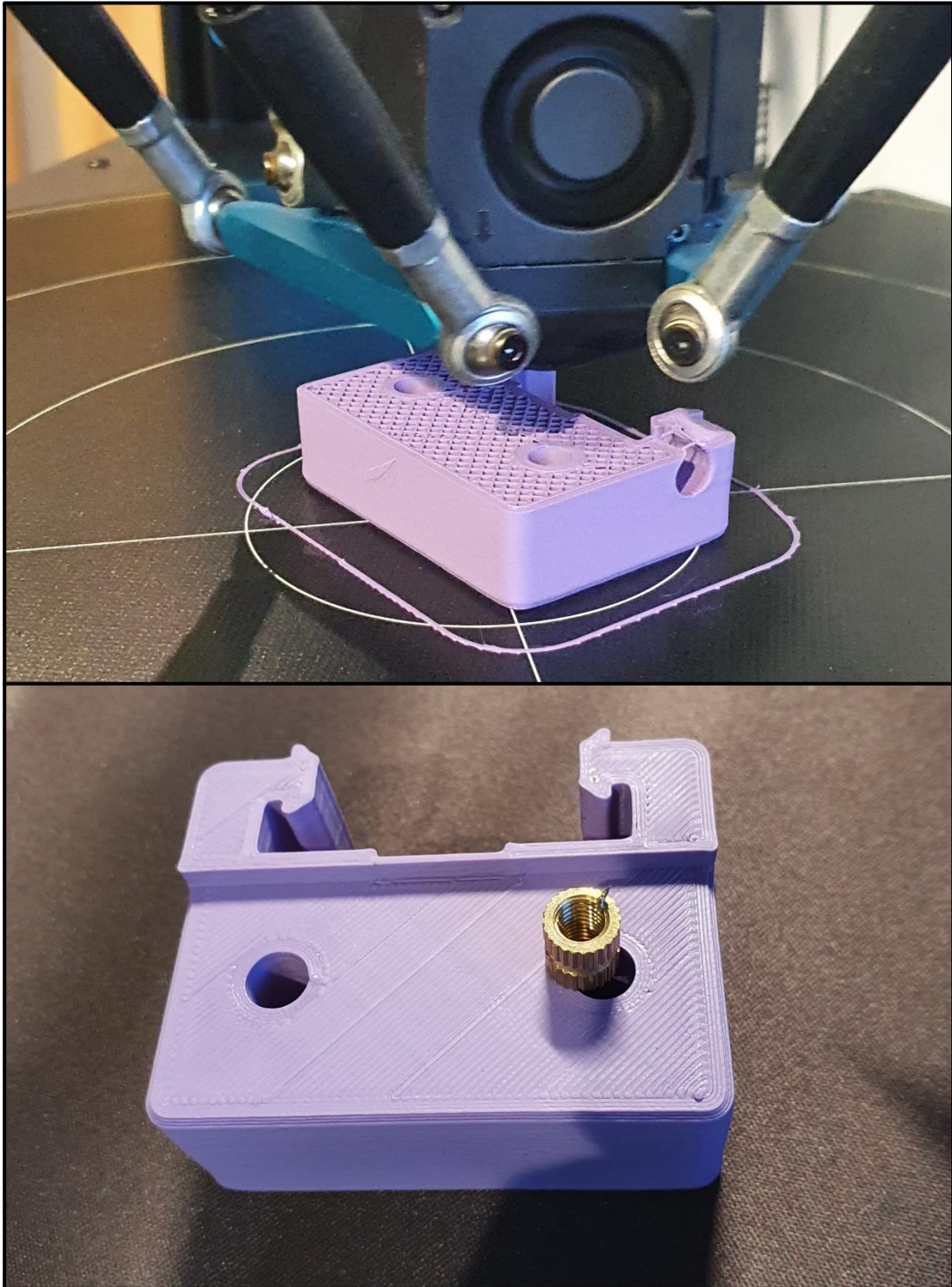
Slika 4.20 Dijelovi nakon tokarenja

5. Skidanje oštih bridova na dijelovima rezanim na laseru i na aluminijskim profilima rezanim na tračnoj pili. Nakon skidanja oštih bridova, na aluminijskim dijelovima koji su najviše izloženi uslužno je obavljena elektrostatska plastifikacija u strojobraverskom obrtu „Kolar“, a na tokarenim dijelovima na kojima bi moglo doći do korozije zbog vanjskih utjecaja obavljeni je postupak galvanizacijskog cinčanja, uslužno, u tvrtki „Promming d.o.o.“. Na kraju je radijalni ležaj utisnut na odgovarajuće mjesto.



Slika 4.21 Plastificirani i pocinčani dijelovi

6. Printanje dijelova na 3D printeru „Anycubic Predator“ iz polimernog materijala PLA (*Polylactic acid*). U isprintane dijelove utisnite su specijalne matice od mesinga na način da se pomoću lemilice matica ugrijala i kada je dosegla potrebnu temperaturu na kojoj polimerni materijal omekša matica se utisnula u rupu.

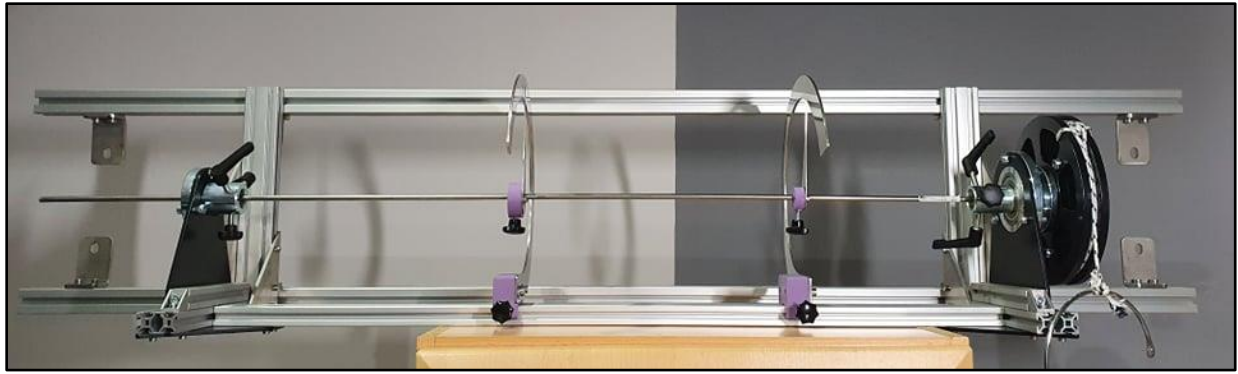


Slika 4.22 Printanje na 3D printeru i utiskivanje matice

7. Nakon izrade svih dijelova obavljani je postupak montaže pomoću vijaka i matica te ostalih spojnih elemenata.



Slika 4.23 Proces montaže



Slika 4.24 Dovršena naprava

5. Proračun uvijanja

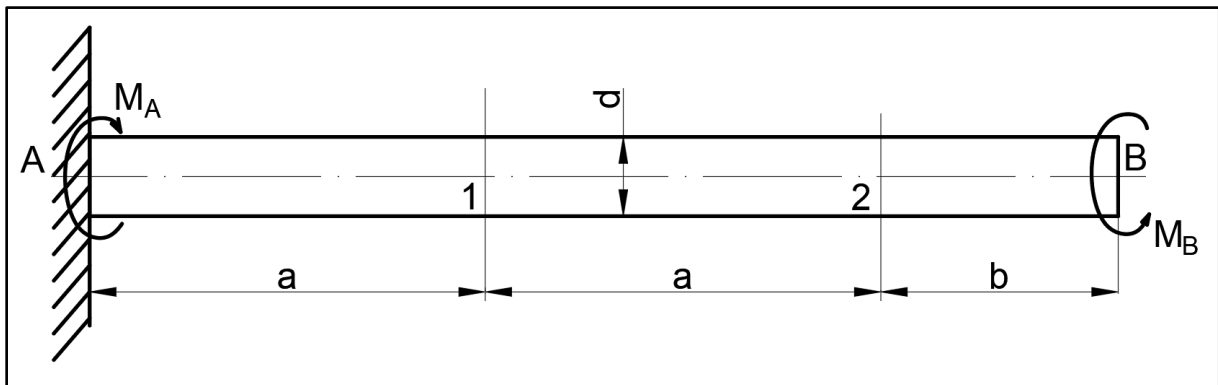
Proračun uvijanja rađen je na računalnom programu „*Mathcad 15*“ za situaciju uvijanja kakva je na napravi za testiranje uvijanja. Proračunato je uvijanje na jednom punom i jednom šupljem profilu kružnog poprečnog presjeka konstantnog promjera duljine 780 mm, profil je ukliješten s jedne strane, dok na drugoj strani djeluje moment uvijanja. Za iste je profile napravljeno testiranje na izrađenoj napravi te su uspoređeni rezultati, a u programu *Autodesk Inventor 2019* napravljena je analiza naprezanja te su dobiveni teoretski rezultati.

5.1. Puni okrugli aluminijski profil

Zadatak 5.1. :

Ispitni profil od aluminijske legure ukliješten je u točki A, dok u točki B djeluje moment M_B , prema slici 5.1. Potrebno je izračunati kut uvijanja u presjecima 1 i 2 te u točki B. Zadano je:

$$E = 70 \text{ GPa}, \nu = 0,35, M_B = 1,6 \text{ Nm}, a = 300 \text{ mm}, b = 180 \text{ mm}, d = 6 \text{ mm}.$$



Slika 5.1 Prikaz zadanog profila za zadatak 5.1.

5.1.1. Proračun u Mathcadu

$$M_B := 1.6 \cdot \text{Nm}$$

$$E := 70 \cdot \text{GPa} \quad \nu := 0.35 \quad G := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$a := 300 \cdot \text{mm}$$

$$b := 180 \text{mm}$$

$$d := 6 \cdot \text{mm}$$

$$M_A := M_B$$

$$I_{p1} := \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

$$\alpha_A = 0$$

$$I_{p1} = 0.013 \cdot \text{cm}^4$$

$$M_1(x) := M_A \quad \theta_1(x) := \frac{M_1(x)}{G \cdot I_{p1}} \quad \alpha_1(x) := \frac{M_1(x) \cdot x}{G \cdot I_{p1}}$$

$$M_2(x) := M_A \quad \theta_2(x) := \frac{M_2(x)}{G \cdot I_{p1}} \quad \alpha_2(x) := \frac{M_1(a) \cdot a}{G \cdot I_{p1}} + \frac{M_2(x) \cdot x}{G \cdot I_{p1}}$$

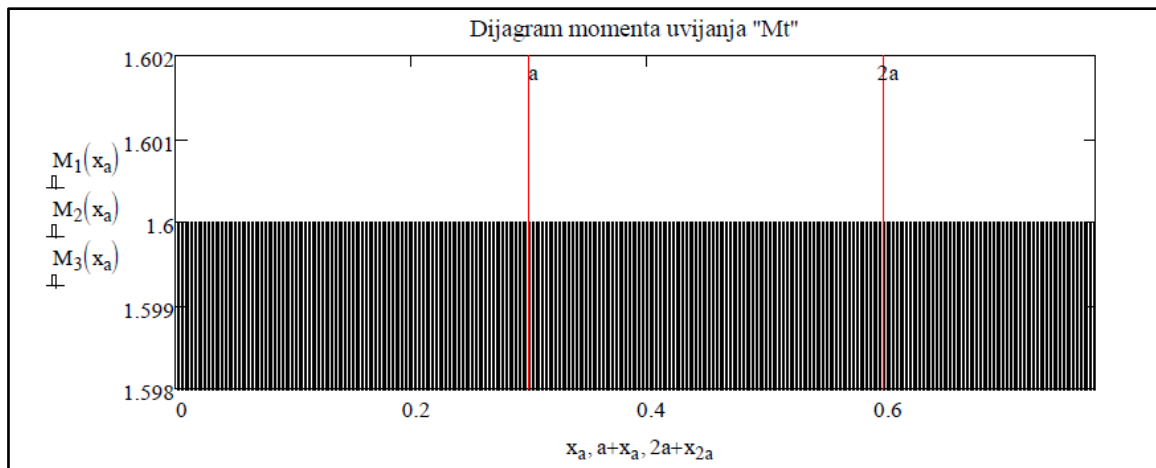
$$M_3(x) := M_A \quad \theta_3(x) := \frac{M_3(x)}{G \cdot I_{p1}} \quad \alpha_3(x) := \frac{M_1(a) \cdot a}{G \cdot I_{p1}} + \frac{M_2(a) \cdot a}{G \cdot I_{p1}} + \frac{M_3(x) \cdot x}{G \cdot I_{p1}}$$

$$\begin{pmatrix} M_1(0.5a) \\ M_2(0.5a) \\ M_3(b) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.6 \\ 1.6 \\ 1.6 \end{pmatrix} \cdot \text{Nm} \quad \begin{pmatrix} \theta_1(a) \\ \theta_2(2 \cdot a) \\ \theta_3(b) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 27.791 \\ 27.791 \\ 27.791 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{deg}}{\text{m}}$$

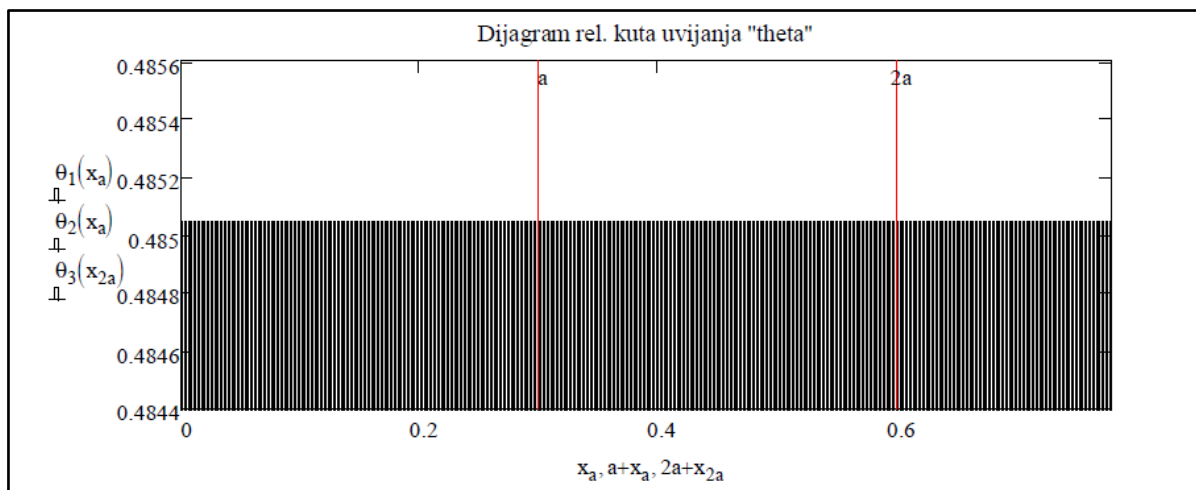
$$\tau_{1\max} := \frac{M_1(a)}{I_{p1}} \cdot \frac{d}{2} \quad \tau_{2\max} := \frac{M_2(2 \cdot a)}{I_{p1}} \cdot \frac{d}{2} \quad \tau_{3\max} := \frac{M_3(b)}{I_{p1}} \cdot \frac{d}{2}$$

$$\tau_{1\max} = 37.726 \cdot \text{MPa} \quad \tau_{2\max} = 37.726 \cdot \text{MPa} \quad \tau_{3\max} = 37.726 \cdot \text{MPa}$$

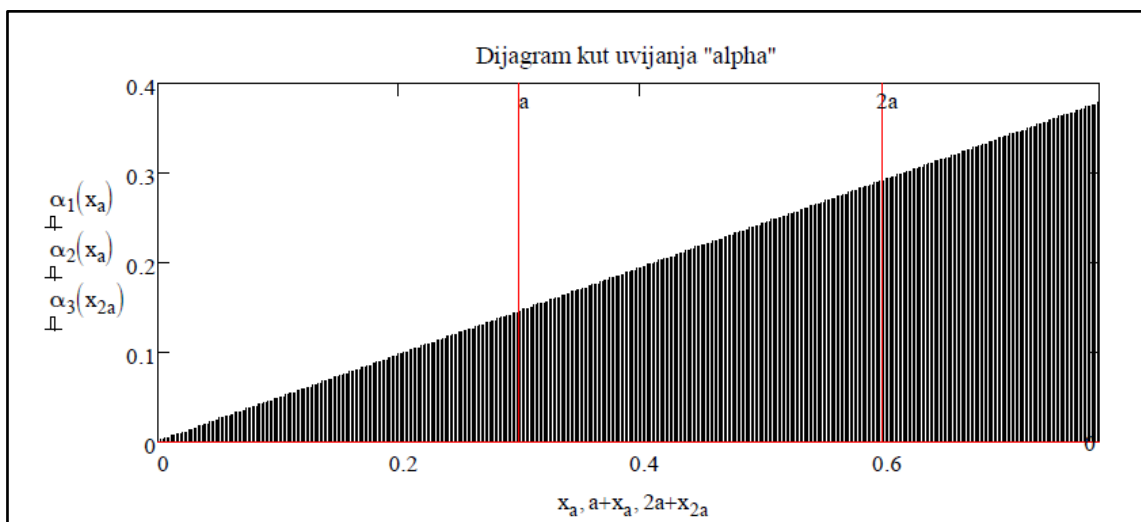
$$\alpha_1(a) = 8.337 \cdot \text{deg} \quad \alpha_2(a) = 16.675 \cdot \text{deg} \quad \alpha_3(b) = 21.677 \cdot \text{deg}$$



Slika 5.2 Dijagram momenta uvijanja za zadatak 5.1.



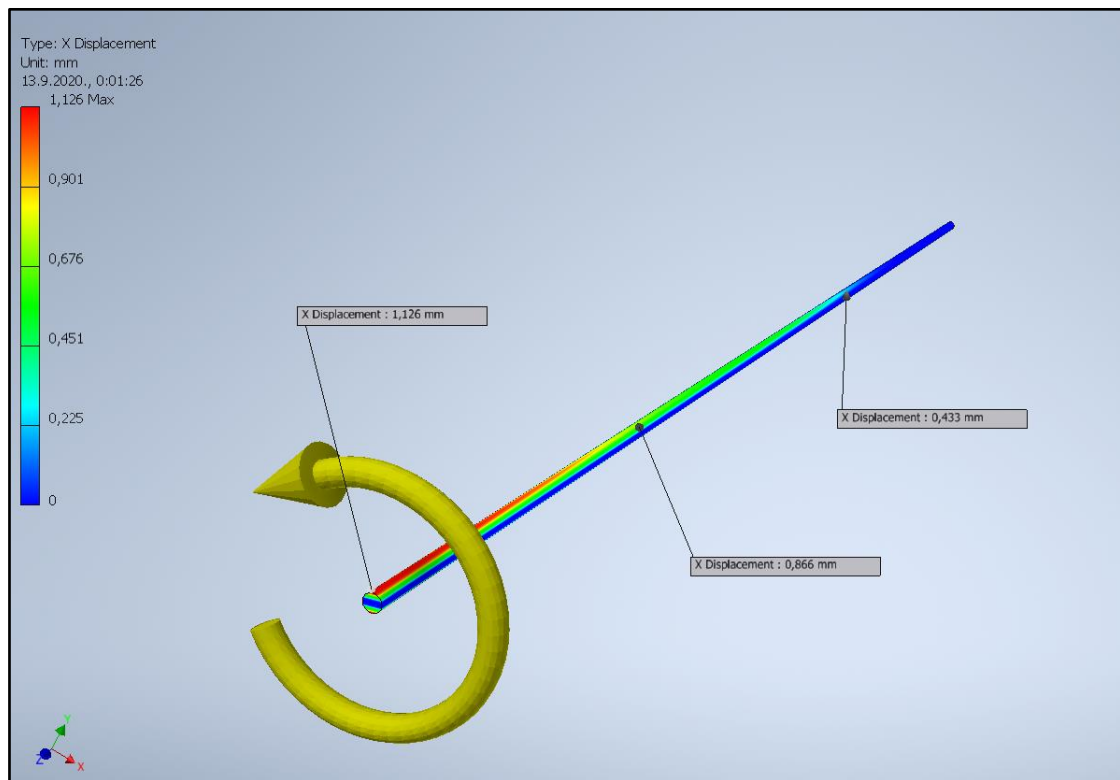
Slika 5.3 Dijagram relativnog kuta uvijanja za zadatak 5.1.



Slika 5.4 Dijagram kuta uvijanja za zadatak 5.1.

5.1.2. Analiza uvijanja u Autodesk Inventoru

Analizirat će se kutovi uvijanja i najveća naprežanja u presjecima za leguru aluminija 6061. *Autodesk Inventor* baziran je na Kartezijevom koordinatnom sustavu pa će se komponente deformacije trebati pretvoriti u polarni koordinatni sustav kako bi se dobili kutovi uvijanja. Promatrat će se pomak po x osi na presjecima 1 i 2 te u točki B prema slici 5.1.



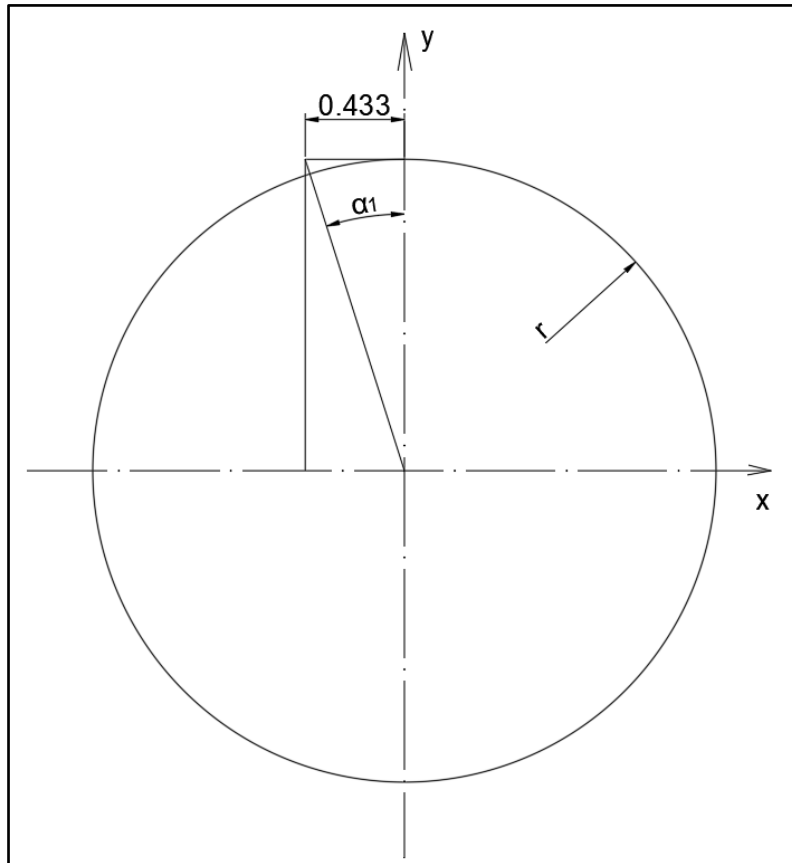
Slika 5.5 Pomak po x osi u presjecima za zadatak 5.1.

Dobiveni rezultati iz simulacije za pomake po x osi su:

$$x_1 = 0,433 \text{ mm} , x_2 = 0,866 \text{ mm} , x_3 = 1,126 \text{ mm}$$

Kutovi uvijanja dobe se rješavanjem pravokutnog trokuta kao sa slike 5.6 gdje je prikazani presjek 1.

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{x_1}{\frac{d}{2}} = \tan^{-1} \frac{x_1}{r} = \tan^{-1} \frac{0,433}{3} = 8,21^\circ$$



Slika 5.6 Pomak po x osi u presjeku 1

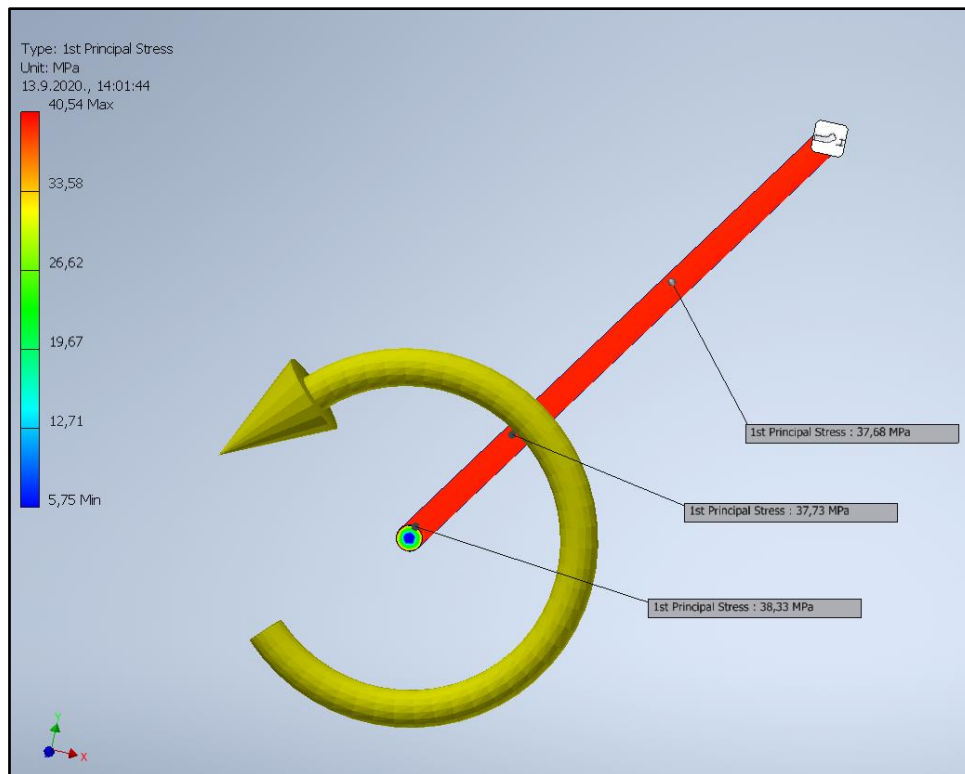
Na isti se način izračunaju preostala dva kuta uvijanja:

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \frac{x_2}{\frac{d}{2}} = \tan^{-1} \frac{x_2}{r} = \tan^{-1} \frac{0,866}{3} = 16,10^\circ$$

$$\alpha_3 = \tan^{-1} \frac{x_3}{\frac{d}{2}} = \tan^{-1} \frac{x_3}{r} = \tan^{-1} \frac{1,126}{3} = 20,57^\circ$$

Dobiveni rezultati za maksimalno tangencijalno naprezanje sa slike 5.7:

$$\tau_{1max} = 37,68 \text{ MPa} , \tau_{2max} = 37,73 \text{ MPa} , \tau_{3max} = 38,33 \text{ MPa}$$



Slika 5.7 Maksimalna tangencijalna naprežanja za zadatak 5.1.

5.1.3. Rezultati mjerenja

Mjerenje na napravi za test uvijanja izvodi se pomoću jedne nepomične stezne glave i jedne pomične. Na pomičnu steznu glavu ugrađen je kolotur promjera 160 mm na kojega se užetom pričvršćuje uteg neke određene mase te se na taj način dobije moment.

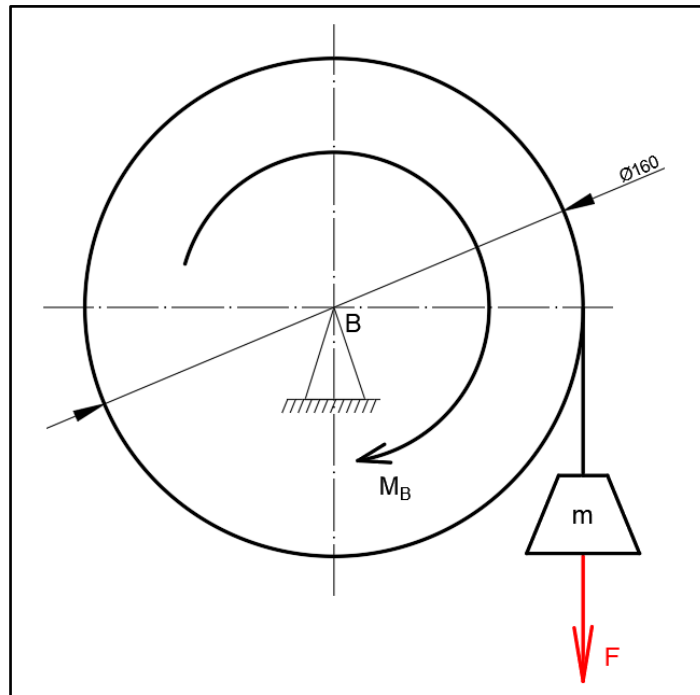
Najprije se testni profil, puni aluminijski profil promjera 6 mm i duljine 800 mm s umetnutim kazaljka, stavlja u stezne glave te se pomoću M6 vijaka s ručicom priteže na lijevoj i desnoj steznoj glavi. Oba se kutomjera postavljaju na zadane položaje, prvi kutomjer na 300 mm od uklještenja, a drugi na 600 mm od uklještenja, a kazaljke se postavljaju u položaj 0° i pričvrste se. Utteg mase 2 kg stavlja se na uže kolotura i izračuna se moment prema slici 5.8 na sljedeći način:

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$d = 160 \text{ mm}$$

$$F = m \cdot g = 2 \cdot 9,81 = 19,62 \text{ N}$$

$$M_B = F \cdot \frac{d}{2} = 19,62 \cdot \frac{160}{2} = 1569,6 \text{ Nmm} = 1,57 \text{ Nm} \approx 1,6 \text{ Nm}$$



Slika 5.8 Prikaz kolature i momenta u točki B

Rezultati mjerenja iščitavaju se na kutomjeru koji ima podjelu po $0,5^\circ$. Na presjeku 1 koji je na udaljenosti 300 mm od uklještenja očitani rezultat je $8,1^\circ$, dok je na presjeku 2 na udaljenosti 600 mm od uklještenja očitani rezultat $16,3^\circ$.



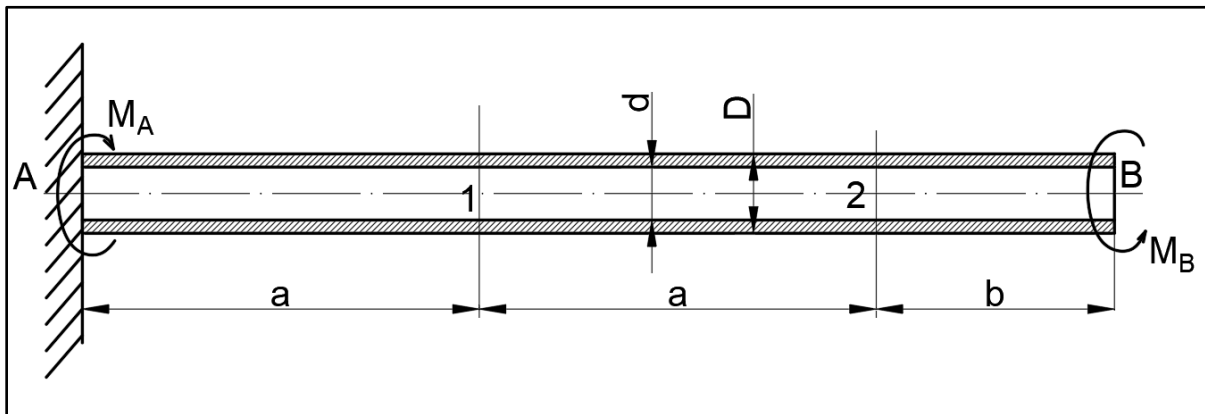
Slika 5.9 Očitavanje rezultata na presjeku 1

5.2. Šuplji okrugli aluminijski profil

Zadatak 5.2. :

Šuplji okrugli ispitni profil od aluminijske legure uklješten je u točki A, dok u točki B djeluje moment M_B , prema slici 5.10. Potrebno je izračunati kut uvijanja u presjecima 1 i 2 te u točki B. Zadano je:

$$E = 70 \text{ GPa}, \nu = 0,35, M_B = 1,6 \text{ Nm}, a = 300 \text{ mm}, b = 180 \text{ mm}, d = 8 \text{ mm}, D = 10 \text{ mm}$$



Slika 5.10 Prikaz ispitnog profila za zadatak 5.2

5.2.1. Proračun u Mathcadu

$$M_B := 2.4 \cdot \text{Nm}$$

$$E := 70 \cdot \text{GPa} \quad \nu := 0.35 \quad G := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$a := 300 \cdot \text{mm}$$

$$b := 180 \text{ mm}$$

$$d_1 := 8 \cdot \text{mm}$$

$$d_2 := 10 \text{ mm}$$

$$k := \frac{d_1}{d_2}$$

$$G = 2.593 \times 10^{10} \text{ Pa}$$

$$M_A := M_B$$

$$\alpha_A = 0$$

$$I_{p1} := \frac{\pi \cdot d_2^4 \cdot (1 - k^4)}{32}$$

$$I_{p1} = 5.796 \times 10^{-10} \cdot \text{m}^4$$

$$M_1(x) := M_A$$

$$\theta_1(x) := \frac{M_1(x)}{G \cdot I_{p1}}$$

$$\alpha_1(x) := \frac{M_1(x) \cdot x}{G \cdot I_{p1}}$$

$$M_2(x) := M_A$$

$$\theta_2(x) := \frac{M_2(x)}{G \cdot I_{p1}}$$

$$\alpha_2(x) := \frac{M_1(a) \cdot a}{G \cdot I_{p1}} + \frac{M_2(x) \cdot x}{G \cdot I_{p1}}$$

$$M_3(x) := M_A$$

$$\theta_3(x) := \frac{M_3(x)}{G \cdot I_{p1}}$$

$$\alpha_3(x) := \frac{M_1(a) \cdot a}{G \cdot I_{p1}} + \frac{M_2(a) \cdot a}{G \cdot I_{p1}} + \frac{M_3(x) \cdot x}{G \cdot I_{p1}}$$

$$\begin{pmatrix} M_1(0.5a) \\ M_2(0.5a) \\ M_3(b) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.4 \\ 2.4 \\ 2.4 \end{pmatrix} \cdot \text{Nm}$$

$$\begin{pmatrix} \theta_1(a) \\ \theta_2(2 \cdot a) \\ \theta_3(b) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 9.151 \\ 9.151 \\ 9.151 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{deg}}{\text{m}}$$

$$\tau_{1\max} := \frac{M_1(a)}{I_{p1}} \cdot \frac{d_2}{2}$$

$$\tau_{2\max} := \frac{M_2(2 \cdot a)}{I_{p1}} \cdot \frac{d_2}{2}$$

$$\tau_{3\max} := \frac{M_3(b)}{I_{p1}} \cdot \frac{d_2}{2}$$

$$\tau_{1\max} = 20.703 \cdot \text{MPa}$$

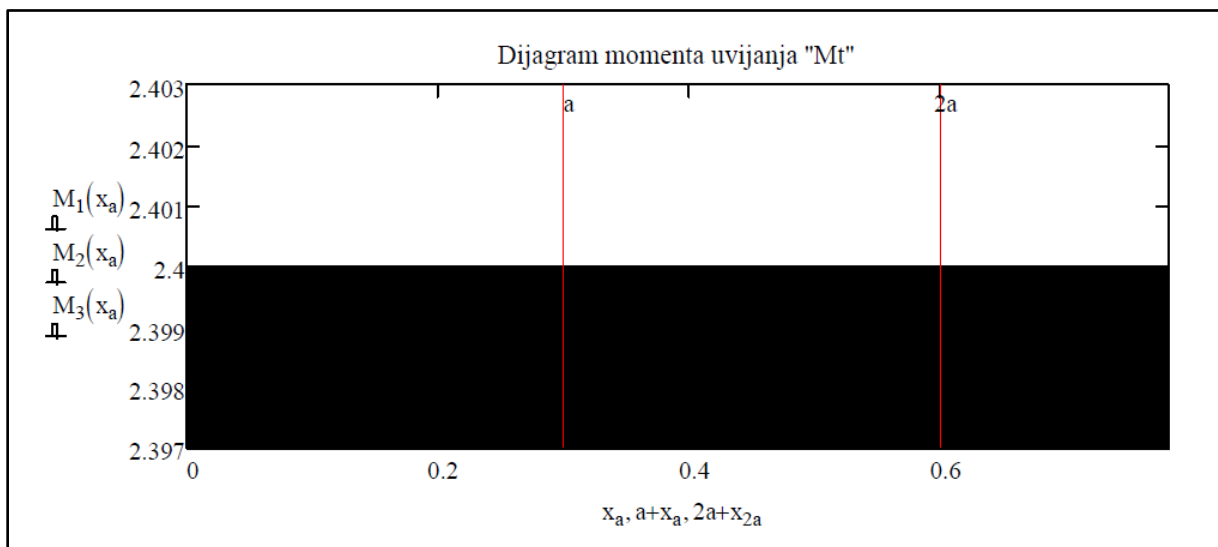
$$\tau_{2\max} = 20.703 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{3\max} = 20.703 \cdot \text{MPa}$$

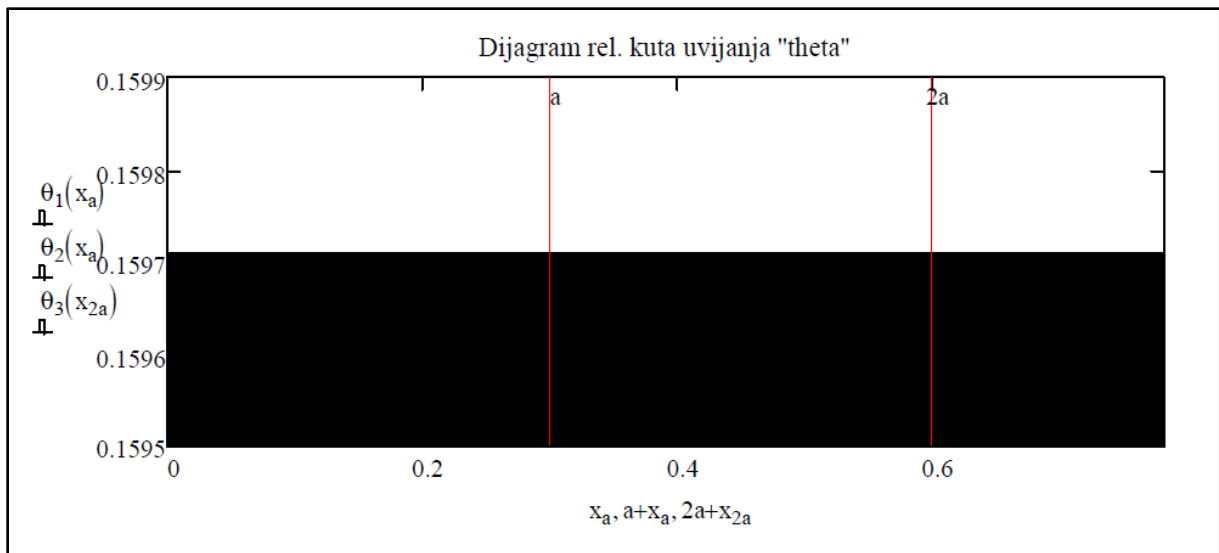
$$\alpha_1(a) = 2.745 \cdot \text{deg}$$

$$\alpha_2(a) = 5.49 \cdot \text{deg}$$

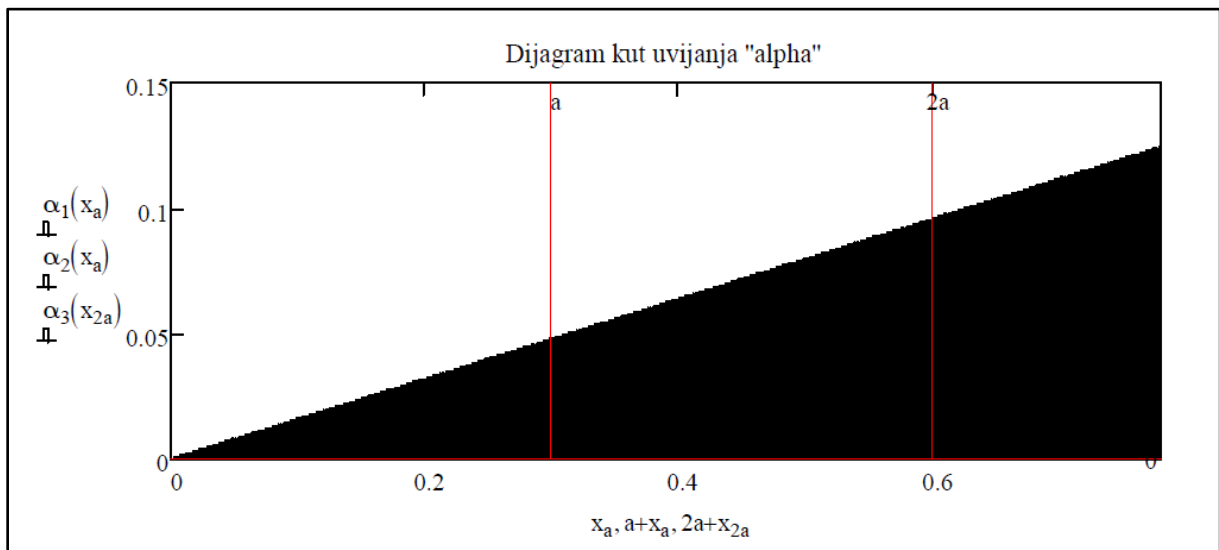
$$\alpha_3(b) = 7.138 \cdot \text{deg}$$



Slika 5.11 Dijagram momenta uvijanja za zadatak 5.2.

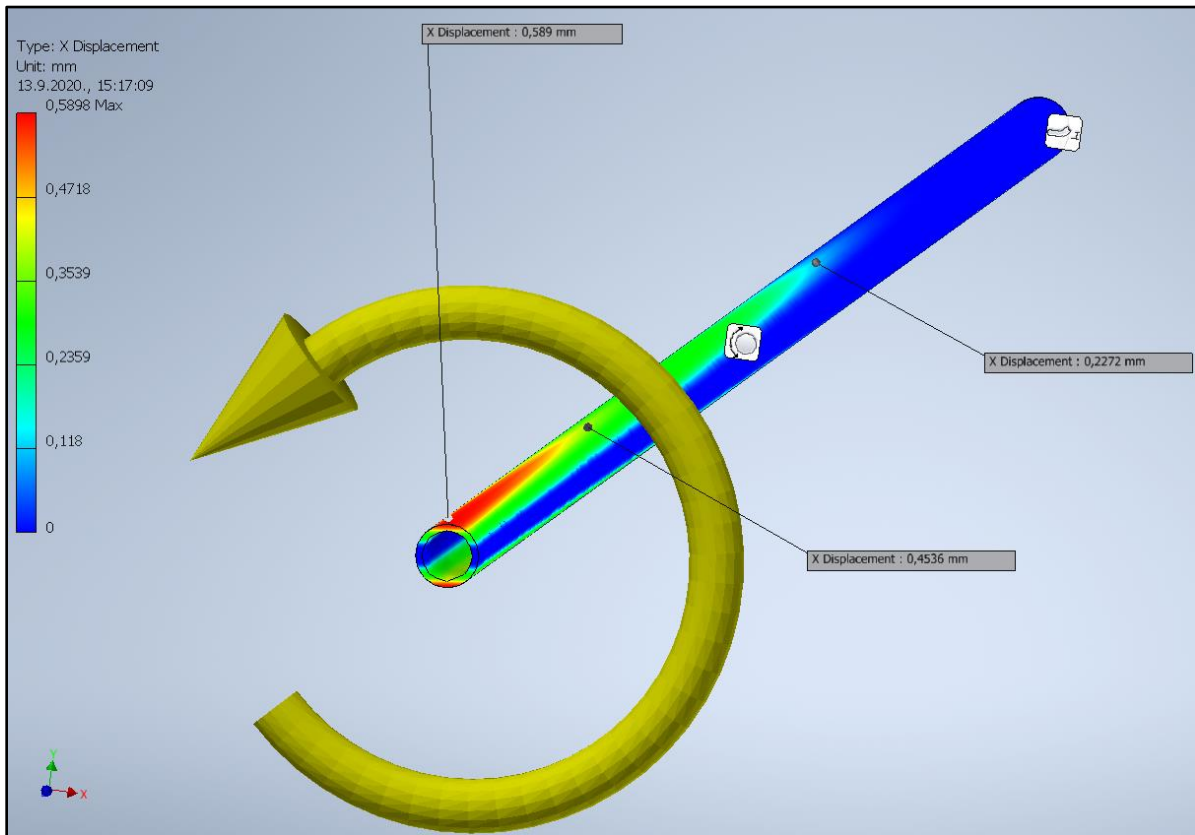


Slika 5.12 Dijagram relativnog kuta uvijanja za zadatak 5.2.



Slika 5.13 Dijagram kuta uvijanja za zadatak 5.2.

5.2.2. Analiza uvijanja u Autodesk Inventoru



Slika 5.14 Pomak po x osi u presjecima za zadatak 5.2.

Dobiveni rezultati iz simulacije za pomake po x osi su:

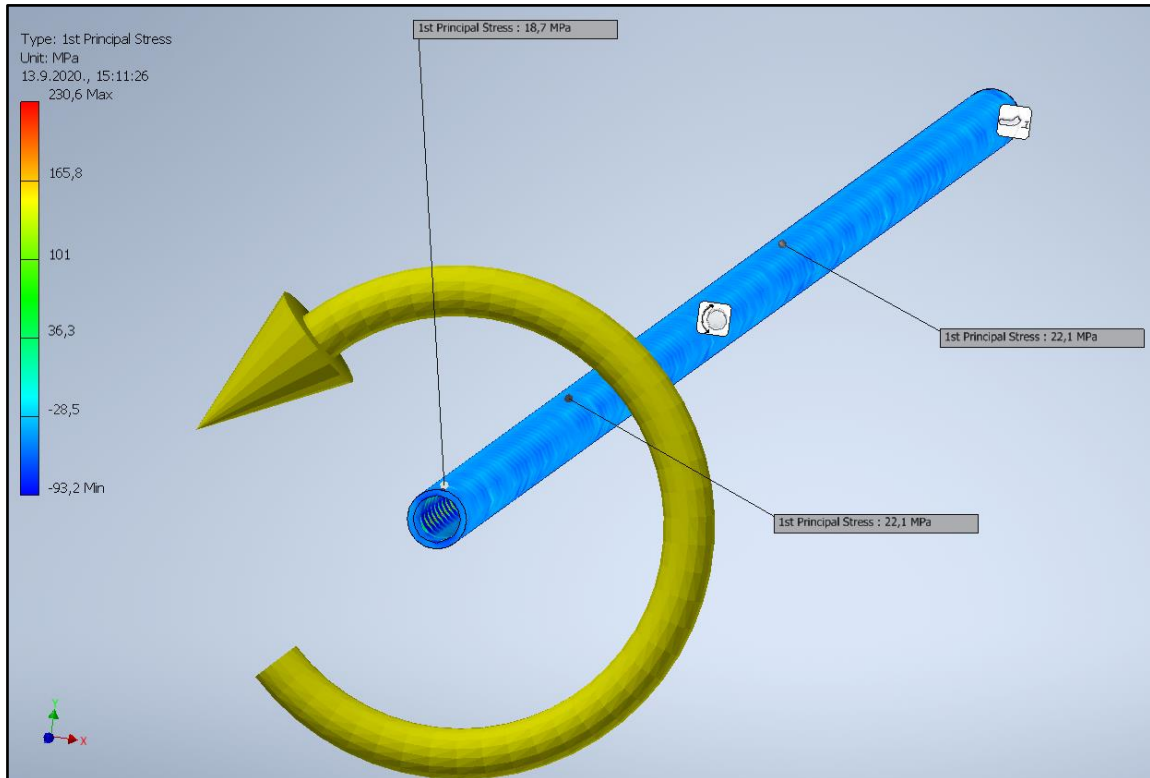
$$x_1 = 0,227 \text{ mm} , x_2 = 0,454 \text{ mm} , x_3 = 0,589 \text{ mm}$$

Rješavanjem pravokutnog trokuta kao u zadatku 5.1. dobe se kutovi uvijanja:

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{x_1}{\frac{D}{2}} = \tan^{-1} \frac{x_1}{R} = \tan^{-1} \frac{0,227}{5} = 2,60^\circ$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \frac{x_2}{\frac{D}{2}} = \tan^{-1} \frac{x_2}{R} = \tan^{-1} \frac{0,454}{5} = 5,19^\circ$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \frac{x_2}{\frac{D}{2}} = \tan^{-1} \frac{x_2}{R} = \tan^{-1} \frac{0,589}{5} = 6,72^\circ$$



Slika 5.15 Maksimalna tangencijalna naprezanja za zadatak 5.2.

Dobiveni rezultati za maksimalno tangencijalno naprezanje sa slike 5.15:

$$\tau_{1max} = 22,1 \text{ MPa} , \tau_{2max} = 22,1 \text{ MPa} , \tau_{3max} = 18,4 \text{ MPa}$$

5.2.3. Rezultati mjerenja

Na isti način kao u zadatku 5.1. obavlja se mjerenje šupljeg ispitnog profila, s masom utega 3 kg te se dobije moment:

$$m = 3 \text{ kg}$$

$$d = 160 \text{ mm}$$

$$F = m \cdot g = 3 \cdot 9,81 = 29,43 \text{ N}$$

$$M_B = F \cdot \frac{d}{2} = 29,43 \cdot \frac{160}{2} = 2354,4 \text{ Nmm} = 2,35 \text{ Nm} \approx 2,4 \text{ Nm}$$

Na presjeku 1 izmjeren kut uvijanja je 3° , a na presjeku 2 izmjeren kut uvijanja je $5,9^\circ$.

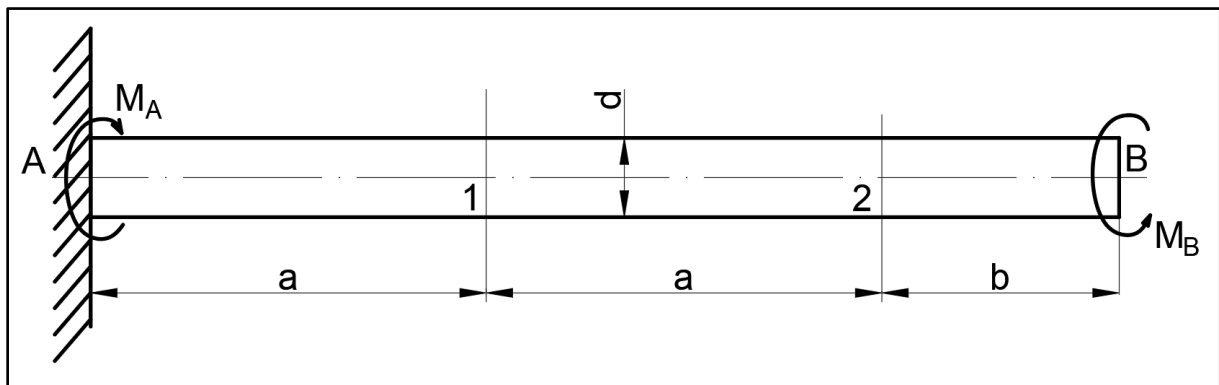
5.3. Puni okrugli profil od nehrđajućeg čelika

Zadatak 5.3. :

Ispitni profil od nehrđajućeg čelika uklješten je u točki A, dok u točki B djeluje moment M_B , prema slici 5.1. Potrebno je izračunati kut uvijanja u presjecima 1 i 2 te u točki B.

Zadano je:

$$E = 190 \text{ GPa}, \nu = 0,27, M_B = 1,6 \text{ Nm}, a = 300 \text{ mm}, b = 180 \text{ mm}, d = 6 \text{ mm}.$$



Slika 5.16 Prikaz ispitnog profila za zadatak 5.3.

5.3.1. Proračun u Mathcadu

$$M_B := 1.6 \cdot \text{Nm}$$

$$E := 190 \cdot \text{GPa} \quad \nu := 0.27 \quad G := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$a := 300 \cdot \text{mm}$$

$$b := 180 \text{ mm}$$

$$d := 6 \cdot \text{mm}$$

$$M_A := M_B \quad I_{p1} := \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

$$\alpha_A = 0 \quad I_{p1} = 0.013 \cdot \text{cm}^4$$

$$M_1(x) := M_A \quad \theta_1(x) := \frac{M_1(x)}{G \cdot I_{p1}} \quad \alpha_1(x) := \frac{M_1(x) \cdot x}{G \cdot I_{p1}}$$

$$M_2(x) := M_A \quad \theta_2(x) := \frac{M_2(x)}{G \cdot I_{p1}} \quad \alpha_2(x) := \frac{M_1(a) \cdot a}{G \cdot I_{p1}} + \frac{M_2(x) \cdot x}{G \cdot I_{p1}}$$

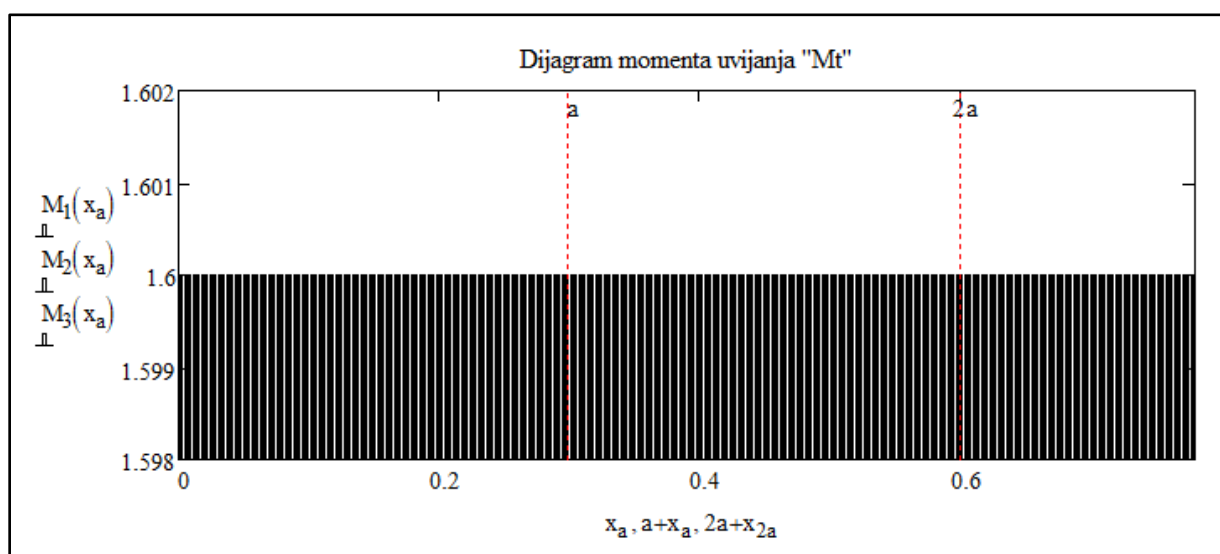
$$M_3(x) := M_A \quad \theta_3(x) := \frac{M_3(x)}{G \cdot I_{p1}} \quad \alpha_3(x) := \frac{M_1(a) \cdot a}{G \cdot I_{p1}} + \frac{M_2(a) \cdot a}{G \cdot I_{p1}} + \frac{M_3(x) \cdot x}{G \cdot I_{p1}}$$

$$\begin{pmatrix} M_1(0.5a) \\ M_2(0.5a) \\ M_3(b) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.6 \\ 1.6 \\ 1.6 \end{pmatrix} \cdot \text{Nm} \quad \begin{pmatrix} \theta_1(a) \\ \theta_2(2 \cdot a) \\ \theta_3(b) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 9.632 \\ 9.632 \\ 9.632 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{deg}}{\text{m}}$$

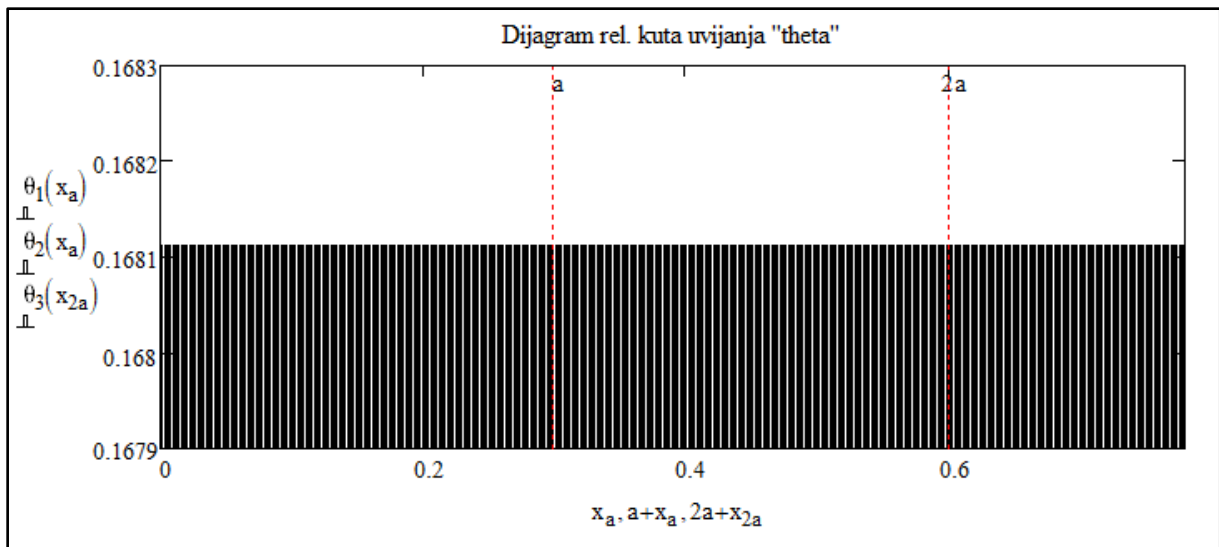
$$\tau_{1\text{max}} := \frac{M_1(a)}{I_{p1}} \cdot \frac{d}{2} \quad \tau_{2\text{max}} := \frac{M_2(2 \cdot a)}{I_{p1}} \cdot \frac{d}{2} \quad \tau_{3\text{max}} := \frac{M_3(b)}{I_{p1}} \cdot \frac{d}{2}$$

$$\tau_{1\text{max}} = 37.726 \cdot \text{MPa} \quad \tau_{2\text{max}} = 37.726 \cdot \text{MPa} \quad \tau_{3\text{max}} = 37.726 \cdot \text{MPa}$$

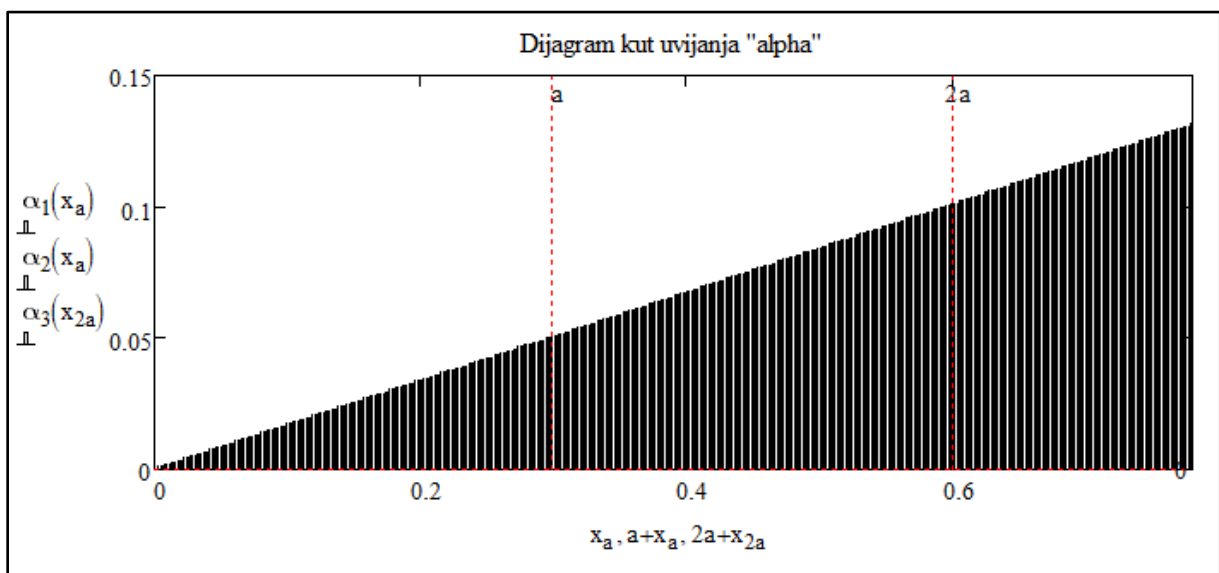
$$\alpha_1(a) = 2.89 \cdot \text{deg} \quad \alpha_2(a) = 5.779 \cdot \text{deg} \quad \alpha_3(b) = 7.513 \cdot \text{deg}$$



Slika 5.17 Dijagram momenta uvijanja za zadatak 5.3.

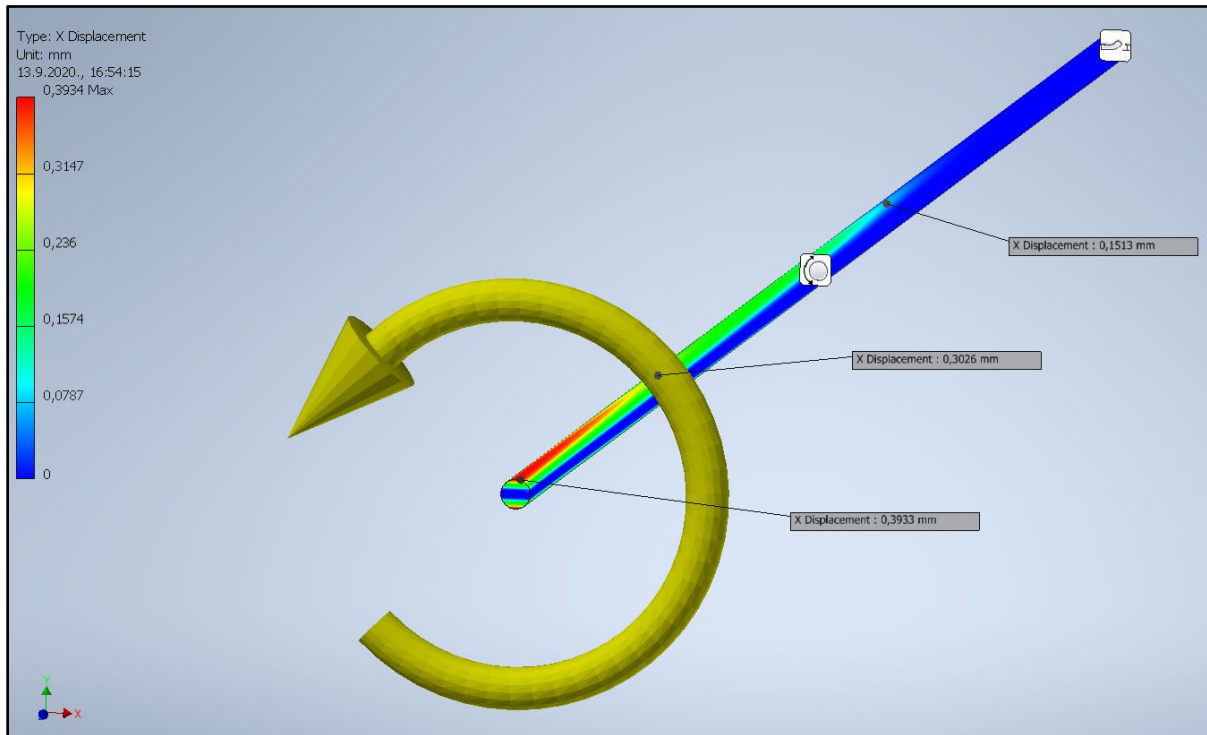


Slika 5.18 Dijagram relativnog kuta uvijanja za zadatak 5.3.



Slika 5.19 Dijagram kuta uvijanja za zadatak 5.3.

5.3.2. Analiza uvijanja u Autodesk Inventoru



Slika 5.20 Pomak po x osi u presjecima za zadatak 5.3.

Dobiveni rezultati iz simulacije za pomake po x osi su:

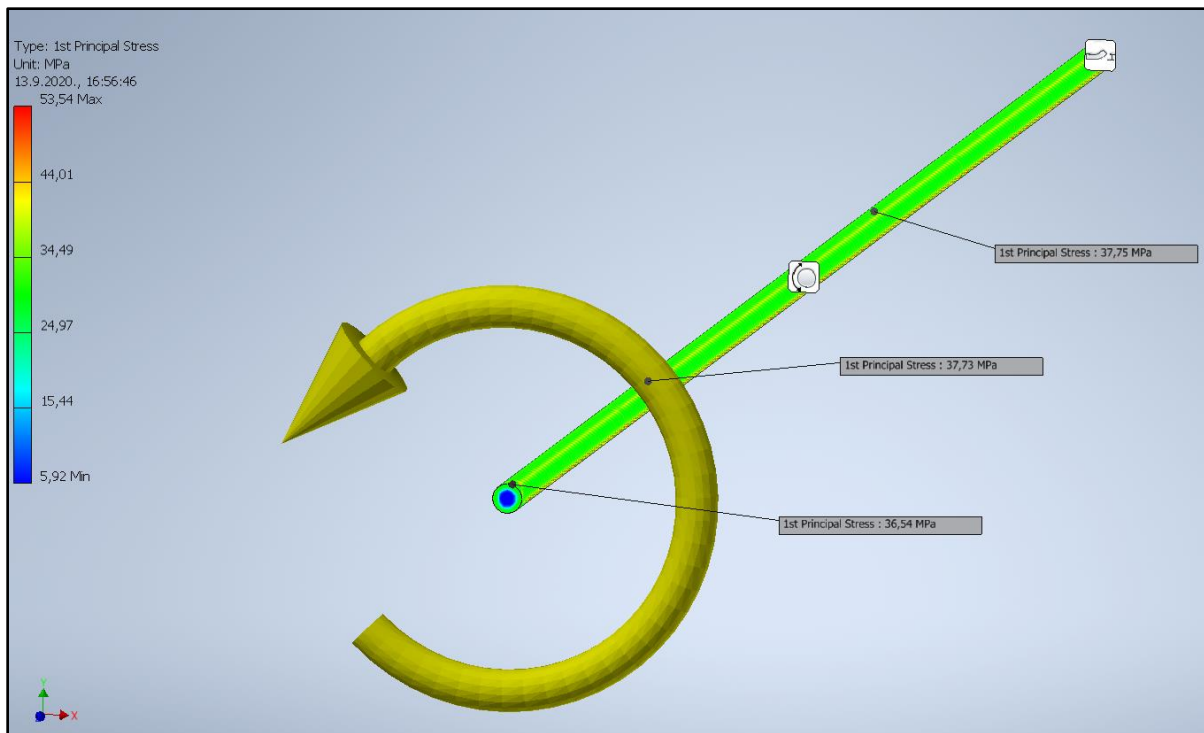
$$x_1 = 0,151 \text{ mm} , x_2 = 0,303 \text{ mm} , x_3 = 0,393 \text{ mm}$$

Rješavanjem pravokutnog trokuta kao u zadatku 5.1. dobe se kutovi uvijanja:

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{x_1}{d} = \tan^{-1} \frac{x_1}{r} = \tan^{-1} \frac{0,151}{3} = 2,88^\circ$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \frac{x_2}{d} = \tan^{-1} \frac{x_2}{r} = \tan^{-1} \frac{0,303}{5} = 5,77^\circ$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \frac{x_2}{d} = \tan^{-1} \frac{x_2}{r} = \tan^{-1} \frac{0,393}{5} = 7,46^\circ$$



Slika 5.21 Maksimalna tangencijalna naprezanja za zadatak 5.3.

Dobiveni rezultati za maksimalna tangencijalna naprezanja sa slike 5.15:

$$\tau_{1max} = 37,75 \text{ MPa} , \tau_{2max} = 37,73 \text{ MPa} , \tau_{3max} = 36,54 \text{ MPa}$$

5.3.3. Rezultati mjerenja

Na isti način kao u prethodna dva zadatka obavlja se mjerenje ispitnog profila, s masom utega 2 kg te se dobije moment:

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$d = 160 \text{ mm}$$

$$F = m \cdot g = 2 \cdot 9,81 = 19,62 \text{ N}$$

$$M_B = F \cdot \frac{d}{2} = 19,62 \cdot \frac{160}{2} = 1569,6 \text{ Nmm} = 1,57 \text{ Nm} \approx 1,6 \text{ Nm}$$

Na presjeku 1 izmjeren kut uvijanja je 3°, a na presjeku 2 izmjeren kut uvijanja je 6°.

5.4. Usporedba rezultata

U tablici 5.1 uspoređeni su rezultati kutova uvijanja iz proračuna, simulacije uvijanja i rezultati mjerenja na napravi za svaki zadatak posebno.

Tablica 5.1 Usporedba rezultata

Zadatak	Materijal	Vrsta profila	Vrsta rezultata	Presjek 1	Presjek 2	Točka B
5.1.	Al legura	Puni okrugli	Mathcad proračun	8,34°	16,68°	21,68°
			Autodesk Inventor simulacija	8,21°	16,10°	20,57°
			Mjerenje na napravi	8,1°	16,3°	-
5.2.	Al legura	Šuplji okrugli	Mathcad proračun	2,75°	5,49°	7,14°
			Autodesk Inventor simulacija	2,60°	5,19°	6,72°
			Mjerenje na napravi	3°	5,9°	-
5.3.	Nehrđajući čelik	Puni okrugli	Mathcad proračun	2,89°	5,78°	7,51°
			Autodesk Inventor simulacija	2,88°	5,77°	7,46°
			Mjerenje na napravi	3°	6°	-

Iz tablice 5.1 vidljivo je da je najveća razlika kod rezultata koji su se dobili mjerenjem na napravi. Razlog tome bio bi nepoznati podatak o vrsti legure ispitnih profila koji su kupljeni u trgovini te nije bilo moguće saznati točne podatke o legurama profila kako bi se teoretski proračun uskladio s realnim podacima.

6. Zaključak

Testiranje materijala na uvijanje ima vrlo važnu ulogu pri proizvodnji širokog raspona proizvoda koji su opterećeni na uvijanje. Legure aluminijske zbog male mase i dobrih mehaničkih svojstava pronalaze sve veću primjenu u raznim industrijama kao i u izradi ekstrudiranih profila. Strukturni aluminijski profili poslužili su kao konstrukcijski elementi naprave za ispitivanje uvijanja te su se pokazali kao vrlo fleksibilno rješenje.

Konstrukcija nekog proizvoda bi u današnje vrijeme bila teško zamisliva bez upotrebe računala. Raznovrsni računalni programi uvelike pomažu od same ideje do konstruiranja proizvoda, proizvodnje, pakiranja i transporta. Autodesk Inventor kao jedan od CAD programa ima vrlo široku primjenu u mnogim granama industrije te je poslužio za 3D modeliranje svih dijelova naprave i njihovo sastavljanje u konačni proizvod. Na taj su se način mogle predvidjeti sve zapreke do kojih bi moglo doći prilikom proizvodnje dijelova i montaže. Autodesk Inventor također se koristio za simulaciju uvijanja kojom su se dobili kutovi uvijanja i maksimalna tangencijalna naprezanja

Kako bi se ubrzao proces proračunavanja uvijanja korišten je računalni program Mathcad pomoću kojega su, na jednom napravljenom proračunu za prvi zadatak, izmjenom samo početnih podataka dobiveni rezultati za preostala dva zadatka. Ovim je završnim radom pokazano da se na vrlo jednostavan način bez prevelikih troškova može izraditi naprava za testiranje uvijanja koja zadovoljava početne uvjete i želje te će kasnije poslužiti i u praktičnoj nastavi na Sveučilištu.

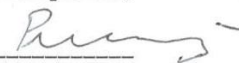


**IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski 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, DAREN PREMUŠ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KONSTRUKCIJA I IZRADA NAPRAVE ZA UVIJANJE (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.


Student/ica:
(upisati ime i prezime)

DAREN PREMUŠ 
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, DAREN PREMUŠ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KONSTRUKCIJA I IZRADA NAPRAVE ZA UVIJANJE (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

DAREN PREMUŠ 
(vlastoručni potpis)

7. Literatura

- [1] I. Alfirević, Nauka o čvrstoći 1, Zagreb: ITP "Tehnička knjiga" d.d. Zagreb, 1995.
- [2] Plazibat Bože, Ado Matoković i Vladimir Vetma, Nauka o čvrstoći, Split: Sveučilište u Splitu, 2019.
- [3] <https://www.scribd.com/doc/296657043/Uvijanje-%C5%A1tapova>, Srpanj 2020.
- [4] https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/elementi_strojeva_4_opruge.pdf, Kolovoz 2020.
- [5] <http://marjan.fesb.hr/~spodrug/Elementi-640-predavanja/Predavanja%20es%20bgd%202006-2007.pdf>, Kolovoz 2020..
- [6] <https://repositorij.fizika.unios.hr/islandora/object/fizos%3A71/datastream/PDF/view>, Kolovoz 2020.
- [7] https://www.researchgate.net/publication/316473353_Ispitivanje_metalnih_materijala-mehanicka_i_tehnoloska_ispitivanja, Kolovoz 2020.
- [8] <https://www.doccity.com/en/strength-of-materials-torsion-test/5430211/>, Kolovoz 2020.
- [9] http://repositorij.fsb.hr/3188/1/Satinovi%C4%87_2015_zavr%C5%A1ni_preddiplomski.pdf, Kolovoz 2020.
- [10] https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/I10_AIProduction_ER_March2012_Final%20GSOK.pdf, Kolovoz 2020.
- [11] https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/al_lg.pdf, Kolovoz 2020.
- [12] <https://repositorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A2699/datastream/PDF/view>, Kolovoz 2020.
- [13] <https://materialsdata.nist.gov/bitstream/handle/11115/164/Extrusion%20of%20Al%20Alloys.pdf?sequence=3>, Kolovoz 2020.
- [14] https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/plasticna_obradba_metala.pdf, Kolovoz 2020.
- [15] <https://www.thomasnet.com/insights/how-are-aluminum-extrusions-made-/>, Kolovoz 2020.
- [16] http://www.aapautomation.com/wp-content/uploads/2016/04/R999001283_Aluminum_Framing_8_0_2016-03_media.pdf, Kolovoz 2020.
- [17] https://www.alibaba.com/product-detail/t-slot-aluminum-work-table-with_60751775240.html, Kolovoz 2020.
- [18] <https://jhfooster.com/automation-blogs/six-reasons-to-consider-t-slot-aluminum-vs-steel/>, Kolovoz 2020.
- [19] <https://docplayer.cz/96805639-Ceske-vysoke-uceni-technicke-v-praze.html>, Kolovoz 2020.
- [20] <https://easy-systems.eu/en/aluminium-profiles/isb-profiles-components/>, Kolovoz 2020.
- [21] <https://dieselgasturbine.com/ge-cites-oxidation-problem-in-new-ha-turbine/>, Srpanj 2020.

- [22] <http://dianachavez-stem.blogspot.com/2014/01/>, Srpanj 2020.
- [23] https://hr.wikipedia.org/wiki/Torzijaska_opruga#/media/Datoteka:Torsion-Bar_with-load.jpg, Kolovoz 2020.
- [24] <https://www.sandatlas.org/bauxite/>, Kolovoz 2020.
- [25] <https://www.teylersmuseum.nl/en/collection/instruments/fk-0556-electrometer-coulomb-balance>, Kolovoz 2020.
- [26] www.shivsons.com/product/torsion-of-metal-rods-apparatus-searles/, Srpanj 2020.
- [27] www.youtube.com/watch?v=1YTKedLQOa0&ab_channel=TheEfficientEngineer, Srpanj 2020.

Popis slika

Slika 1.1 Komercijalna naprava za test uvijanja [26].....	1
Slika 2.1 Pojednostavljeni prikaz uvijanja [22]	3
Slika 2.2 Kut uvijanja dva infinitezimalno bliska presjeka [2]	5
Slika 2.3 Analiziranje uvijanja elemenata kružnog štapa [2]	6
Slika 2.4 Izdvojeni dio kružnog štapa [2].....	6
Slika 2.5 Analiza ravnoteže okruglog štapa [2].....	7
Slika 2.6 Momenti uvijanja na vratilima vjetroturbine [27].....	9
Slika 2.7 Plinska turbina [21]	9
Slika 2.8 Princip rada torzijske opruge [23].....	10
Slika 2.9 Torzijska vaga [25].....	11
Slika 3.1 Profesionalni uređaj za ispitivanje uvijanja [8].....	13
Slika 3.2 Dijagram uvijanja „Moment uvijanja – Kut uvijanja“ [7].....	14
Slika 4.1 Zahtjevi i želje za napravu	15
Slika 4.2 Prva varijanta naprave.....	16
Slika 4.3 Druga varijanta naprave	17
Slika 4.4 Pozitivni faktori obje varijante.....	18
Slika 4.5 Boksit [24].....	19
Slika 4.6 Postupak istiskivanja punog i šupljeg profila.....	22
Slika 4.7 Aluminijski proizvodi dobiveni istiskivanjem [15].....	23
Slika 4.8 Primjer upotrebe strukturnih aluminijskih profila [17]	24
Slika 4.9 Primjer upotrebe strukturnih aluminijskih profila u proizvodnom pogonu [28]	24
Slika 4.10 Kvadratni i pravokutni strukturni profili [19]	25
Slika 4.11 Strukturni profili i dodatci za spajanje [20].....	25
Slika 4.12 Vizualizacija gotovog sklopa	26
Slika 4.13 Prikaz svih dijelova sklopnog nacrt.....	27
Slika 4.14 CAD modul programa Maestro Libellula	33
Slika 4.15 Razmještaj pozicija na ploči.....	34
Slika 4.16 Putanja glave lasera.....	34
Slika 4.17 Rezanje aluminijskih profila	35
Slika 4.18 Rezanje na laseru i izrezane aluminijske pozicije	36
Slika 4.19 Kutno savijanje pozicija.....	37
Slika 4.20 Dijelovi nakon tokarenja.....	38

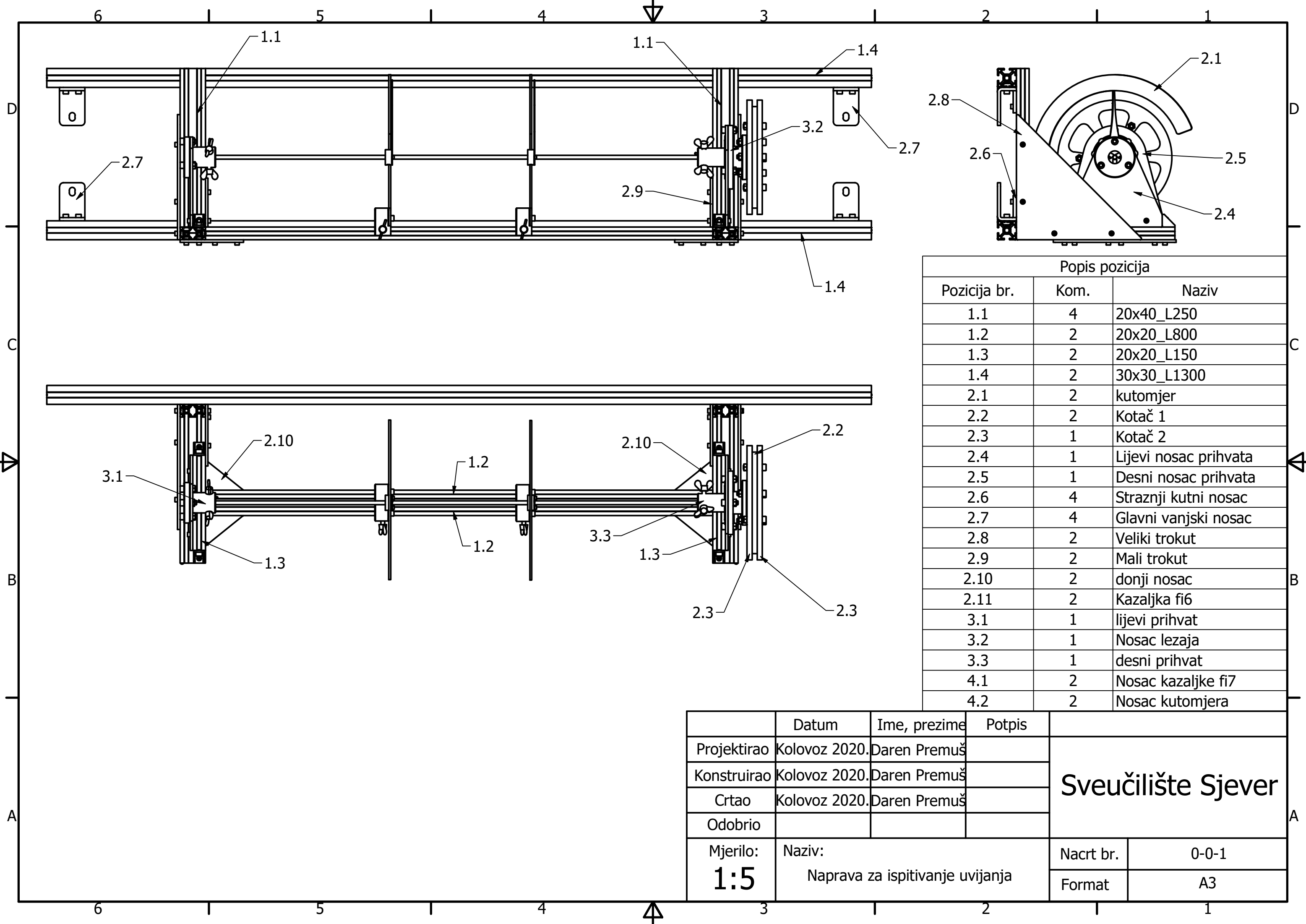
Slika 4.21	Plastificirani i pocinčani dijelovi.....	39
Slika 4.22	Printanje na 3D printeru i utiskivanje matice.....	40
Slika 4.23	Proces montaže.....	41
Slika 4.24	Dovršena naprava.....	42
Slika 5.1	Prikaz zadanog profila za zadatak 5.1.....	43
Slika 5.2	Dijagram momenta uvijanja za zadatak 5.1.	45
Slika 5.3	Dijagram relativnog kuta uvijanja za zadatak 5.1.	45
Slika 5.4	Dijagram kuta uvijanja za zadatak 5.1.	45
Slika 5.5	Pomak po x osi u presjecima za zadatak 5.1.	46
Slika 5.6	Pomak po x osi u presjeku 1.....	47
Slika 5.7	Maksimalna tangencijalna naprezanja za zadatak 5.1.....	48
Slika 5.8	Prikaz koloture i momenta u točki B.....	49
Slika 5.9	Očitavanje rezultata na presjeku 1	49
Slika 5.10	Prikaz ispitnog profila za zadatak 5.2	50
Slika 5.11	Dijagram momenta uvijanja za zadatak 5.2.	51
Slika 5.12	Dijagram relativnog kuta uvijanja za zadatak 5.2.	52
Slika 5.13	Dijagram kuta uvijanja za zadatak 5.2.	52
Slika 5.14	Pomak po x osi u presjecima za zadatak 5.2.	53
Slika 5.15	Maksimalna tangencijalna naprezanja za zadatak 5.2.....	54
Slika 5.16	Prikaz ispitnog profila za zadatak 5.3.	55
Slika 5.17	Dijagram momenta uvijanja za zadatak 5.3.	56
Slika 5.18	Dijagram relativnog kuta uvijanja za zadatak 5.3.	57
Slika 5.19	Dijagram kuta uvijanja za zadatak 5.3.	57
Slika 5.20	Pomak po x osi u presjecima za zadatak 5.3.	58
Slika 5.21	Maksimalna tangencijalna naprezanja za zadatak 5.3.....	59

Popis tablica

Tablica 4.1 Legirajući elementi i utjecaj na aluminij [11]	20
Tablica 4.2 Serije aluminijskih legura [12]	20
Tablica 4.3 Popis svih operacija.....	28
Tablica 4.4 Pozicije koje se režu na tračnoj pili	28
Tablica 4.5 Pozicije koje se režu na CNC laseru.....	29
Tablica 4.6 Pozicije koje se tokare	31
Tablica 4.7 Popis nabavljenog materijala i dijelova.....	32
Tablica 5.1 Usporedba rezultata	60

Prilozi

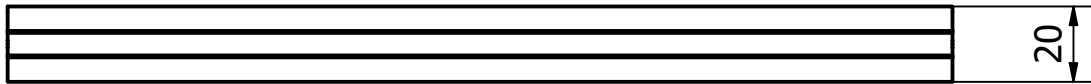
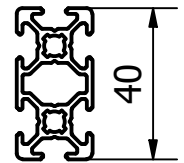
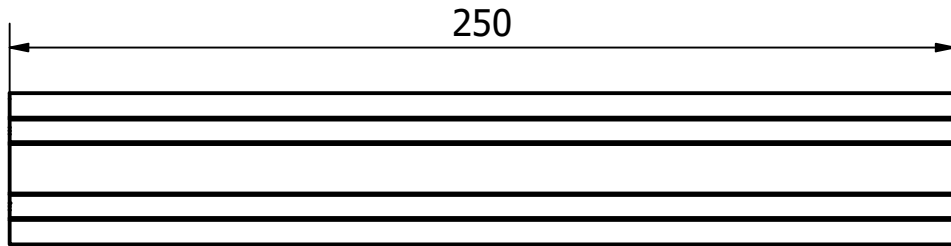
Tehnička dokumentacija



Popis pozicija

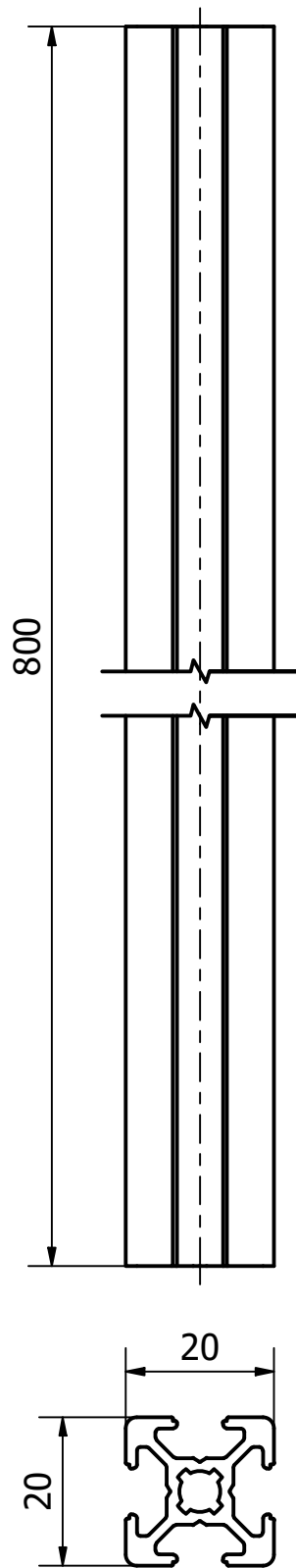
Pozicija br.	Kom.	Naziv
1.1	4	20x40_L250
1.2	2	20x20_L800
1.3	2	20x20_L150
1.4	2	30x30_L1300
2.1	2	kutomjer
2.2	2	Kotač 1
2.3	1	Kotač 2
2.4	1	Lijevi nosac prihvata
2.5	1	Desni nosac prihvata
2.6	4	Straznji kutni nosac
2.7	4	Glavni vanjski nosac
2.8	2	Veliki trokut
2.9	2	Mali trokut
2.10	2	donji nosac
2.11	2	Kazaljka fi6
3.1	1	lijevi prihvata
3.2	1	Nosac lezaja
3.3	1	desni prihvata
4.1	2	Nosac kazaljke fi7
4.2	2	Nosac kutomjera

	Datum	Ime, prezime	Potpis	Sveučilište Sjever
Projektirao	Kolovoz 2020.	Daren Premuš		
Konstruirao	Kolovoz 2020.	Daren Premuš		
Crtao	Kolovoz 2020.	Daren Premuš		
Odobrio				
Mjerilo:	Naziv:		Nacrt br.	0-0-1
1:5	Naprava za ispitivanje uvijanja		Format	A3

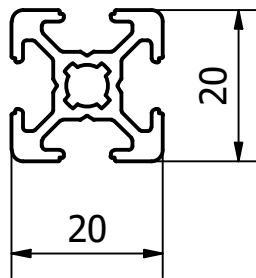
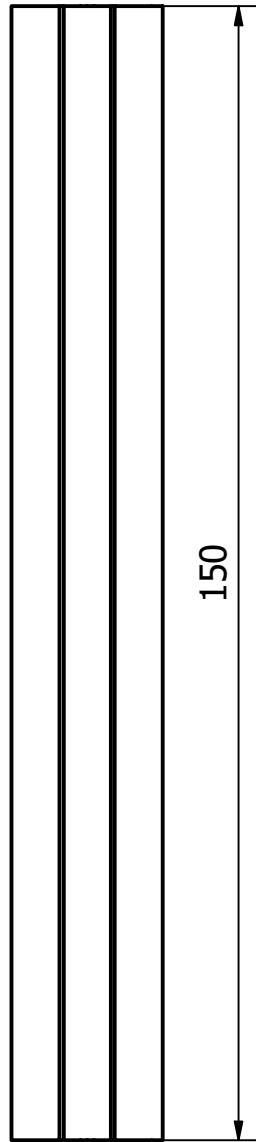


Poz.	Materijal	Dimenzije	Težina	Sklop	Kom.	Napomena
1.1	Al legura	250x40x30		0-0-1	4	
	Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis
			Projektirao	8.2020.	Daren Premuš	
			Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš	
			Crtao	8.2020.	Daren Premuš	
			Pregledao		Daren Premuš	
			Odobrio			
Mjerilo: 1:2	Naziv: 20x40_L250					Br. nacrtā: 0-1-1

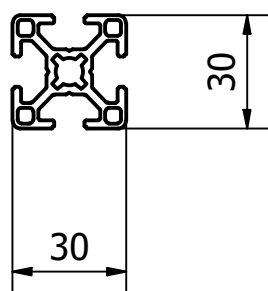
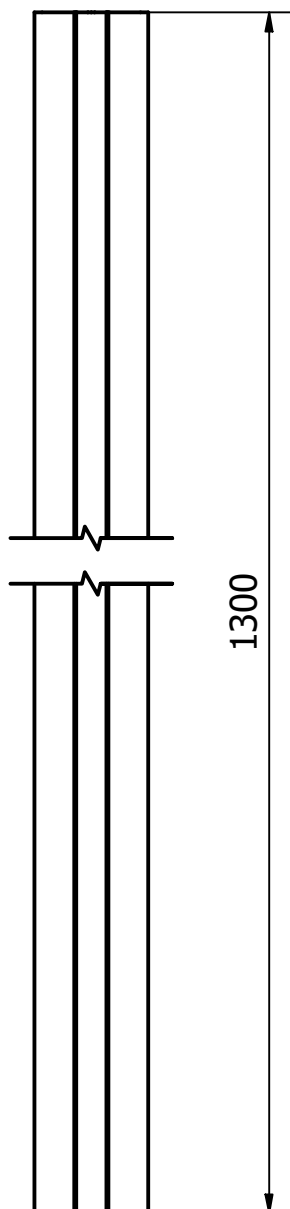
SVEUČILIŠTE
SJEVER



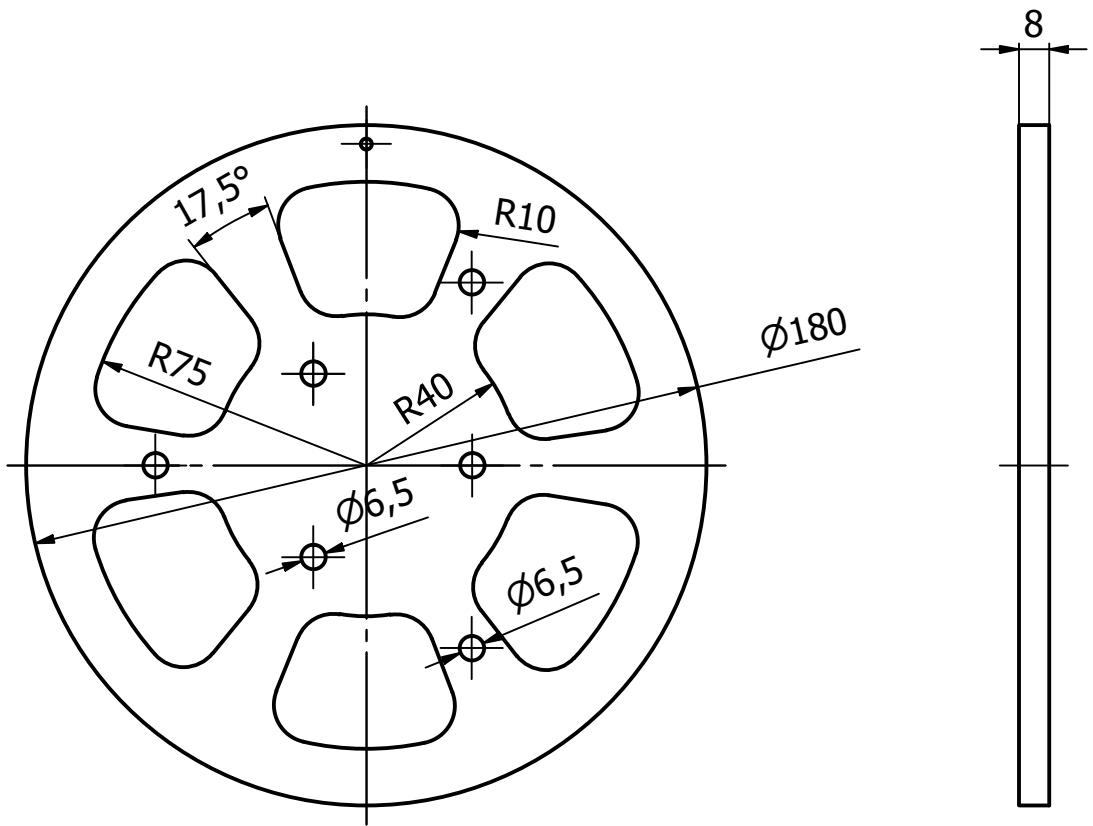
Poz.	Materijal	Dimenzije	Težina	Sklop	Kom.	Napomena
1.2	Al legura	800x20x20		0-0-1	2	
Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
		Projektirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Crtao	8.2020.	Daren Premuš		
		Pregledao				
		Odobrio				
Mjerilo: 1:1	Naziv: 20x20_L800					Br. nacrtā: 0-1-2



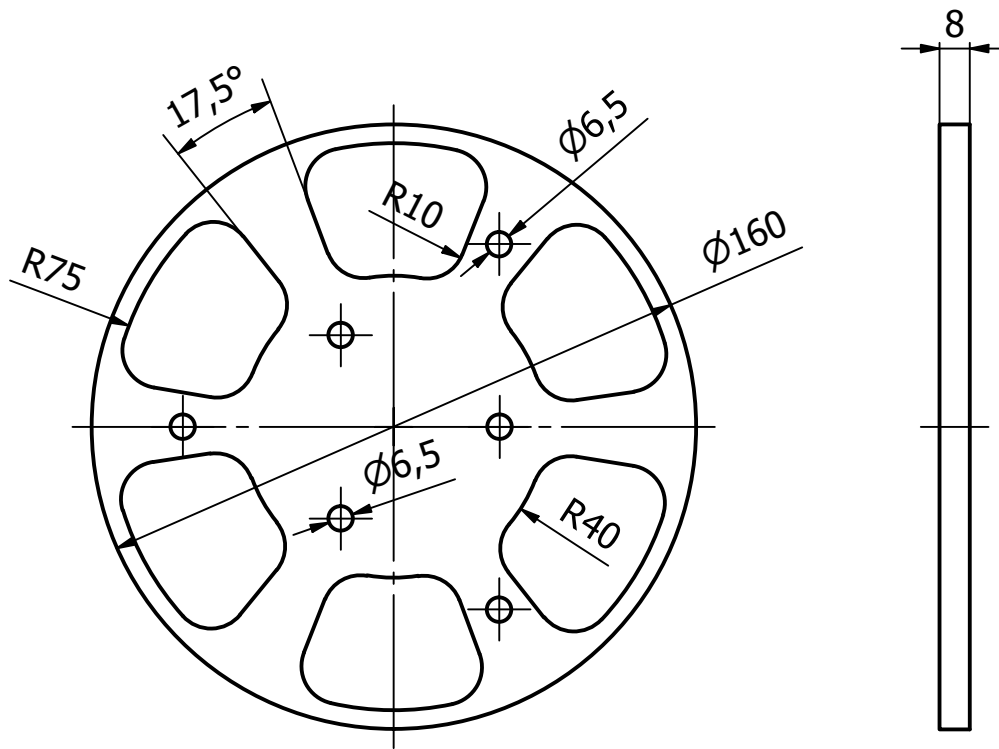
Poz.	Materijal	Dimenzije		Težina	Sklop	Kom.	Napomena
1.3	Al legura	150x20x20			0-0-1	2	
	Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
			Projektirao	8.2020.	Daren Premuš		
			Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš		
			Crtao	8.2020.	Daren Premuš		
			Pregledao				
			Odobrio				
Mjerilo: 1:1		Naziv: 20x20_L150				Br. nacrtā: 0-1-3	



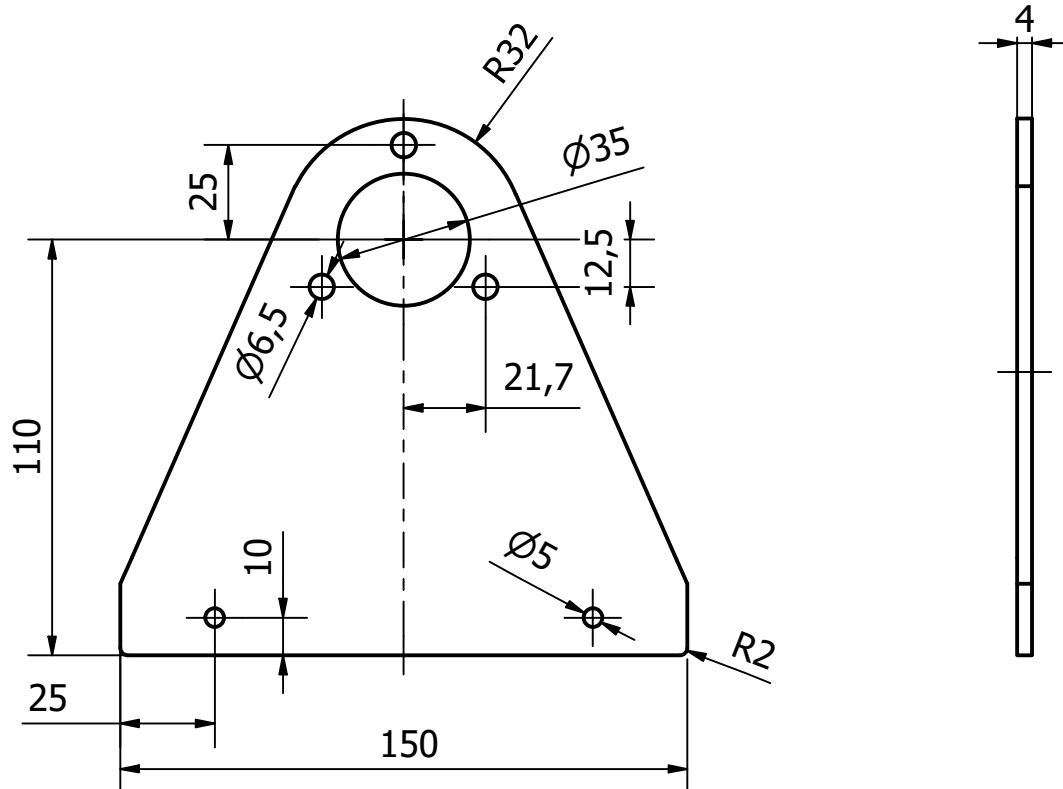
Poz.	Materijal	Dimenzije	Težina	Sklop	Kom.	Napomena
1.4	Al legura	1300x30x30		0-0-1	2	
Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
		Projektirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Crtao	8.2020.	Daren Premuš		
		Pregledao				
		Odobrio				
Mjerilo: 1:2	Naziv: 30x30_L1300					Br. nacrtā: 0-1-4



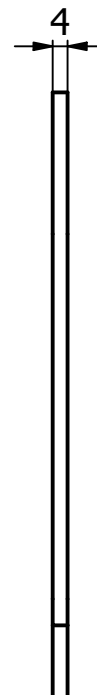
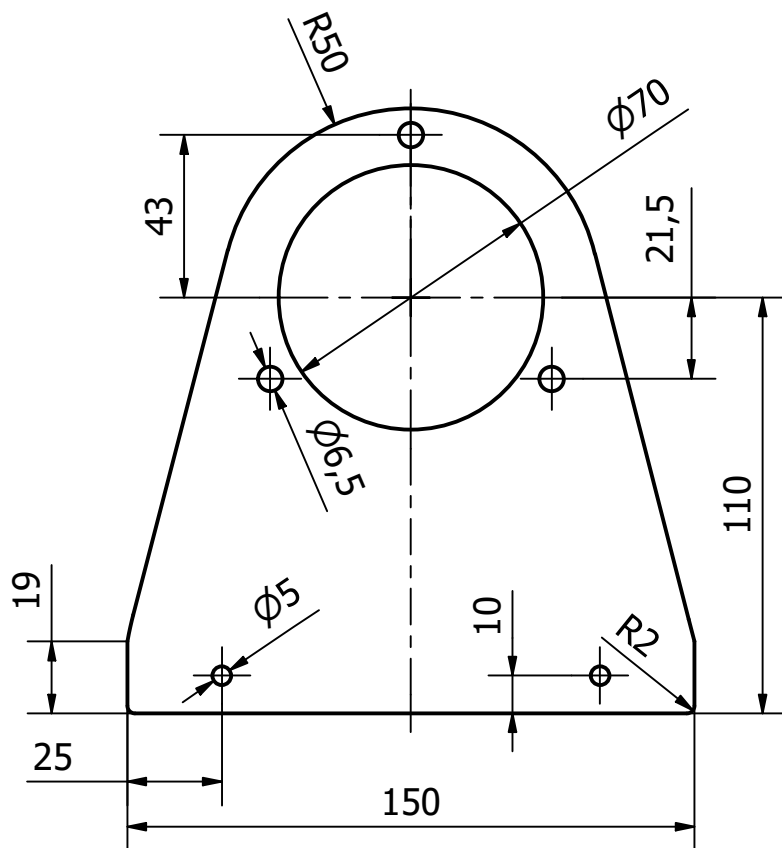
Poz.	Materijal	Dimenzije		Težina	Sklop	Kom.	Napomena
2.2	EN 5083	Ø180			0-0-1	2	
Izmjena	Datum	Ime		Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
			Projektirao	8.2020.	Daren Premuš		
			Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš		
			Crtao	8.2020.	Daren Premuš		
			Pregledao				
			Odobrio				
Mjerilo: 1:2	Naziv: Kotač 1					Br. nacрта: 0-2-2	



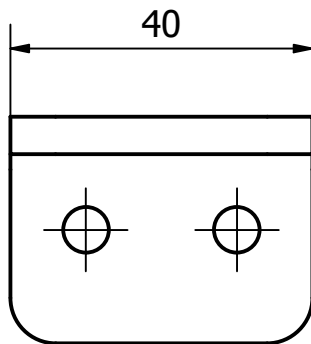
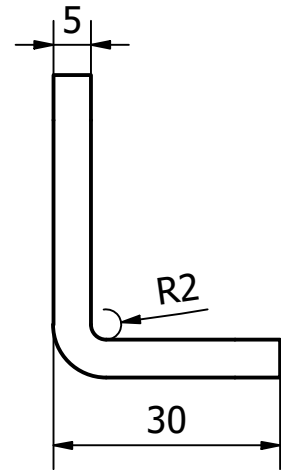
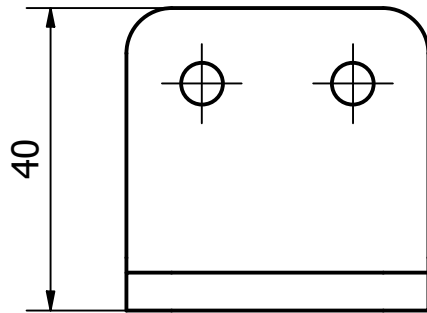
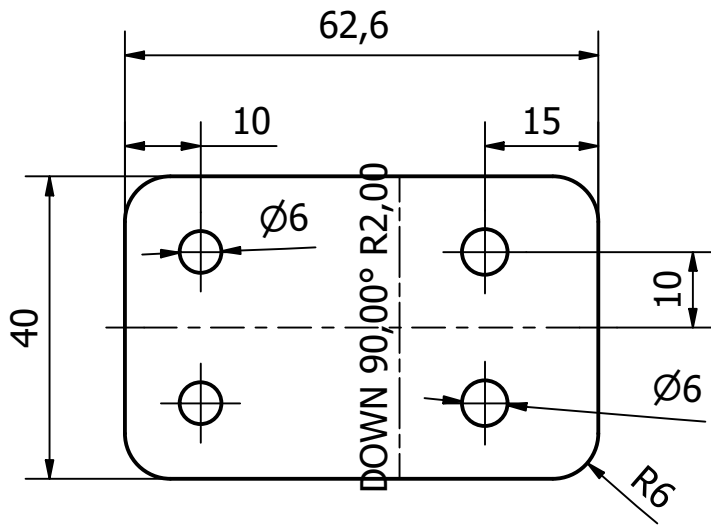
Poz.	Materijal	Dimenzije	Težina	Sklop	Kom.	Napomena
2.3	EN 5083	Ø160x8		0-0-1	1	
Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
		Projektirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Crtao	8.2020.	Daren Premuš		
		Pregledao				
		Odobrio				
Mjerilo: 1:2	Naziv: Kotač 2					Br. nacрта: 0-2-3



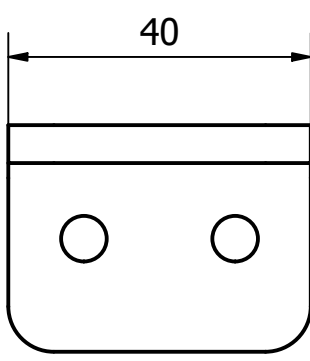
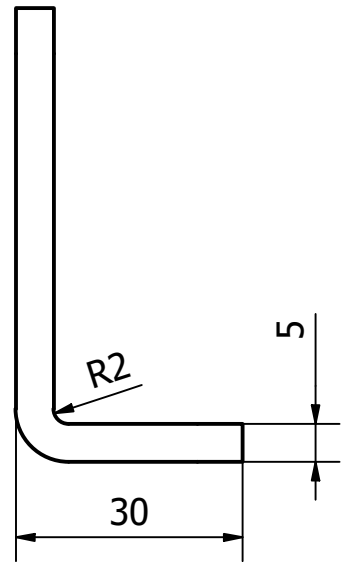
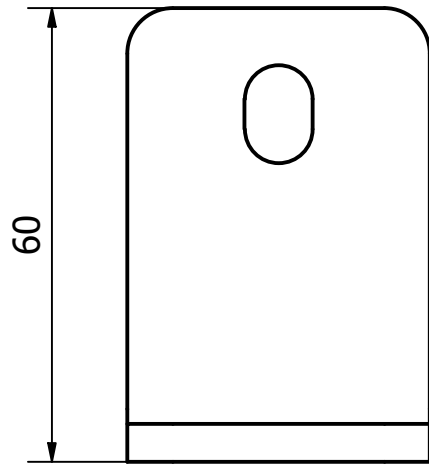
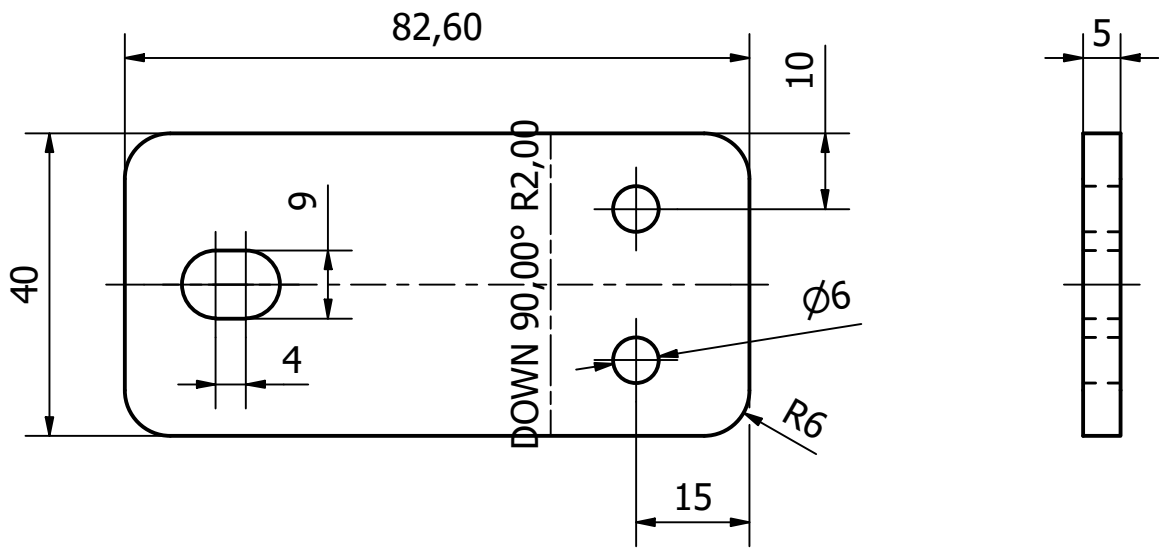
Poz.	Materijal	Dimenzije	Težina	Sklop	Kom.	Napomena
2.4	EN 5083	142x150x4		0-0-1	1	
Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
		Projektirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Crtao	8.2020.	Daren Premuš		
		Pregledao				
		Odobrio				
Mjerilo: 1:2	Naziv: Lijevi nosač prihвата					Br. nacрта: 0-2-4



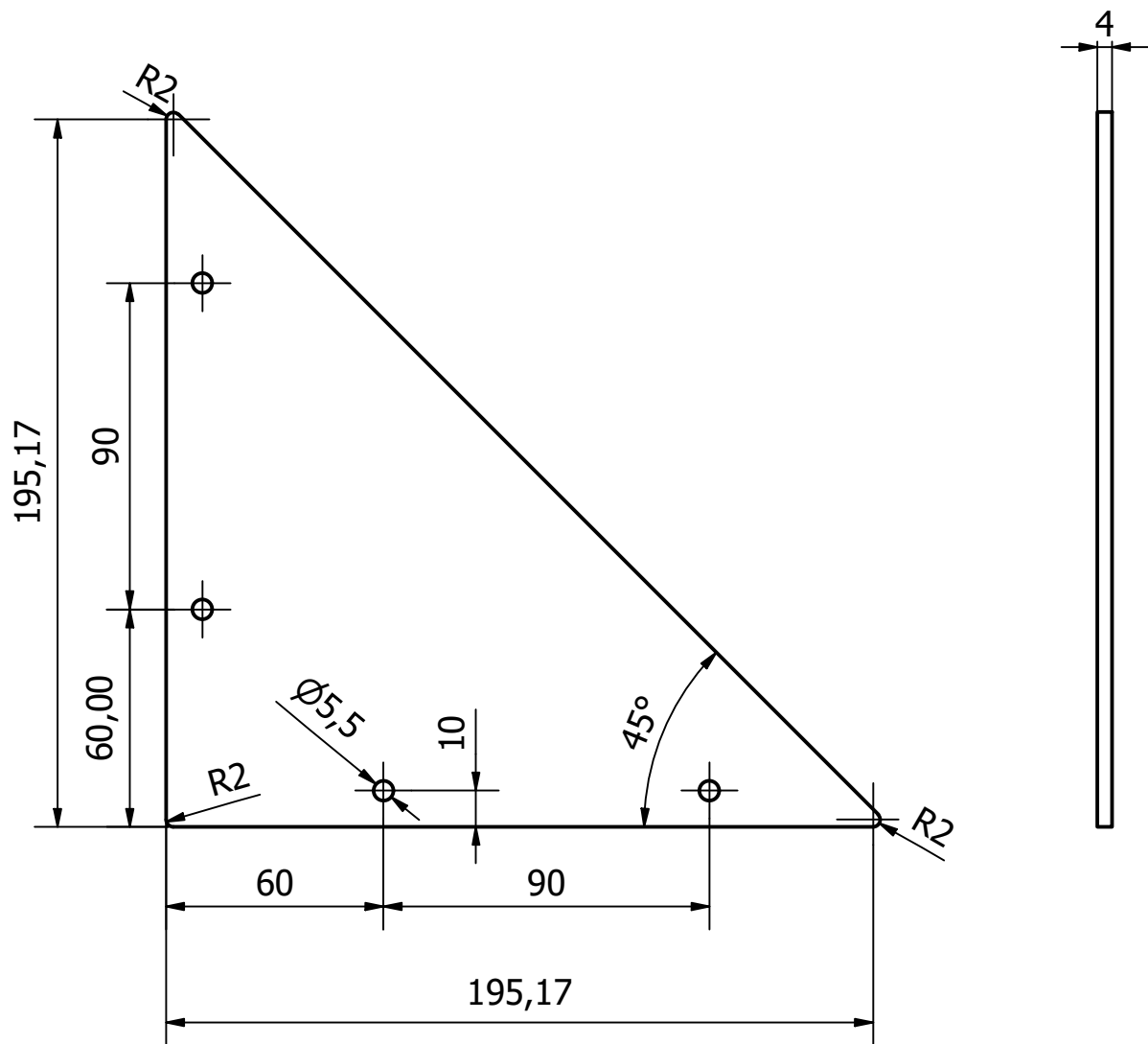
Poz.	Materijal	Dimenzije	Težina	Sklop	Kom.	Napomena
2.5	EN 5083	150x160x4		0-0-1	1	
Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
		Projektirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Crtao	8.2020.	Daren Premuš		
		Pregledao				
		Odobrio				
Mjerilo: 1:2	Naziv: Desni nosač prihvata					Br. nacрта: 0-2-5



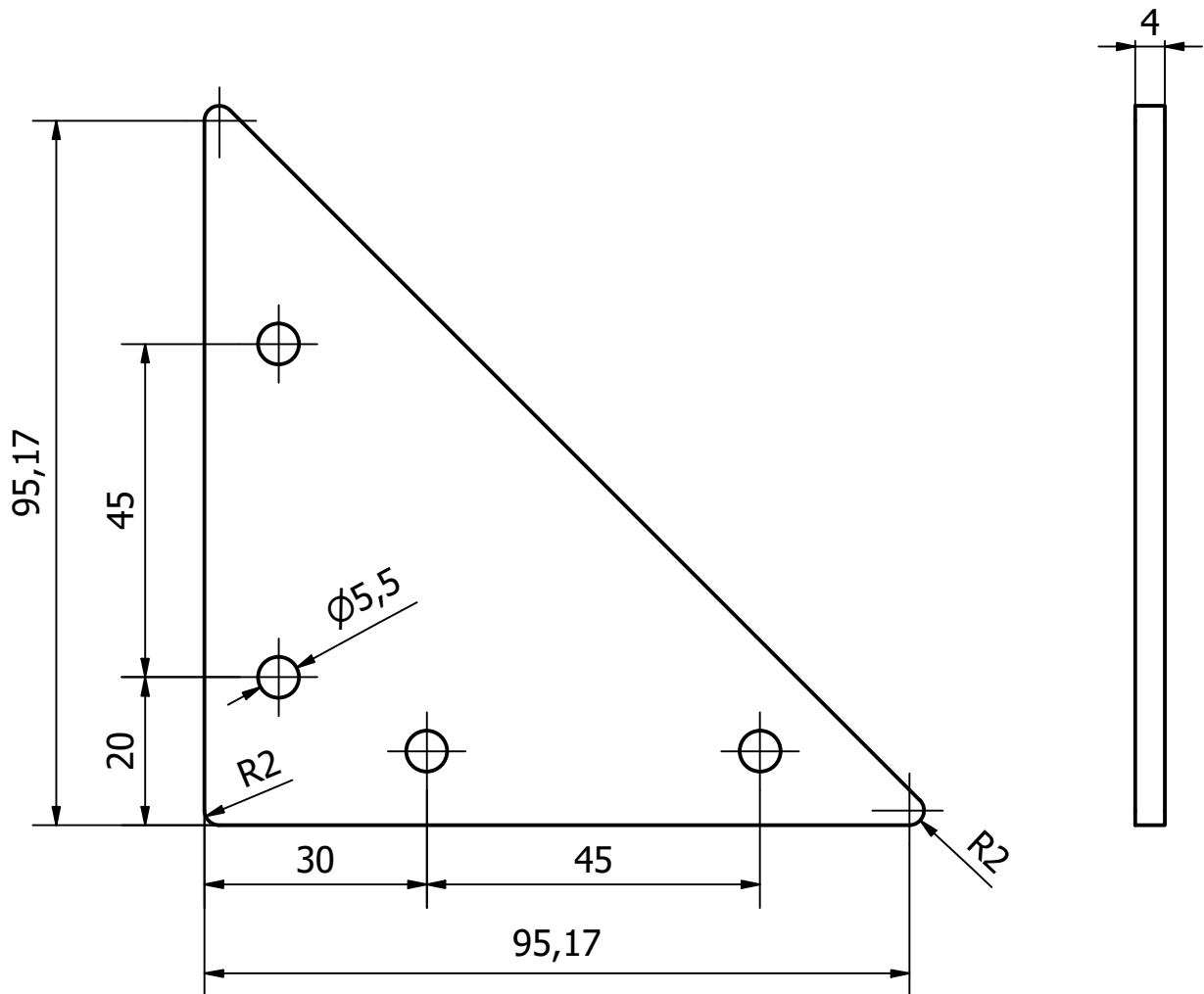
Poz.	Materijal	Dimenzije		Težina	Sklop	Kom.	Napomena
2.6	1.4301	63x40x5			0-0-1	4	
Izmjena	Datum	Ime		Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
		Projektirao	8.2020.		Daren Premuš		
		Konstruirao	8.2020.		Daren Premuš		
		Crtao	8.2020.		Daren Premuš		
		Pregledao					
		Odobrio					
Mjerilo: 1:1	Naziv: Stražnji kutni nosač					Br. nacrtā: 0-2-6	



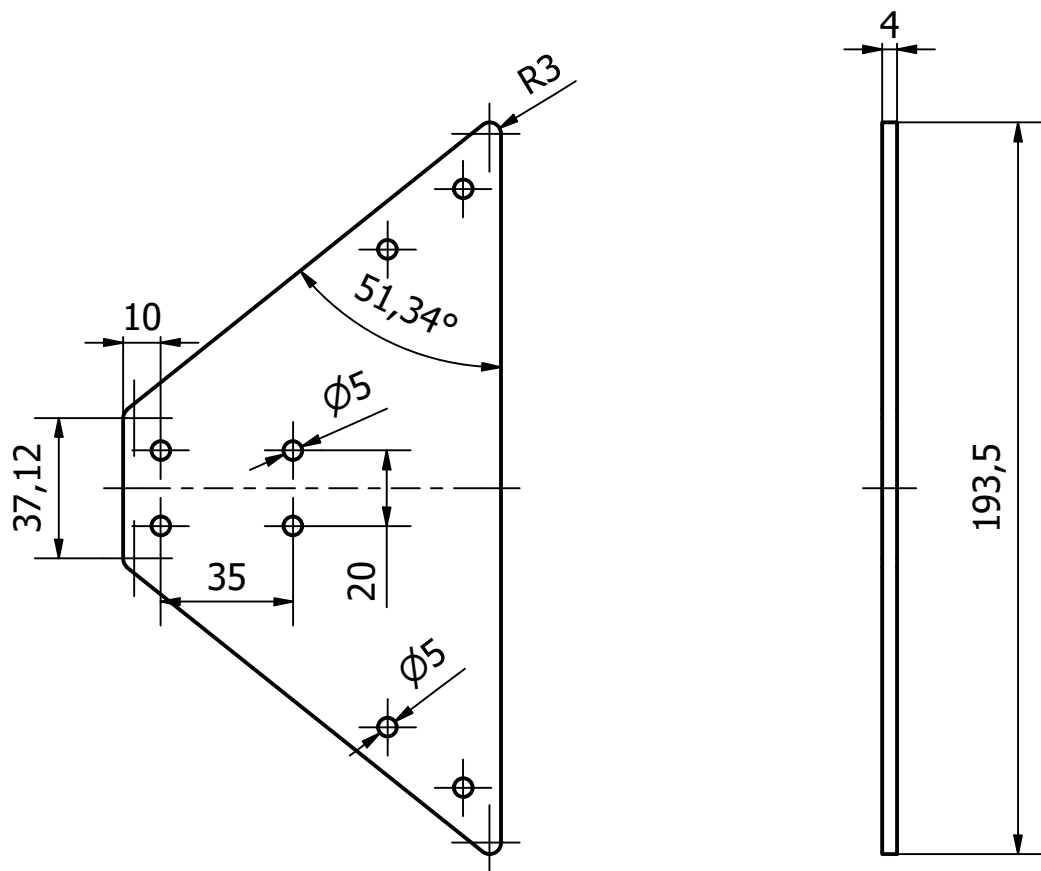
Poz.	Materijal	Dimenzije		Težina	Sklop	Kom.	Napomena
2.7	1.4301	83x40x5			0-0-1	4	
Izmjena	Datum	Ime		Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
			Projektirao	8.2020.	Daren Premuš		
			Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš		
			Crtao	8.2020.	Daren Premuš		
			Pregledao				
			Odobrio				
Mjerilo: 1:1	Naziv: Glavni vanjski nosač					Br. nacrtā: 0-2-7	



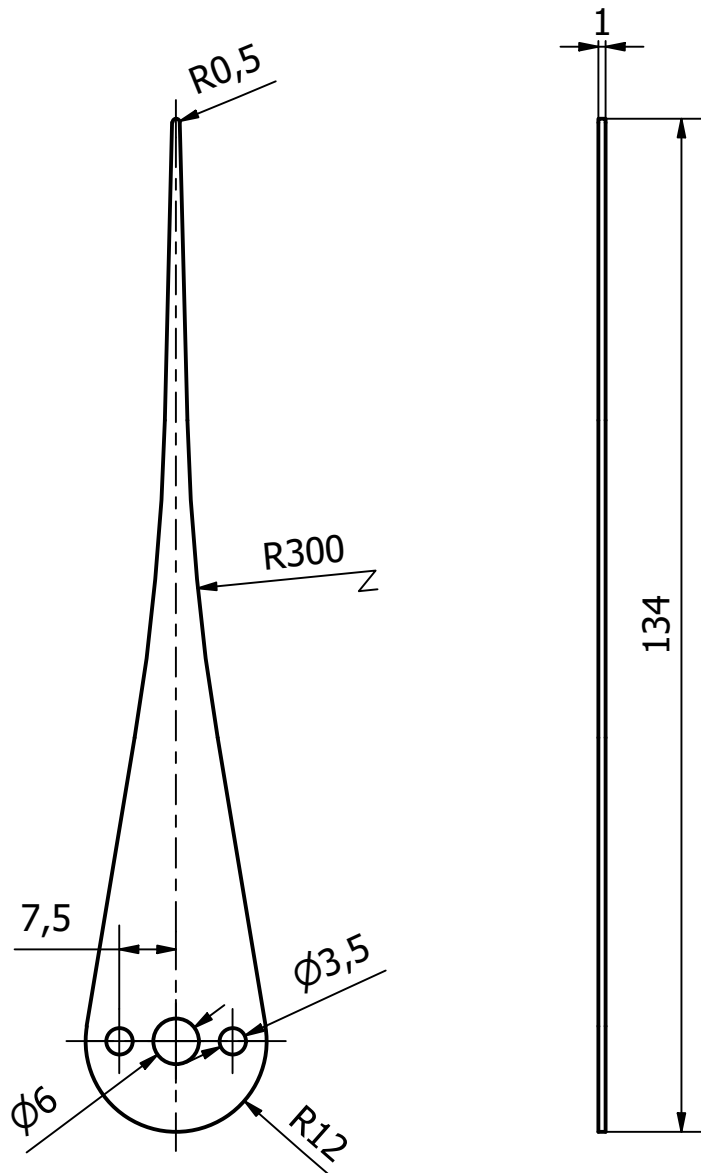
Poz.	Materijal	Dimenzije		Težina	Sklop	Kom.	Napomena
2.8	5083	200x200x4			0-0-1	2	
Izmjena	Datum	Ime		Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
			Projektirao	8.2020.	Daren Premuš		
			Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš		
			Crtao	8.2020.	Daren Premuš		
			Pregledao				
			Odobrio				
Mjerilo: 1:2	Naziv: Veliki trokut					Br. nacrtā: 0-2-8	



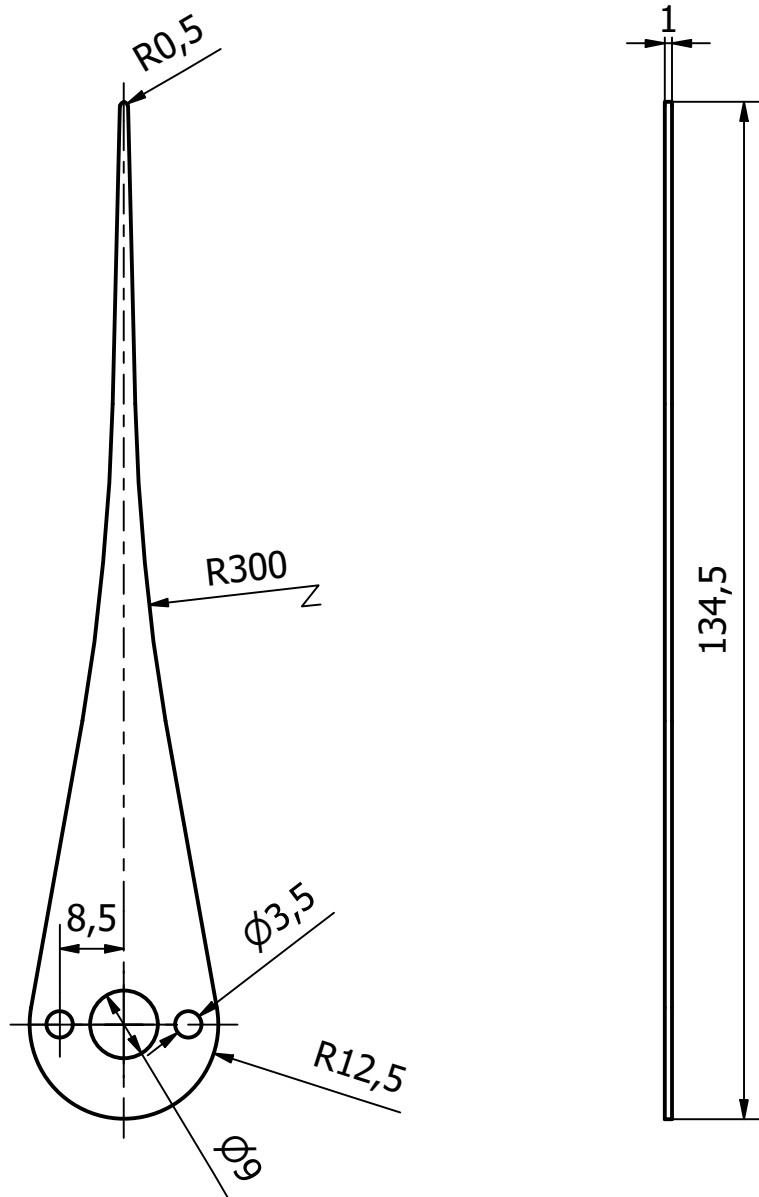
Poz.	Materijal	Dimenzije		Težina	Sklop	Kom.	Napomena
2.9	EN 5083	100x100x4			0-0-1	2	
Izmjena	Datum	Ime		Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
			Projektirao	8.2020.	Daren Premuš		
			Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš		
			Crtao	8.2020.	Daren Premuš		
			Pregledao				
			Odobrio				
Mjerilo: 1:1	Naziv: Mali trokut					Br. nacrtā: 0-2-9	



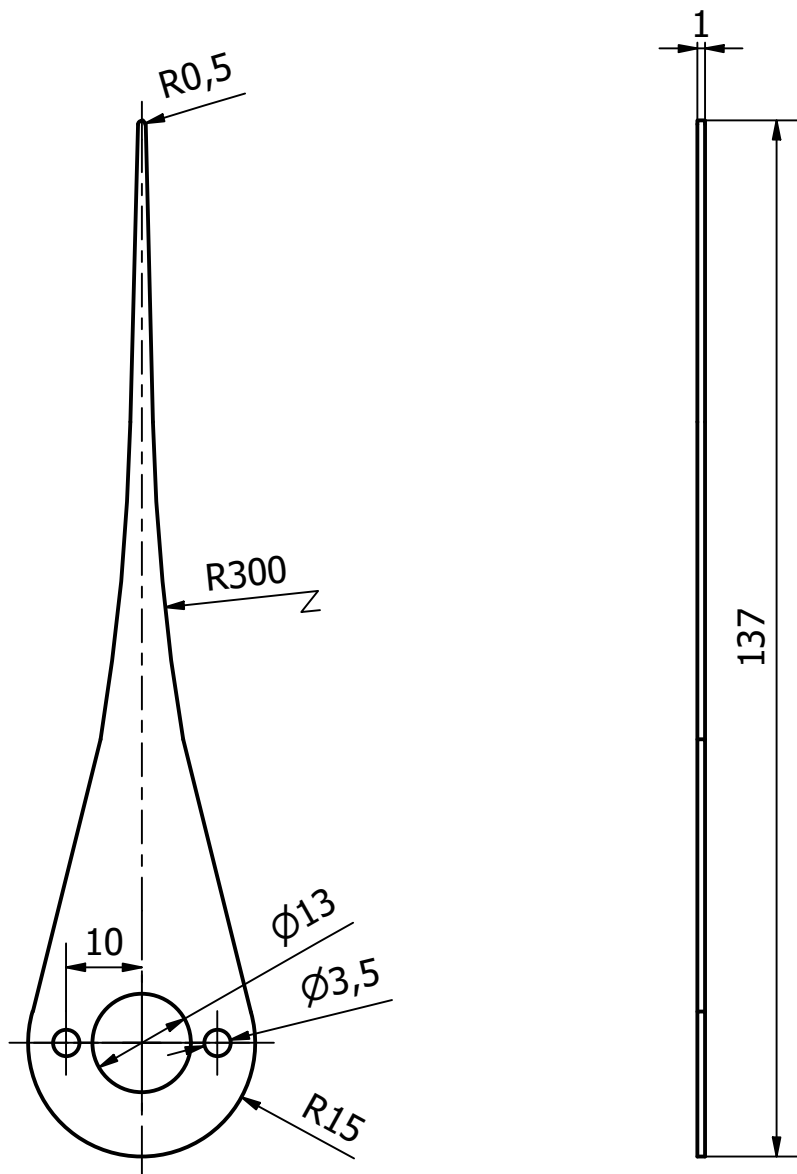
Poz.	Materijal	Dimenzije	Težina	Sklop	Kom.	Napomena
2.10	EN 5083	100x195x4		0-0-1	2	
Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
		Projektirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Crtao	8.2020.	Daren Premuš		
		Pregledao				
		Odobrio				
Mjerilo: 1:2	Naziv: Donji nosač					Br. nacrtā: 0-2-10



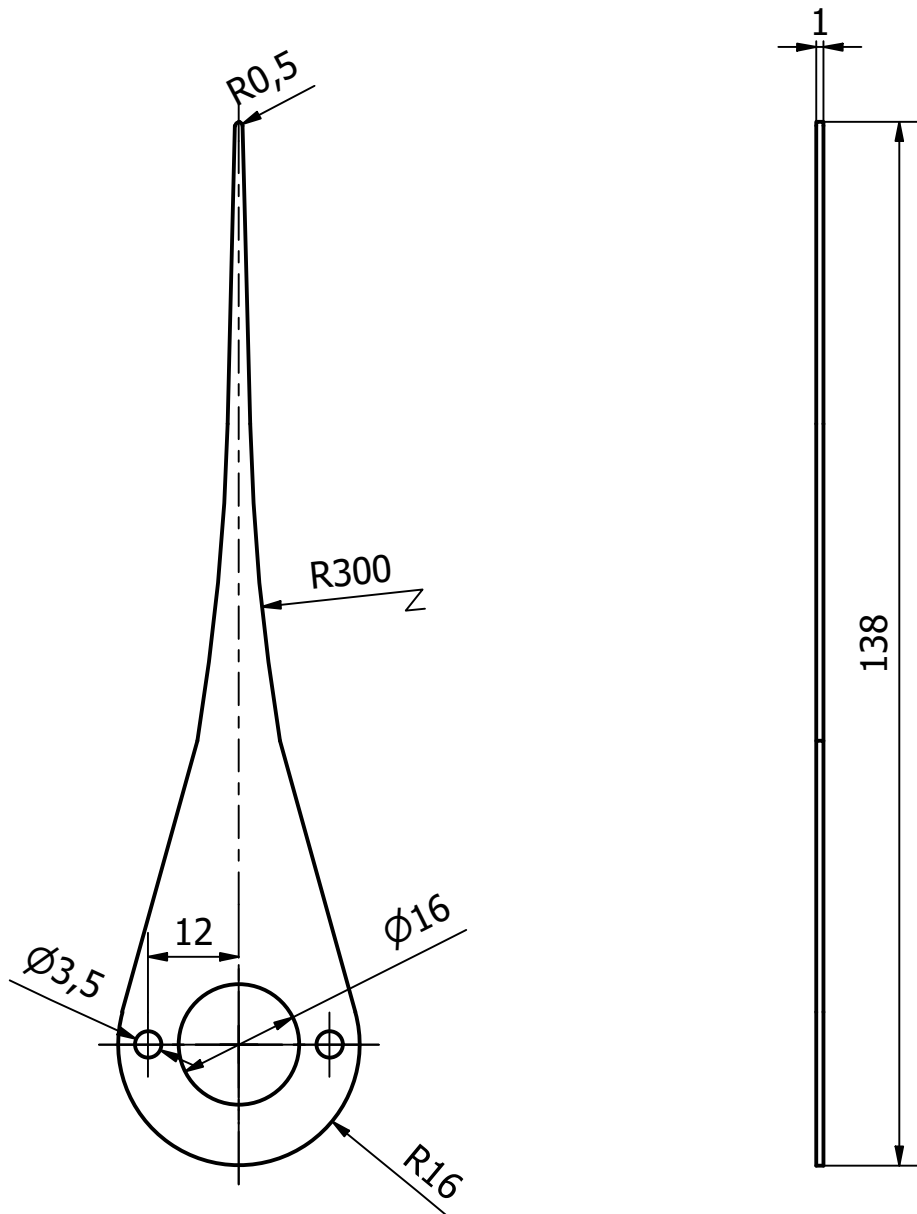
Poz.	Materijal	Dimenzije		Težina	Sklop	Kom.	Napomena	
2.11	1.4301	134x24x1			0-0-1	2		
Izmjena	Datum	Ime		Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER	
			Projektirao	8.2020.	Daren Premuš			
			Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš			
			Crtao	8.2020.	Daren Premuš			
			Pregledao					
			Odobrio					
Mjerilo: 1:1		Naziv: Kazaljka Ø6					Br. nacrtā: 0-2-11	



Poz.	Materijal	Dimenzije		Težina	Sklop		Kom.	Napomena	
2.12	1.4301	134,5x25x1			0-0-1		2		
	Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER		
			Projektirao	8.2020.	Daren Premuš				
			Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš				
			Crtao	8.2020.	Daren Premuš				
			Pregledao						
			Odobrio						
Mjerilo: 1:1		Naziv: Kazaljka Ø9					Br. nacrtā: 0-2-12		

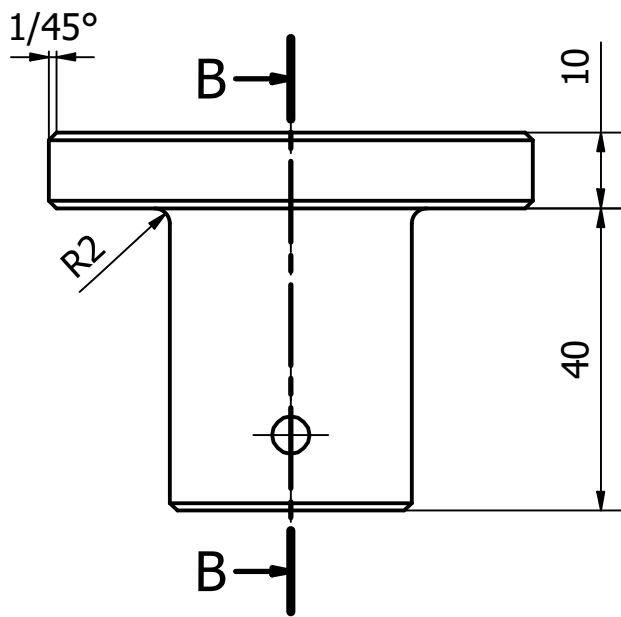
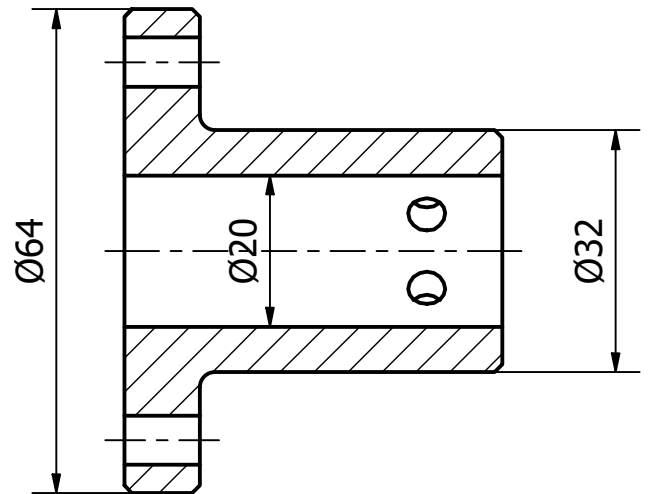
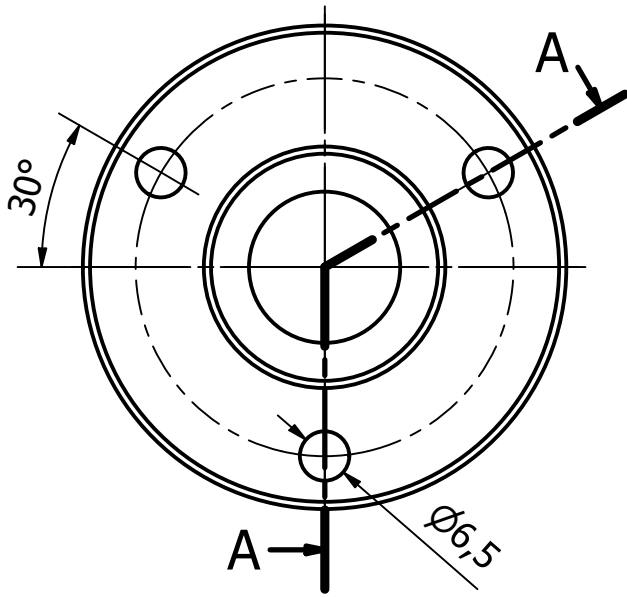


Poz.	Materijal	Dimenzije	Težina	Sklop	Kom.	Napomena
2.13	1.4301	137x30x1		0-0-1	2	
Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
		Projektirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Crtao	8.2020.	Daren Premuš		
		Pregledao				
		Odobrio				
Mjerilo: 1:1	Naziv: Kazaljka Ø13					Br. nacrtā: 0-2-13

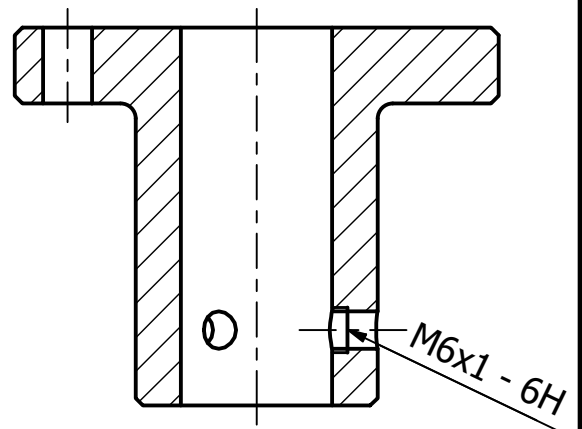


Poz.	Materijal	Dimenzije		Težina	Sklop	Kom.	Napomena
2.13	1.4301	137x30x1			0-0-1	2	
Izmjena	Datum	Ime		Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
			Projektirao	8.2020.	Daren Premuš		
			Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš		
			Črtao	8.2020.	Daren Premuš		
			Pregledao				
			Odobrio				
Mjerilo: 1:1	Naziv: Kazaljka Ø13					Br. nacrtā: 0-2-13	

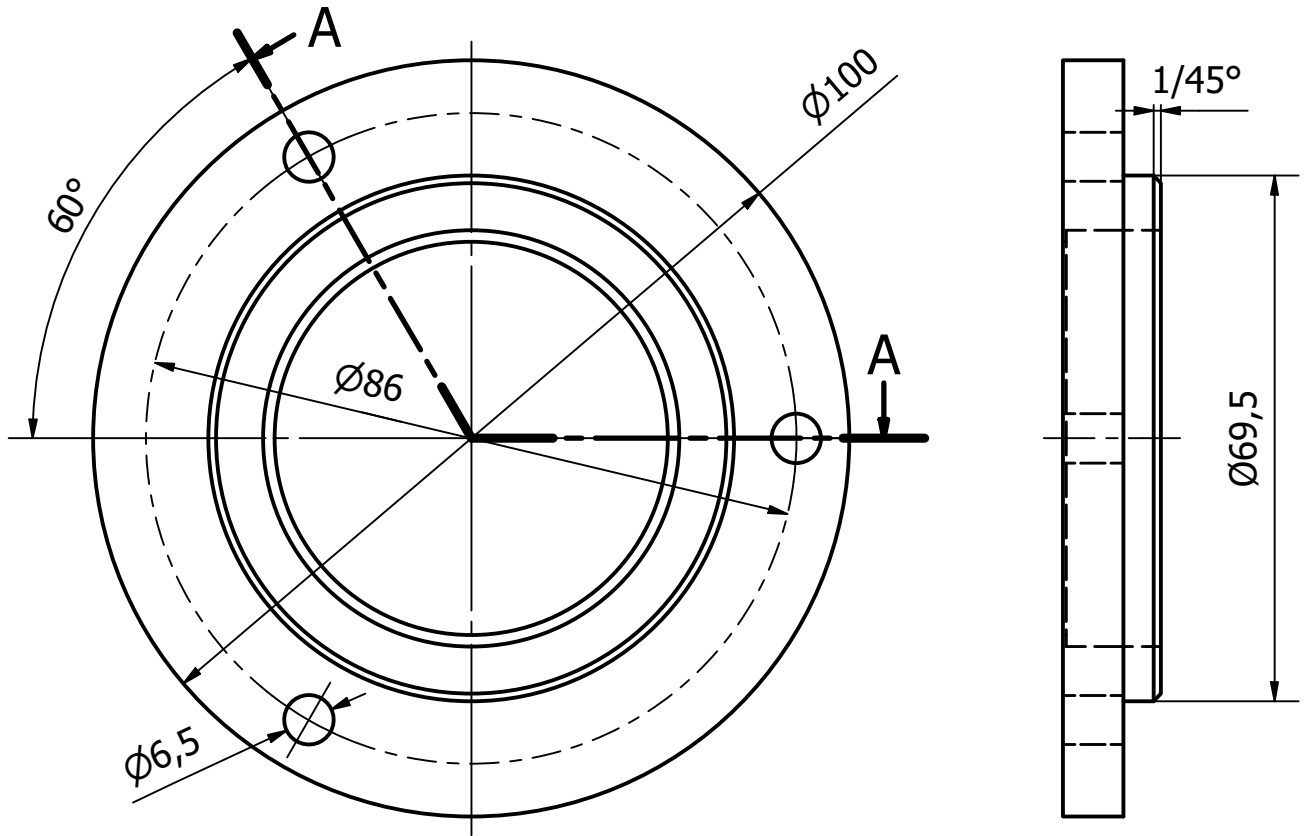
A-A (1 : 1)



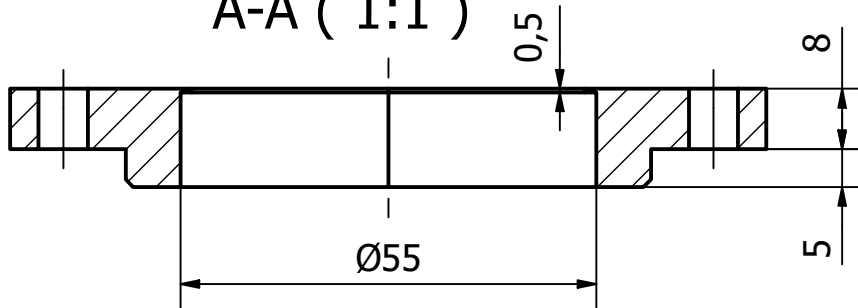
B-B (1 : 1)



Poz.	Materijal	Dimenzije		Težina	Sklop	Kom.	Napomena
3.1	EN 1.7227	Ø64x50			0-0-1	1	
Izmjena	Datum	Ime		Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
		Projektirao	8.2020.		Daren Premuš		
		Konstruirao	8.2020.		Daren Premuš		
		Crtao	8.2020.		Daren Premuš		
		Pregledao					
		Odobrio					
Mjerilo: 1:1	Naziv: Lijevi prihvat					Br. nacrtā: 0-3-1	



A-A (1:1)

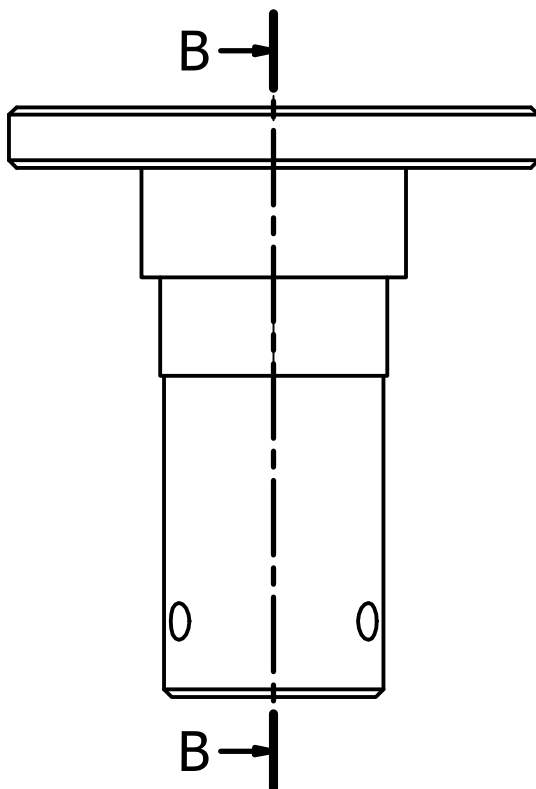
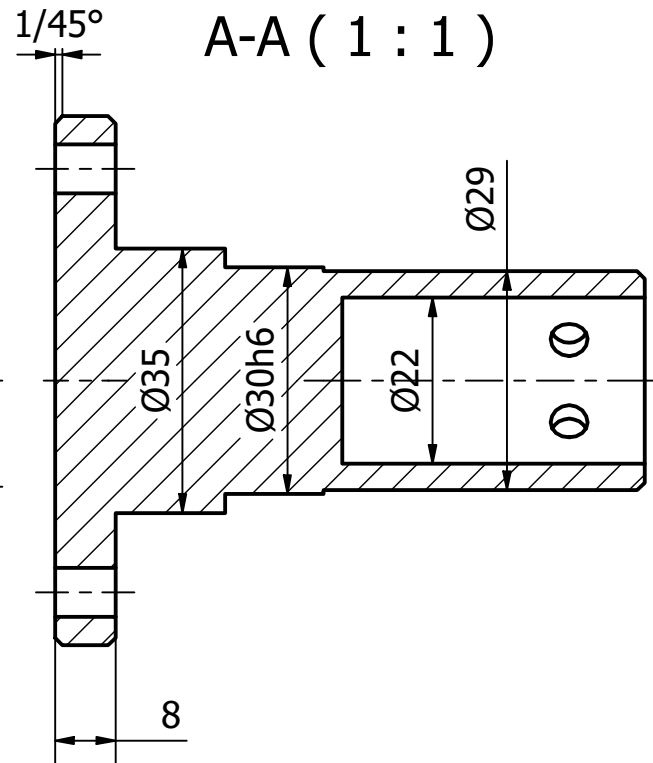
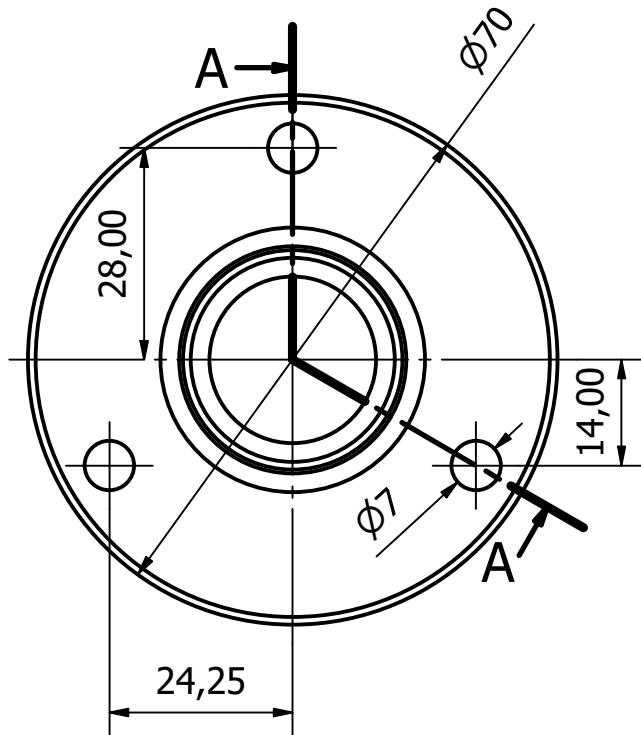


Poz.	Materijal	Dimenzije	Težina	Sklop	Kom.	Napomena
3.2	EN 1.7227	Ø100x13		0-0-1	1	
Izmjena	Datum	Ime	Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
		Projektirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Konstruirao	8.2020.	Daren Premuš		
		Crtao	8.2020.	Daren Premuš		
		Pregledao				
		Odobrio				
Mjerilo: 1:1	Naziv: Nosач ležaja					Br. nacрта: 0-3-2

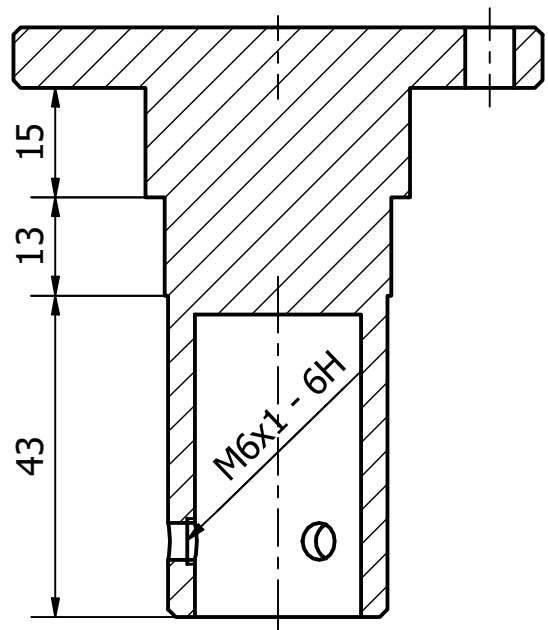
h6

0,00000

-0,00051



B-B (1 : 1)



Poz.	Materijal	Dimenzije		Težina	Sklop	Kom.	Napomena
3.3	EN 1.7227	Ø35x77			0-0-1	1	
Izmjena	Datum	Ime		Datum	Ime, Prezime	Potpis	SVEUČILIŠTE SJEVER
		Projektirao		8.2020.	Daren Premuš		
		Konstruirao		8.2020.	Daren Premuš		
		Crtao		8.2020.	Daren Premuš		
		Pregledao					
		Odobrio					
Mjerilo:	Naziv:		Br. nacрта:				
1:1	Desni prihvata		0-3-3				