

# Ergonomijsko rješenje upravljanja pokretnog postrojenja za vakuumsku impregnaciju transformatora

---

**Plavac, Josip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:617695>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-03**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Josip Plavac

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Aleksandar Sušić, dipl. ing.

Student:

Josip Plavac

Zagreb, 2024.

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

Zahvaljujem svojem mentoru prof. dr. sc. Aleksandru Sušiću na svim savjetima i pomoći tijekom izrade ovog rada. Također, zahvaljujem tvrtki Končar Mjerni Transformatori što su mi omogućili korištenje njihove komercijalne verzije programskog paketa Ansys tijekom izrade završnog rada.

Josip Plavac



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 01	
Ur.broj: 15 – 24 –	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Josip Plavac**

JMBAG: **0035217740**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Ergonomijsko rješenje upravljanja pokretnog postrojenja za vakuumsku impregnaciju transformatora**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Ergonomic solution for managing a mobile plant for vacuum impregnation of transformers**

Opis zadatka:

Utvrđena je potreba izrade pokretnog postrojenja za vakuumsku impregnaciju transformatora. Zbog ove potrebe i uvjeta korištenja pokretnog postrojenja unutar pogona iskazan je konstrukcijski zahtjev da se gabariti, geometrija i sustav upravljanja međusobno usklade. U tom je smislu konstrukcija postrojenja uvjetovana funkcionalnim i očekivanim mogućnostima, te se njegova mobilnost treba omogućiti bez ugrožavanja funkcionalnih kvaliteta. Obzirom da je mobilnost ovakvog postrojenja dodatan zahtjev na čitavo postrojenje, te da je učinkovitost upravljanja ergonomijski problem o kojemu ovisi konačna konstrukcija čitavog postrojenja, fokus je stavljen na ergonomijski pristup rješavanja ovog zahtjeva.

U radu je potrebno:

- Ukratko opisati postrojenje za vakuumsku impregnaciju transformatora;
- Istaknuti sve konstrukcijske zahtjeve postavljene pred postrojenje i njegovu mobilnost;
- Provesti razradu konstrukcijskog rješenja prijenosnog postrojenja za vakuumsku impregnaciju transformatora radi utvrđivanja ergonomijskih izazova;
- Izvršiti ergonomijsku razradu upravljanja pokretnog postrojenja za vakuumsku impregnaciju transformatora;
- Raspraviti konstrukcijske i ergonomijske kvalitete rješenja upravljanja pokretnog postrojenja za vakuumsku impregnaciju transformatora.

Svu dokumentaciju izraditi na računalu, a opseg tehničke dokumentacije dogovoriti tijekom izrade rada. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.

Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.
2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.


Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.
2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc.  Aleksandar Sušić

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

# SADRŽAJ

<b>SADRŽAJ .....</b>	<b>I</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>III</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>VI</b>
<b>POPIS OZNAKA.....</b>	<b>VII</b>
<b>SAŽETAK .....</b>	<b>X</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>XI</b>
<b>1. Uvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ERGONOMSKI ZAHTJEVI.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Izvedivost guranja mobilne stanice .....</b>	<b>3</b>
2.1.1. Testiranja i preporučena ograničenja .....	4
2.1.2. Sažetak.....	7
<b>3. ODREĐIVANJE DIMENZIJA MOBILNE STANICE .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1. Visina mobilne stanice.....</b>	<b>9</b>
3.1.1. Odabir kotača.....	10
3.1.2. Visina rukohvata .....	13
<b>3.2. Dimenzije postolja.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3. Koncept kaveza mobilne stanice .....</b>	<b>14</b>
<b>4. ODABIR PROFILA KONSTRUKCIJE.....</b>	<b>15</b>
<b>4.1. Materijal profila i dopuštena naprezanja .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2. Prva iteracija.....</b>	<b>16</b>
4.2.1. Analiza konstrukcije tijekom mirovanja na tlu.....	17
4.2.2. Analiza konstrukcije tijekom procesa višenja .....	19
<b>4.3. Druga iteracija .....</b>	<b>21</b>
4.3.1. Analiza druge iteracije.....	22
<b>4.4. Treća iteracija .....</b>	<b>24</b>
4.4.1. Rezultati analize treće iteracije.....	25
<b>5. OBLIKOVANJE POTREBNIH ELEMENTA ZA LAKŠI TRANSPORT.....</b>	<b>29</b>
<b>5.1. Guranje.....</b>	<b>29</b>

---

5.1.1.Zahtjevi rukohvata .....	29
5.1.2.Oblikovanje rukohvata .....	30
5.1.3.Svornjak.....	41
5.1.4.Konstruktivsko rješenje rukohvata.....	46
<b>5.2. Transport viličarom .....</b>	<b>47</b>
<b>5.3. Transport dizalicom .....</b>	<b>51</b>
5.3.1.Odabir očne matice .....	52
5.3.2.Dimenzioniranje ukrute.....	54
5.3.3.Dimenzioniranje vijka.....	56
<b>6. KONAČNA ANALIZA KONSTRUKCIJE.....</b>	<b>58</b>
<b>6.1. Konačna FEM analiza.....</b>	<b>58</b>
6.1.1.FEM analiza kaveza mobilne stanice .....	58
6.1.2.FEM analiza rukohvata .....	65
<b>6.2. Masa kaveza konstrukcije.....</b>	<b>66</b>
<b>6.3. Najniža visina radnika koji može gurati mobilnu stanicu .....</b>	<b>70</b>
<b>6.4. Konačni izgled konstrukcije .....</b>	<b>74</b>
<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>76</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>77</b>
<b>PRILOG.....</b>	<b>81</b>

## POPIS SLIKA

Slika 1. Stacionarno postrojenje za vakuumsku impregnaciju transformatora.....	1
Slika 2. Tablica preporučenih ograničenja [5].....	5
Slika 3. Tablica sila [6, 7].....	6
Slika 4. Uređaji eksperimenta [5].....	7
Slika 5. Prvi koncept mobilne stanice .....	9
Slika 6. Izvedba s kočnicom .....	10
Slika 7. Tablica karakteristika odabranih kotača[12, 13] .....	11
Slika 8. Prilagođena koncepcija kaveza.....	12
Slika 9. Dimenzije postolja.....	13
Slika 10. Mreža kaveza.....	14
Slika 11. Prilagodba kaveza za prihvat kuka dizalice .....	15
Slika 12. Rezultati naprezanja.....	18
Slika 13. Rezultati deformacija.....	18
Slika 14. Rezultati naprezanja višenja.....	19
Slika 15. Mjesto koncentracije naprezanja .....	20
Slika 16. Naprezanje u oko mjesta koncentracije naprezanja.....	20
Slika 17. Rezultati deformacija višenja .....	21
Slika 18. Novi izgled kaveza konstrukcije.....	22
Slika 19. Kritično područje prilagođene konstrukcije .....	23
Slika 20. Naprezanje profila postolja prilagođene konstrukcije .....	23
Slika 21. Deformacije prilagođene konstrukcije.....	24
Slika 22. Izgled konstrukcije u trećoj iteraciji .....	25
Slika 23. Naprezanja postolja treće iteracije.....	26
Slika 24. Naprezanje na prethodnom kritičnom mjestu .....	26
Slika 25. Novo mjesto najvećeg naprezanja .....	27
Slika 26. Deformacije treće iteracije .....	28
Slika 27. Rukohvat .....	31
Slika 28. Skica opterećenja.....	32
Slika 29. Presjek 1 .....	34
Slika 30. Presjek 2 .....	34
Slika 31. Presjek 3.....	35



Slika 32. Presjek 4 .....	36
Slika 33. Dijagram unutarnjih sila i momenata.....	39
Slika 34. Opterećenje svornjaka.....	41
Slika 35. Presjek komponenti.....	42
Slika 36. Masa rukohvata bez gumirane površine.....	42
Slika 37. Tablica dopuštenih naprezanja [21].....	44
Slika 38. Konstruktivsko rješenje rukohvata .....	46
Slika 39. Osiguravanje položaja rukohvata .....	46
Slika 40. HELI CPD20SQ [22].....	48
Slika 41. HELI CPD50 [23].....	48
Slika 42. Tablica mjera [24].....	49
Slika 43. Transportiranje viličarom.....	50
Slika 44. Izvedba veze konstrukcije i sjale.....	52
Slika 45. Tablica karakteristika odabrane ušice [25] .....	53
Slika 46. Naprezanja ukrute.....	55
Slika 47. Konačni izgled i dimenzije ukrute.....	55
Slika 48. Osiguranje od odvrtnja.....	56
Slika 49. Dimenzije komponenata na vijku .....	57
Slika 50. Ušice i ukrute.....	57
Slika 51. Mjesto najvećeg progiba .....	59
Slika 52. Progib profila postolja.....	59
Slika 53. Naprezanje unutar profila na mjestu najvećeg progiba.....	60
Slika 54. Naprezanje na spojnom mjestu postolja i nosivog vertikalnog profila.....	61
Slika 55. Naprezanje vertikalnog nosivog profila.....	61
Slika 56. Naprezanje ukrute za prihvat očnog vijka.....	62
Slika 57. Zona najvećeg naprezanja .....	62
Slika 58. Kritična zona s gušćom mrežom konačnih elemenata.....	63
Slika 59. Nova analiza s modelom koji sadrži zaobljenja i skošenja .....	64
Slika 60. Rezultat naprezanja rukohvata .....	65
Slika 61. Rezultat deformacije rukohvata.....	66
Slika 62. Masa mobilne stanice bez kotača .....	67
Slika 63. Novoizabrani kotači [10].....	69
Slika 64. Položaji tijela prilikom guranja [38] .....	70
Slika 65. Visina pogrbljenog radnika [38].....	71

---

Slika 66. Tablica antropoloških podataka [14] .....	72
Slika 67. Konačni izgled mobilne stanice za vakuumsko impregniranje transformatora .....	74
Slika 68. Drugi pogled.....	75

---

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Dopuštena naprezanja .....	16
Tablica 2. Podaci o masi i cijeni pojedinih kotača .....	68
Tablica 3. Razlika cijene i mase između starog i novog kotača .....	68
Tablica 4. Tablica izračunatih vrijednosti udaljenosti između vrha glave i očiju.....	72

# POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
$M_{y,max, rukohvata}$	Nmm	maksimalni unutarnji savojni moment rukohvata
$W_{y,min}$	mm <sup>3</sup>	minimalni potrebni moment otpora savijanja rukohvata
$\sigma_f$	N/mm <sup>2</sup>	savojno naprezanje
$\tau_{dop}$	N/mm <sup>2</sup>	dopušteno poprečno naprezanje
$\mu_{kotrljanja}$		faktor trenja kotrljanja
$A$	mm	udaljenost provrta ukrute od šupljeg pravokutnog profila krova
$A_s$	mm <sup>2</sup>	presjek zatika
$B$	mm	širina ukrute s provrtom
$d$	mm	promjer provrta ukrute s provrtom
$d_s$	mm	promjer svornjaka
$d_{s,min}$	mm	Minimalni potrebni promjer svornjaka
$E$	N/mm <sup>2</sup>	Youngov modul elastičnosti
$F_3$	N	sila koja opterećuje guranje
$F_{Ax}$	N	reakcijska sila oslonca A u smjeru osi z
$F_{Ay}$	N	reakcijska sila oslonca A u smjeru osi y
$F_{Bx}$	N	reakcijska sila oslonca B u smjeru osi x
$F_{By}$	N	reakcijska sila oslonca B u smjeru osi y
$F_{guranja}$	N	sila guranja
$F_{svornjak}$	N	sila koja opterećuje svornjak
$G_{rukohvata}$	N	težina rukohvata
$g$	m/s <sup>2</sup>	gravitacijsko ubrzanje
$h$	mm	bisina mobilne stanice za vakuumsko impregniranje transformatora
$h_2$	mm	konačna visina mobilne stanice
$h_3$	mm	visina mobilne stanice pod kutem
$h_{kotača}$	mm	visina kotača
$h_{max, profila}$	mm	maksimalna visina šupljeg pravokutnog profila

		minimalna dopuštena visina praznog prostora
$h_{\min, \text{kaveza}}$	mm	unutar mobilne stanice za vakuumsko impregniranje transformatora
$h_{\min, \text{radnika}}$	mm	Minimalna visina radnika koji može gurati mobilnu stanicu s neometanim vidnim poljem
$h_p$	mm	visina ploče postolja
$h_{pl}$	mm	visina pločice za prihvat kotača
$h_{\text{prof}}$	mm	visina šupljeg pravokutnog profila
$h_{\text{središta}}$	mm	visinu sjedišta
$h_u$	mm	visina za lakšu montažu za i zavarivanje
$h_{\text{vidno\_polje}}$	mm	udaljenost između očiju i vrha konstrukcije
$h_{\text{viličar}}$	mm	visinu očiju vozača viličara
$h_{\text{visina\_očiju}}$	mm	visina očiju
$h_{\text{visina\_tijela}}$	mm	visina tijela
$h_{vo}$	mm	visina očiju u sjedećem položaju
$I_y$	mm <sup>4</sup>	moment inercije
$L$		odabrana duljina vijka s očnom maticom
$L_{\min}$	mm	minimalna duljina vijka s očnom maticom
$M_{Az}$	Nmm	reakcijski moment oko osi z u osloncu A
$m_{\text{BSFE\_GST\_160k}}$	kg	masa statičkog kotača
$M_{Bz}$	Nmm	reakcijski moment oko osi z u osloncu B
$m_{\text{dop}}$	kg	dopuštena masa
$m_{k,p}$	kg	masa elemenata unutar postrojenja
$m_{\text{kaveza}}$	kg	mase kaveza konstrukcije s dodatnim elementima
$m_{\text{kaveza2}}$	kg	konačna masa kaveza mobilne stanice sa svim elementima ergonomskih adaptacija
$m_{\text{konstrukcije2}}$	kg	masa kaveza mobilne stanice s kotačima
$m_{\text{LSFE\_GST\_160K}}$	kg	masa okretnog kotača
$m_{\text{max,kaveza}}$	kg	gornja granica mase kaveza konstrukcije
$m_{\text{max, komponenti}}$	kg	maksimalnog opterećenja postrojenja
$m_{\text{očne\_matice}}$	kg	masa očne matice
$m_{\text{opterećanja\_kotaca}}$	kg	masa koja opterećuje kotač
$m_{\text{rukohvata}}$	kg	masa rukohvata bez gumirane površine

$m_{s,rukohvata}$	kg	masa rukohvata s gumiranom površinom
$M_{y1}$	Nmm	moment savijanja presjeka 1
$M_{y2}$	Nmm	moment savijanja presjeka 2
$M_{y3}$	Nmm	moment savijanja presjeka 3
$M_{y4}$	Nmm	moment savijanja presjeka 4
$p_{dop}$	N/mm <sup>2</sup>	dopušteni tlak
$p_u$	N/mm <sup>2</sup>	unutarnji tlak
$p_v$	N/mm <sup>2</sup>	vanjski tlak
$R_e$	N/mm <sup>2</sup>	granica tečenja
$S_1$		faktor sigurnosti mase postrojenja
$S_2$		faktor sigurnosti koji kompenzira masu rukohvata
$S_{materijala}$		faktor sigurnosti materijala
$S_{vidnog\_polja}$		faktor sigurnosti vidnog polja
$S_{gum\_pov}$		faktor sigurnosti koji kompenzira masu gumirane površine
$t$	mm	širina stijenke pravokutnog profila
$z_1$	mm	visina od poda do mobilne stanice
$z_2$	mm	visina od najniže do najviše točke mobilne stanice
$\sigma_{dop}$	N/mm <sup>2</sup>	dopušteno naprezanje
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	poprečno naprezanje

---

## SAŽETAK

Ovaj završni rad usredotočuje se na dizajn mobilnog sustava za vakuumsku impregnaciju transformatora, s naglaskom na ergonomsku procjenu izvedivosti ručnog guranja. Konstrukcija uključuje šuplje kvadratne cijevi, ploče, kotače s prigušnim elementom, rukohvat i prihvat za sajle dizalice, te smještaj uređaja za impregnaciju i spremnika za ulje. Revizije za mobilnost unutar postrojenja potiču ergonomske prilagodbe, zahtijevajući usklađenost s dimenzijama sustava upravljanja. Unatoč početnim ograničenjima dizajna, cilj je poboljšati sigurnost i učinkovitost tijekom prijevoza, rješavajući izazove u vidljivosti, rukohvatu i kotačima. Sveukupno, istraživanje integrira inženjerski dizajn, ergonomske principe i sigurnosna razmatranja kako bi se optimizirala funkcionalnost i upotrebljivost predloženog sustava za vakuumsku impregnaciju. Usklađivanjem zadanih i preporučenih konstrukcijskih i ergonomskih zahtjeva koncipirano je postrojenje koje je moguće uspješno transportirati guranjem, viličarom i dizalicom.

**Ključne riječi:** sigurnost prilikom transportiranja, mobilni sustav za vakuumsku impregnaciju, sigurnost prijevoza, integracija dizajna i ergonomije

## SUMMARY

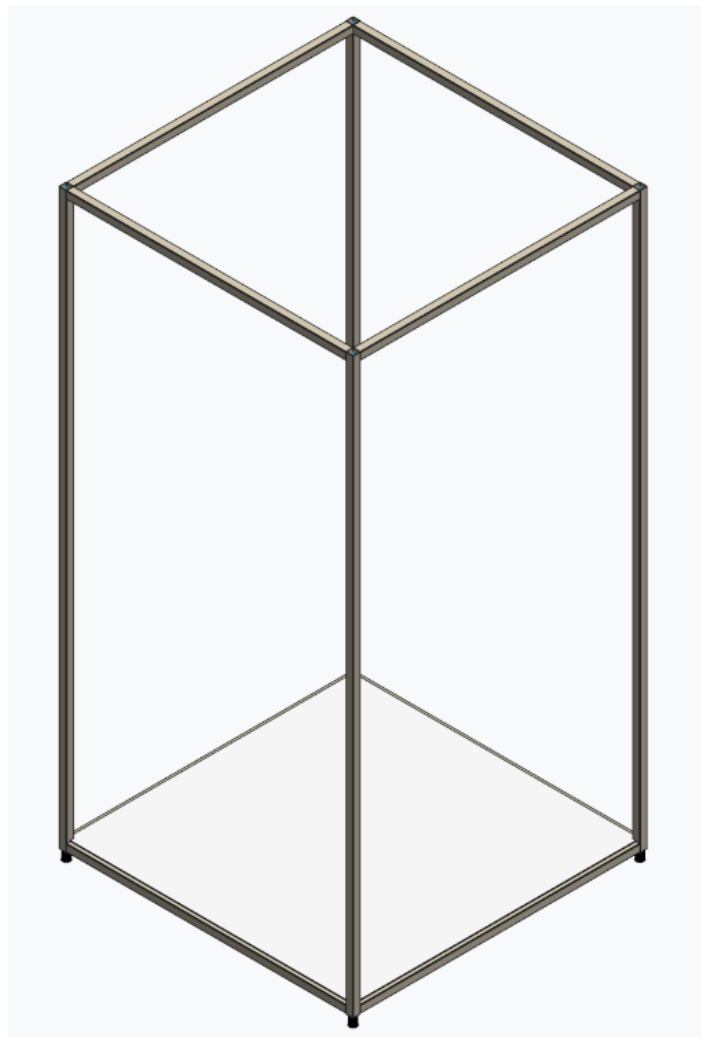
This undergraduate thesis focuses on designing a mobile system for vacuum impregnation of transformers, emphasizing ergonomic evaluation the feasibility of manual pushing. The construction involves hollow square tubes, plates, wheels with damping elements, handles, and a crane cable holder, accommodating impregnation devices and an oil tank. Mobility revisions encourage ergonomic adjustments, requiring compliance with the control system dimensions. Despite initial design constraints, the goal is to enhance safety and efficiency during transport, addressing challenges in visibility, handle, and wheels. The calculated force needed to push the system, considering maximum weight and friction factors, raises concerns, prompting further research. Testing and recommended occupational safety limits highlight potential challenges due to the system's weight, necessitating detailed ergonomic adaptations for improved mobility. Overall, the research integrates engineering design, ergonomic principles, and safety considerations to optimize the functionality and usability of the proposed vacuum impregnation system.

**Key words:** transportation safety, mobile vacuum impregnation system, transport safety, design and ergonomics integration



## 1. Uvod

Utvrđena je potreba za razvojem postrojenja namijenjenog vakuumskoj impregnaciji transformatora, neovisnog o proizvodnom sustavu, s ciljem optimizacije planiranja proizvodnih procesa, s obzirom na njihovo dugoročno planiranje. Eventualna zakašnjenja u isporuci materijala i/ili dijelova tijekom faze izrade transformatora mogu dovesti do potrebe za prilagodbom u vakuumskom postrojenju unutar proizvodnog sustava, što može rezultirati problemima. U toj situaciji, uloga navedenog postrojenja je preuzeti dio tog opterećenja. Prikaz prvog koncepta kućišta postrojenja može se vidjeti na slici 1.



**Slika 1. Stacionarno postrojenje za vakuumsku impregnaciju transformatora**

Konstrukcija se sastoji od šupljih kvadratnih cijevi, ploča i prigušivača vibracija koji se nalazi na dnu vertikalnih profila. Prazan prostor unutar konstrukcije ima dimenzije 1500x1500x3000

mm. Kvadratni profili i postolje su međusobno povezani zavarivanjem. Unutar praznog prostora kaveza nalaze se potrebni uređaji za vakuumsku impregnaciju i rezervoar transformatorskog ulja, pri čemu njihova zajednička masa varira u intervalu od 150 do 650 kg, ovisno o tome je li rezervoar pun ili prazan. Komponente postrojenja su pozicionirane tako da se težište mase nalazi u centru ploče.

Ponovnom revizijom pogona identificirana je potreba za mobilnošću postrojenja unutar njega. Stoga je postavljen konstrukcijski zahtjev koji zahtijeva usklađivanje gabarita i geometrije s budućim sustavom upravljanja, pri čemu mobilnost ne smije narušiti funkcionalne kvalitete. S obzirom na to da mobilnost ovakvog postrojenja predstavlja dodatni zahtjev na cjelokupno postrojenje, te uzimajući u obzir da je učinkovitost upravljanja ergonomski izazov od kojeg ovisi konačna konstrukcija, fokus ovog završnog rada usmjeren je na ergonomski pristup rješavanju navedenog zahtjeva.

Prilikom rješavanja predstavljenog problema zadana su sljedeća ograničenja:

- masa adaptirane konstrukcije bez dodatnih elemenata ne smije biti veća 160 kg, tj. masa „kaveza“ konstrukcije ne smije biti veća od 160 kg,
- dimenzije praznog prostora postolja moraju se kretati u intervalu od 1200 do 1500 mm s time da jedna dimenzija širine ili dužine mora biti 1500 mm kako bi se osigurao potreban prostor za pravilnu preraspodjelu položaja komponenti s ciljem centriranja težišta mase na sredinu postolja,
- minimalna visina praznog prostora unutar rešetkaste konstrukcije ne smije biti manji 1100 mm zbog visine rezervoara
- „kavez“ konstrukcije treba biti izrađen od sljedećih kvadratnih ili pravokutnih profila koji su kupljeni od proizvođača Strojoprometa [1] i dostupni su u skladištu: 20x20x2, 40x20x2, 40x40x2, 50x30x2 i 60x40x2,
- prilikom izrade konstrukcije profili se mogu ili ne moraju kombinirati, te se preferira zavarena izvedba kaveza
- ploča postolja i predloženi šuplji profili moraju biti izrađeni od konstrukcijskog ili nehrđajućeg čelika, koji su dostupni u skladištu.

## 2. ERGONOMSKI ZAHTJEVI

S obzirom na želju za različitim načinima transporta postrojenja za vakuumsku impregnaciju, od guranja do korištenja viličara i dizalice, u ovom se poglavlju istražuje izvedivost guranja mobilne stanice. Cilj je prilagoditi konstrukciju radi sigurnog i učinkovitog transporta unutar radnog okruženja.

Za uspješno manevriranje vakuumskim postrojenjem za punjenje transformatora unutar pogona putem guranja ili viličara, ključni su čimbenici neometano vidno polje, rukohvat i kotači. U slučaju prijevoza dizalicom, nužni su prihvatni koji omogućuju sigurno spajanje kuka dizalice s konstrukcijom.

Nažalost, predložena konstrukcija ne sadrži nijedan od potrebnih elemenata. Vidno polje osobe koja transportira postrojenje kompromitirano je zbog preporučene visine gabarita od 3 m, što je previsoko za uspješno manevriranje. Uz to, omjer visine i baze rezultira značajnom nestabilnošću i sklonošću prevrtanju postrojenja tijekom kretanja. Potrebno je poduzeti korektivne mjere kako bi se osigurala sigurnost i učinkovitost transporta postrojenja na željene načine.

### 2.1. Izvedivost guranja mobilne stanice

Guranje tereta na radnom mjestu dodatno opterećuje muskulaturu radnika te može rezultirati upalom mišića, a u najgorem slučaju, ozljedom. Naravno, rizik ovisi o težini tereta, frekvenciji ponavljanja zadataka i općoj fizičkoj spremi osobe koja obavlja taj posao. Kako bi se smanjio rizik od ozljede, postrojenje će se gurati s praznim rezervoarom.

Da bi se provjerila izvedivost guranja, potrebno je odrediti masu postrojenja s praznim rezervoarom. Ta masa jednak je zbroju mase elemenata unutar postrojenja ( $m_{k,p}$ ), koja prema ograničenjima iznosi 150 kg i mase kaveza konstrukcije s dodatnim elementima ( $m_{kaveza}$ ). Masa kaveza konstrukcije je nepoznata te radi sigurnosti pretpostavit će se najgori slučaj, odnosno uzet će se gornja granica mase kaveza konstrukcije ( $m_{max,kaveza}$ ) koja po ograničenjima iznosi 160 kg. Za kompenziranje mase nepoznatih elemenata poput npr. kotača i rukohvata zbroj mase kaveza konstrukcije i opterećenja pomnožit će se s faktorom sigurnosti koji iznosi  $S_1=1,2$ .

Uzimajući sve to u obzir, formula za masu postrojenja iznosi:

$$m_{\text{postrojenja}} = S_1(m_{\text{max,kaveza}} + m_{k,p}) = 1.2(160 + 150) = 372 \text{ kg} \quad (2.1.1.)$$

Budući da je mobilna stanica prilično teška, procijenjena na približno 372 kg s praznim rezervoarom, guranje konstrukcije predstavlja zahtjevan zadatak. Stoga je potrebno provjeriti izvedivost te radnje kako bi se osiguralo da se to može postići bez izazivanja ozljede.

Potrebna sila guranja jednaka je sili trenja kotrljanja konstrukcije:

$$F_{\text{guranja}} = \mu_{\text{kotrljanja}} \cdot g \cdot m_{\text{postrojenja}} \quad (2.1.2.)$$

Prema Krautovom strojarskom priručniku [2] faktor trenja kotrljanja gumenih kotača na cesti iznosi  $\mu_{\text{kotrljanja}} \approx 0,01$  za beton,  $\mu_{\text{kotrljanja}} \approx 0,015$  za asfalt,  $\mu_{\text{kotrljanja}} \approx 0,03$  za makadam i prema članku [3] faktor kotrljanja gume automobila po betonu i asfaltu iznosi između 0,01 i 0,015.

Budući da je materijal podloge radnog mjesta mobilne stanice nepoznat, uzima se najveći od navedenih faktora trenja kotrljanja. Uvrštavanjem odabranog faktora trenja i rezultat izraza (2.1.1.) u izraz (2.1.2.) dobiva se:

$$F_{\text{guranja}} = 0,03 \cdot 9,81 \cdot 372 = 109,480 \text{ N} \quad (2.1.3.)$$

No  $F_{\text{guranja}}$  predstavlja silu guranja mobilne stanice nakon razbijanja statičkog trenja. Prema članku [4] sila, koja je potrebna za razbijanje statičke sile trenja kotrljanja, je 2 do 2.5 puta veća od sile koja je potrebna za održavanje gibanja. Kako bi se dobila maksimalna sila koja će opteretiti tijelo potrebno je izraz (2.1.3.) pomnožiti s 2,5:

$$F_{s,\text{guranja}} = 2,5 \cdot F_{\text{guranja}} = 2,5 \cdot 109,480 = 273,7 \text{ N} \quad (2.1.4.)$$

Sada kada je izračunata potrebna sila, u nadolazećem potpoglavlju će se provjeriti da li ona izaziva probleme ili izlazi iz okvira očekivanih parametara sila guranja za radnike.

### 2.1.1. Testiranja i preporučena ograničenja

Kako bi se kvalitetnije procijenila izvedivost zadatka guranja, predstaviti će se podaci iz više izvora, počevši s tablicom preporučenih ograničenja kanadskog centra za zaštitu na radu [5], koja je prikazana na slici 2.

Type of Truck or Cart	Maximum Load		Maximum Transport Distance		Maximum Frequency Units (per 8 hr - shift)	Minimum Aisle Width		Type of Transfer to and from Truck+
	kg	lb	m	ft		m	ft	
2-wheeled hand cart	114	250	16	50	200	1.0	3	Ma, P
3-wheeled hand cart	227	500	16	50	200	1.0	3	Ma, P
4-wheeled hand cart	227	500	33	100	200	1.3	4	Ma, P
Hand pallet truck	682	1500	33	100	200	1.3	4	Me, UL
Electric pallet truck	2273	5000	82	250	400	1.3	4	Me, UL
Electric hand-jack lift truck	2273	5000	33	100	400	1.3	4	Me, UL
Power low lift truck	2273	5000	328	1000	400	2.0	6	Me, P, UL
Electric handstacking truck	682	1500	82	250	400	1.3	4++	Me, UL
Power fork truck	2273	5000	164	500	400	2.0	6++	Me, UL

+ Ma = Manual; Me = Mechanical; P = Parts; UL = Unit Load

++ These trucks have tiering capability. In order to use it, ceiling must be more than 4 m (12 ft) high.

Slika 2. Tablica preporučenih ograničenja [5]

Prema ovoj tablici, zadatak guranja mobilne stanice spada u kategoriju guranja ručnih kolica s četiri kotača (eng. *4-wheeled hand cart*). Maksimalna težina tereta koji radnik može sigurno gurati, bez rizika od ozljeda, iznosi 227 kg. Također, preporučena maksimalna frekvencija guranja je 200 puta tijekom osmosatnog radnog dana, dok je maksimalna udaljenost za guranje jednog tereta ograničena na 33 metra.

Tablice „Odjela za trgovinu i industriju“ [6, 7], prikazane na slici 3, definiraju intervale minimalne i maksimalne sile guranja za žene i muškarce, kategorizirane po dobi. Tablica s plavim ispunjenjem preuzeta je iz [6], dok je tablica sa zelenim ispunjenjem preuzeta iz [7].

Cylindrical bar - 2 handed strength

Age (years)	Sex	No.	Orientation	Mean	push (N)		Mean	pull (N)	
					SD	Range		SD	Range
2-5	m	12	vertical	86.88	55.23	63.17 – 190.16	98.11	60.17	45.91 – 229.58
			horizontal	99.64	44.92	63.65 – 211.51	106.65	59.89	56.54 – 268.41
	f	9	vertical	59.49	24.20	29.00 – 101.93	80.08	43.69	23.75 – 158.33
			horizontal	72.07	17.74	53.58 – 101.93	61.78	27.02	33.55 – 122.14
6-10	m	8	vertical	256.63	116.50	171.62 – 508.04	218.08	119.80	149.40 – 381.51
			horizontal	270.89	121.87	145.84 – 458.48	279.72	95.68	144.76 – 410.16
	f	11	vertical	222.13	87.88	104.34 – 412.55	193.87	89.09	108.57 – 372.84
			horizontal	219.53	91.82	132.55 – 367.03	174.40	81.24	106.31 – 343.05
11-15	m	9	vertical	336.81	153.77	210.62 – 463.31	364.88	124.20	110.45 – 529.29
			horizontal	321.19	174.85	188.05 – 611.58	399.90	132.94	210.73 – 622.78
	f	6	vertical	318.41	65.54	258.65 – 441.16	315.85	91.59	191.50 – 440.32
			horizontal	313.98	108.75	234.07 – 517.30	374.22	113.52	189.62 – 499.13
16-20	m	6	vertical	624.27	119.80	507.23 – 783.62	604.31	119.78	465.58 – 743.79
			horizontal	553.50	223.51	225.21 – 914.58	484.17	112.00	324.20 – 661.66
	f	6	vertical	429.07	131.36	314.65 – 677.25	438.94	175.81	271.80 – 675.18
			horizontal	413.16	161.00	211.91 – 663.55	431.02	146.79	291.78 – 690.26
21-30	m	5	vertical	598.38	234.16	363.80 – 931.57	510.29	120.82	372.46 – 668.40
			horizontal	556.91	277.83	311.02 – 938.15	487.67	146.26	270.30 – 652.19
	f	9	vertical	384.02	104.82	238.76 – 490.68	379.79	93.27	267.66 – 527.78
			horizontal	324.59	52.36	255.83 – 416.58	315.87	137.59	248.38 – 450.12
31-50	m	6	vertical	613.12	128.71	493.13 – 825.11	467.90	68.40	396.59 – 583.95
			horizontal	579.15	121.61	410.94 – 707.46	467.40	28.69	433.15 – 510.81
	f	11	vertical	400.06	82.09	243.34 – 519.32	364.85	166.04	256.33 – 699.69
			horizontal	347.54	128.07	157.12 – 551.95	360.98	108.68	256.72 – 614.49
51-60	m	3	vertical	430.95	145.71	335.60 – 598.68	438.43	200.51	289.90 – 666.51
			horizontal	395.76	111.71	320.69 – 524.15	399.60	157.53	282.36 – 578.67
	f	6	vertical	284.74	80.14	211.91 – 448.00	297.25	103.34	199.42 – 461.05
			horizontal	285.84	83.35	193.38 – 414.97	333.13	77.02	187.73 – 400.73

Push and pull on a cylindrical bar - two handed strength

Age (years)	Sex	Orientation	No.	Push (N)			Pull (N)			
				Mean	SD	Range	No.	Mean	SD	Range
2 – 5	m	Vertical	7	266.20	59.78	164.73 - 334.68	7	225.59	75.74	126.70 - 323.30
		Horizontal		244.41	78.67	147.30 - 373.89		208.01	63.02	110.30 - 294.60
	f	Vertical	8	296.00	210.41	42.72 - 604.84	8	258.76	171.06	44.80 - 491.10
		Horizontal		280.21	182.76	60.15 - 539.48		248.00	188.54	28.40 - 560.80
6 – 10	m	Vertical	4	202.86	149.79	77.58 - 413.11	4	152.30	82.38	57.10 - 253.60
		Horizontal		243.17	176.93	99.37 - 495.90		183.03	111.42	61.20 - 306.90
	f	9	214.60	141.70	108.09 - 574.34	9	164.01	63.55	69.40 - 270.00	
		Horizontal		137.14	25.96	99.37 - 190.88		146.27	66.12	57.10 - 294.60
11 – 15	m	Vertical	6	212.67	138.32	47.08 - 461.04	6	209.28	129.86	48.90 - 442.00
		Horizontal		203.23	103.13	68.87 - 386.97		190.85	104.45	48.90 - 372.40
	f	6	376.80	137.35	195.24 - 565.62	6	278.90	91.90	151.30 - 417.40	
		Horizontal		318.70	122.62	190.88 - 522.05		232.50	61.04	134.90 - 323.30
16 – 20	m	Vertical	14	301.68	108.62	177.81 - 600.48	14	278.51	122.30	130.80 - 597.60
		Horizontal		301.37	130.42	138.59 - 626.63		263.61	115.15	139.00 - 585.30
	f	Vertical	5	389.58	160.95	151.66 - 530.76	5	229.06	94.81	102.10 - 347.80
		Horizontal		372.15	184.48	142.95 - 583.05		216.78	75.30	102.10 - 290.50
21 – 30	m	Vertical	6	294.73	125.61	86.30 - 421.83	6	248.18	113.30	106.20 - 384.70
		Horizontal		245.35	109.22	90.66 - 356.46		237.27	99.78	122.60 - 356.00
	f	8	256.24	209.03	55.80 - 644.06	8	237.78	179.79	102.10 - 618.10	
		Horizontal		230.64	205.09	55.80 - 644.06		206.56	122.38	94.00 - 454.30
31 – 50	m	Vertical	10	518.56	185.49	221.38 - 805.29	10	329.41	96.64	171.80 - 499.30
		Horizontal		536.86	216.83	212.67 - 905.51		320.39	91.70	188.10 - 450.20
	f	9	353.56	125.42	164.73 - 556.91	9	219.99	54.30	139.00 - 298.70	
		Horizontal		329.35	155.50	125.52 - 648.42		223.61	61.69	134.90 - 302.80
51- 60	m	Vertical	4	354.29	49.11	286.74 - 404.40	4	231.13	26.42	208.60 - 265.90
		Horizontal		425.09	74.32	347.75 - 526.41		251.60	24.66	225.00 - 278.20
	f	5	391.32	140.96	199.59 - 530.76	5	258.58	113.32	159.50 - 425.60	
		Horizontal		305.05	82.01	199.59 - 382.61		232.38	68.96	155.40 - 323.30

Slika 3. Tablica sila [6, 7]

Na slici 3 prikazane su maksimalne ostvarive sile guranja s dvije ruke, koje iznose 905 N i 938,1 N. Također, srednja vrijednost sile horizontalnog guranja svih ispitanika u dobi između 16 i 50 godina veća je od potrebne sile od 273,7 N. Važno je napomenuti da su testovi sile guranja, prema dostupnim knjigama, izvedeni na spravama prikazanim na slici 4, pri čemu nije uzet u obzir slobodni pad tijela kao dodatan izvor sile za postizanje maksimalne ostvarive sile.



**Slika 4. Uređaji eksperimenta [5]**

Prema znanstvenom radu [8], guranje kolica s teretom od 300 i 500 kg smatra se mogućim, pri čemu opterećenje mišića gornjeg dijela trupa ne prelazi ograničene vrijednosti.

### 2.1.2. Sažetak

Prema informacijama Kanadskog centra za zaštitu na radu [5], masa konstrukcije premašuje ograničenje za 114 kilograma. Međutim, važno je napomenuti da maksimalna preporučena frekvencija guranja mobilne stanice znatno odstupa od stvarne frekvencije guranja. S druge strane, prema smjernicama Odjela za trgovinu i industriju [6, 7], inicijalna sila potrebna za razbijanje statičkog trenja kotrljanja manja je od prosječne vrijednosti sile guranja punoljetne radne snage. Nadalje, prema znanstvenom radu [8], guranje tereta od 300 i 500 kg smatra se mogućim bez ozljeda. S obzirom na navedene informacije, potrebno je detaljnije razmotriti parametre i uvjete kako bi se donijele informirane odluke o izvedivosti guranja mobilne stanice.

Iako guranje mobilne stanice trenutno ne predstavlja problem, dodatnom ergonomskom adaptacijom konstrukcije olakšat će se pokretanje i kretanje mobilne stanice u radnom okruženju, čime će se smanjiti rizik od ozljeda. Ako, nakon provedenih ergonomskih prilagodbi, samostalno guranje konstrukcije postane izazovno za dostupnu radnu snagu, rukohvat će se dimenzionirati tako da pruža dovoljno prostora za neometan rad dviju osoba.

Nakon temeljite evaluacije ergonomskih zahtjeva, potrebno je preusmjeriti fokus prema određivanju dimenzija mobilne stanice. Cilj je definirati visinu, duljinu i širinu kaveza kako bi se osiguralo optimalno vidno polje za različite radnike koji će biti uključeni u guranje konstrukcije ili upravljanje viličarem. Paralelno s time, bit će analizirana nosivost kotača, visina rukohvata i dimenzije postolja kako bi se oblikovao koncept mobilne stanice koji ne samo da zadovoljava ergonomske standarde, već i osigurava siguran i učinkovit rad unutar radnog okruženja.



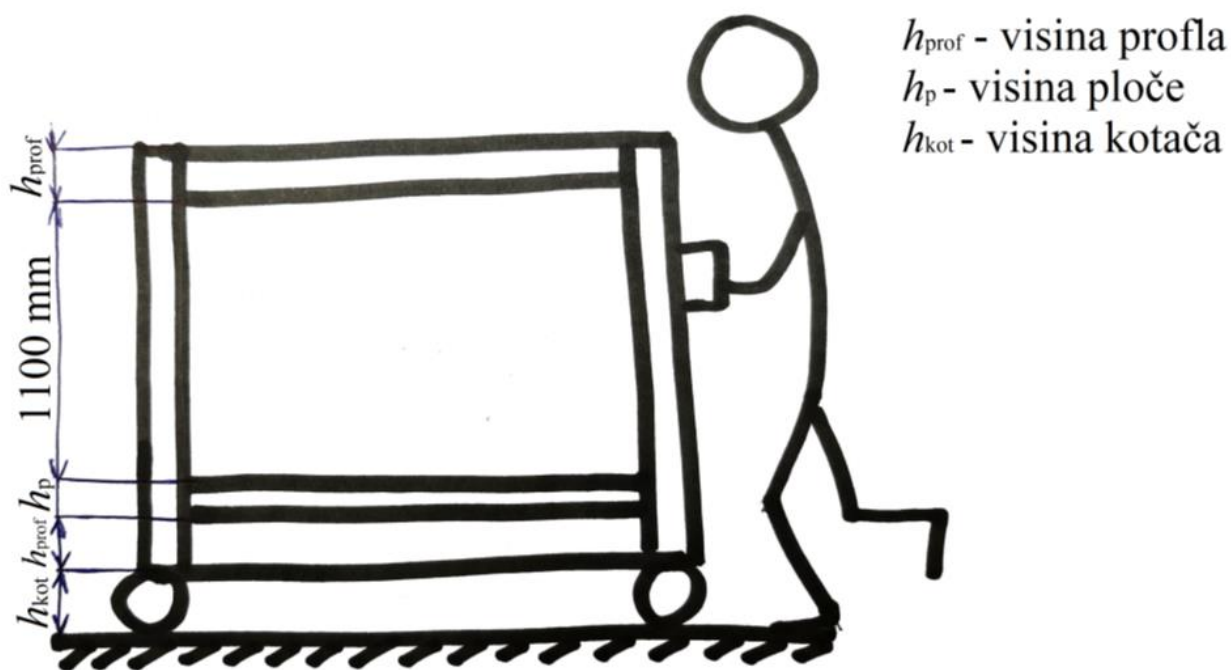
### 3. ODREĐIVANJE DIMENZIJA MOBILNE STANICE

Kako bi se započelo koncipiranje kaveza mobilnog postrojenja, važno je definirati njegove osnovne dimenzije dužine, širine i visine.

Postupak će početi određivanjem visine kaveza, nakon čega će se nastaviti s određivanjem širine i dužine. Prema napomenama u potpoglavlju 2.1.2, visina mobilne stanice treba biti prilagođena vidnom polju osobe koja će gurati konstrukciju ili upravljati viličarom. Cilj je omogućiti neometano vidno polje za što veći broj korisnika.

#### 3.1. Visina mobilne stanice

Prema članku [9], prosječna visina hrvatskih muškaraca iznosi 180,4 cm, dok je prosječna visina žena 166,49 cm. S obzirom na varijaciju u visini među ljudima, potrebno je osigurati vidno polje ispodprosječno visokih radnika, uz istovremeno poštivanje ograničenja minimalne visine praznog prostora kaveza konstrukcije, koje iznosi 1100 mm. Nakon završenog procesa oblikovanja konstrukcije izračunati će se minimalna potrebna visina radnika koji može neometano gurati postrojenje i usporedit s prosječnim visinama. Na slici 5 prikazan je prvi koncept mobilne stanice koji će služiti za grubo određivanje visine.



Slika 5. Prvi koncept mobilne stanice

Za određivanje visine kaveza potrebno je pronaći visinu kotača. Za pravilno određivanje visine kotača, potrebno je odrediti opterećenje kotača. Na temelju te informacije odabrat će se odgovarajući kotač iz kataloga proizvođača.

### 3.1.1. Odabir kotača

Radi sigurnosti radnika unutar pogona i konstrukcije tijekom transportiranja odabrani kotači trebaju zadovoljiti sljedeće uvijete:

- nosivost kotača mora biti minimalno polovina težine cijele konstrukcije, uključujući sve elemente i puni rezervoar, zbog mogućnosti da dva kotača prenose cijelu težinu mobilne stanice zbog neravnina površine
- kotač mora sadržavati prigušni i/ili opružni element radi prigušivanja vibracija, ublažavanja udarca i kompenziranja manjih površinskih neravnina,
- dva kotača moraju biti okretna, dva statična te statični te jedan par treba sadržavati kočnice,
- visina kotača mora biti što niža kako ukupna visina konstrukcije ne bi ometala vidno polje tijekom transporta.

Prateći te kriterije, nosivost jednog kotača jednaka je polovici zbroja maksimalne mase kaveza konstrukcije. Maksimalna masa kaveza konstrukcije uključuje zbroj mase prazne stanice, izraz (2.1.1.), i mase punog rezervoara, koja iznosi 500 kg prema podacima iz prvog poglavlja:

$$\begin{aligned} m_{\text{opterećanja\_kotača}} &= 0,5 (m_{\text{postrojenja}} + 500) \\ &= 0,5 \cdot (372 + 500) && (3.1.1.1.) \\ &= 436 \text{ kg} \end{aligned}$$




Proučavanjem katalogâ [10, 11], utvrđeno je da model GST 160K proizvođača Blickle zadovoljava prethodno navedene uvjete. Osim već ugrađenog prigušnog elementa, omogućena je i ugradnja kočnice, što je prikazano na slici 6. Ostale karakteristike prikazane su u tablici na slici 7, preuzetoj iz kataloga [12, 13].

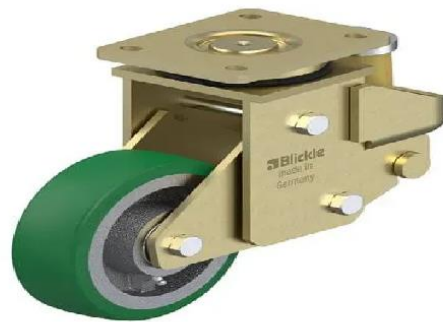


Slika 6. Izvedba s kočnicom




















**LSFE-GST 160K**

Measurement unit mm / kg / °C &gt;

Wheel Ø (D)		160 mm	Non-marking	
Wheel width		50 mm	Non-staining	
Load capacity at 4 km/h		600 kg	Antistatic 	✗
Load capacity (static)		1,500 kg	Electrically conductive 	✗
Bearing type		ball bearing	Corrosion-resistant	✗
Spring tension		500 kg	Heat-resistant 	✗
Initial tension		50 kg	Tread hydrolysis-resistant	✗
Spring travel		25 mm	Suitable for autoclaves	✗
Total height (H)		245 mm	Suitable for machine washing	✗
Plate size		140 x 110 mm		
Bolt hole spacing		105 x 75–80 mm		
Bolt hole Ø		11 mm		
Offset (F)		100 mm		
Temperature resistance min		-20 °C		
Temperature resistance max		70 °C		
Tread and tyre hardness		75 Shore A		
Unit weight		10.4 kg		

**BSFE-GST 160K**

Measurement unit mm / kg / °C &gt;

Wheel Ø (D)		160 mm	Non-marking	
Wheel width		50 mm	Non-staining	
Load capacity at 4 km/h		600 kg	Antistatic 	✗
Load capacity (static)		1,500 kg	Electrically conductive 	✗
Bearing type		ball bearing	Corrosion-resistant	✗
Spring tension		500 kg	Heat-resistant 	✗
Initial tension		50 kg	Tread hydrolysis-resistant	✗
Spring travel		25 mm	Suitable for autoclaves	✗
Total height (H)		245 mm	Suitable for machine washing	✗
Plate size		140 x 110 mm		
Bolt hole spacing		105 x 75–80 mm		
Bolt hole Ø		11 mm		
Offset (F)		101 mm		
Temperature resistance min		-20 °C		
Temperature resistance max		70 °C		
Tread and tyre hardness		75 Shore A		
Unit weight		9.1 kg		

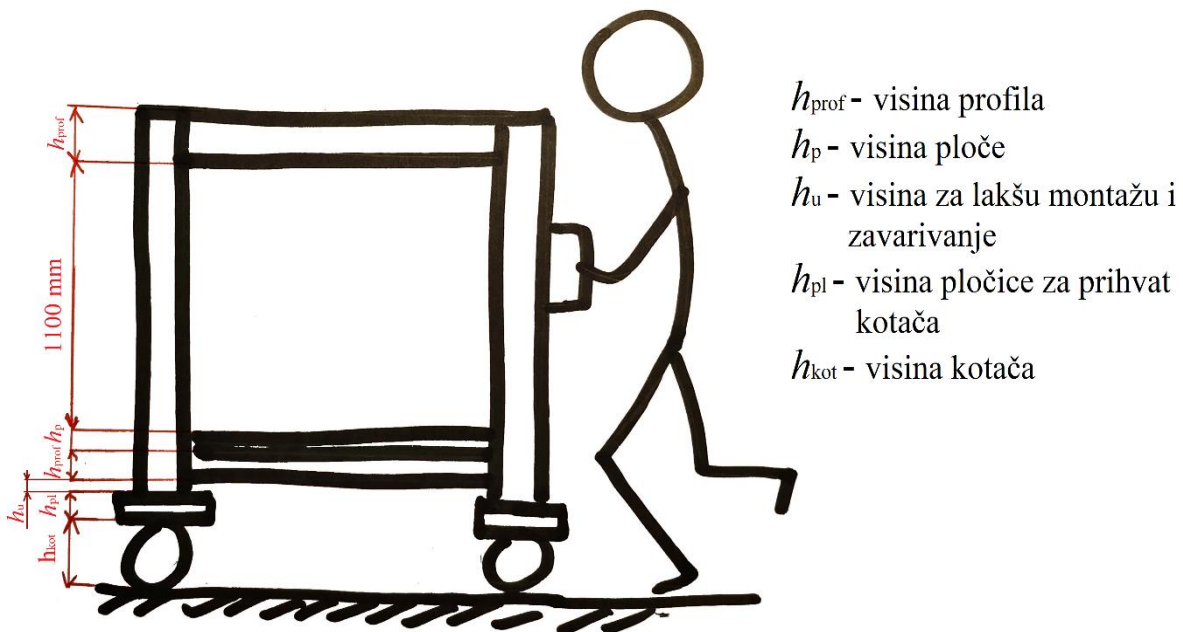


Slika 7. Tablica karakteristika odabranih kotača[12, 13]

Statička nosivost kotača od 1500 kg i dinamička nosivost pri kretanju od 4 km/h od 600 kg veće su od minimalno potrebne nosivosti od 436 kg. Visina kotača iznosi 245 mm, što je najniža visina dostupna za kotače s nosivosti iznad 400 kg. Uzimajući u obzir najveće dimenzije dostupnih profila, gruba visina mobilne stanice iznosi:

$$h = 2 \cdot h_{\max, \text{profila}} + h_{\min, \text{kaveza}} + h_p + h_{\text{kotača}} = 2 \cdot 60 + 1100 + 5 + 245 = 1470 \text{ mm.} \quad (3.1.1.2.)$$

Za točnu procjenu visine, koncept kaveza sa slike 5 dodatno se prilagođava. Potrebno je dodati prihvate za kotače, odnosno pločice na dno vertikalnih šupljih pravokutnih profila, kako bi se osigurala vijčana veza između konstrukcije i kotača. Dimenzije prihvata prate dimenzije ploče kotača koje su definirane u katalogu [12]. Također, vertikalne šuplje pravokutne profile ispod postolja treba produljiti za 20 mm kako bi se olakšao pristup zavarivačkoj elektrodi te pristupilo svim vijcima kotača tijekom montaže ili zamjene. Novi izgled koncepta prikazan je na slici 8.



Slika 8. Prilagođena koncepcija kaveza

Uzimajući najveći ponuđeni presjek šupljeg pravokutnog profila (60x40x2) visina mobilne stanice iznosi:

$$h = 2 \cdot h_{\max, \text{profila}} + 1100 + h_p + h_u + h_{pl} + h_{\text{kotača}} = 2 \cdot 60 + 1100 + 5 + 20 + 5 + 245 = 1495 \text{ mm.} \quad (3.1.1.3.)$$

No, proces određivanja visine mobilne stanice nije završen. Potrebno je provjeriti može li se na nju montirati rukohvat na visini koja je u skladu s normama.

### 3.1.2. Visina rukohvata

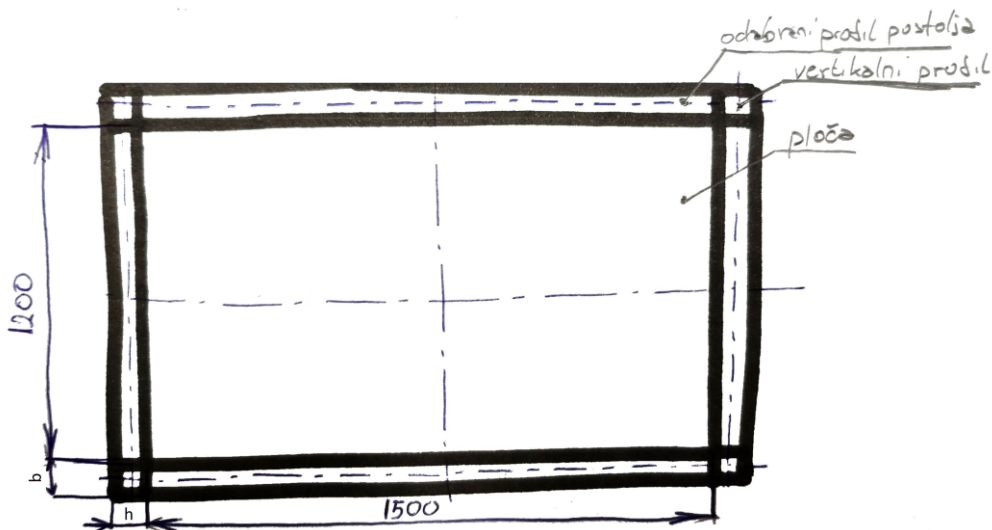
Kako bi rukohvat bio uspješno montiran, treba biti postavljen na vertikalne profile mobilne stanice unutar intervala visine koji, prema slici 8 i vrijednostima visina koji se nalaze u izrazu (3.1.1.3.), iznosi od 275 do 1375 mm.

Prema normi DIN CEN ISO TR 7250-2, znanstvenom radu [8], informacijama od proizvođača [15] i prema preporukama kanadskog centra za zaštitu na radu [5], visina rukohvata trebala bi biti postavljena na visinu lakta, odnosno rukohvat bi se trebao nalaziti na visini od 900 do 1200 mm, dok se širina rukohvata kreće od 395 do 485 mm.

Obje krajnosti preporučenih vrijednosti mogu se ostvariti na izračunatoj visini mobilne stanice i time je završen proces određivanja grube visine postrojenja.

### 3.2. Dimenzije postolja

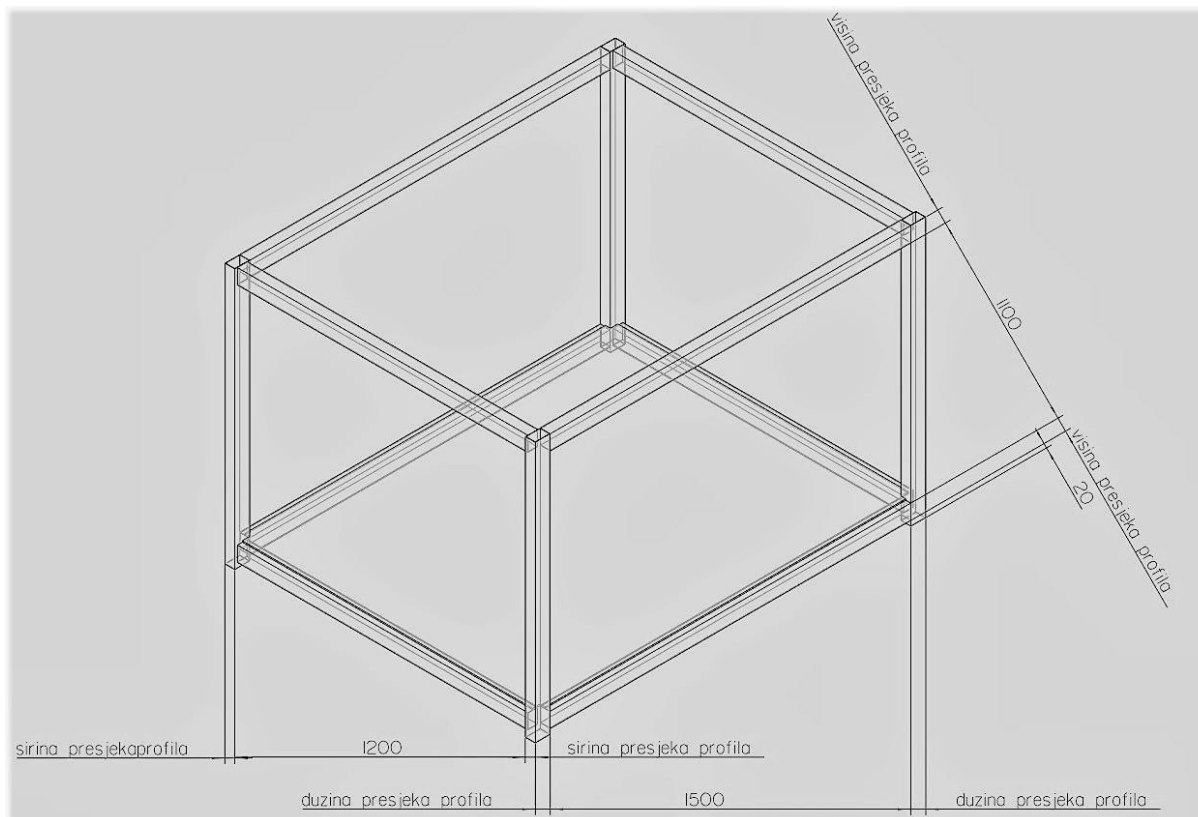
Prema ograničenjima iz poglavlja 1, interval dimenzija praznog prostora postolja kreće se između 1200 do 1500 mm, uz uvjet da jedna dimenzija mora biti 1500 mm. Kako bi se smanjila masa konstrukcije, druga dimenzija postolja bit će minimalna, odnosno dimenzije postolja glase 1500x1200 mm. Prikazana je prva koncepcija postolja na slici 9.



Slika 9. Dimenzije postolja

### 3.3. Koncept kaveza mobilne stanice

Pomoću specificiranih dimenzija iz poglavlja 3.1. i 3.2, izrađena je mreža kaveza prikazana na slici 10, koristeći programski paket Creo Parametric.



**Slika 10. Mreža kaveza**

U prethodno analiziranim aspektima mobilne stanice, definirane su ključne dimenzije i strukturalni koncept koji čine temelj za daljnja istraživanja te osvrnuti fokus na odabir profila konstrukcije. Ključni parametri identificirani u prethodnim fazama, poput visine mobilne stanice, dimenzija postolja i koncepta kaveza, poslužit će kao polazište za daljnje istraživanje i optimizaciju.

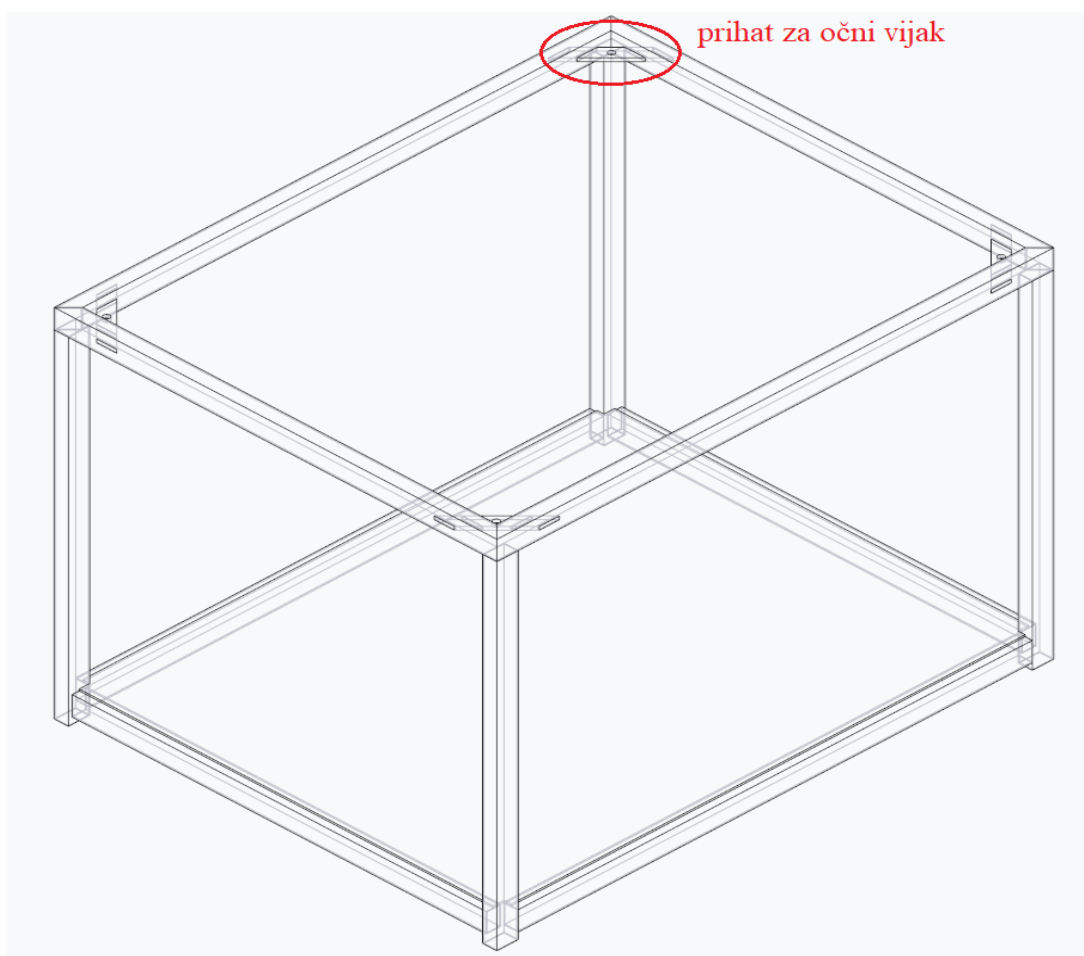
U narednim koracima, ovaj rad će se usredotočiti na analizu materijala i primjenu metode konačnih elemenata kako bi se odabrali optimalni profili konstrukcije koji su predloženi u ograničenjima. Iterativnim postupcima analize, cilj je pronaći ravnotežu između čvrstoće konstrukcije i mase mobilne stanice.

#### 4. ODABIR PROFILA KONSTRUKCIJE

Odabir profila bit će izveden iterativnim postupkom usporedbe rezultata dobivenih statičkom analizom konstrukcije metodom konačnih elemenata. U ovom postupku koristi se programski paket Ansys za analizu ponašanja konstrukcije prilikom mirovanja na tlu i višenja sa sajla dizalice.

Kako je napomenuto fokus ovog završnog rada usmjeren je na ergonomsku adaptaciju, a ne na proračun i simulaciju, stoga iterativni proces odabira profila neće biti detaljno razrađen nego će se prikazati rezultati.

Prije procesa iteracije, potrebno je prilagoditi oblik mobilne stanice za analizu, točnije za simulaciju višenja sa sajli dodajući prihvatna mjesta kuka dizalice. Na slici 11 prikazana je ta adaptacija. Dizajn krova trenutno nije konačan i podložan je promjenama u nadolazećim iteracijama ili poglavljima. Cilj analize u ovom poglavlju je pronaći odgovarajući presjek i raspored profila postolja jer će oni, zbog prirode opterećenja, biti najviše opterećeni.



Slika 11. Prilagodba kaveza za prihvat kuka dizalice



#### 4.1. Materijal profila i dopuštena naprezanja

Prema katalogu [1], konstrukcijski čelici koji se koriste kao materijal šupljih pravokutnih cijevi su S235JR, S275JR i S355JRH. Da bismo očitali dopuštena naprezanja materijala iz [2], potrebno je pronaći ekvivalentni materijal prema JUS normi. Budući da [2] u svojoj tablici oznaka čelika prikazuje ekvivalentni materijal po DIN normi, nije moguće izravno očitati JUS oznaku potrebnog materijala. Korištenjem izvora [18, 19, 20], pronalaze se DIN oznake traženih materijala prema EN normi. U Tablici 1 prikazane su oznake traženih materijala prema EN, DIN i JUS normi te njihova dopuštena naprezanja ( $\sigma_{dop}$ ) i/ili granica tečenja ( $R_e$ ). Ako materijal nema izraženu vrijednost dopuštenog naprezanja, vrijednost granice tečenja bit će podijeljena s faktorom sigurnosti  $S_{materijala}=2$  i taj iznos će predstavljati novo dopušteno naprezanje tog materijala.

**Tablica 1. Dopuštena naprezanja**

EN	DIN	JUS	$\sigma_{dop}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_e$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_e/S_{materijala}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
S235JR	RSt37-2 St37-2	Č.0361	115	240	-
S275JR	RSt44-2 St44-2	Č.0445	-	275	137,5
S355JRH	St52-3	Č.0562	-	355	177,5

Radi sigurnosti, svi rezultati će se uspoređivati s najmanjom vrijednosti dopuštenog naprezanja, odnosno dopušteno naprezanje iznositi će  $\sigma_{dop}=115$  N/mm<sup>2</sup>.

Potrebno je napomenuti da je u svim nadolazećim simulacijama, zanemaren utjecaj zavara na cjelokupnu čvrstoću konstrukcije.

#### 4.2. Prva iteracija

Ograničenja navode da je moguće koristiti šuplje kvadratne i pravokutne cijevi dimenzija presjeka 20x20x2, 40x20x2, 40x40x2, 50x30x2 i 60x40x2, te je moguće njihovo kombiniranje. Zbog prirode opterećenja, najprevalentnije opterećenje uz vlak je savijanje, i zbog toga najbolji



izbor iz predloženih profila je pravokutni. Dobrim pozicioniranjem šuplje pravokutne cijevi moguće je ostvariti veći otpor savijanja uz manju masu profila.

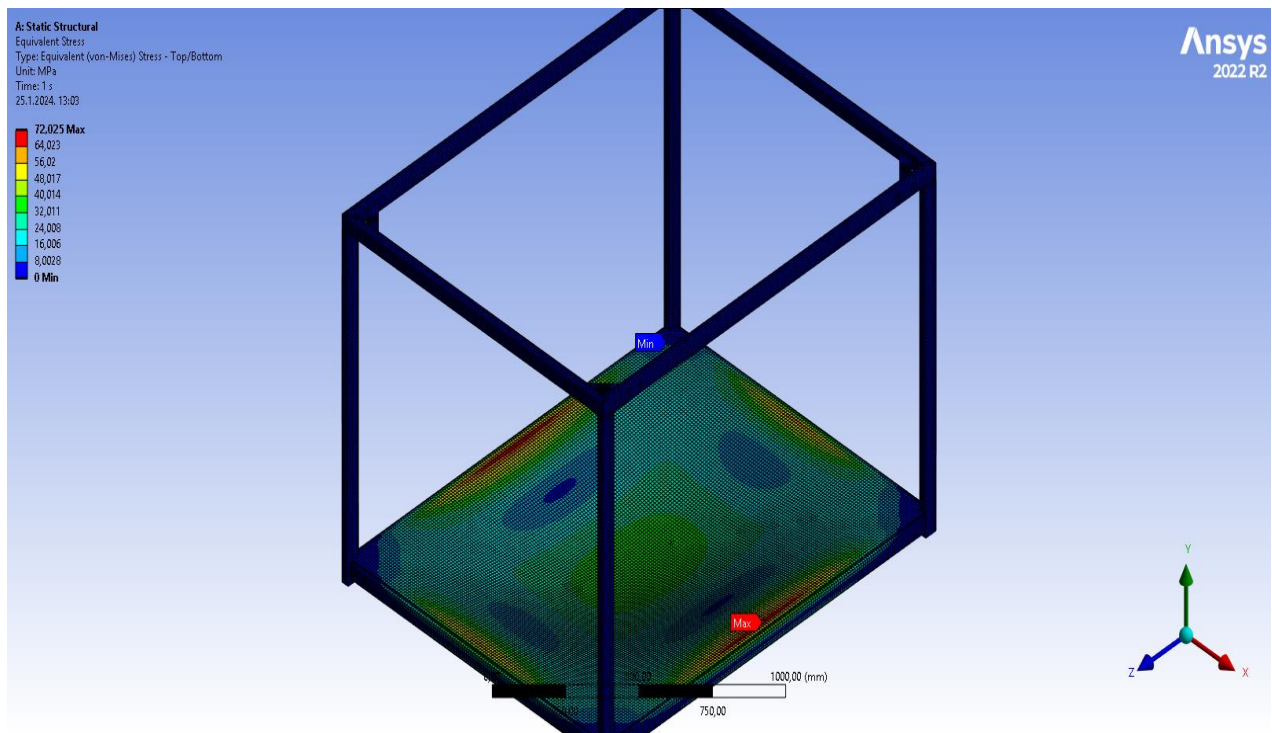
S obzirom na navedeni razlog, konstrukcija prve iteracije će se sastojati isključivo od šupljih pravokutnih cijevi dimenzija presjeka 50x30x2, raspoređenih kako je prikazano na slici 11.

Nadalje prilikom analize metodom konačnih elemenata geometrija konstrukcije bit će pojednostavljena primjenom metode *mid-surface*. U Ansysu, *mid-surface* predstavlja pojednostavljenu geometriju koja se koristi za modeliranje tankih. Umjesto modeliranja pune debljine dijela, koristi se srednja površina (*mid-surface*), koja se nalazi točno u sredini debljine elementa. Ovaj pristup značajno smanjuje složenost modela i vrijeme analize, a često generira točnije rezultate.

Kako bi se uspješnije generirala pojednostavljena geometrija i naknadno mreža konačnih elemenata na toj geometriji, potrebno je u 3D modelu kaveza mobilne stanice ukloniti zaobljene rubove pravokutnih profila. Ta zaobljenja, osobito na mjestima spoja profila istog presjeka, mogu stvoriti praznine koje u najgorem slučaju mogu uzrokovati generiranje nepravilne pojednostavljene geometrije i time onemogućiti stvaranje mreže konačnih elemenata, što može spriječiti izvršavanje analize. U najboljem slučaju, ako se uspije pravilno generirati pojednostavljena geometrija i mreža konačnih elemenata, mjesto koncentracije naprezanja s nerealno velikim iznosom.

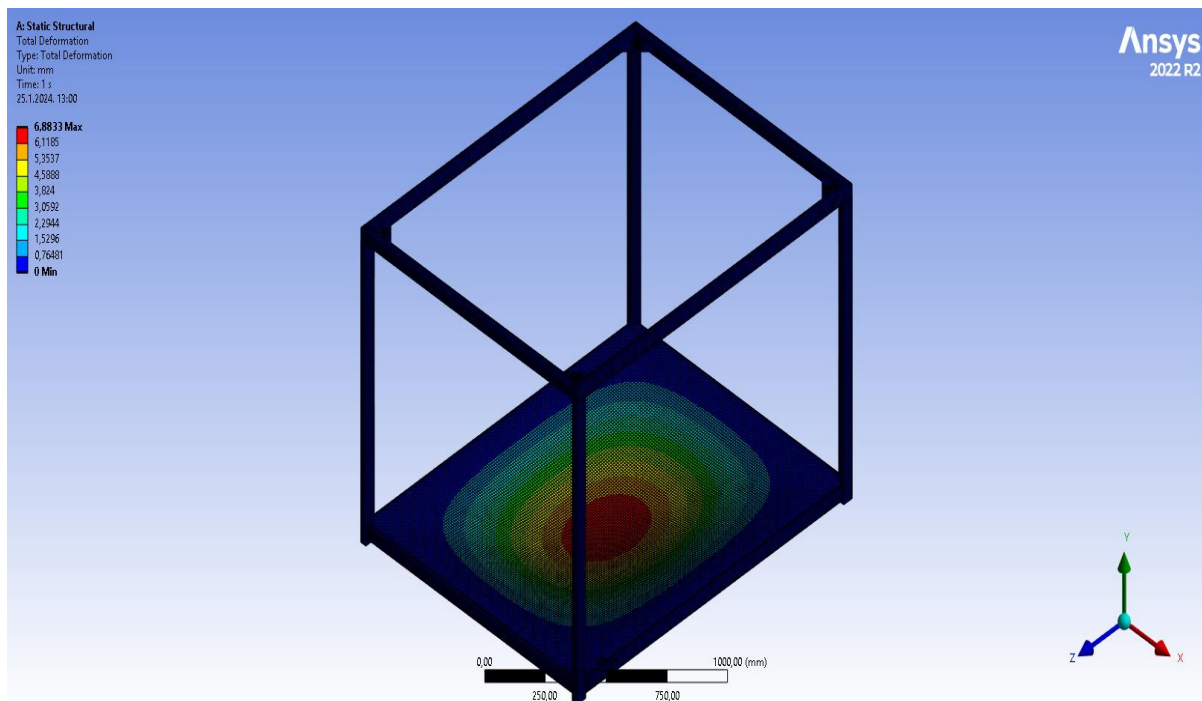
#### 4.2.1. Analiza konstrukcije tijekom mirovanja na tlu

U ovoj analizi provjereno je ponašanje konstrukcije prilikom mirovanja na tlu. Prema slici 12 naprezanja u najkritičnijim mjestima iznose 74,025 MPa odnosno 74,025 N/mm<sup>2</sup> i ona su manja od vrijednosti dopuštenog naprezanja  $\sigma_{dop}=115$  N/mm<sup>2</sup>.



Slika 12. Rezultati napreznja

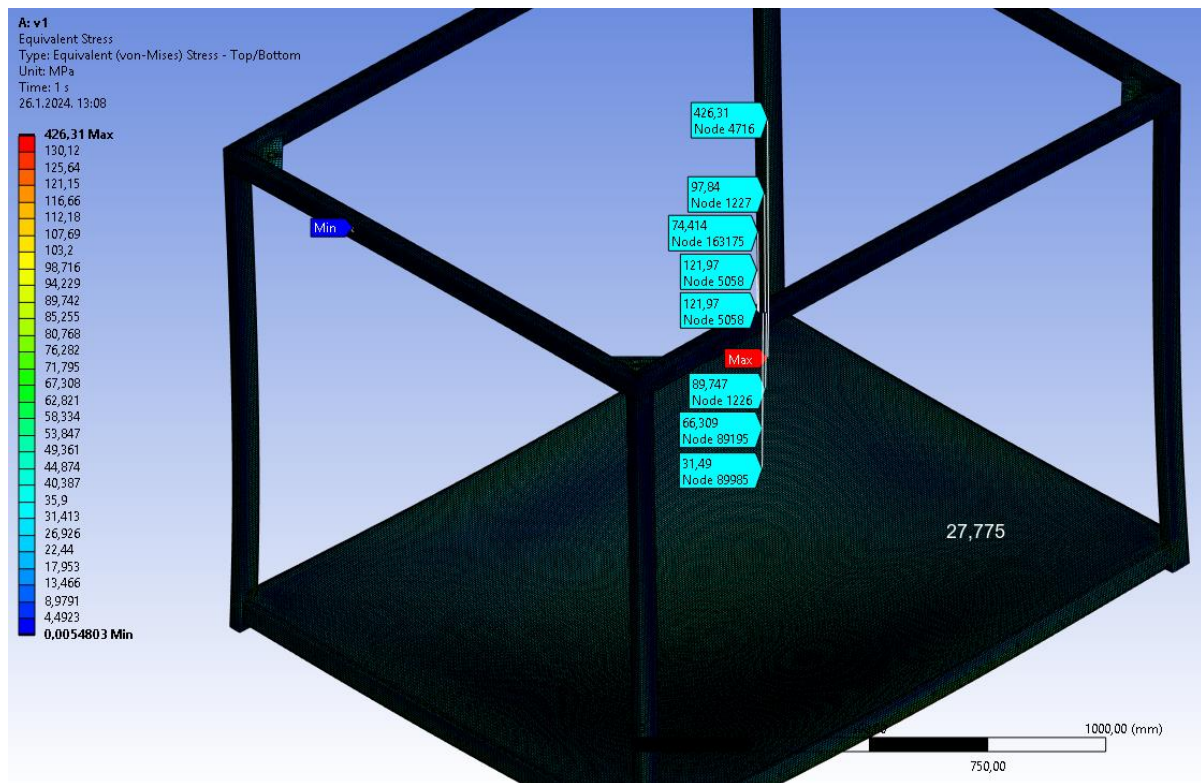
Prema slici 13, iznos najvećeg progiba iznosi 6,883 mm i nalazi se u središtu ploče. Veličina progiba nije zanemariva.



Slika 13. Rezultati deformacija

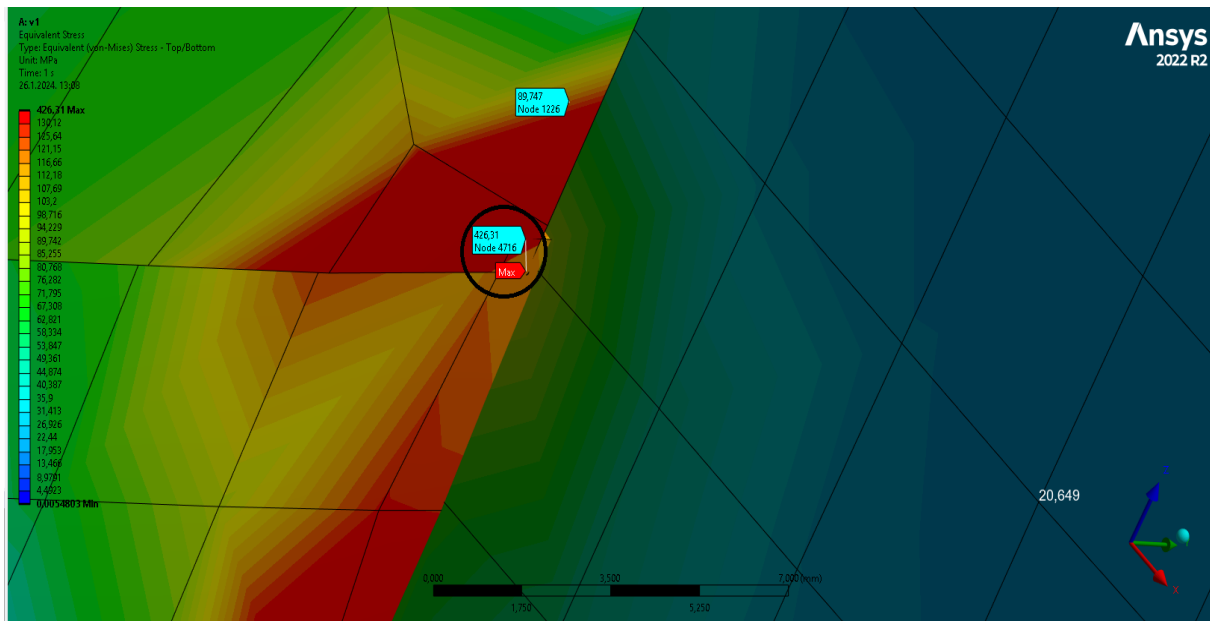
#### 4.2.2. Analiza konstrukcije tijekom procesa višenja

U ovoj analizi provjereno je ponašanje konstrukcije prilikom višenja sa sajli. Prema slici 14, maksimalno naprežanje iznosi 426,31 MPa (ili N/mm<sup>2</sup>)..



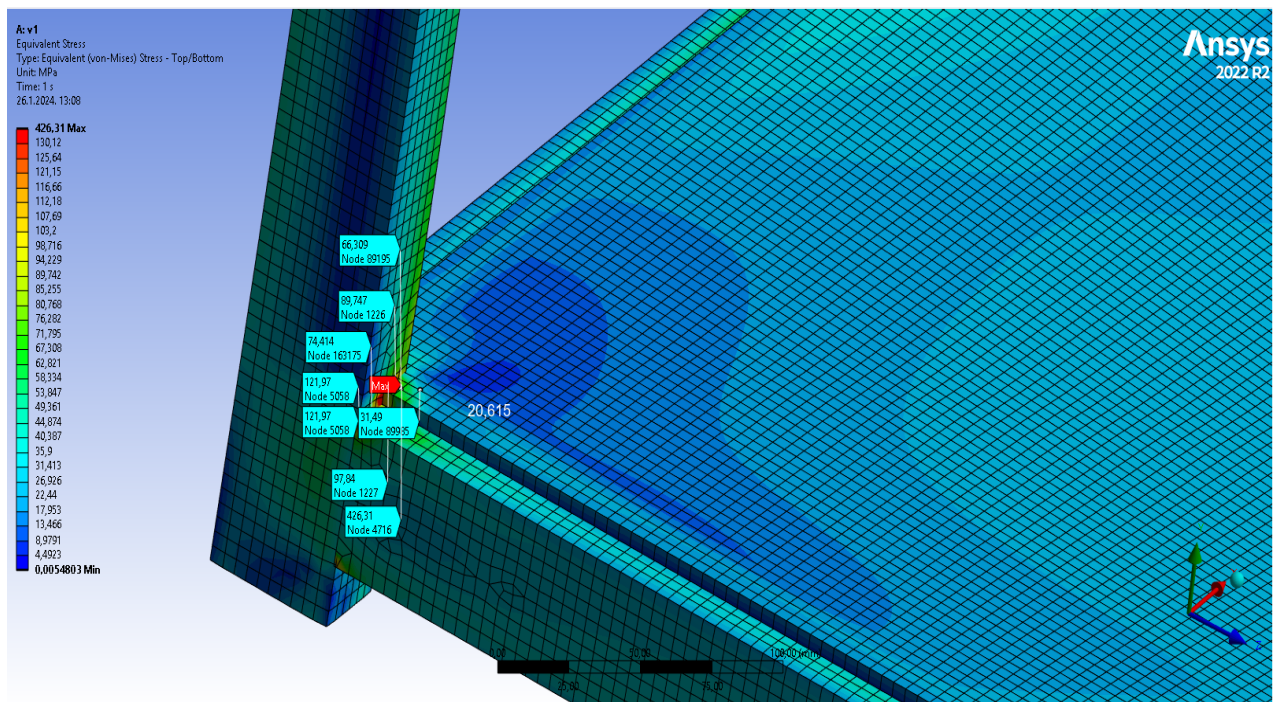
Slika 14. Rezultati naprežanja višenja

Ovaj iznos naprežanja je sumnjiv jer se isti takav ili sličan iznos ne pojavljuje na suprotnoj strani konstrukcije, što bi se očekivalo s obzirom na to da je konstrukcija simetrična i simetrično opterećena. Stoga se može zaključiti da je ovo naprežanje rezultat lošije generirane mreže konačnih elemenata u tom lokalnom području i ta nepravilnost je prikazana na slici 15.



Slika 15. Mjesto koncentracije napreznja

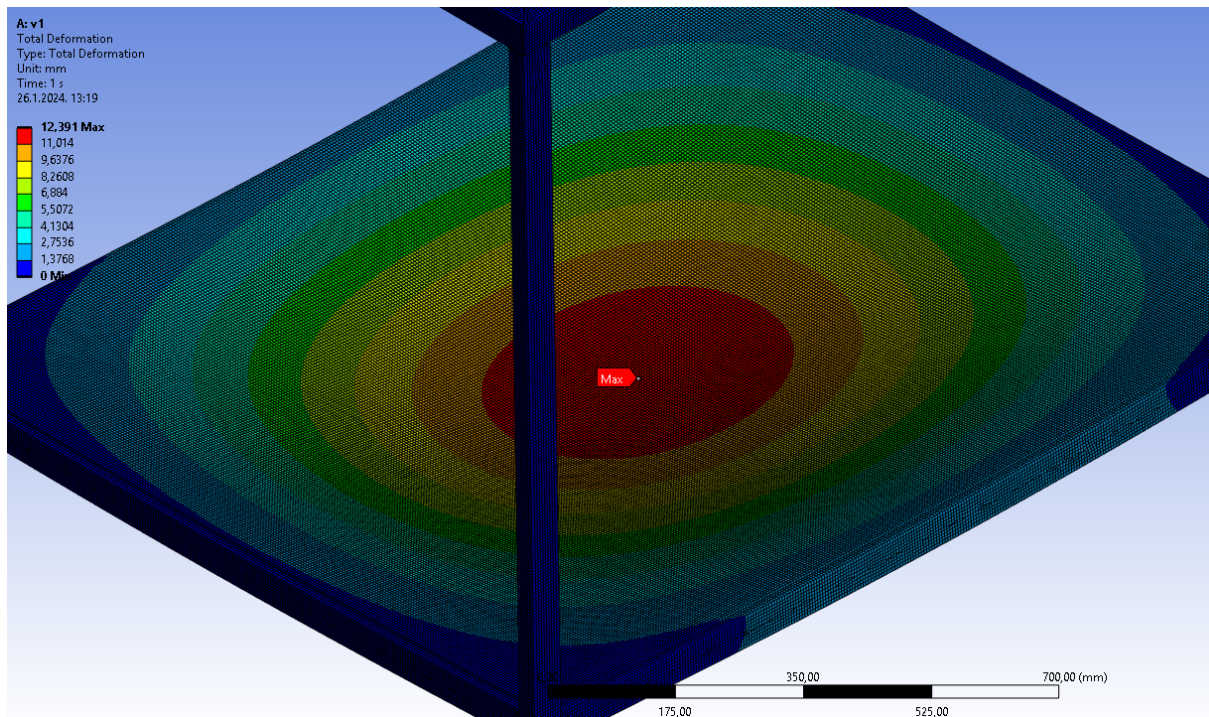
Na površini pored kritične zone, prema slici 16, napreznja su još uvijek veća, ali ne u tolikoj mjeri, te su približno jednaka dopuštenom napreznju. Ovi rezultati dodatno potvrđuju prijašnji zaključak.



Slika 16. Napreznje u oko mjesta koncentracije napreznja



Iz rezultata napreznja može se zaključiti da će i progib biti znatno veći. Prema rezultatu analize, prikazanom na slici 17, veličina maksimalnog progiba iznosi 12,391 mm.

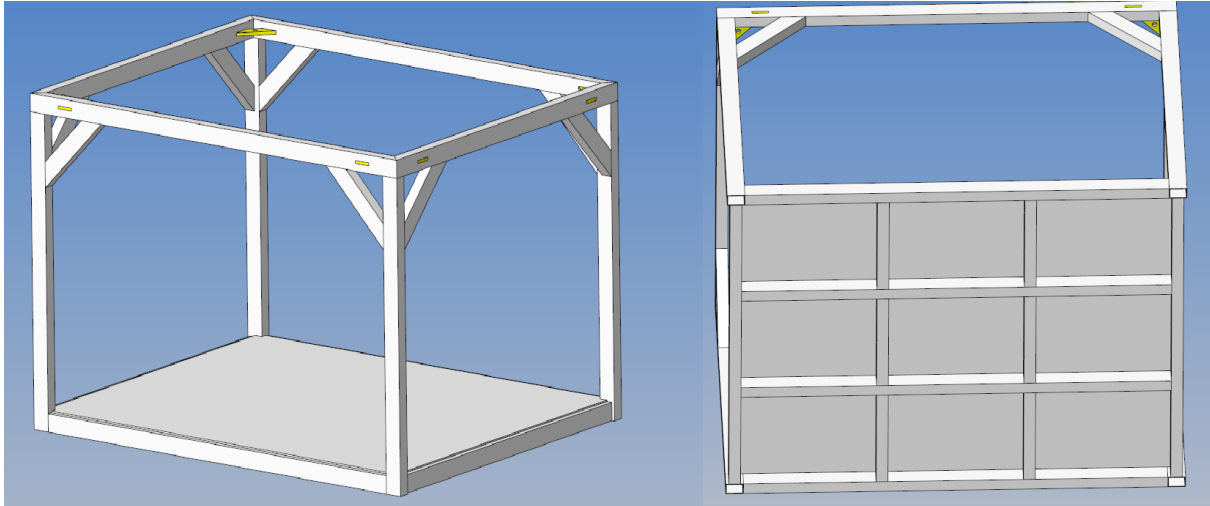


Slika 17. Rezultati deformacija višenja

Iz svih dobivenih rezultata analize, dizajn prve iteracije ne zadovoljava uvjete čvrstoće. Stoga će biti potrebno poboljšati dizajn, što će biti provedeno u drugoj iteraciji.

#### 4.3. Druga iteracija

U ovoj iteraciji bit će dodane ukrute na postolju radi bolje raspodjele opterećenja i smanjenja progiba, kao i ukrute između vertikalnih profila i profila "krova" kaveza konstrukcije. Ove promjene neće utjecati na dimenzije visine, dužine ili širine, niti na promjenu presjeka profila. Novi izgled konstrukcije prikazan je na slici 18, koristeći 3D model izrađen u programskom paketu Creo Parametric.

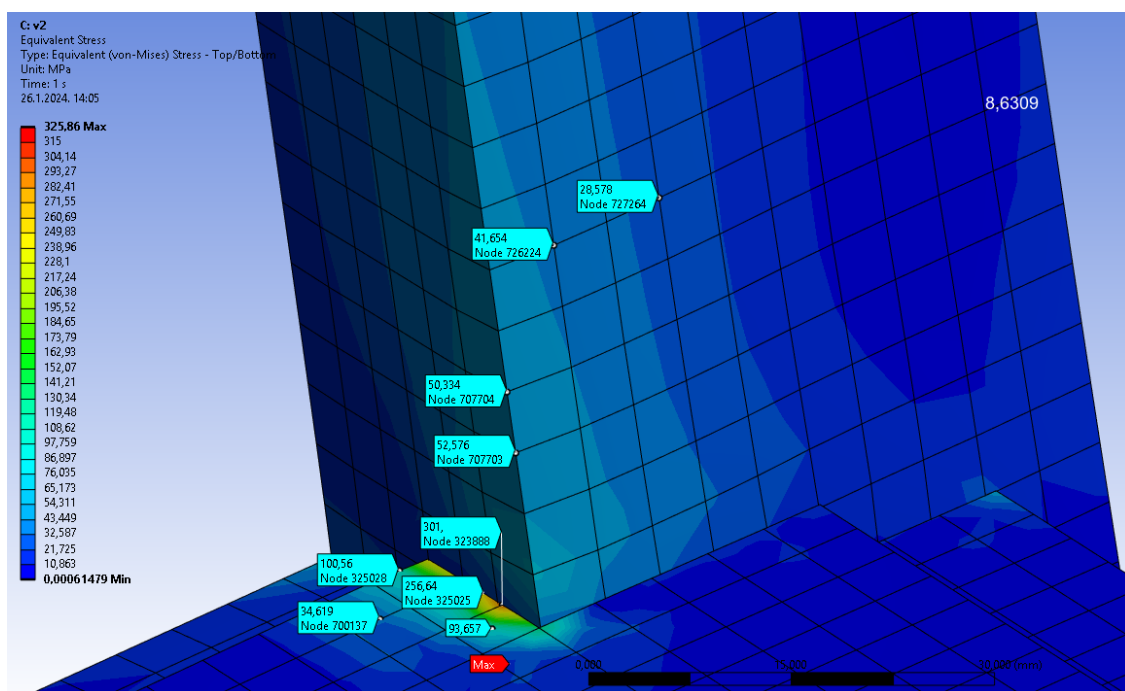


**Slika 18. Novi izgled kaveza konstrukcije**

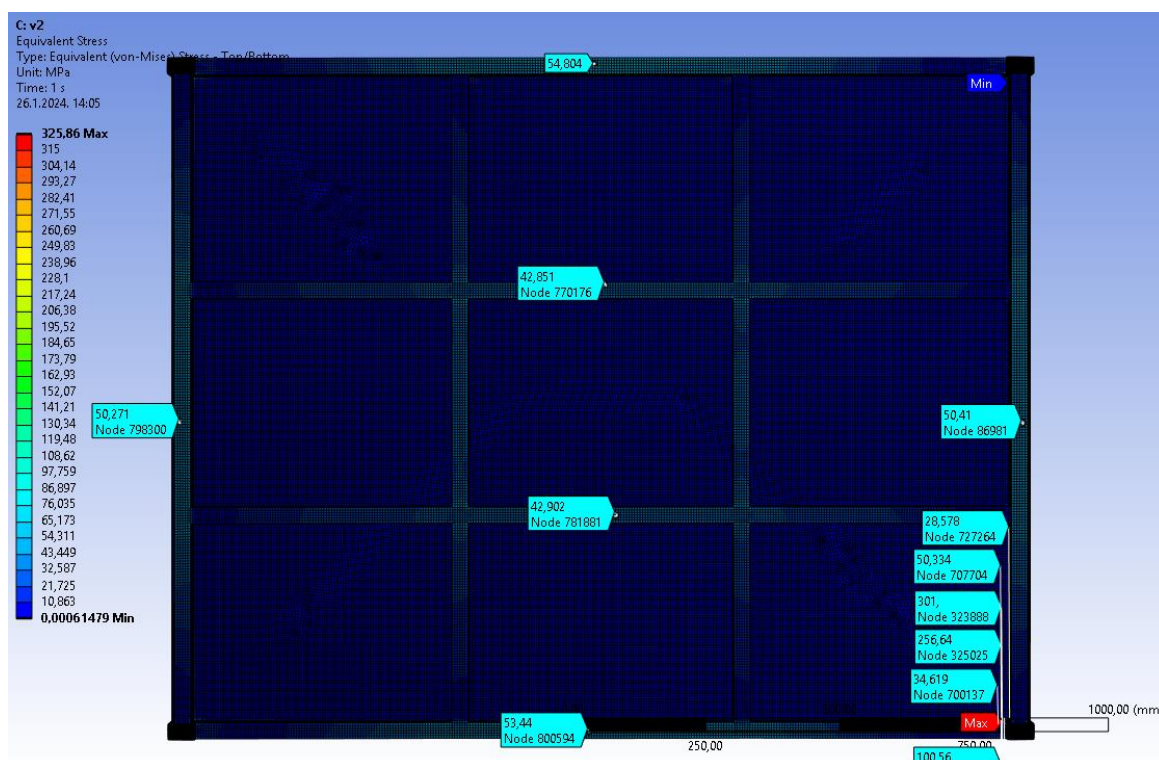
#### **4.3.1. Analiza druge iteracije**

U točki 4.2.2. dokazano je da se najveća naprezanja i deformacije konstrukcije javljaju prilikom višenja na sajlama. Zbog toga će se u budućim analizama promatrati samo ponašanje konstrukcije u toj situaciji. Ako konstrukcija u tom slučaju zadovolji potrebne uvjete, neće biti potrebno promatrati druge.

Na slikama 19 i 20 prikazana je raspodjela naprezanja. Kao što se očekivalo, koncentracija naprezanja pojavljuje se na oštrim prelazima, a maksimalno naprezanje ponovo se javlja na mjestu ispod spoja ploče i vertikalnog pravokutnog profila, ali ovaj put na susjednom rubu, iznoseći 325,86 MPa. Unatoč tome, primjena ukruta rezultirala je povećanjem čvrstoće konstrukcije.



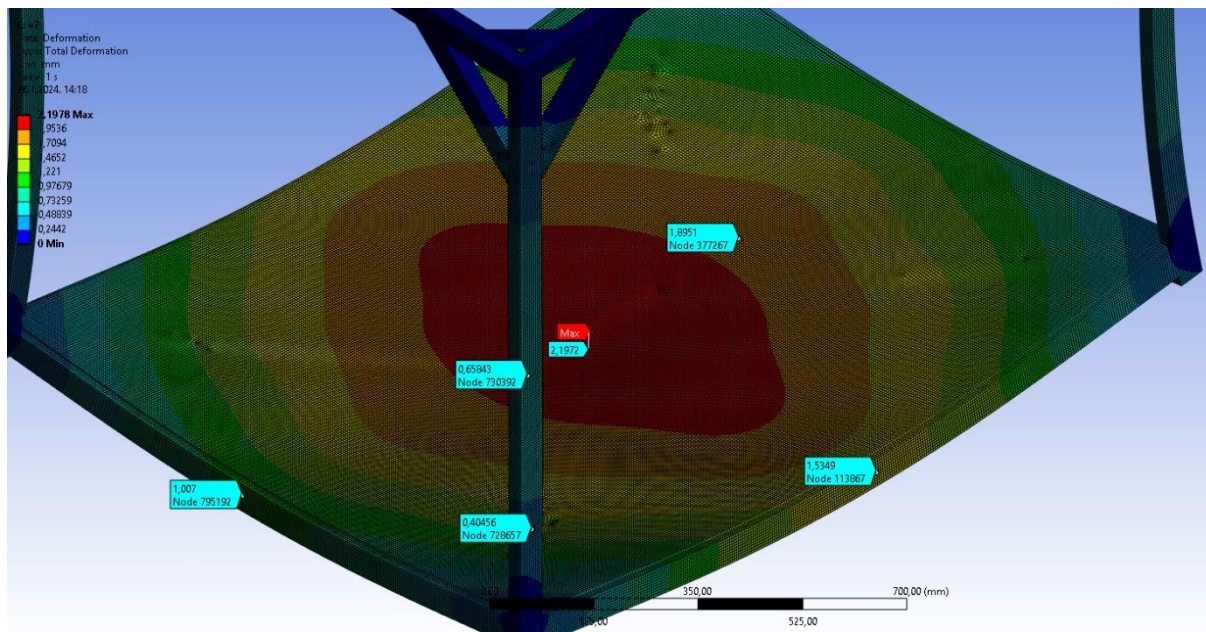
Slika 19. Kritično područje prilagođene konstrukcije



Slika 20. Naprezanje profila postolja prilagođene konstrukcije



Na slici 21. vidljivo je poboljšano stanje deformacija. U točki najvećeg progiba ostvarena je deformacija od 2,1978 mm, što je približno 5,6 puta manje od najvećeg progiba prošle iteracije u istoj točki.



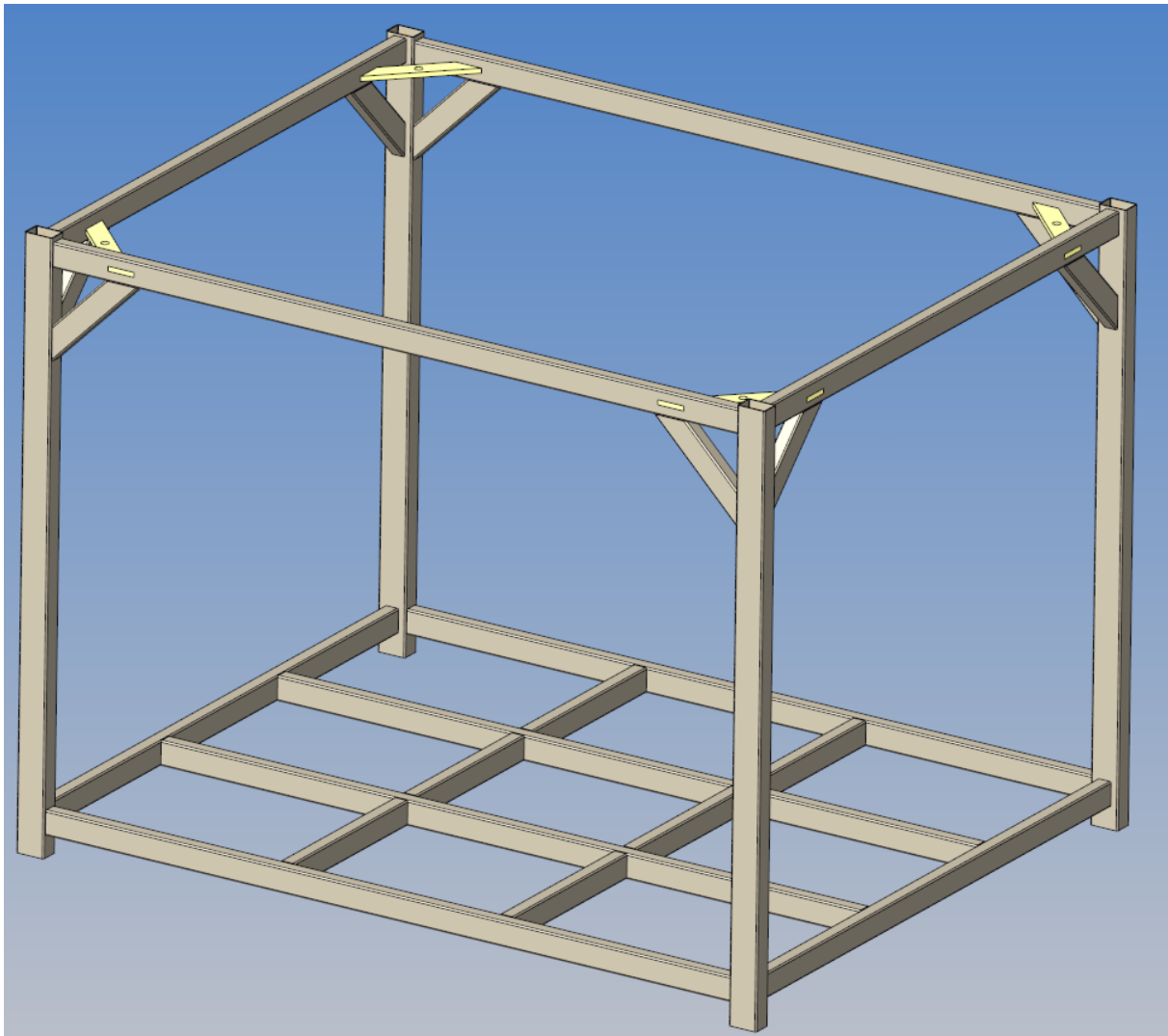
Slika 21. Deformacije prilagođene konstrukcije

Rezultati analize druge iteracije pokazali su se zadovoljavajućim, te se stanje napreznja i progiba postolja znatno poboljšalo. Uzimajući to u obzir, u budućim iteracijama i adaptacijama zadržat će se raspored profila postolja.

#### 4.4. Treća iteracija

U ovoj iteraciji promijenit će se presjek profila vertikalnih pravokutnih profila i ukruta koji se nalaze između tih profila i profila krova konstrukcije. Razlog promjene je postizanje veće dostupne površine za zavarivanje, iako u ovom završnom radu neće biti proračunati, ne smiju se zanemariti. Dimenzije presjeka vertikalnih pravokutnih profila bit će 60x40x2, dok će dimenzije presjeka ukruta između krova i vertikalnih pravokutnih profila biti 40x20x2. Uzimajući u obzir nove profile, promijenit će se izgled krova, te se novi izgled konstrukcije nalazi na slici 22.

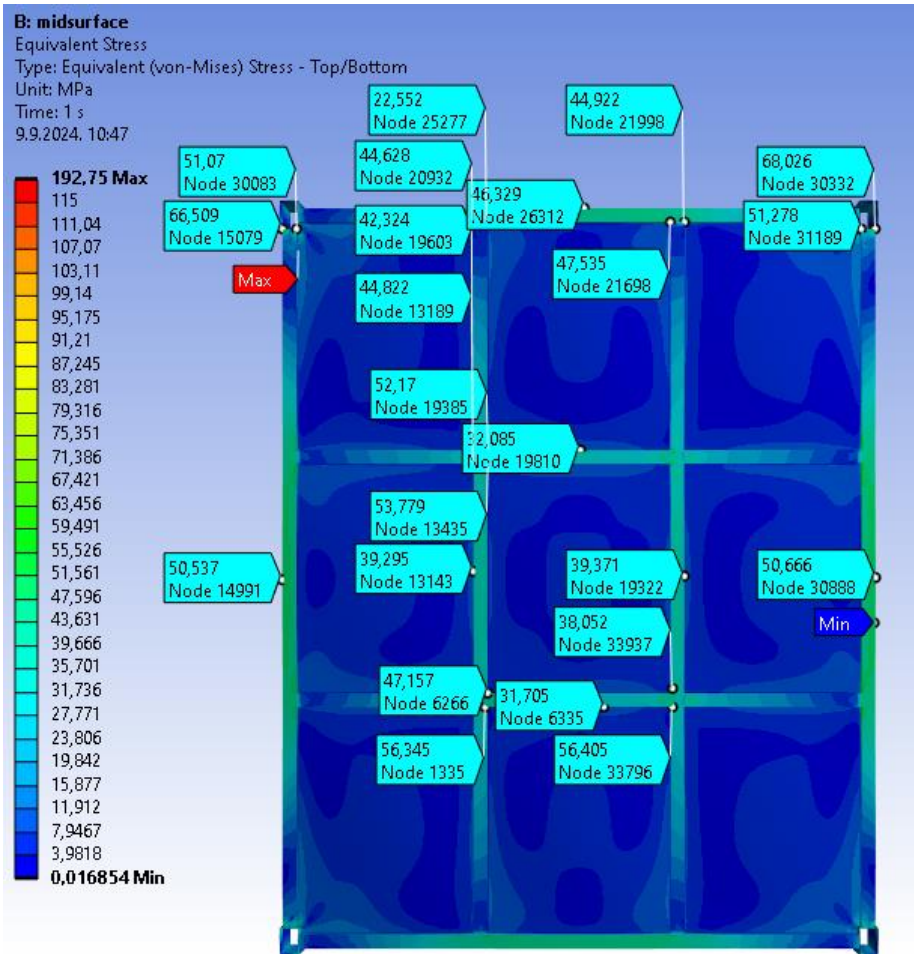




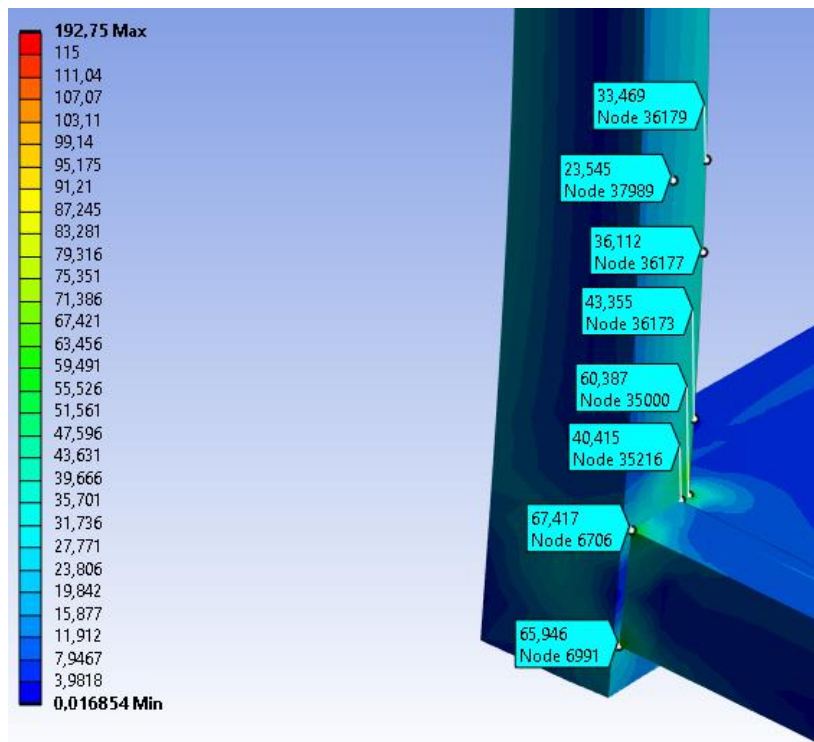
**Slika 22. Izgled konstrukcije u trećoj iteraciji**

#### **4.4.1. Rezultati analize treće iteracije**

U ovoj analizi mreža konačnih elementa je bila dodatno profinjena i kao rezultat toga prijašnja kritična točka na mjestu spoja postolja i nosivih vertikalnih stupova je nestala te su dobiveni rezultati prikazani na slikama 23 i 24.

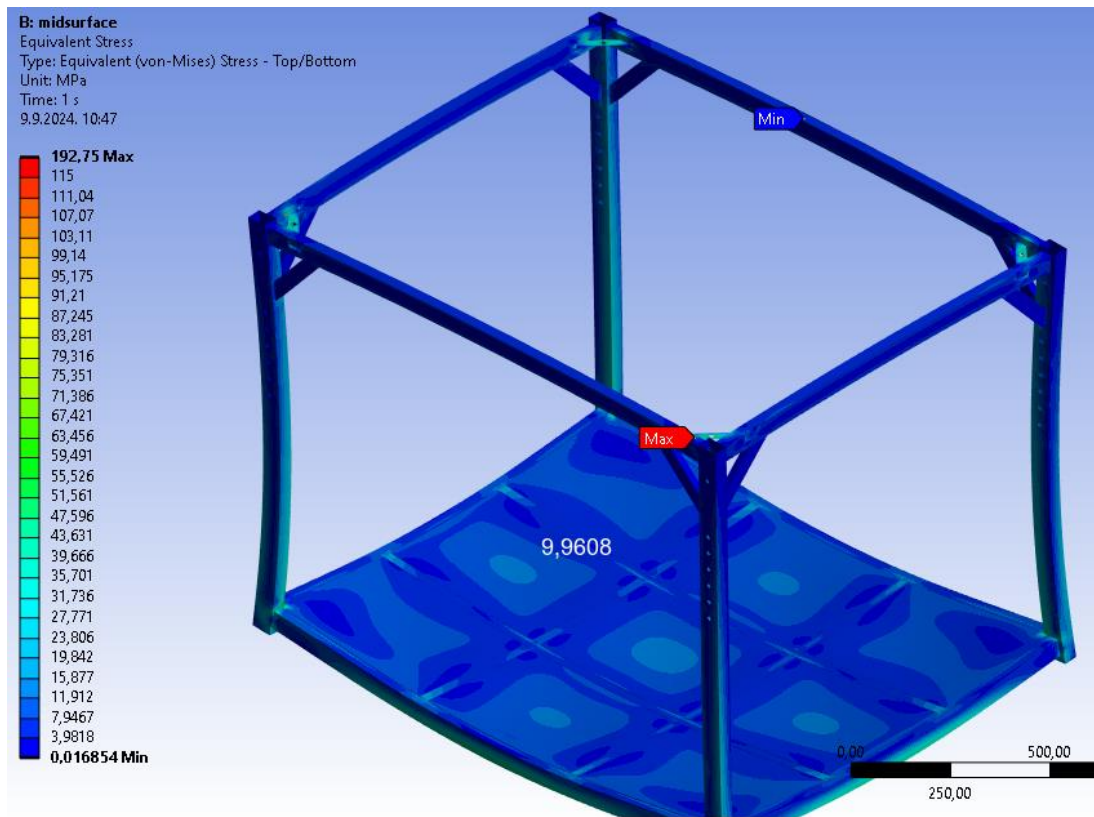


Slika 23. Naprezanja postolja treće iteracije



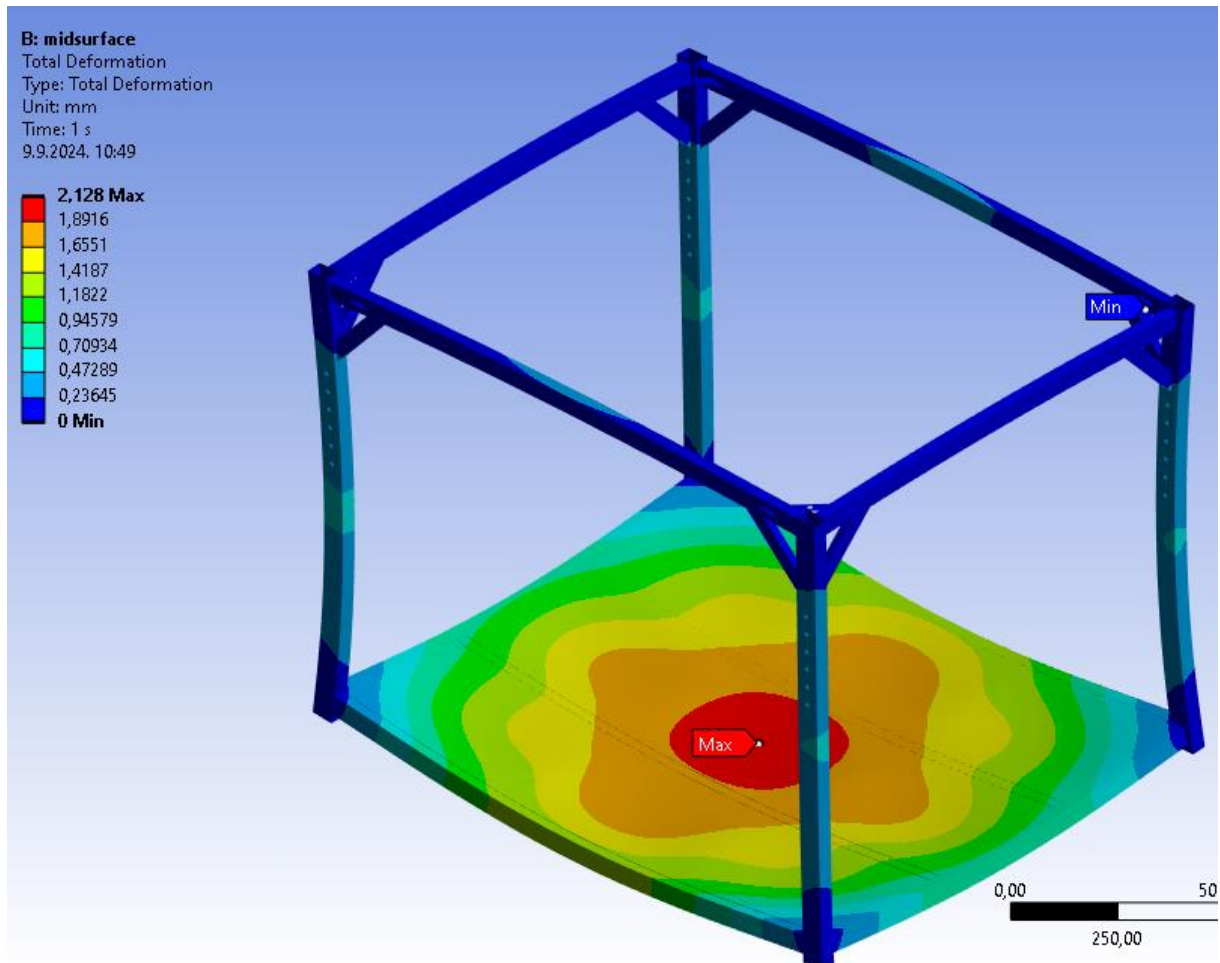
Slika 24. Naprezanje na prethodnom kritičnom mjestu

Međutim javlja se nova kritična točka na spoju prihvata za kuke dizalice, koja je vidljiva na slici 25, trenutno se to može zanemariti jer u ovom koraku prihvatni nisu pravilno dimenzionirani, nakon što se završi s procesom konačnog dimenzioniranja svih potrebnih elemenata u nadolazećim poglavljima završni model mobilne stanice će biti detaljnije analiziran.



Slika 25. Novo mjesto najvećeg napreznja

Uspoređujući s rezultatima druge iteracije, napreznja su vidljivo manja i nalaze se ispod dopuštenog napreznja. Slika 26 prikazuje deformacije konstrukcije, isto kao i napreznja, iznos deformacija je manji. Iznos najveće deformacije iznosi 1,9423 mm, 0,256 mm manje od najveće deformacije prošle iteracije.



**Slika 26. Deformacije treće iteracije**

Nakon provedene analize, primijećeno je značajno poboljšanje u ponašanju konstrukcije tijekom višenja na sajlama. Naprezanja su značajno smanjena, dok su deformacije konstrukcije malo manje u usporedbi s prethodnim iteracijama. Ovi rezultati dodatno potvrđuju da je promjena presjeka vertikalnih pravokutnih profila i ukruta bila dobra odluka.

## 5. OBLIKOVANJE POTREBNIH ELEMENTA ZA LAKŠI TRANSPORT

U prijašnjim poglavljima već su provedene određene ergonomske adaptacije i odabrani privremeni kotači za konstrukciju prve iteracije kaveza konstrukcije. Drugo poglavlje opisuje očekivane ergonomske zahtjeve konstrukcije, dok se u potpoglavlju 2.1.1. provjerava izvedivost guranja konstrukcije na kotačima na temelju ekstremnih vrijednosti zadanih u ograničenjima. U točki 3.1.1. odabrani su privremeni kotači radi određivanja visine postrojenja za najgori slučaj opterećenja, dok je u 3.1.2. definiran raspon visine rukohvata. U ovom poglavlju mobilna stanica bit će dodatno prilagođena, a na nju će biti dodani potrebni elementi kako bi se omogućila uspješna manipulacija u prostoru. Prilagodbe će započeti s elementima potrebnim za guranje. Zatim će se provjeriti jesu li vozači viličara, koji su dostupni u postrojenju, sposobni transportirati mobilnu stanicu bez kompromitiranja vidnog polja. Na kraju će biti implementirani elementi potrebni za podizanje i manipulaciju dizalicom.

### 5.1. Guranje

Kako je navedeno u drugom poglavlju, za uspješnu manipulaciju mobilnom stanicom u prostoru potrebni su kotači i rukohvat. Kotači su već odabrani u potpoglavlju 3.1.1, no nakon određivanja konačne mase konstrukcije u sljedećem poglavlju, ako bude moguće, odabrat će se optimalniji kotači. Sada preostaje oblikovanje rukohvata.

#### 5.1.1. Zahtjevi rukohvata

Isto kao i kod kotača, rukohvat mobilne stanice treba zadovoljavati određene konstrukcijske i ergonomske uvjete kako bi omogućio sigurno rukovanje i upravljanje. Osim osnovnih uvjeta čvrstoće, rukohvat treba udovoljiti sljedećim kriterijima:

- napravljen od profila dostupnog iz kataloga tvrtke Strojopromet [1],
- napravljen od nehrđajućeg ili konstrukcijskog čelika,
- izvedba treba biti što jednostavnija i ne smije narušavati funkciju ili otežati transport mobilne stanice.

Ergonomski uvjeti:

- visina rukohvata treba omogućiti najpovoljniji položaj tijela za što efektivnije generiranje maksimalne sile guranja,
- širina rukohvata treba poduprijeti neometani rad dvoje ljudi,
- idealna visina rukohvata treba biti omogućena za što veći broj ljudi različitih visina,
- debljina odabranog profila rukohvata ne smije biti predebela tako da dodatno ne opterećuje radnika.

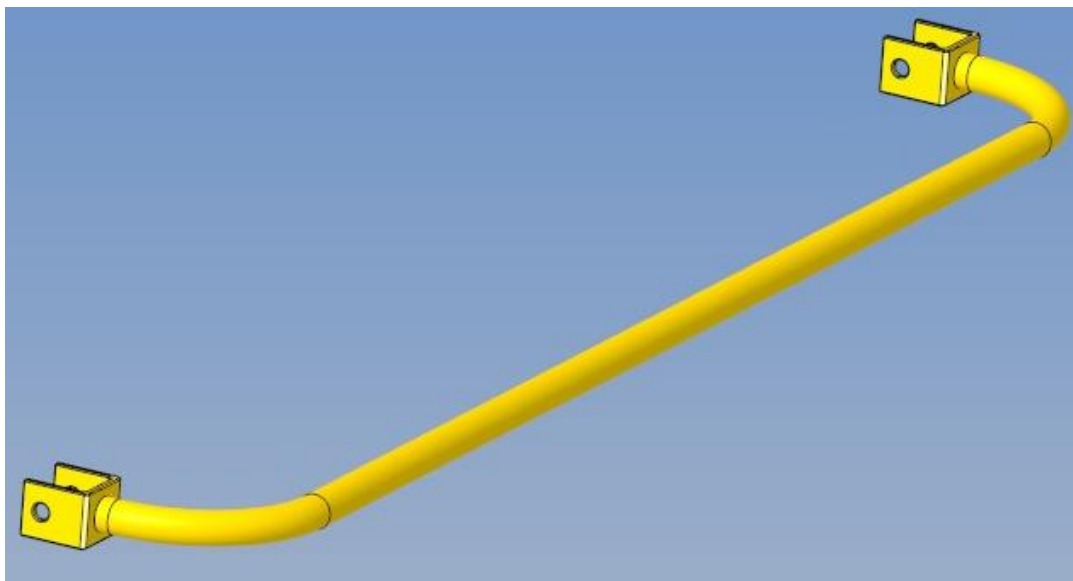
### 5.1.2. Oblikovanje rukohvata

Prije oblikovanja rukohvata, prvo će se odrediti optimalna visina i strana na kojoj će se nalaziti. Radi optimalnog manevriranja konstrukcijom, smanjenja šanse za prevrtanjem tijekom zavoja te uzimajući u obzir funkcionalnost, rukohvat će biti smješten na kraćoj strani. Ovime se dodatno smanjuje krak sile guranja, što će značajno smanjiti savojna naprezanja.

U skladu s preporukama iz potpoglavlja 3.1.2, gdje je predložen interval visine rukohvata od 90 do 120 cm, a širina od 39.5 do 48.5 cm, rukohvat mobilne stanice mora biti dovoljno širok da sadrži slobodan prostor za dvije osobe, minimalno 97 cm. Kako bi se omogućio optimalni položaj tijela radnika različitih visina, idealno rješenje rukohvata bio bi onaj s mogućnošću promjene visine. Stoga će rukohvat imati početnu visinu od 95 cm, s mogućnošću podešavanja na 100, 105, 110, 115, 120 i 138 cm, pri čemu će visina od 138 cm biti namijenjena natprosječno visokim radnicima.

Da bi se omogućila prilagodba visine, "nosivi stupovi", odnosno četiri vertikalno postavljena šuplja pravokutna profila, bit će dodatno obrađena kako bi sadržavala sedam provrta s puškicama. Širina rukohvata neće predstavljati problem jer će se nalaziti na kraćoj strani konstrukcije i bit će šira od 120 cm, što je više nego dovoljno prostora za dvije osobe.

Radi jednostavnosti, rukohvat će biti izveden kao zavarena konstrukcija koja se sastoji od šipke i dva U-profila s provrtom za svornjak. Unutarnja širina U-profila, treba najmanje iznositi koja iznosi 41 mm, tako da bi odgovarao kraćoj dimenziji nosivog stupa sa zaštitnim premazom, ako će ga biti i bit će smještena na krajevima savinute šipke, kako je prikazano na slici 27.



**Slika 27. Rukohvat**

Šipka rukohvata može biti izvedena na dva načina. Prva izvedba uključuje upotrebu punog cilindričnog profila promjera 28 mm, odnosno olimpijske šipke na čije će se krajeve zavariti U-profilu. Ova izvedba pruža veliku sigurnost; prema ispitivanju čvrstoće standardne olimpijske šipke [20], olimpijska šipka tek je počela pokazivati manje plastične deformacije pri opterećenju od 337,93 kg, odnosno 3315,093 N. To je znatno iznad savojnog opterećenja sile guranja, koja je izračunata u poglavlju 2.1. te iznosi 250,89 N. Međutim, nedostatak ovakve izvedbe je konačna masa rukohvata, koja bi iznosila približno 20 kg ili čak oko 20 kg, ovisno o konačnoj duljini punog profila. Ova masa može predstavljati problem prilikom promjene visine i premještanja.

Druga izvedba uključuje zamjenu punog profila šipke sa šupljim, čime se znatno smanjuje masa, ali istovremeno se snižava čvrstoća. U ovoj situaciji, "mobilnost" rukohvata postaje važnija od apsolutne čvrstoće.

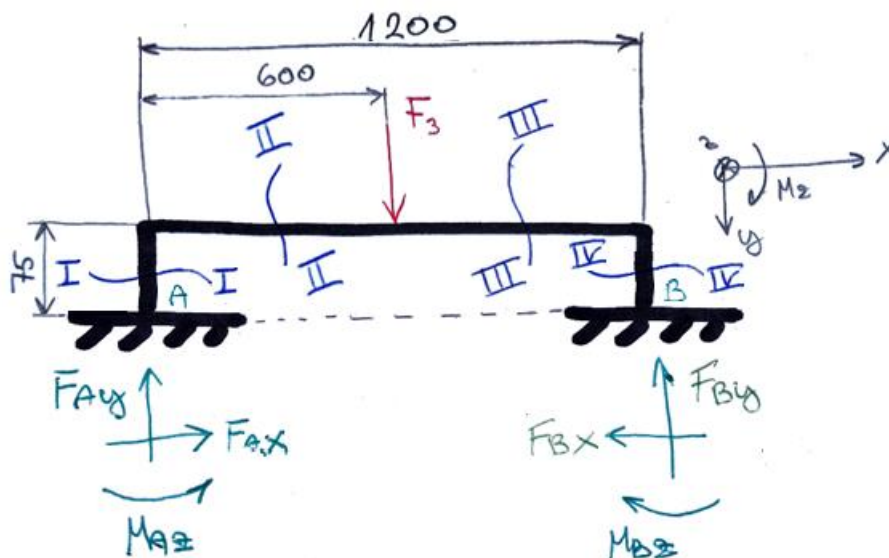
U sljedećim potpoglavljima bit će proračunate ili odabrane pojedine komponente rukohvata, poput šupljeg cijevnog profila, U-profila i svornjaka koji će držati rukohvat na željenoj visini.

#### **5.1.2.1. Proračun promjera šupljeg cilindričnog profila rukohvata**

Kako bi se odredio konačni promjer rukohvata, potrebno je izračunati minimalni moment otpora. Proračun će biti izračunat za najgori slučaj opterećenja koji stvara najveća naprezanja, odnosno slučaj jednoručnog guranja na sredini rukohvata. Radi pojednostavljenja, rukohvat će



se tretirati kao simetrično opterećen nosač koji je uklješten u točkama A i B, a izgled tog pojednostavljenja prikazan je na slici 28.



Slika 28. Skica opterećenja

Rukohvat je opterećen silom  $F_3$  koja iznosi isto kao sila guranja:

$$F_3 = F_{\text{guranja}2} = 2,5 \cdot \mu_{\text{kotrljanja}} \cdot g \cdot m_{\text{konstrukcije}2} \quad (5.1.2.1.2.)$$

Nova masa konstrukcije jednaka je:

$$m_{\text{konstrukcije}2} = (m_{\text{konstrukcije}} + m_{k,p} + 2 \cdot m_{\text{statičnog\_kotača}} + 2 \cdot m_{\text{okretnog\_kotača}}) \cdot S_2 \quad (5.1.2.1.3.)$$

Faktor sigurnosti, odnosno  $S_2$ , koristi se za kompenzaciju mase rukohvata i elemenata koji nisu dodatni na konstrukciju te iznosi:

$$S_2 = 1,05 \quad (5.1.2.1.4.)$$

Masa statičkog kotača ( $m_{\text{statičnog\_kotača}}$ ) prema [13] iznosi 9,1 kg, masa okretnog kotača ( $m_{\text{okretnog\_kotača}}$ ) prema [12] iznosi 10,4 kg i masa konstrukcije ( $m_{\text{konstrukcije}}$ ) radi sigurnosti bit će jednaka najvećoj dopuštenoj, odnosno, prema ograničenjima  $m_{\text{konstrukcije}} = 160$  kg

$$m_{\text{konstrukcije}2} = (160 + 150 + 2 \cdot 10,4 + 2 \cdot 9,1) \cdot 1,05 = 366,45 \text{ kg} \quad (5.1.2.1.5.)$$

Uvrštavanjem izraza (5.2.3.5.) u izraz (5.2.3.2.) dobiva se sila guranja:

$$F_3 = F_{\text{guranja}2} = 2,5 \cdot 0,03 \cdot 9,81 \cdot 366,45 = 269,612 \text{ N} \quad (5.1.2.1.6.)$$

Pomoću slike 32. postavljaju se jednadžbe ravnoteže:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ F_{Ax} &= F_{Bx} \end{aligned} \quad (5.1.3.7.)$$



$$\sum F_y = 0$$

$$F_{Ay} + F_{By} = F_3 \quad (5.1.3.8.)$$

$$\sum M_B = 0$$

$$-M_{Az} + M_{Bz} + 1200 \cdot F_{Ay} - 600 \cdot F_3 = 0 \quad (5.1.3.9.)$$

U jednadžbama (5.1.2.1.7.), (5.1.2.1.8.), i (5.1.2.1.9.), nužno je identificirati šest nepoznanica putem triju jednadžbi. Na temelju toga, može se zaključiti da se radi o neodređenim slučaju, što zahtijeva primjenu dodatnih jednadžbi koristeći drugi Castiglioneov teorem i teorem o minimumu energije deformiranja.

$$\alpha_A = \frac{dU}{dM_{Az}} = 0 \quad (5.1.2.1.10.)$$

$$v_A = \frac{dU}{dF_{Ax}} = 0 \quad (5.1.2.1.11.)$$

$$w_A = \frac{dU}{dF_{Ay}} = 0 \quad (5.1.2.1.12.)$$

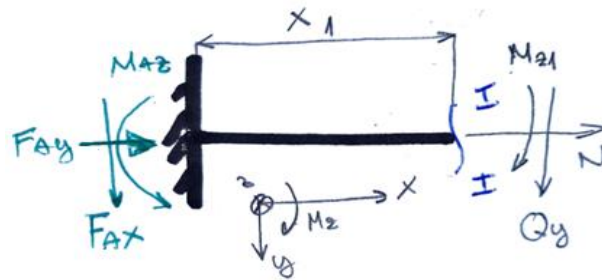
$$\frac{dU}{dM_{Az}} = \frac{1}{EI_y} \left[ \int_0^{75} M_{z1}(x_1) \frac{dM_{z1}}{dM_{Az}} dx_1 + \int_0^{600} M_{z2}(x_2) \frac{dM_{z2}}{dM_{Az}} dx_2 \right. \\ \left. + \int_0^{600} M_{z3}(x_3) \frac{dM_{z3}}{dM_{Az}} dx_3 + \int_0^{75} M_{z4}(x_4) \frac{dM_{z4}}{dM_{Az}} dx_4 \right] \quad (5.1.2.1.13.)$$

$$\frac{dU}{dF_{Ax}} = \frac{1}{EI_y} \left[ \int_0^{75} M_{z1}(x_1) \frac{dM_{z1}}{dF_{Ax}} dx_1 + \int_0^{600} M_{z2}(x_2) \frac{dM_{z2}}{dF_{Ax}} dx_2 \right. \\ \left. + \int_0^{600} M_{z3}(x_3) \frac{dM_{z3}}{dF_{Ax}} dx_3 + \int_0^{75} M_{z4}(x_4) \frac{dM_{z4}}{dF_{Ax}} dx_4 \right] \quad (5.1.2.1.14.)$$

$$\frac{dU}{dF_{Ay}} = \frac{1}{EI_y} \left[ \int_0^{75} M_{z1}(x_1) \frac{dM_{z1}}{dF_{Ay}} dx_1 + \int_0^{600} M_{z2}(x_2) \frac{dM_{z2}}{dF_{Ay}} dx_2 \right. \\ \left. + \int_0^{600} M_{z3}(x_3) \frac{dM_{z3}}{dF_{Ay}} dx_3 + \int_0^{75} M_{z4}(x_4) \frac{dM_{z4}}{dF_{Ay}} dx_4 \right] \quad (5.1.2.1.15.)$$

Proračun dopunskih jednadžba započinje određivanjem unutarnjih momenata  $M_{z1}$ ,  $M_{z2}$ ,  $M_{z3}$  i  $M_{z4}$  iz presjeka koji su označeni na slici 29. i daljnjom derivacijom tih momenata po pooptennoj sili.

**Presjek I-I ( $0 \leq x_1 \leq 75$ )**



**Slika 29. Presjek 1**

$$\sum M_{I-I} = 0$$

$$M_{z1} - M_{Az} - x_1 F_{Ax} = 0$$

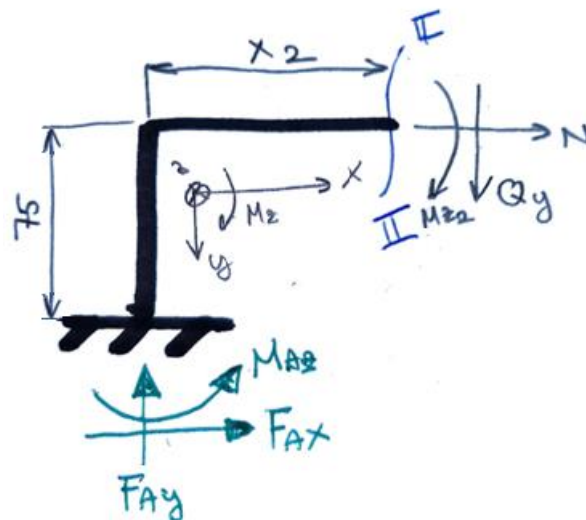
$$M_{z1} = M_{Az} + x_1 F_{Ax} \tag{5.1.2.1.16.}$$

$$\frac{dM_{z1}}{dM_{Az}} = 1 \tag{5.1.2.1.17.}$$

$$\frac{dM_{z1}}{dF_{Ax}} = x_1 \tag{5.1.2.1.18.}$$

$$\frac{dM_{z1}}{dF_{Ay}} = 0 \tag{5.1.2.1.19.}$$

**Presjek II-II ( $0 \leq x_2 \leq 600$ )**



**Slika 30. Presjek 2**

$$\sum M_{II-II}=0$$

$$M_{z2}-M_{Az}-75\cdot F_{Ax}+x_2F_{Ay}=0$$

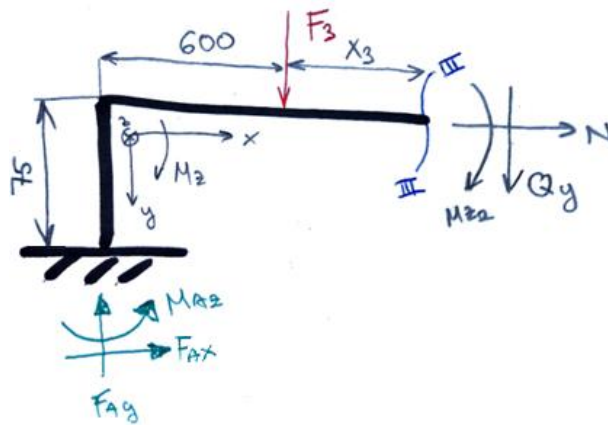
$$M_{z2}=M_{Az}+75\cdot F_{Ax}-x_2F_{Ay} \quad (5.1.2.1.20.)$$

$$\frac{dM_{z2}}{dM_{Az}}=1 \quad (5.1.2.1.21.)$$

$$\frac{dM_{z2}}{dF_{Ax}}=75 \quad (5.1.2.1.22.)$$

$$\frac{dM_{z2}}{dF_{Ay}}=-x_2 \quad (5.1.2.1.23.)$$

### Presjek III-III ( $0 \leq x_3 \leq 600$ )



Slika 31. Presjek 3

$$\sum M_{III-III}=0$$

$$M_{z3}-M_{Az}-75\cdot F_{Ax}+(x_3+600)F_{Ax}-x_3F_{Ay}=0$$

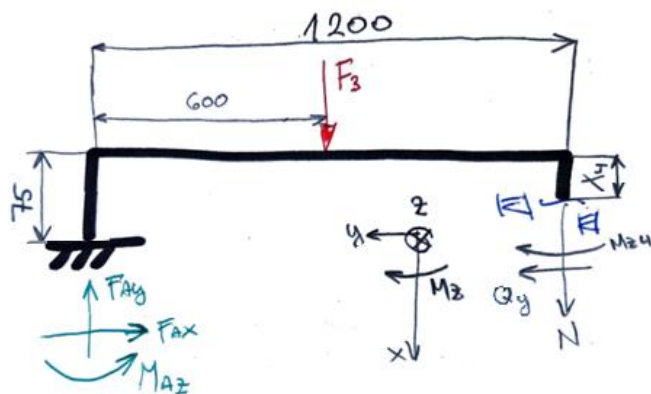
$$M_{z3}=M_{Az}+75\cdot F_{Ax}+x_3F_3-(x_3+600)F_{Ay} \quad (5.1.2.1.24.)$$

$$\frac{dM_{z3}}{dM_{Az}}=1 \quad (5.1.2.1.25.)$$

$$\frac{dM_{z3}}{dF_{Ax}}=75 \quad (5.1.2.1.26.)$$

$$\frac{dM_{z3}}{dF_{Ay}}=-(x_3+600) \quad (5.1.2.1.27.)$$

**Presjek IV-IV ( $0 \leq x_4 \leq 75$ )**



**Slika 32. Presjek 4**

$$\sum M_{IV-IV} = 0$$

$$M_{z4} - M_{Az} - (75 - x_4)F_{Ax} + 1200 \cdot F_{Ay} - 600 \cdot F_3 = 0$$

$$M_{z4} = M_{Az} + (75 - x_4)F_{Ax} + 600 \cdot F_3 - 1200 \cdot F_{Ay} \tag{5.1.2.1.28.}$$

$$\frac{dM_{z4}}{dM_{Ay}} = 1 \tag{5.1.2.1.29.}$$

$$\frac{dM_{z4}}{dF_{Ax}} = (75 - x_4) \tag{5.1.2.1.30.}$$

$$\frac{dM_{z4}}{dF_{Ay}} = -1200 \tag{5.1.2.1.31.}$$

Prva dopunska jednačba dobiva se uvrštavanjem izraza (5.1.2.1.17.), (5.1.2.1.16.), (5.1.2.1.20.), (5.1.2.1.21.), (5.1.2.1.24.), (5.1.2.1.25.), (5.1.2.1.28.), (5.1.2.1.29.) u izraz (5.1.2.1.13.):

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dM_{Az}} = \frac{1}{EI_y} & \left\{ \int_0^{75} (M_{Az} + x_1 F_{Ax}) (1) d_{x1} + \int_0^{600} (M_{Az} + 75 \cdot F_{Ax} - x_2 F_{Ay}) (1) d_{x2} \right. \\ & + \int_0^{600} [M_{Az} + 75 \cdot F_{Ax} + x_3 F_3 - (x_3 + 600) F_{Ay}] (1) d_{x3} \\ & \left. + \int_0^{75} [M_{Az} + (75 - x_4) F_{Ax} + 600 \cdot F_3 - 1200 \cdot F_{Ay}] (1) d_{x4} \right\}. \end{aligned} \tag{5.1.2.1.32.}$$

Rješavanjem (5.1.2.1.32.) dobiva se sljedeće:

$$\frac{dU}{dM_{Az}} = \frac{1}{EI_y} (1350 \cdot M_{Az} + 95\,625 \cdot F_{Ax} + 225\,000 \cdot F_3 - 810\,000 \cdot F_{Ay}) \quad (5.1.2.1.33.)$$

Uvrštavanjem (5.1.2.1.33.) u (5.1.2.1.10.) i sređivanjem rezultata, dobiva se prva dopunska jednačba:

$$-\frac{500}{3} \cdot F_3 = M_{Az} + \frac{425}{6} \cdot F_{Ax} - 600 \cdot F_{Ay} \quad (5.1.2.1.34.)$$

Druga dopunska jednačba proizlazi iz uvrštavanja izraza (5.1.2.1.16.), (5.1.2.1.18.), (5.1.2.1.20.), (5.1.2.1.22.), (5.1.2.1.24.), (5.1.2.1.26.), (5.1.2.1.28.), (5.1.2.1.30.) u izraz (5.1.2.1.14.):

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dF_{Ax}} = & \frac{1}{EI_y} \left\{ \int_0^{75} (M_{Az} + x_1 F_{Ax}) (x_1) dx_1 + \int_0^{600} (M_{Az} + 75 \cdot F_{Ax} - x_2 F_{Ay}) (75) dx_2 \right. \\ & + \int_0^{600} [M_{Az} + 75 \cdot F_{Ax} + x_3 F_3 - (x_3 + 600) F_{Ay}] (75) dx_3 \\ & \left. + \int_0^{75} [M_{Az} + (75 - x_4) F_{Ax} + 600 \cdot F_3 - 1200 \cdot F_{Ay}] \cdot (75 - x_4) dx_4 \right\} \end{aligned} \quad (5.1.2.1.35.)$$

Rješavanjem (5.1.2.1.35.) dobiva se sljedeće:

$$\frac{dU}{dF_{Ax}} = \frac{1}{EI_y} (95\,625 \cdot M_{Az} + 7\,031\,250 \cdot F_{Ax} + 15\,187\,500 \cdot F_3 - 57\,375\,000 \cdot F_{Ay}) \quad (5.1.2.1.36.)$$

Uvrštavanjem (5.1.2.1.36.) u (5.1.2.1.11.) i sređivanjem rezultata dobiva se druga dopunska jednačba:

$$-\frac{2700}{17} \cdot F_3 = M_{Az} + \frac{1250}{17} \cdot F_{Ax} - 600 \cdot F_{Ay} \quad (5.1.2.1.37.)$$

Treća dopunska jednačba dobiva se uvrštavanjem izraza (5.1.2.1.16.), (5.1.2.1.19.), (5.1.2.1.20.), (5.1.2.1.23.), (5.1.2.1.24.), (5.1.2.1.27.), (5.1.2.1.28.), (5.1.2.1.31.) u izraz (5.1.2.1.15.):

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dF_{Ay}} = \frac{1}{EI_y} \left\{ \int_0^{75} (M_{Az} + x_1 F_{Ax}) (0) dx_1 + \int_0^{600} (M_{Az} + 75 \cdot F_{Ax} - x_2 F_{Ay}) (-x_2) dx_2 \right. \\ \left. + \int_0^{600} -(x_3 + 600) [M_{Az} + 75 \cdot F_{Ax} + x_3 F_3 - (x_3 + 600) F_{Ay}] dx_3 \right. \\ \left. + \int_0^{75} -1200 [M_{Az} + (75 - x_4) F_{Ax} + 600 \cdot F_3 - 1200 \cdot F_{Ay}] dx_4 \right\} \end{aligned} \quad (5.1.2.1.38.)$$

Rješavanjem (5.1.2.1.38.) dobiva se sljedeće:

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dF_{Ax}} = \\ \frac{1}{EI_y} (-810\,000 \cdot M_{Az} - 57\,375\,000 \cdot F_{Ax} - 234\,000\,000 \cdot F_3 + 684\,000\,000 \cdot F_{Ay}) \end{aligned} \quad (5.1.2.1.39.)$$

Uvrštavanjem (5.1.2.1.39.) u (5.1.2.1.12.) i sređivanjem rezultata dobiva se treća dopunska jednažba:

$$-\frac{2600}{9} \cdot F_3 = M_{Az} + \frac{425}{6} \cdot F_{Ax} - \frac{7600}{9} \cdot F_{Ay} \quad (5.1.2.1.40.)$$

Tretiranjem dopunskih jednažbi kao sustav jednažba s tri nepoznanice i njihovim rješavanjem dobivaju se reakcije oslonca A:

$$F_{Ax} = 2,909 \cdot F_3 \quad (5.1.2.1.41.)$$

$$F_{Ay} = 0,5 \cdot F_3 \quad (5.1.2.1.42.)$$

$$M_{Az} = -72,727 \cdot F_3 \quad (5.1.2.1.43.)$$

Uvrštavanjem  $F_{Ax}$  (5.1.3.36.) u izraz (5.1.3.1.) dobiva se sila  $F_{Bx}$  koja iznosi:

$$F_{Bx} = 2,909 \cdot F_3 \quad (5.1.2.1.44.)$$

Uvrštavanjem  $F_{Az}$  (5.1.3.37.) u izraz (5.1.3.2.) dobiva se sila  $F_{By}$  koja iznosi:

$$F_{By} = 0,5 \cdot F_3 \quad (5.1.2.1.45.)$$

Uvrštavanjem  $M_{Az}$  (5.1.3.38.) u izraz (5.1.3.3.) dobiva se moment  $M_{Ay}$  koja iznosi:

$$M_{Bz} = -72,727 \cdot F_3 \quad (5.1.2.1.46.)$$

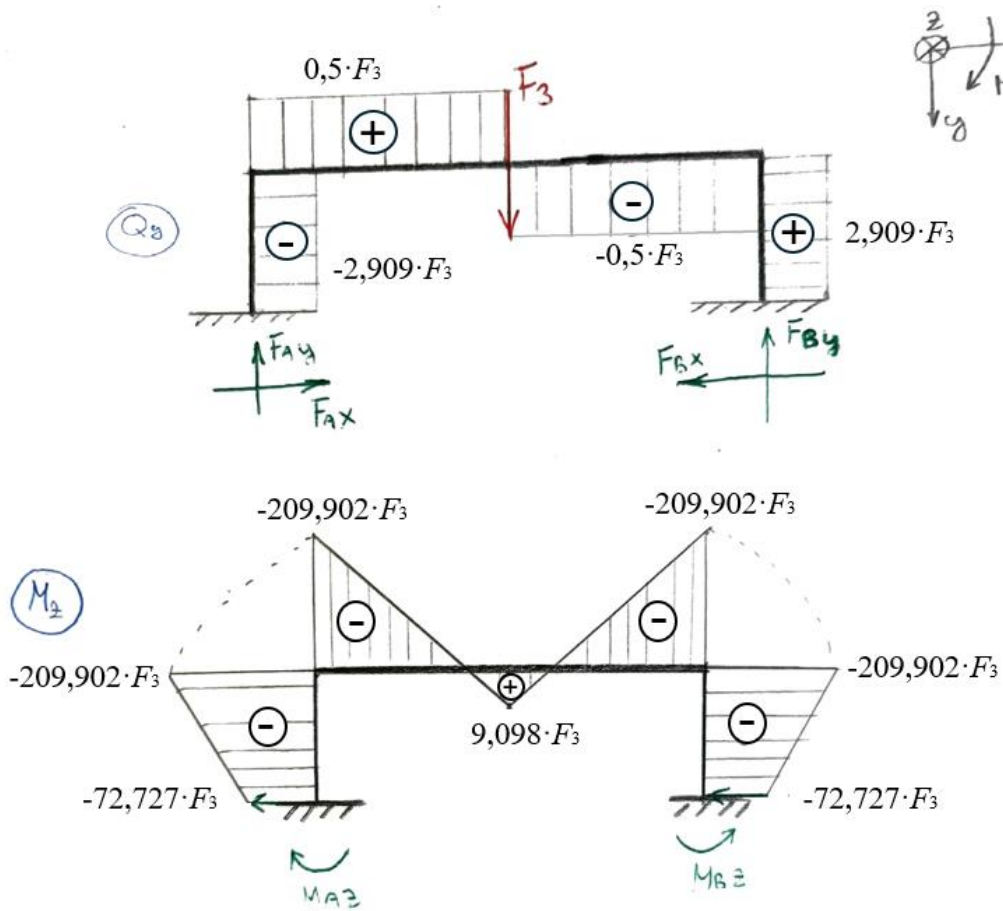
### 5.1.2.2. Presjek profila

Kako je napomenuto, veličina presjeka profila rukohvata bit će odabrana iz kataloga [14], no za to je potrebno izračunati minimalni potrebni moment otpora savijanja iz jednažbe savojnog naprezanja.

$$\sigma_{\text{dop}} \geq \frac{M_{z,\text{max,rukohvata}}}{W_{z,\text{min}}}$$

$$W_{z,\text{min}} \geq \frac{M_{z,\text{max,rukohvata}}}{\sigma_{\text{dop}}} \quad (5.1.2.2.1.)$$

Pomoću izračunatih sila i momenta u osloncima konstruirana se dijagram unutarnjih sila i momenta koji je prikazan na slici 33.



Slika 33. Dijagram unutarnjih sila i momenata

Za proračun potrebne veličine presjeka nužno je očitati maksimalni iznos savojnog momenta iz dijagrama sa slike 34, a on iznosi:

$$|M_{z,\text{max,rukohvata}}| = 290,902 \cdot F_3 = 290,902 \cdot 269,612 = 78\,430,67 \text{ Nmm} \quad (5.1.2.2.2.)$$

Još preostaje odrediti dopušteno naprezanje. Budući da proizvođač [1] izrađuje isključivo U-profile od nehrđajućeg čelika, kako bi se osigurao kvalitetan zavar, šuplji cilindrični profil će također biti izrađen od istog materijala, odnosno čelika 1.4301, čija granica razvlačenja, prema [1], iznosi  $R_{p02}=195 \text{ N/mm}^2$ . U skladu s poglavljem 3, granica razvlačenja se mora podijeliti faktorom sigurnosti, koji u ovom slučaju iznosi 1,5. Time se dobiva dopušteno naprezanje:

$$\sigma_{\text{dop}} = \frac{R_{p02}}{S} = \frac{195}{1,5} = 130 \text{ N/mm}^2 \quad (5.1.2.2.3.)$$

Uvrštavanjem maksimalnog očitano momenta savijanja (5.1.2.2.2.) i dopuštene vrijednosti naprezanja (5.1.2.2.3) u izraz (5.1.2.2.1.) dobiva se:

$$W_{z,\text{min}} \geq \frac{78\,430,67}{130}$$

$$W_{z,\text{min}} \geq 603,313 \text{ mm}^3 \quad (5.1.2.2.4.)$$

Iako profil olimpijske šipke nije odabran, njezin promjer od 28 mm pokazao se dovoljno debelim za efektivno rukovanje. Kako bi se osigurao konstantan pravilan položaj ruke na rukohvatu, potrebno je osigurati dovoljno trenja pomoću premaza, ureza ili gumiranja dijela rukohvata. Od tri navedene opcije, odabrano je gumiranje zato što dodatno nudi mekanu površinu koja će smanjiti pritisak na dlanovima. Radi kompenzacije dodatne debljine koju dodaje gumiranje, odabrani promjer profila cijevi bit će 3 mm manji, odnosno promjer će iznositi 25 mm s debljinom stijenke od 2 mm.

$$W_z = \frac{\frac{[d^4 - (d-2t)^4]\pi}{64}}{\frac{d}{2}} = \frac{\frac{[25^4 - (25-4)^4]\pi}{64}}{\frac{25}{2}} = 770,256 \text{ mm}^3 \quad (5.1.2.2.5.)$$

$$W_z > W_{z,\text{min}}$$

$$770,256 > 603,313 \text{ mm}^3$$

Odabrani presjek zadovoljava prethodno traženi uvjet te je dostupan u katalogu [2], a dodatna čvrstoća nudi sigurnost od udarnog opterećenja koje može nastati prilikom pokretanja mobilne stanice.

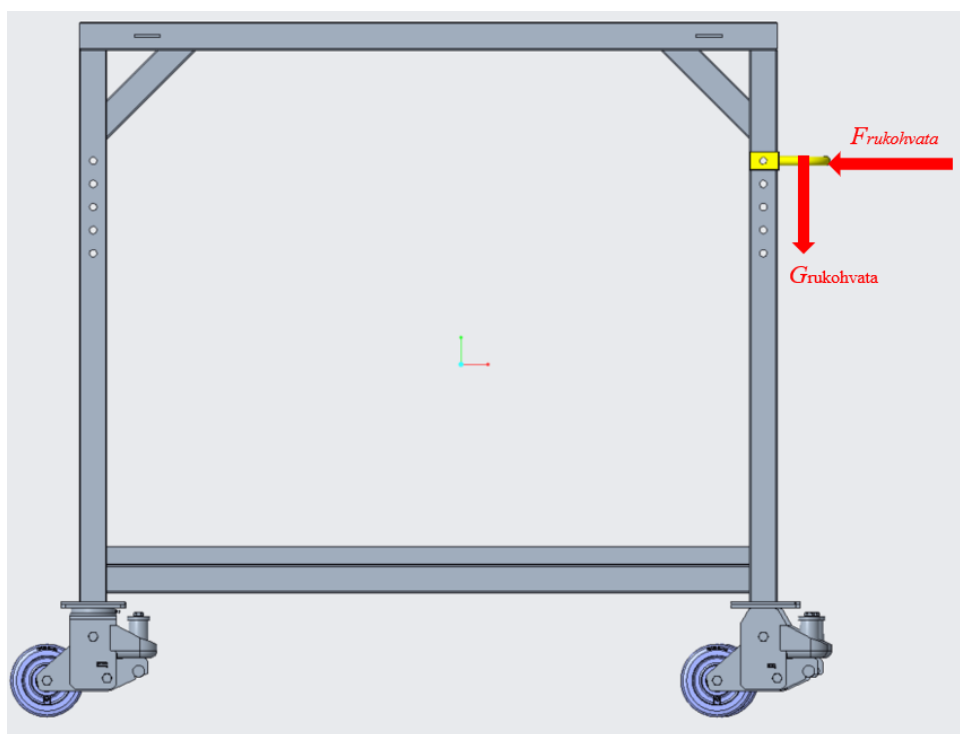


### 5.1.3. Svornjak

Sada kada je odabran presjek šuplje cijevi za rukohvat, preostaje odrediti presjek svornjaka koji će osigurati rukohvat na željenoj visini. Međutim, prije toga potrebno je izabrati odgovarajući U-profil iz kataloga [1].

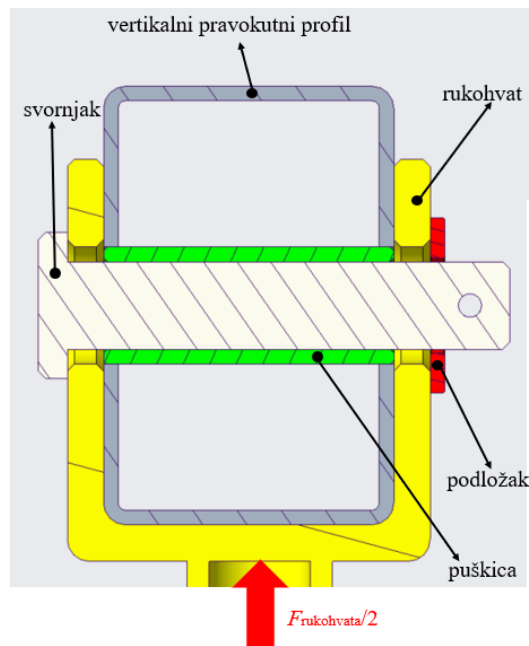
U poglavlju 5.1.2. spomenuto je da unutarnja širina U-profila mora odgovarati kraćoj stranici nosivog stupa, tj. unutarnja širina treba iznositi najmanje 41 mm. Prema katalogu, jedini profil koji zadovoljava ovaj uvjet je 50x50x4 čija unutarnja širina iznosi 42 mm. Sada, kada je idealni U-profil odabran, može se započeti s proračunom i određivanjem ulaznih podataka za proračun svornjaka.

Tijekom rada, odnosno guranja konstrukcije ili tijekom mirovanja, rukohvat, odnosno svornjaci će biti opterećeni težinom rukohvata odnosno  $G_{\text{rukohvata}}$  i silom  $F_{\text{rukohvata}}$ , koja predstavlja silu guranja prilikom ručnog transportiranja mobilne stanice, kako je prikazano na slici 34.



Slika 34. Opterećenje svornjaka

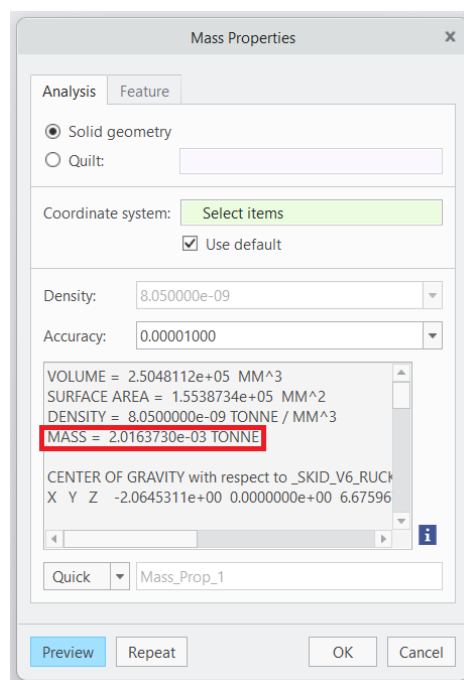
Međutim sila  $F_{\text{rukohvata}}$  ne opterećuje svornjak jer se prilikom guranja rukohvata, odnosno U-profil, ne naslanja na svornjak u horizontalnoj ravnini nego na vertikalni pravokutni profil, kao što je prikazano na slici 35.



Slika 35. Presjek komponenti

Da bi se mogao započeti proračun svornjaka, potrebno je odrediti težinu rukohvata. Ona će se izračunati pomoću aplikacije unutar programa Creo Parametric, pod nazivom „Mass properties“. Unutar te aplikacije, postaviti će se materijal rukohvata, koji je u ovom slučaju inox, odnosno čelik 1.4301. Masa rukohvata bez gumirane površine prikazana slici 36. i iznosi:

$$m_{\text{rukohvata}} = 2.016 \cdot 10^{-3} \text{ t} = 2.016 \text{ kg.} \quad (5.1.3.1.)$$



Slika 36. Masa rukohvata bez gumirane površine

Kako bi se kompenzirala masa gumirane površine,  $m_{\text{rukohvata}}$  pomnožit će se s faktorom sigurnosti koji iznosi  $S_{\text{gum\_pov}} = 1,2$ . Stoga nova masa rukohvata jednaka je

$$m_{s,\text{rukohvata}} = m_{\text{rukohvata}} \cdot S_{\text{gum\_pov}} = 2.016 \cdot 1,2 = 2,419 \text{ kg} \quad (5.1.3.2.)$$

Te sada je moguće odrediti težinu rukohvata:

$$G_{\text{rukohvata}} = m_{s,\text{rukohvata}} \cdot g = 2,419 \cdot 9,81 = 23,730 \text{ N} \quad (5.1.3.3.)$$

Sada nakon što su određeni svi potrebni ulazni podaci, moguće je započeti proračun svornjaka. Minimalni potrebni presjek svornjaka bit će izračunat pomoću jednadžbi koje se nalaze u knjizi [21].

Ulazni podaci:

sila koja opterećuje svornjak:  $F_{\text{svornjak}} = 0,5 \cdot G_{\text{rukohvata}} = 0,5 \cdot 23,730 = 11,865 \text{ N}$

materijal svornjaka: St 37

širina stijenke „U“ profila:  $a = t = 5 \text{ mm}$

duljina zatika unutar profila:  $b = 40 \text{ mm}$

presjek zatika:  $A_s = d_s^2 \pi / 4$

Naprezanje na savijanje:

$$\sigma_f = \frac{0,5 \cdot F_{\text{svornjak}} \cdot 0,5 \cdot a}{0,1 \cdot d_s^3} \quad (5.1.5.4.)$$

Ovaj izraz treba biti manji od dopuštenog naprezanja, a nakon uvrštavanja poznatih vrijednosti dobiva se sljedeći izraz:

$$\frac{0,5 \cdot 11,865 \cdot 0,5 \cdot 5}{0,1 \cdot d_{s,\text{min } 1}^3} \leq \sigma_{\text{dop}} \quad (5.1.5.5.)$$

Naprezanje na odrez:

$$\tau = \frac{F_{\text{svornjak}}}{2 \cdot A} \quad (5.1.5.6.)$$

Kao i izraz 5.1.5.4. i ova jednadžba treba biti manja od dopuštenog naprezanja. Nakon uvrštavanja poznatih vrijednosti, dobiva se sljedeće:

$$\frac{11,865}{2 \cdot \frac{d_{s,min}^2 \pi}{4}} \leq \tau_{dop} \tag{5.1.5.7.}$$

Tlakovi:

$$p_v = \frac{F_{svornjak}}{2 \cdot a \cdot d} \tag{5.1.5.8.}$$

$$p_u = \frac{F_{svornjak}}{b \cdot d} \tag{5.1.5.9.}$$

Isto kao i jednadžbe (5.1.5.4.) i (5.1.5.6.) izrazi (5.1.5.8.) i (5.1.5.9.) moraju biti manji od dopuštenog, a nakon uvrštavanja poznatih vrijednosti dobiva se sljedeće:

$$\frac{11,865}{2 \cdot 5 \cdot d_{s,min}^3} \leq p_{dop} \tag{5.1.5.10.}$$

$$\frac{11,865}{40 \cdot d_{s,min}^4} \leq p_{dop} \tag{5.1.5.11.}$$

Dopuštena naprezanja očitavaju se iz tablice koja se nalazi u knjizi [21] i prikazana su na slici 37. Budući da je u ovom koraku materijal svornjaka nepoznat, radi sigurnosti pretpostavit će se da su svornjaci izrađeni od najslabijeg konstrukcijskog čelika navedenog u tablici.

Dosljed	Napre-zanje	mimo				Opterećenje jednosmjerno promjenljivo				izmjenično promjenljivo			
		St 37 Č. 0361	St 50 Č. 0545	GS ČL	GG SL	St 37 Č. 0361	St 50 Č. 0545	GS ČL	GG SL	St 37 Č. 0361	St 50 Č. 0545	GS ČL	GG SL
stezni glatkih zatika	p	98	104	83	68	72	100	62	52	36	50	31	26
sa zarezim zatikom		69	73	58	48	52	70	42	34	26	35	21	17
klizni glatkih svornjaka		30	30	30	40	24	24	24	32	12	12	12	16
Dosljed	Napre-zanje	Zatik ili svornjak od čelika čvrstoće $\sigma_{ak}$ u N/mm <sup>2</sup>											
		400	500	600	800	400	500	600	800	400	500	600	800
stezni glatkih zatika	$\sigma_t$	83	105	128	150	56	80	96	112	28	40	48	56
	$\tau_s$	54	72	87	102	40	52	64	74	20	26	32	37
sa zarezim zatikom	$\sigma_t$	70	87	105	125	48	68	80	92	24	34	40	46
	$\tau_s$	45	60	72	85	34	44	52	60	17	22	26	30
klizni glatkih svornjaka	$\sigma_t$	100	125	155	180	66	96	114	134	33	48	57	67
	$\tau_s$	54	72	87	102	40	52	64	74	20	26	32	37

Slika 37. Tablica dopuštenih naprezanja [21]

Unutar crvenog pravokutnika nalaze se dopuštene vrijednosti St 37 koje iznose:  $p_{\text{dop}} = 30 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{\text{dop}} = 100 \text{ N/mm}^2$  i  $\tau_{\text{dop}} = 54 \text{ N/mm}^2$ .

Uvrštavanjem tih vrijednosti u jednadžbe (5.1.5.5.), (5.1.5.7.), (5.1.5.10.), (5.1.5.11.) dobivaju se minimalne dopušteni promjeri svornjaka:

$$\frac{0,5 \cdot 11,865 \cdot 0,5 \cdot 5}{0,1 \cdot d_{s,\text{min } 1}^3} \leq 100 \text{ N/mm}^2 \quad (5.1.5.9.)$$

$$d_{s,\text{min } 1} \geq 1,140 \text{ mm}$$

$$\frac{11,865}{2 \cdot \frac{d_{s,\text{min } 2}^2 \pi}{4}} \leq 54 \text{ N/mm}^2 \quad (5.1.5.10.)$$

$$d_{s,\text{min } 2} \geq 0,374 \text{ mm}$$

$$\frac{11,865}{2 \cdot 5 \cdot d_{s,\text{min } 3}} \leq 30 \text{ N/mm}^2 \quad (5.1.5.12.)$$

$$d_{s,\text{min } 3} \geq 0,04 \text{ mm}$$

$$\frac{11,865}{40 \cdot d_{s,\text{min } 4}} \leq 30 \text{ N/mm}^2 \quad (5.1.5.12.)$$

$$d_{s,\text{min } 4} \geq 0,01 \text{ mm}$$

Minimalna dopuštena vrijednost promjera svornjaka bit će jednaka maksimalnoj vrijednosti prijašnjih rezultata odnosno:

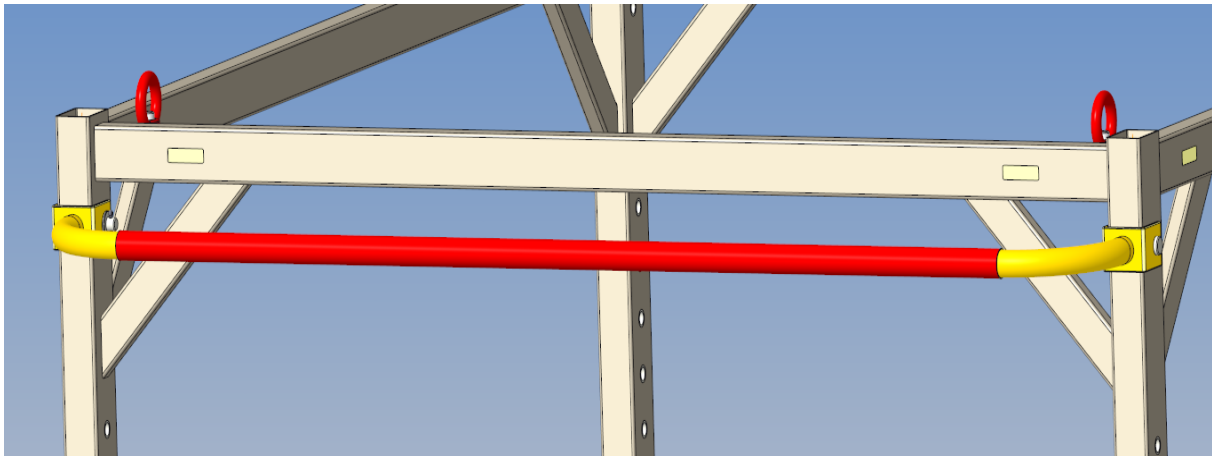
$$d_{s,\text{min}} = \max (d_{s,\text{min } 1}, d_{s,\text{min } 2}, d_{s,\text{min } 3}, d_{s,\text{min } 4}) = 1,140 \text{ mm} \quad (5.1.5.13.)$$

Prije određivanja konačnog promjera svornjaka, potrebno je napomenuti da proizvođač već ima na skladištu nekoliko parova svornjaka izrađenih od nehrđajućeg čelika X5CrNi 18-10 (1.4305) odgovarajuće duljine, s odgovarajućim podloškama i rascjepkama. Međutim, ti svornjaci imaju znatno veći promjer od minimalno potrebnog promjera  $d_{s,\text{min}}$ . Proizvođač je izrazio želju da se ti svornjaci iskoriste. Uzimajući u obzir taj dodatni zahtjev, kao i sigurnosne aspekte zbog varijabli koje nisu bile uzete u obzir, poput udarnih opterećenja i dodatne težine koja može nastati naslanjanjem radnika na rukohvat, konačni promjer svornjaka koji zadovoljava sve navedene uvjete, a pritom znatno ne narušava čvrstoću vertikalnih pravokutnih profila, iznosi:

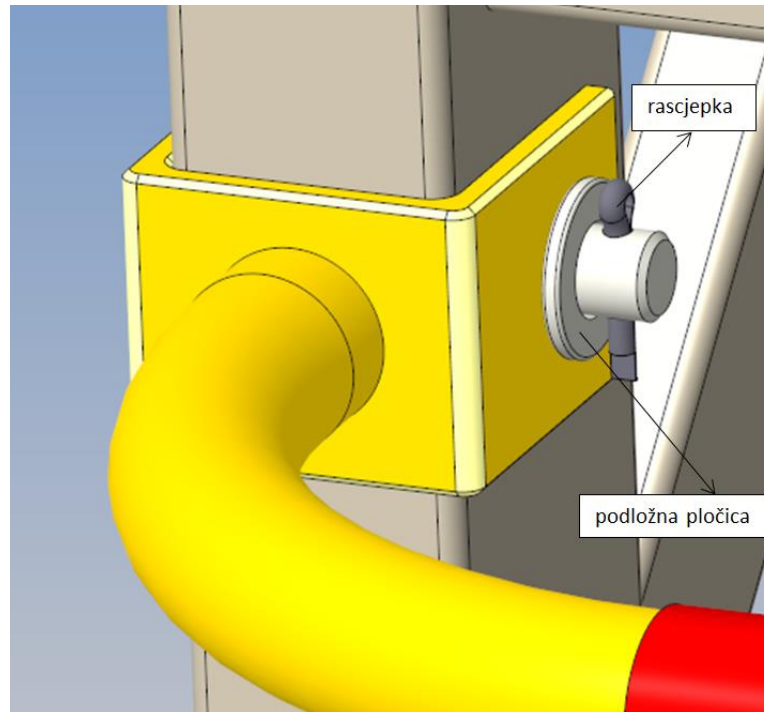
$$d_s = 12 \text{ mm} \quad (5.1.5.14.)$$

#### 5.1.4. Konstrukcijsko rješenje rukohvata

Na slikama 38. i 39. prikazano je konačno rješenje rukohvata te način osiguravanja njegovog položaja s pomoću svornjaka, podloška i rascjepka.



Slika 38. Konstrukcijsko rješenje rukohvata



Slika 39. Osiguravanje položaja rukohvata

## 5.2. Transport viličarom

Za uspješan transport mobilne stanice pomoću viličara, nužno je osigurati određene preduvjete:

- potreban prostor za vilice,
- neometano vidno polje vozača.

Kada je riječ o samom transportu, moguće je izvesti ga s kraće ili duže strane konstrukcije, svaki s vlastitim pristupom. Prilikom transporta s ulazom na kraću stranu, guranje mobilne stanice olakšava se uz dovoljan pritisak vilica na postolje i graničnika. S druge strane, transport s ulazom na dulju stranu omogućava ulazak s obje strane, ali zahtijeva podizanje mobilne stanice zbog nepomičnih kotača, što može rezultirati manjim vidnim poljem vozača.

Važno je napomenuti da je vidno polje vozača ključni faktor, posebno pri korištenju različitih tipova viličara. Oba tipa viličara, dvotonski HELI CPD20SQ čeonni viličar na 3 kotača i HELI CPD50 viličar teretnog kapaciteta od pet tona, koriste se u postrojenju. Osim prostora za vilice, važno je osigurati nekomprimirano vidno polje vozača kako bi se izbjegli rizici prilikom transporta mobilne stanice.

### 5.2.1.1. Vidno polje upravljača viličara

U skladu s principima očuvanja neometanog vidnog polja vozača viličara, isto vrijedi i prilikom transporta viličarom. U postrojenju se koriste dva tipa viličara radi različitih zahtjeva. Prvi tip viličara je dvotonski HELI CPD20SQ čeonni viličar na tri kotača, čija je konfiguracija prikazana na slici 40 preuzetoj iz kataloga [22]. Drugi tip viličara je HELI CPD50, viličar teretnog kapaciteta od pet tona, a njegova konstrukcija prikazana je na slici 41, preuzetoj iz kataloga [23].



Slika 40. HELI CPD20SQ [22]



Slika 41. HELI CPD50 [23]

Da bismo odredili visinu očiju vozača ( $h_{\text{viličar}}$ ), koristi ćemo formulu koja zbraja visinu sjedišta ( $h_{\text{sjedišta}}$ ) s visinom očiju u sjedećem položaju ( $h_{\text{vo}}$ ):

$$h_{\text{viličar}} = h_{\text{sjedišta}} + h_{\text{vo}} \quad (5.2.1.1.1.)$$

S obzirom na to da je model CPD20SQ značajno niži od modela CPD50, fokusirat ćemo se na vidno polje vozača koji upravlja CPD20SQ, budući da predstavlja najkritičniji scenarij. Prema

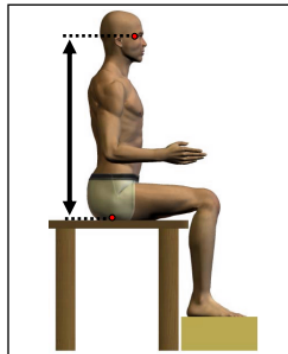


podacima dostupnim u [22], visina sjedišta za model HELI CPD20SQ iznosi  $h_{\text{sjedišta}} = 1064$  mm.

Nadalje, koristeći informacije iz tablice mjera u radu [24], prikazane na slici 42, identificirat će se visina očiju u sjedećem položaju ( $h_{\text{vo}}$ ).

### (34) EYE HEIGHT, SITTING

The vertical distance between a sitting surface and the ectocanthus landmark is measured with an anthropometer. The participant sits erect with the head in the Frankfurt plane. The shoulders and upper arms are relaxed, and the forearms and hands are extended forward horizontally with the palms facing each other. The thighs are parallel, and the knees are flexed 90° with the feet in line with the thighs. The measurement is taken at the maximum point of quiet respiration.



PERCENTILES				
FEMALES			MALES	
CM	IN		CM	IN
68.10	26.81	1ST	72.80	28.66
68.60	27.01	2ND	73.50	28.94
69.00	27.17	3RD	74.20	29.21
69.80	27.48	5TH	75.00	29.53
70.80	27.87	10TH	76.30	30.04
71.50	28.15	15TH	77.10	30.35
72.20	28.43	20TH	77.70	30.59
72.70	28.62	25TH	78.20	30.79
73.20	28.82	30TH	78.70	30.98
73.60	28.98	35TH	79.10	31.14
74.00	29.13	40TH	79.50	31.30
74.40	29.29	45TH	80.00	31.50
74.80	29.45	50TH	80.40	31.65
75.20	29.61	55TH	80.80	31.81
75.50	29.72	60TH	81.30	32.01
75.90	29.88	65TH	81.70	32.17
76.40	30.08	70TH	82.20	32.36
76.80	30.24	75TH	82.70	32.56
77.40	30.47	80TH	83.20	32.76
78.00	30.71	85TH	83.90	33.03
78.70	30.98	90TH	84.70	33.35
79.90	31.46	95TH	86.00	33.86
80.50	31.69	97TH	86.90	34.21
81.00	31.89	98TH	87.50	34.45
81.60	32.13	99TH	88.30	34.76

Slika 42. Tablica mjera [24]

Uzimajući najmanju mjeru iz razloga sigurnosti visina očiju u sjedećem položaju iznosi

$h_{\text{vo}} = 68,1 \text{ cm} = 681 \text{ mm}$ . Uvrštavajući očitane visine u izraz (5.2.1.1.1.) dobiva se:

$$h_{\text{viličar}} = h_{\text{sjedišta}} + h_{\text{vo}} = 1064 + 681 = 1725 \text{ mm} = 172,5 \text{ cm} \quad (5.2.1.1.2.)$$

Dobivanjem razlike između visine očiju ( $h_{\text{vo}}$ ) vozača viličara i visine mobilne stanice ( $h_2$ ), dobivamo dostupni vidni prostor vozača tijekom transportiranja mobilne stanice s kraće strane, odnosno u situacijama kada nije potrebno podizati konstrukciju s tla.

$$h_{vp\_viličara} = h_{viličar} - h_2 \quad (5.2.1.1.3.)$$

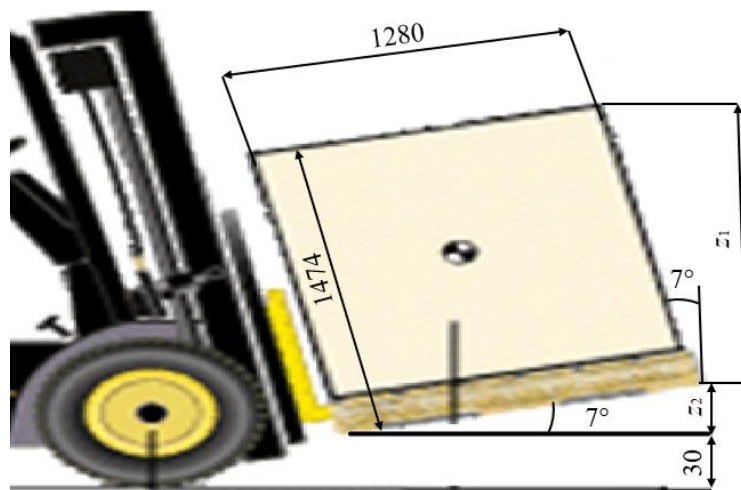
Nova visina mobilne stanice dobit će se modifikacijom izraza (3.1.1.3.) u kojem će se iznos visina profila ( $h_{max,prof}$ ) zamijeniti s visinom odabranog profila ( $h_{prof}$ ), tj. visinom od 50 mm.

$$h_2 = 2 \cdot h_{prof} + 1100 + h_p + h_u + h_{pl} + h_{kوتاča} = 2 \cdot 50 + 1100 + 4 + 20 + 5 + 245 = 1474 \text{ mm} \quad (5.2.1.1.4.)$$

Uvrštavanjem (5.2.1.1.4.) i (5.2.1.1.2.) u (5.2.1.1.3.) dobiva se dostupni prostor vidnog polja vozača:

$$h_{vp\_viličara} = h_{viličar} - h_2 = 1725 - 1475 = 250 \text{ mm} \quad (5.2.1.1.5.)$$

Izračun dostupnog vidnog polja vozača tijekom transporta mobilne stanice s njezine duže strane, posebno u situacijama kada je potrebno podići i nagnuti konstrukciju, zahtijeva dodatne korake. Visina podizanja mobilne stanice mora biti dovoljna da kotači izgube kontakt s tlom. Kako bi se spriječilo zapinjanje kotača o veće čestice na površini, odabrana je visina odvajanja od 30 mm. Najveći nagib vilica iznosi  $7^\circ$ , prema podacima iz kataloga [22], te je slici 43 prikazan je izgled tog slučaja.



Slika 43. Transportiranje viličarom

Prije nego li se odredi novo vidno polje vozača, potrebno je izračunati novu visinu na kojoj se nalazi mobilna stanica, a ona prema slici 43 iznosi:

$$h_3 = z_1 + z_2 + 30 \quad (5.2.1.1.6.)$$

Pomoću slike 43 mogu se odrediti dimenzije  $z_1$  i  $z_2$ , te one iznose:

$$z_1=1474\cos(7^\circ)= 1463,013 \text{ mm} \quad (5.2.1.1.7.)$$

$$z_2=1280\sin(7^\circ)= 155,993 \text{ mm} \quad (5.2.1.1.8.)$$

Uvrštavanjem rezultate izraza (5.2.1.1.7.), (5.2.1.1.8.) u izraz (5.2.1.1.6.) dobiva se visina  $h_3$ :

$$h_3=1463,013+155,993+30=1649,006 \text{ mm} \quad (5.2.1.1.9.)$$

Oduzimanjem novodobivene visine  $h_3$  od visine viličara (5.2.1.1.2.), dobiva se dostupna visina vidnog polja u slučaju kada se mobilna stanica transportira s njezine duže strane, pri maksimalnom nagibu vilica viličara:

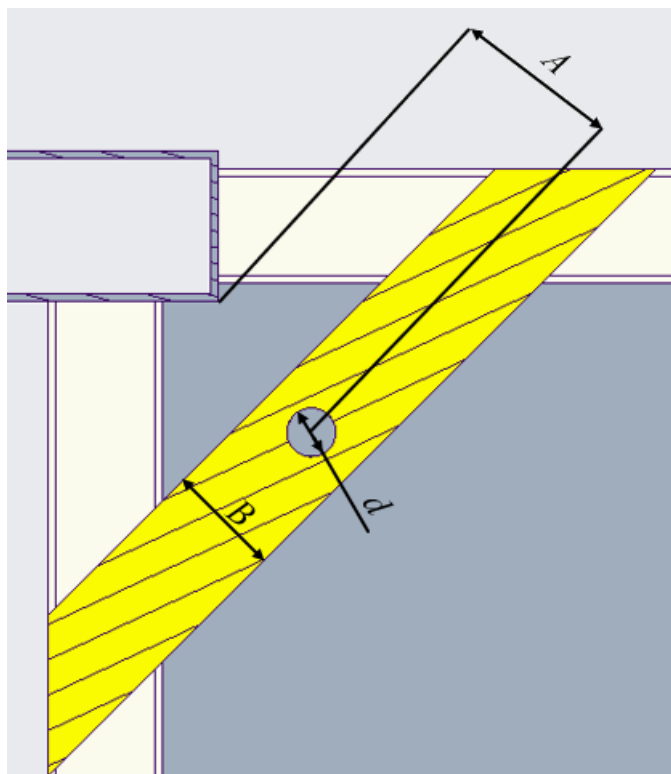
$$h_{vp\_viličara2}= h_{viličar} - h_3 = 1725-1649,006= 75,994 \text{ mm} \quad (5.2.1.1.10.)$$

Dobivene visine od 250 i 75,994 mm su veće od procijenjene visine mobilne stanice, koja je izračunata u izrazu (3.1.1.3.). Međutim, visina  $h_{vp\_viličara2}$  može predstavljati problem, iako je proračunata za najnepovoljniji slučaj.

### 5.3. Transport dizalicom

U situacijama kada viličari nisu dostupni za prenošenje mobilne stanice s punim rezervoarom, potrebno je primijeniti alternativni način transportiranja, odnosno plan B, koristeći dizalicu. Za ovu situaciju, dizalica preuzima ulogu transporta mobilne stanice s punim rezervoarom. Da bi se omogućio siguran transport na ovaj način, potrebno je oblikovati vezu između konstrukcije mobilne stanice i kuke sajli dizalice.

U četvrtom poglavlju predlaže se uvođenje nosača s provrtom za vijak s očnom maticom u konstrukciju. Najoptimalnija izvedba te veze bila bi ona koja primarno preuzima opterećenje oblikom, a djelomično putem zavara, uzimajući u obzir raspored profila krova konstrukcije. Izgled i položaj nosača konstrukcije koji zadovoljava prethodno navedeni uvjet prikazan je na slici 44. Ova izvedba veze istovremeno služi i kao ukruta.



**Slika 44. Izvedba veze konstrukcije i sjale**

U ovoj fazi, dimenzije, uključujući udaljenost središta očne matice od "nosivog stupa" ( $A$ ), koja osigurava dovoljan prostor između krajeva glave ocnog vijka, debljina veze ( $B$ ) i provrt za očni vijak ( $d$ ), još uvijek su nepoznate jer ovise o dimenzijama odabrane vrste očne matice..

Kako bismo započeli proces dimenzioniranja veze, nužno je odabrati očnu maticu koja zadovoljava određene kriterije:

- unutarnji promjer oka očne matice treba biti veći ili jednak 30 mm kako bi se osigurao dovoljan prostor za kuke sajle,
- nosivost očne matice pri nagibu sajle od 0 do 90° mora biti iznositi najmanje pola mase mobilne stanice s punim rezervoarom.

Odabirom odgovarajućeg očne matice koji ispunjava navedene kriterije, može se nastaviti s daljnjim dimenzioniranjem veze.

### 5.3.1. Odabir očne matice

Kako bi se odabrala adekvatna očna matica prvo je potrebno odrediti njegovu nosivost, prema kriteriju i poglavlja 5.3. nosivost mora minimalno pola mase mobilne stanice s punim rezervoarom, kotačima i ostalim komponentama. Prema tome formulira se sljedeća jednadžba:

$$m_{\min\_o\check{c}ne\ matice} = 0,5 \cdot S_{o\check{c}ne\ matice} \cdot (m_{\max, komponenti} + m_{\max, kaveza} + 2 \cdot m_{\text{stati\check{c}kog\_kota\check{c}a}} + 2 \cdot m_{\text{okretnog\_kota\check{c}a}} + m_{s, rukohvata}) \quad (5.3.1.1.)$$

Masa rukohvata izračunata je u izrazu (5.1.3.2), mase kotača definirane su u 3. poglavlju na slici 7, pretpostavit će se najgori scenarij opterećenja, pri kojem će masa i opterećenje mobilne stanice biti maksimalno. Za očne matice će se primijeniti faktor sigurnosti ( $S_{o\check{c}ne\ matice}$ ) od 1,1 kako bi se kompenzirale nepoznate mase nedefiniranih elemenata. Uvrštavanjem svih ovih vrijednosti u izraz (5.3.1.1.) dobiva se minimalna potrebna nosivost očne matice.

$$\begin{aligned} m_{\min\_o\check{c}ne\ matice} &= 0,5 \cdot S_{o\check{c}ne\ matice} \cdot (m_{\max, komponenti} + m_{\max, kaveza} + 2 \cdot m_{\text{stati\check{c}kog\_kota\check{c}a}} \\ &\quad + 2 \cdot m_{\text{okretnog\_kota\check{c}a}} + m_{s, rukohvata}) \\ &= 0,5 \cdot 1,1 \cdot (160 + 650 + 2 \cdot 9,1 + 2 \cdot 10,4 + 2,419) \\ &= 468,280 \text{ kg} \end{aligned} \quad (5.3.1.2.)$$

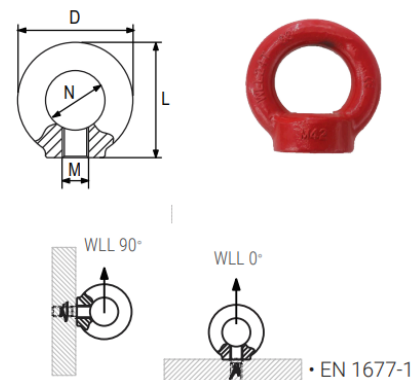
U katalogu Remex [25], koristeći izračunato opterećenje, odabrana je očna matica G80 RX055 s navojem M12. Ovaj očni vijak ima nosivost od 2000 kg pri nagibu od  $0^\circ$ , dok pri nagibu od  $90^\circ$  nosivost iznosi 750 kg, što je u oba slučaja više od minimalno potrebne nosivosti. Sve ove i ostale karakteristike prikazane su na slici 45 unutar plavog pravokutnika.

#### Očna matica G80 RX055

##### Eye nut G80

Nosivost na $0^\circ$ (t)	Nosivost do $90^\circ$ (t)	M (mm)	D (mm)	N (mm)	L (mm)	Težina (kg/ kom)
WLL $0^\circ$	WLL $90^\circ$					Weight
0,4	0,15	6	36	20	36	0,05
0,8	0,4	8	36	20	36	0,05
1,0	0,4	10	45	25	45	0,09
2,0	0,75	12	54	30	53	0,16
3,0	1,0	14	63	35	62	0,24
4,0	1,5	16	63	35	62	0,24
5,0	2,0	18	72	40	71	0,34
6,0	2,3	20	72	40	71	0,36
7,0	2,8	22	81	45	81	0,58
8,0	3,2	24	90	50	90	0,72
10	4	27	90	50	90	0,72
12	4,5	30	108	60	109	1,32

odabrana matica



Slika 45. Tablica karakteristika odabrane ušice [25]

### 5.3.2. Dimenzioniranje ukrute

Sada, nakon odabira očne matice, moguće je izračunati nepoznate dimenzije. Provrt  $d$  prema [26] definiran je kao:

$$d=M+1. \quad (5.3.2.1)$$

Gdje prema [25]  $M$  predstavlja metrički navoj odabranog očnog vijka i iznosi 12 mm. Uvrštavanjem te vrijednosti u (5.3.2.1.), dolazi se do konačne vrijednosti dimenzije  $d$ :

$$d=M+1=12+1=13 \text{ mm.} \quad (5.3.2.2)$$

Kako bi se osigurao dovoljno veliki prostor za glavu očnog vijka dimenzije  $A$ , potrebno je vanjski radijus oka očne matice pomnožiti odgovarajućim faktorom sigurnosti koji će osigurati dovoljan razmak između pravokutnog profila i očne matice. U ovom slučaju, taj faktor iznosi 1,5. Uzimajući sve to u obzir, formula za izračunavanje dimenzije  $A$  glasi:

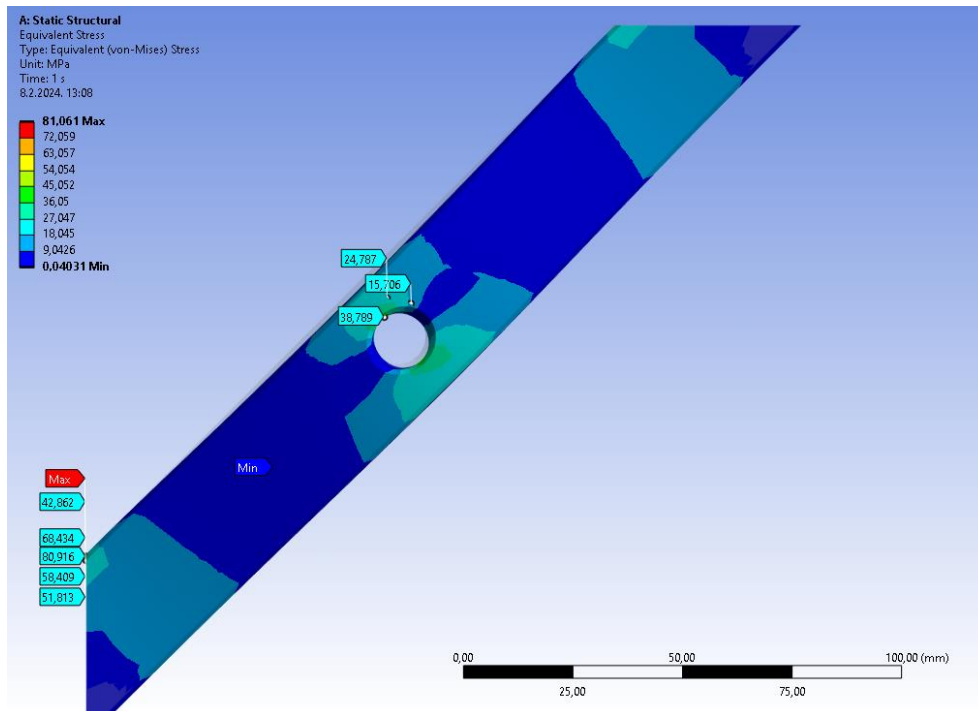
$$A=1,5 \cdot \frac{D}{2} \quad (5.3.2.3.)$$

Ovdje  $D$  označava vanjski promjer oka očne matice, koji prema [25] iznosi 54 mm.

Uvrštavanjem te vrijednosti u (5.3.2.3.) dobiva se iznos dimenzije  $A$ :

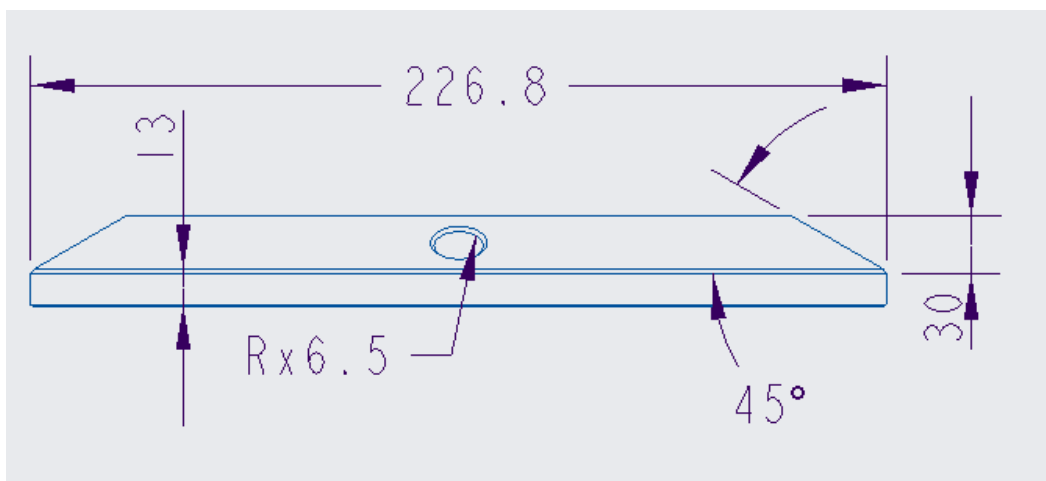
$$A=1,5 \cdot \frac{D}{2}=1,5 \cdot \frac{54}{2}=40,5 \text{ mm} \quad (5.3.2.4.)$$

Rezultati iterativnog procesa pomoću metode konačnih elemenata u programskom paketu Ansys pokazuju da su debljina ukrute od 13 mm i širina od 30 mm zadovoljavajući kako bi se osigurala čvrstoća. Ovi rezultati simulacije prikazani su na slici 46.



Slika 46. Naprezanja ukrute

Najveće naprezanje na ukruti iznosi 81.061 MPa, što je manje od dopuštenog naprezanja odop od 115 N/mm<sup>2</sup>. Ova vrijednost potvrđuje da ukruta zadovoljava čvrstoću prema postavljenim standardima i sigurnosnim kriterijima te je njezin konačni izgled prikazan na slici 47.

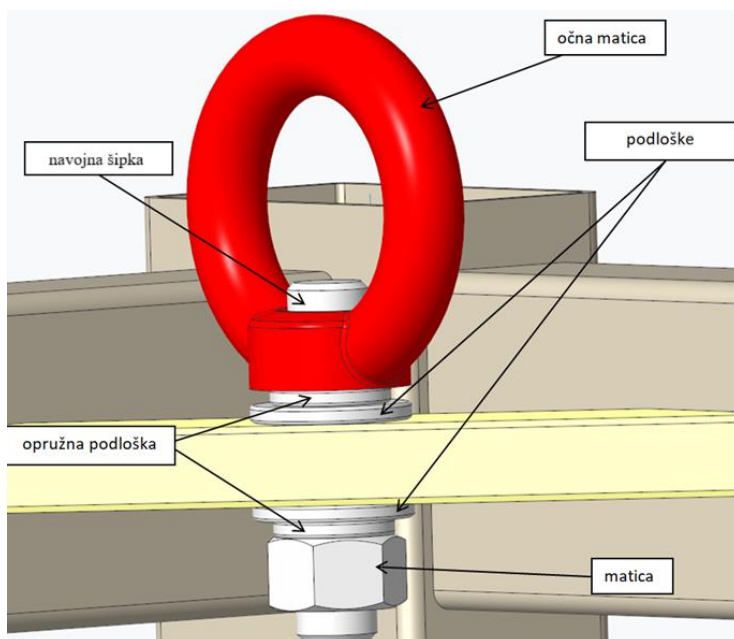


Slika 47. Konačni izgled i dimenzije ukrute

Da bi se ostvarila čvrsta veza između vijka i ukrute, potrebno ih je povezati, koristeći M12 vijak koji će biti izrezan iz navojne šipke proizvođača [26]. Duljina vijka bit će određena u sljedećem potpoglavlju.

### 5.3.3. Dimenzioniranje vijka

Sljedeći korak u konstruiranju veze između mobilne stanice i kuka dizalice je određivanje duljine vijka. Kako bi se to moglo precizno odrediti, potrebno je prvo odabrati odgovarajući način osiguranja od odvrtanja. To omogućuje da se najprije odrede i odaberu sve potrebne komponente veze, a zatim iz pripadajućih kataloga odredi njihova debljina. Nakon toga, sve potrebne vrijednosti mogu se uvrstiti u jednadžbu za izračun duljine vijka. Prema izvoru [21], osiguranje od odvrtanja postiže se korištenjem podloška i opružnih podloška, kao što je prikazano na slici 48.

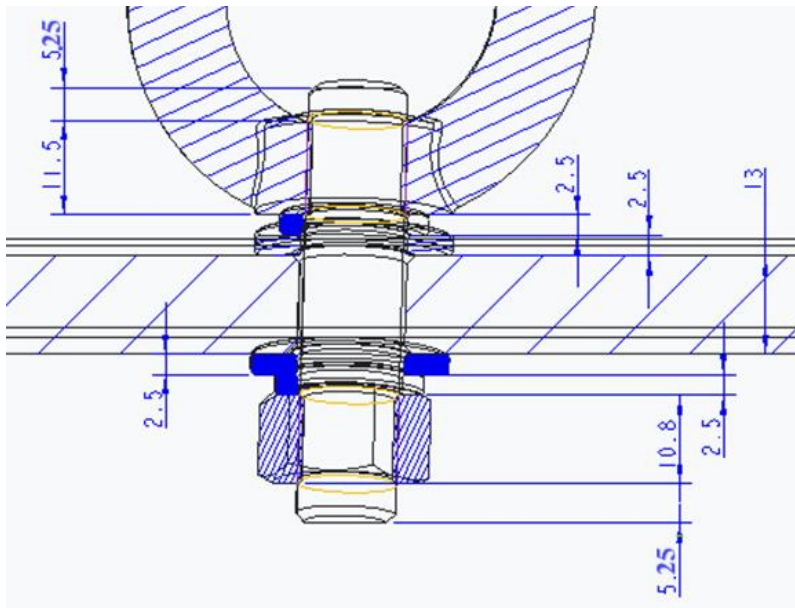


Slika 48. Osiguranje od odvrtanja

Da bismo odredili potrebnu duljinu vijka, potrebno je zbrojiti visine matice, ukrute, podloška te dijela navoja koji mora viriti izvan matice, kako je prikazano na slici 49.

Prema izvoru [28], najmanje tri navoja trebaju viriti izvan matice, što odgovara duljini od tri koraka navoja. Za vijak M12, prema [2], korak navoja iznosi 1,75 mm, što znači da je potrebna duljina od tri navoja 5,25 mm. Visina matice prema izvoru [29] iznosi 11,5 mm, dok je visina podloška prema izvorima [30] i [31] 2,5 mm. Prema izvoru [25], visina očne matice iznosi 10,8 mm, a visina navoja prema [2] je 5,1 mm.





**Slika 49. Dimenzije komponenta na vijku**

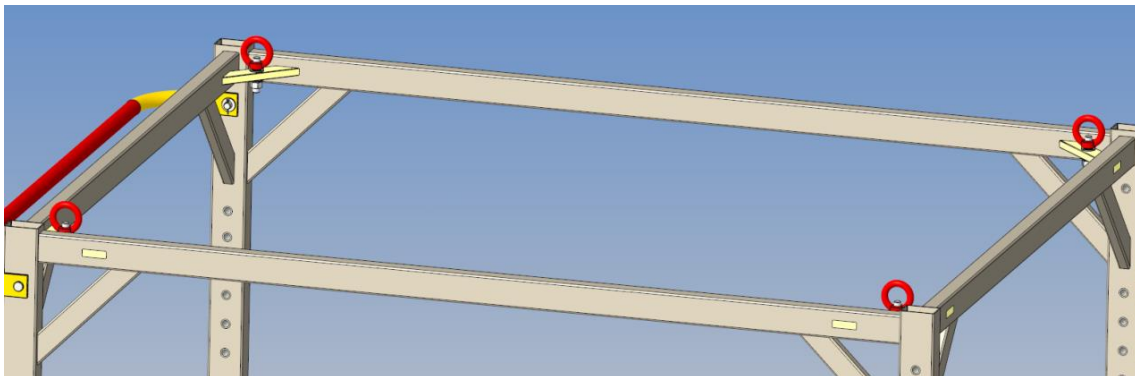
Prema slici minimalna duljina vijka treba biti:

$$L_{\min} = 11,5 + 2 \cdot 2,5 + 2 \cdot 2,5 + 13 + 10,8 + 2 \cdot 5,25 = 55,8 \text{ mm.} \quad (5.3.3.1.)$$

Sa stajališta sigurnosti duljina vijka zaokružiti će se na 60 mm:

$$L = 60 \text{ mm.} \quad (5.3.3.2.)$$

Na slici 50. prikazan je konačni i izgled prihvata za sajle dizalice.



**Slika 50. Ušice i ukrute**

Sada kada su odabrani svi elementi potrebni za uspješnu manipulaciju mobilne stanice kroz postrojenje i sama konstrukcije je dorađena kako bi ih mogla primiti u sljedećem poglavlju provest će se detaljnija analiza metodom konačnih elementa u programskom paketu Ansys. Svrha simulacije je dokazati da su svi odabrani elementi korektno izabrani i profili rešetkaste konstrukcije korektno izabrani i pozicionirani.

---

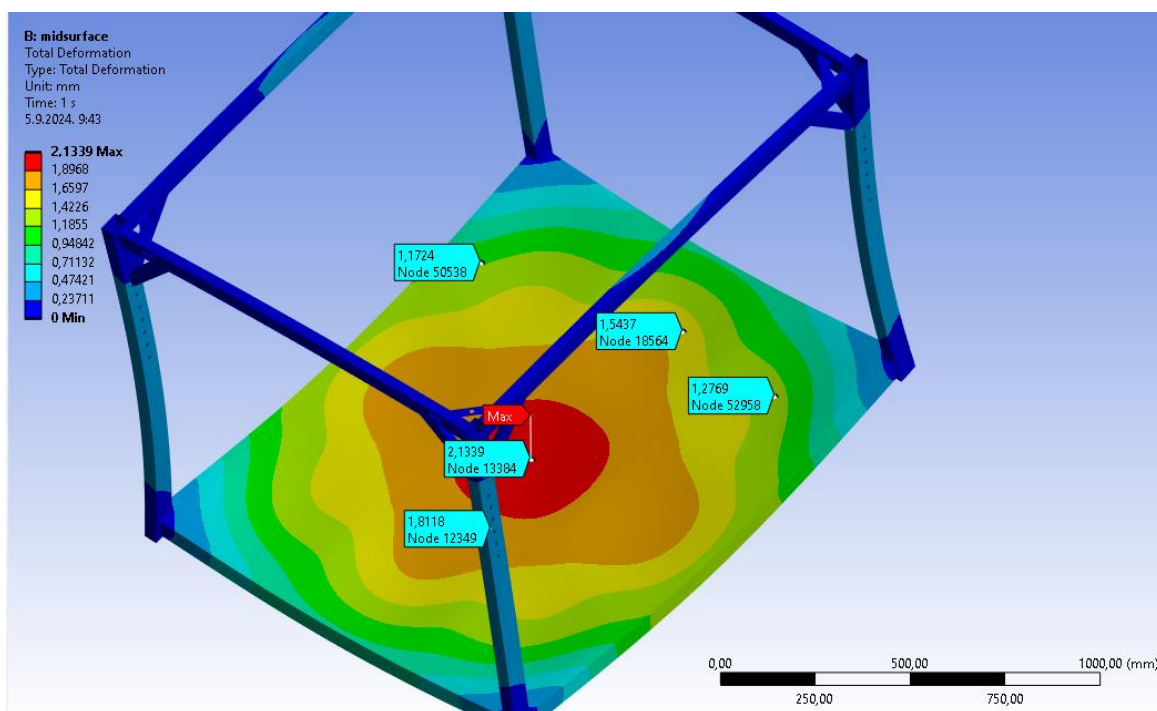
## 6. KONAČNA ANALIZA KONSTRUKCIJE

Sada kada su odabrani svi potrebni elementi za uspješnu manipulaciju mobilnom stanicom kroz postrojenje, konstrukcija je dorađena kako bi ih mogla primiti. U sljedećem potpoglavlju će se provesti detaljnija analiza metodom konačnih elemenata kaveza i rukohvata mobilne stanice. Svrha simulacije je dokazati da su svi odabrani elementi korektno izabrani, uzimajući u obzir zadana ograničenja, a profili rešetkaste konstrukcije su ispravno pozicionirani.

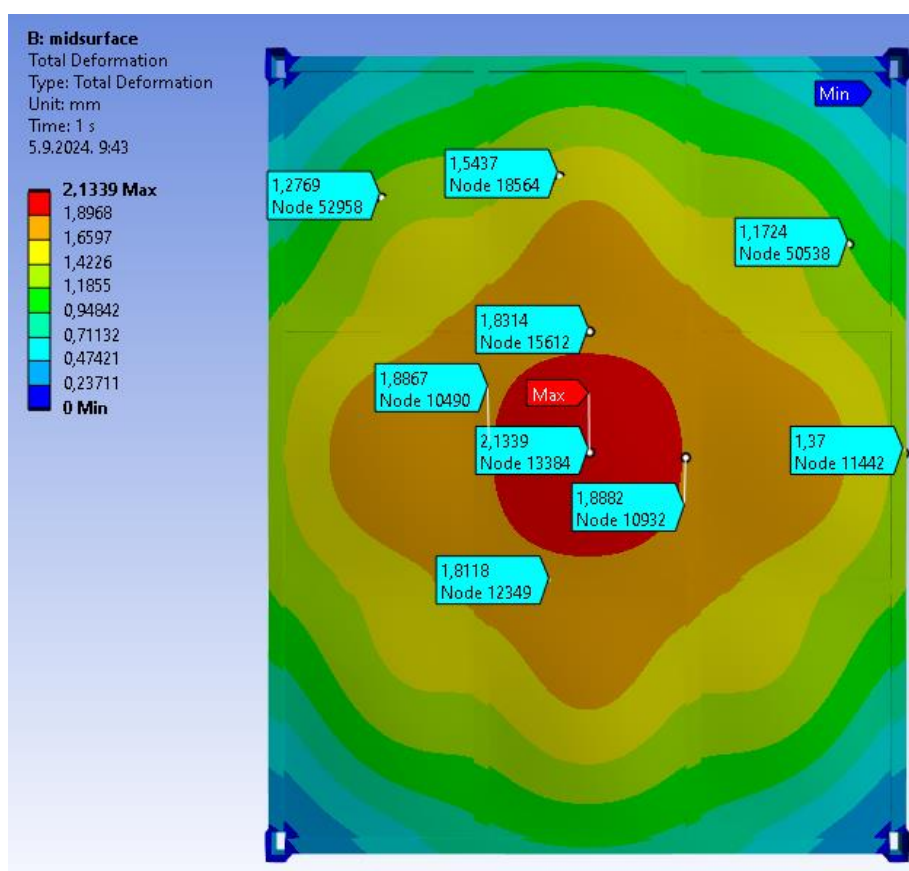
### 6.1. Konačna FEM analiza

#### 6.1.1. FEM analiza kaveza mobilne stanice

Isto kao u potpoglavlju 4.2.2., u ovoj simulaciji korišten je model mobilne stanice bez zaobljenih prijelaza i skošenja na profilima i ostalim dijelovima, s ciljem lakšeg stvaranja pojednostavljene geometrije mid-surfacea. Zbog ove odluke, iako omogućuje preciznije rezultate, može se očekivati koncentracija naprezanja na oštrim prijelazima, pa čak i pojava singulariteta. Uzimajući to u obzir, na sljedećim slikama prikazani su rezultati ove simulacije. Na primjer, na slikama 51 i 52 prikazana su područja najvećeg progiba i deformacije mobilne stanice.



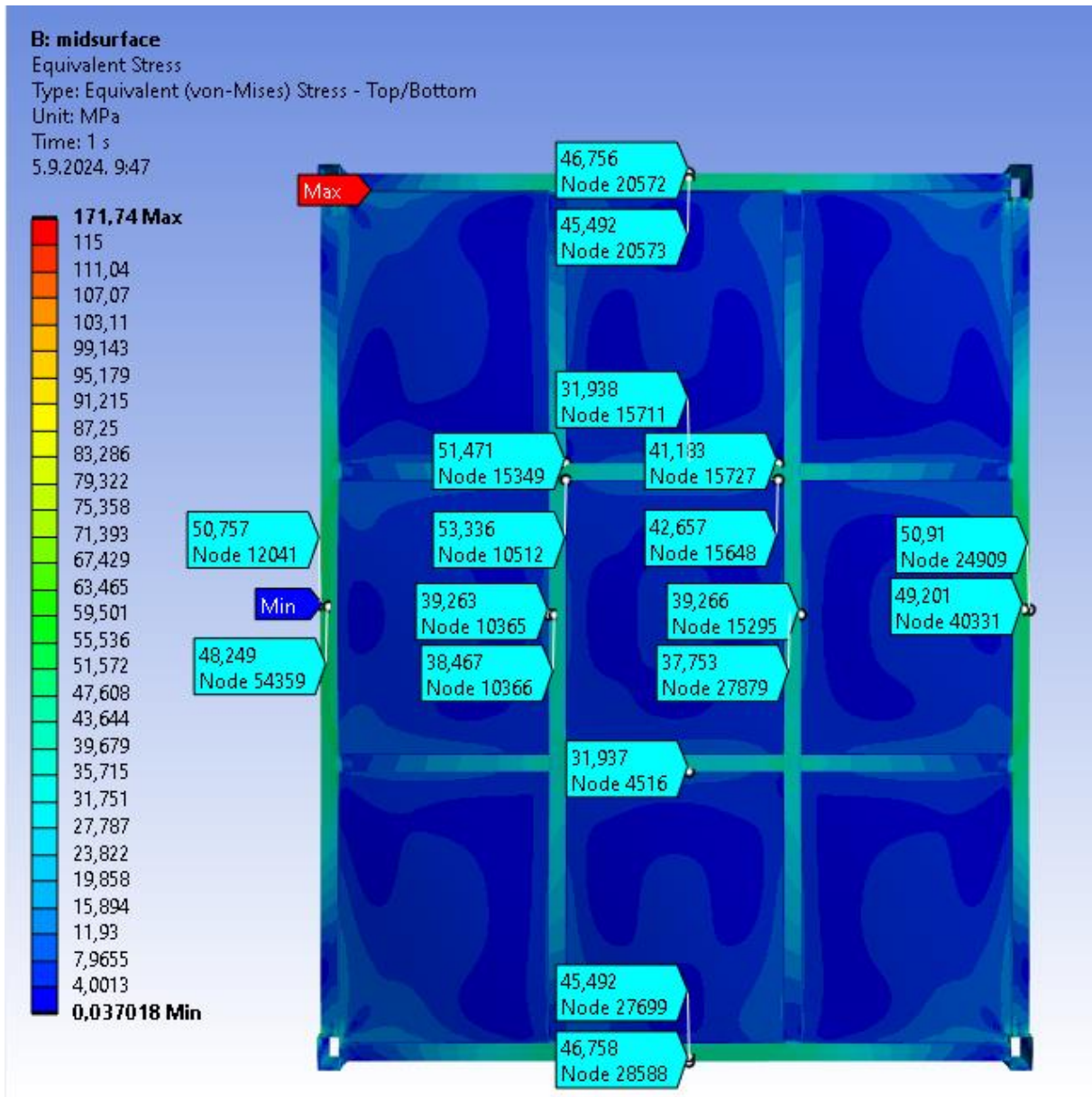
Slika 51. Mjesto najvećeg progiba



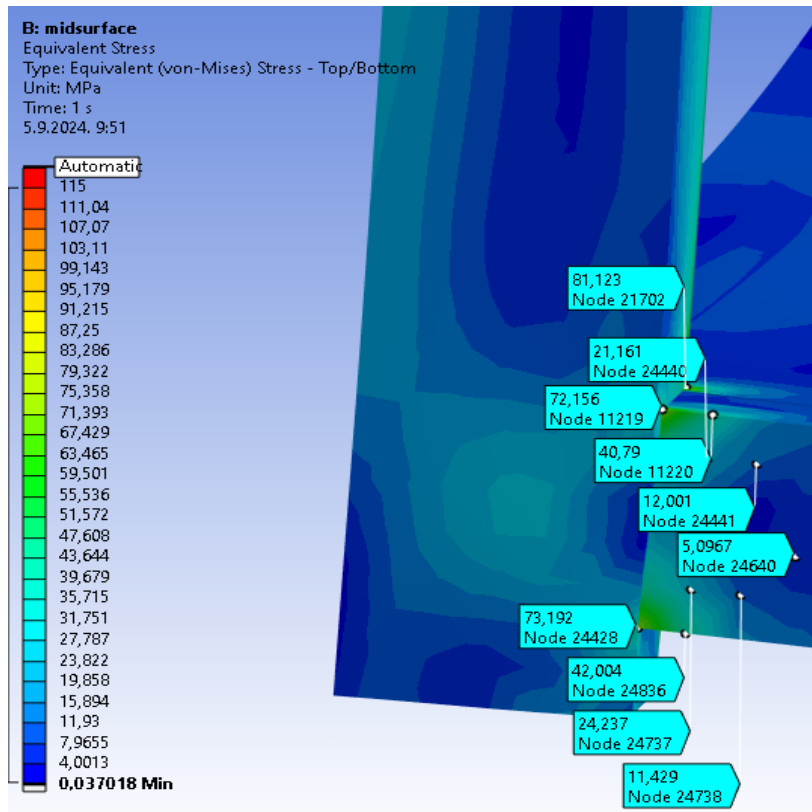
Slika 52. Progib profila postolja

Rezultat najveće deformacije u ovoj analizi iznosi 2,1339 mm, što je zanemarivo više, za 0,192 mm, u odnosu na progib dobiven u prethodnoj analizi. Iako je ova razlika veća, ona i dalje ne predstavlja problem, ali povećanjem broja konačnih elemenata, ta razlika bi se vjerojatno dodatno smanjila ili u potpunosti izjednačila.

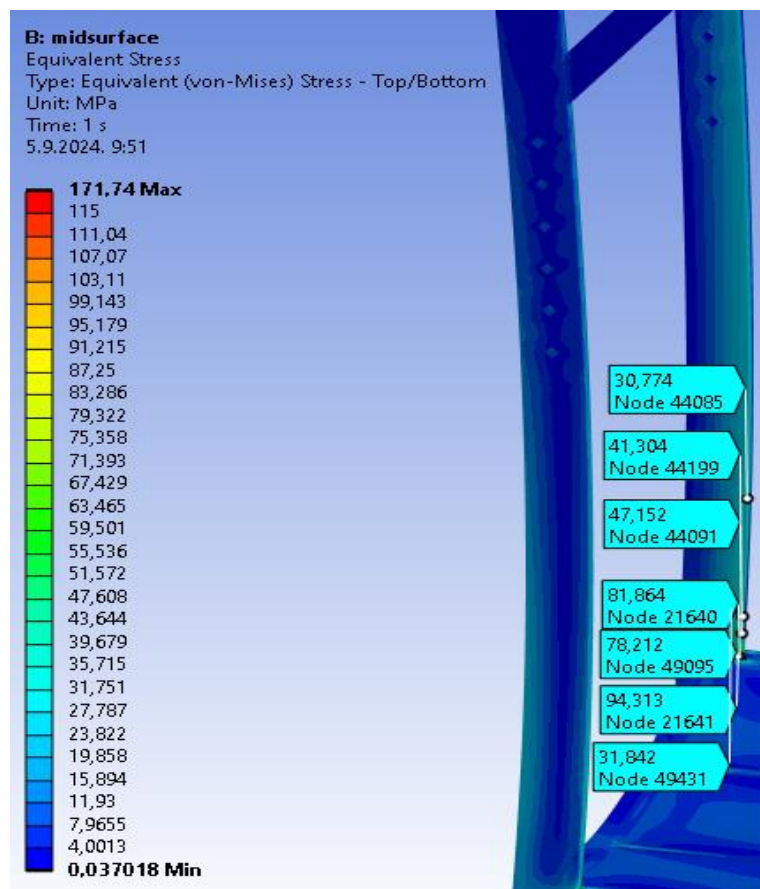
Konačno dolazi se do iznosa naprezanja konstrukcije koji su prikazani na slikama 53, 54, 55 i 56.



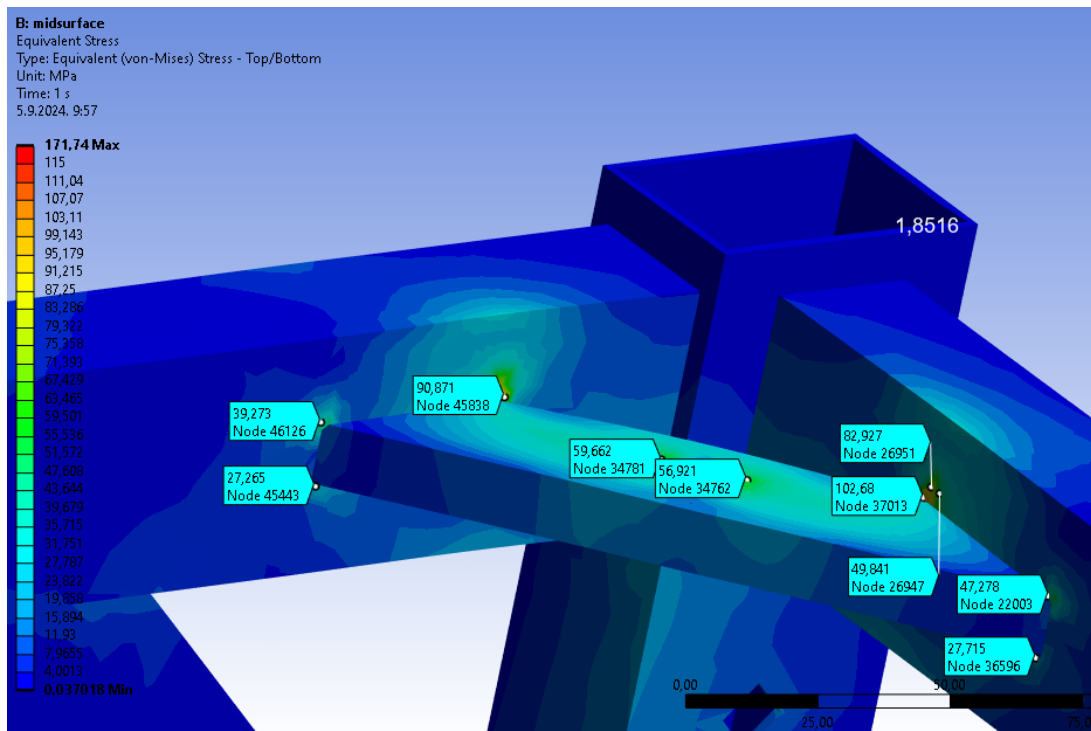
Slika 53. Naprezanje unutar profila na mjestu najvećeg progiba



Slika 54. Naprezanje na spojnem mjestu postolja i nosivog vertikalnog profila

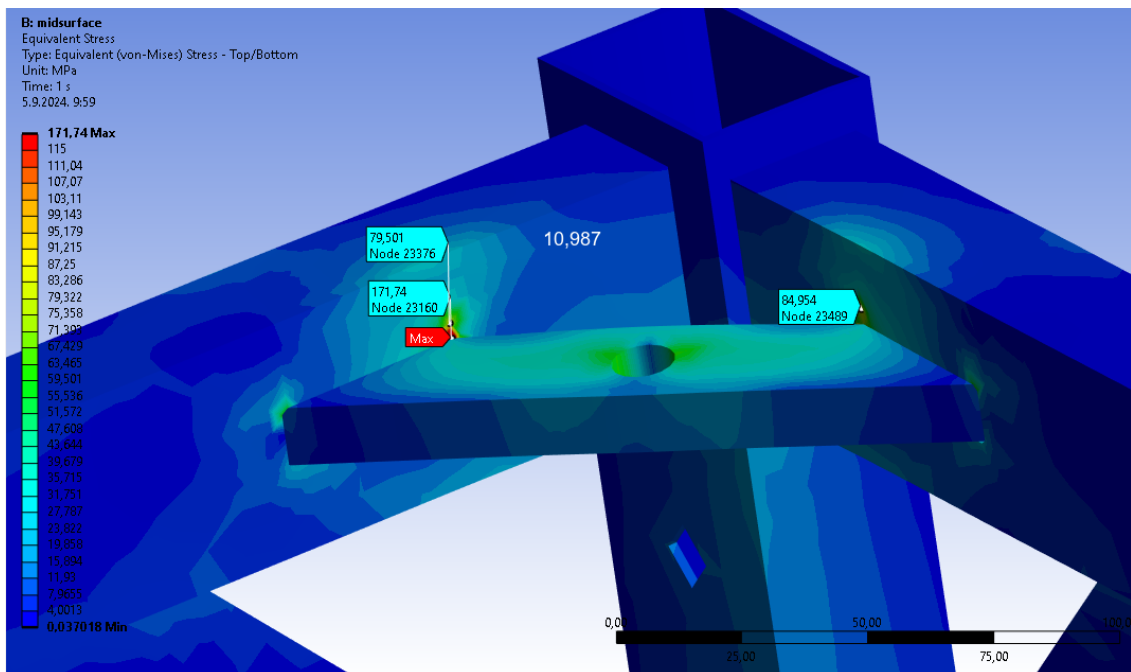


Slika 55. Naprezanje vertikalnog nosivog profila



Slika 56. Naprezanje ukrute za prihvat očnog vijka

Iako se naprezanje gotovo cijele konstrukcije nalazi unutar dopuštenog područja, ispod 115 MPa, postoji dio koji prelazi taj prag iznosi 171,74 MPa, što je prikazano na slici 57.



Slika 57. Zona najvećeg naprezanja

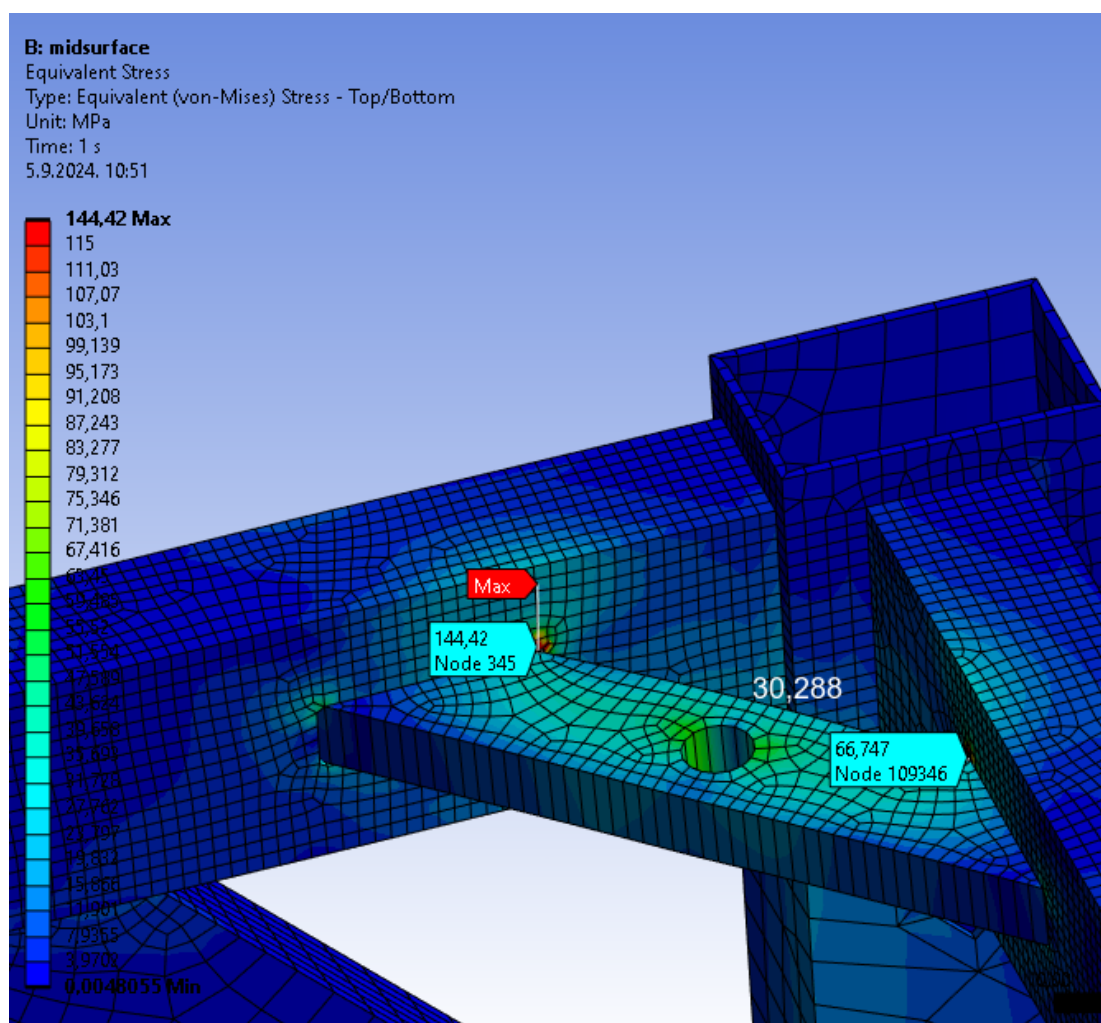


Dok su ostale ukrute unutar dozvoljenog raspona napreznja, ova ukruta nije. Razlozi za to mogu biti lošije generirana mreža u tom dijelu i/ili prisutnost oštih rubova ili singularitet.

Singularitet u ANSYS-u označava stanje u kojem se rezultati analize, poput napreznja, drastično povećavaju, postajući teoretski beskonačni u određenim točkama ili regijama modela. To je obično rezultat problema u modeliranju ili mrežiranju, a nije fizički ispravan rezultat. Singulariteti se često pojavljuju na mjestima s oštrim rubovima ili kutovima, točkastim ili linijskim opterećenjima te na spojevima između dijelova.

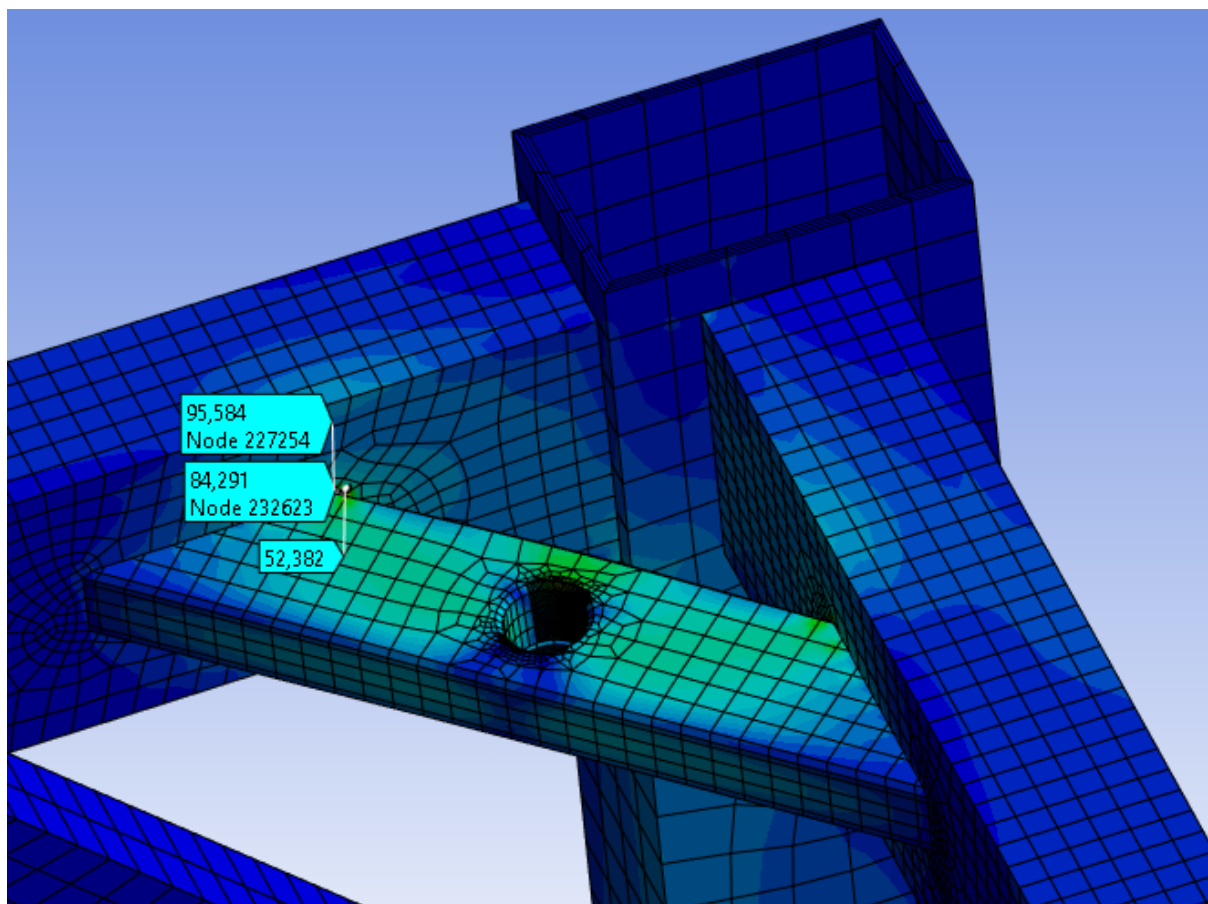
Kako bi se utvrdio uzrok, planirano je zgusnuti mrežu konačnih elemenata na tom području. Ako se napreznje smanji, razlog su lošije generirana mreža i oštri rubovi. Međutim, ako napreznje nastavi rasti, radi se o singularitetu.

Progušćivanjem mreže konačnih elemenata s 10 mm na 3 mm, iznos napreznja smanjio se s 171,74 MPa na 144,42 MPa, kao što je vidljivo na slici 58. Ovaj rezultat ukazuje na to da je problem bio u loše generiranoj mreži konačnih elemenata i oštrom prijelazu.



Slika 58. Krićna zona s gušćom mrežom konaćnih elemenata

Uz ovu analizu, provedena je i druga analiza u kojoj je korišten 3D model mobilne stanice sa zaobljenim rubovima i skošenjima. Rezultati su pokazali da je u istom kritičnom području naprezanje još manje te se nalazi u dopuštenoj zoni, iznoseći 95,584 MPa, kako je prikazano na slici 59. Ovaj rezultat ukazuje na to da je uzrok nedopuštenog naprezanja, prikazanog na slici 57, prisutnost oštih rubova i lošije generirane mreže konačnih elemenata.



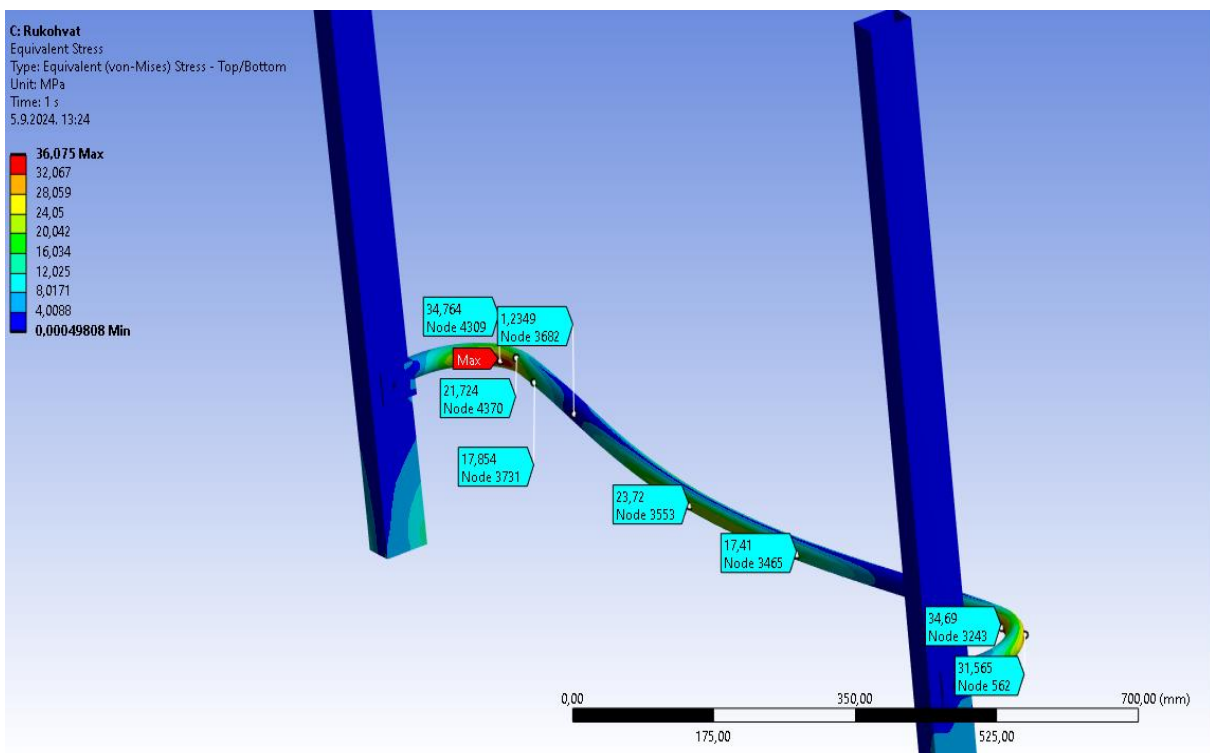
**Slika 59. Nova analiza s modelom koji sadrži zaobljenja i skošenja**

Uzimajući u obzir zaobljene prijelaze na mjestima zavora, ukupna razina naprezanja na spojnim i najkritičnijim dijelovima konstrukcije će se smanjiti. Iako je u ovom slučaju granica dopuštenog naprezanja postavljena prema karakteristikama najslabijeg konstrukcijskog čelika radi sigurnosti, konačan odabir kvalitetnijeg čelika dodatno će povećati čvrstoću mobilne stanice. Time će se također povećati razina sigurnosti, posebno u situacijama kada može doći do nepredvidivih opterećenja tijekom transportiranja.



### 6.1.2. FEM analiza rukohvata

Prilikom proračuna rukohvata, zbog pojednostavljenja, rukohvat je bio modeliran kao nosač s nepomičnim osloncima. Zbog tog pojednostavljenja i grubih prijelaza, koji su jasno vidljivi na slici 28, unutarnji momenti, a time i naprezanja na tim točkama, pokazali su se većima nego što bi bili u stvarnim uvjetima. Međutim, analiza rukohvata provedena u ovoj simulaciji pružila je realističniji prikaz ponašanja rukohvata prilikom guranja. Rezultati simulacije prikazani su na slikama 60 i 61, pri čemu slika 60 prikazuje iznose naprezanja, dok slika 61 prikazuje iznose deformacija.



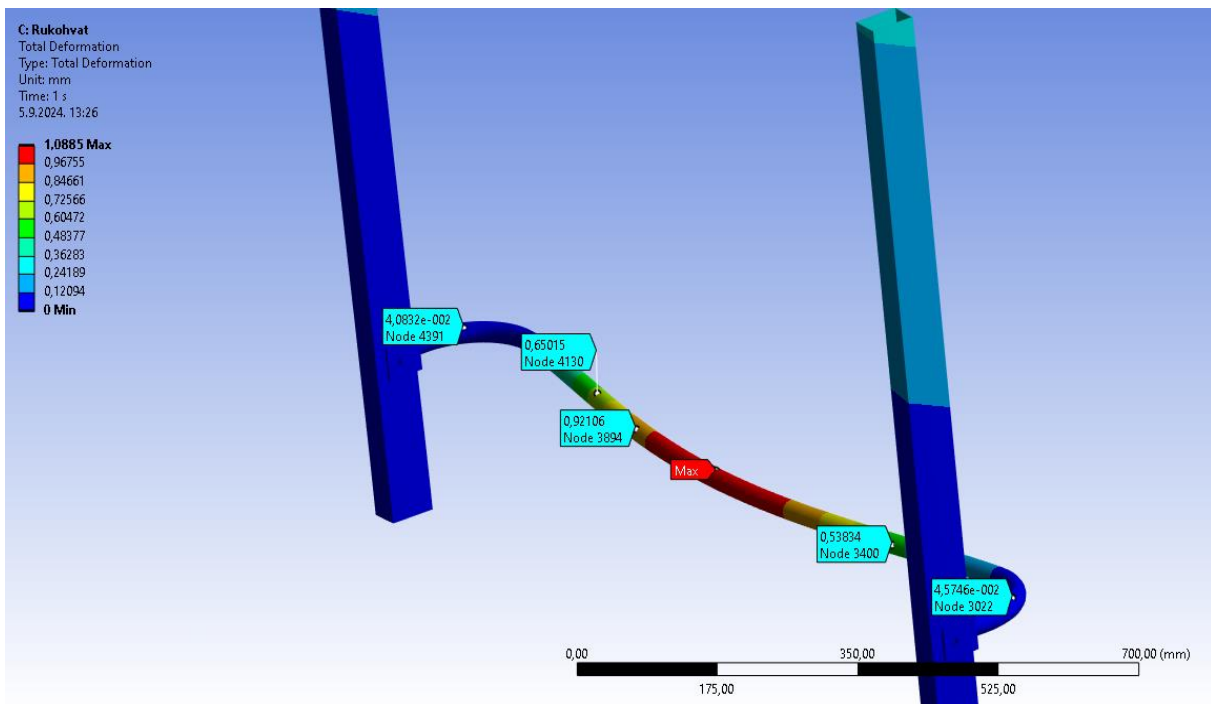
Slika 60. Rezultat naprezanja rukohvata

Prema rezultatima sa slike 60, niti jedno naprezanje u najkritičnijim zonama ne prelazi dopušteno naprezanje za nehrđajući čelik X5CrNi 18-10 (1.4301), koje prema katalogu [1] iznosi  $195 \text{ N/mm}^2$ . Najveće naprezanje u kritičnoj zoni, koje se pojavljuje na približno istom mjestu kao i najveći moment savijanja dobiven proračunom, iznosi  $36,075 \text{ N/mm}^2$ .

Kako bi se usporedili proračunati i simulirani rezultati, potrebno je izračunati naprezanje na najkritičnijem mjestu nosača. Uvrštavanjem vrijednosti (5.1.2.2.2.) i (5.1.2.2.4.) u sljedeću formulu, dobiva se traženi iznos naprezanja na kritičnom mjestu.

$$\sigma_f = \frac{M_{z,\max, \text{rukohvata}}}{W_z} = \frac{78\,430,67}{770,256} = 101,824 \text{ N/mm}^2 \quad (6.1.2.1.)$$

Usporedbom rezultata simulacije s rezultatima proračuna, pokazalo se da je iznos naprezanja dobiven simulacijom 2,823 puta manji od onog dobivenog proračunom.

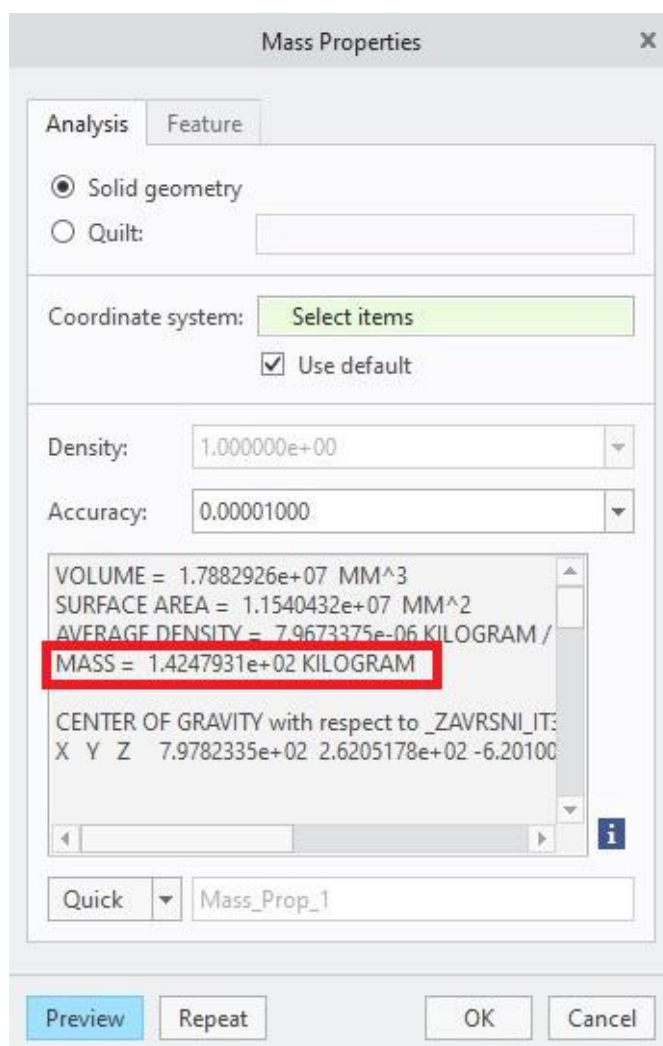


Slika 61. Rezultat deformacije rukohvata

Ergonomski oblikovan konstrukcijski proces sada je zaključen, uključujući sve potrebne elemente za učinkovito transportiranje unutar pogona. Sljedeći korak obuhvaća izračun masu kaveza mobilne stanice bez kotača kako bismo provjerili je li ona premašila dopušteni limit, definiran u 1. poglavlju kao  $m_{\text{dop}} = 160 \text{ kg}$ .

## 6.2. Masa kaveza konstrukcije

Masa kaveza mobilne stanice bit će utvrđena korištenjem naredbe *Mass Properties* unutar programskog paketa Creo Parametric. Postavljanjem materijala konstrukcije kao konstrukcijski čelik, dobiven je sljedeći rezultat, koji je prikazan na slici 62.



**Slika 62. Masa mobilne stanice bez kotača**

Prema slici 62 masa mobilne stanice bez kotača iznosi:

$$m_{\text{kaveza2}} = 142,425 \text{ kg.} \quad (6.2.1.)$$

Prema izrazu (6.2.1.) masa kaveza je manja od dopuštene mase:

$$m_{\text{kaveza2}} < m_{\text{dop}},$$

$$142,425 < 160 \text{ kg.}$$

Sada kada je konačna masa kaveza sa svim elementima poznata moguće je odrediti stvarno opterećenje kotača. Uvrštavanjem  $m_{\text{kaveza2}}$  u formulu (3.1.1.1.) dobiva se sljedeći izraz:

$$\begin{aligned} m_{\text{opterecanja\_kotaca}} &= 0,5(m_{\text{max, komponenti}} + m_{\text{kaveza2}}) \\ &= 0,5(650 + 142,425) \\ &= 396,213 \text{ kg} \end{aligned} \quad (6.2.1..)$$

Ponovnim prolaskom kroz katalog [10], utvrđeno je da smanjenje mase za 17,575 kg ne znatno bolje nove opcije. Kao i pri prethodnom odabiru, dostupno je više kotača koji zadovoljavaju prethodno navedene uvjete. Iako kotači iz serija ALEV i SE, točnije ALEV 160K-SG i SE 160K-SG, imaju manju nosivost, od 400 do 450 kg, ovo smanjenje nije utjecalo na visinu kotača, koja je ista kao kod odabranog GST modela i iznosi 245 mm. Osim toga, za ove modele kotača moguće je isto ugraditi kočnicu. Prednosti odabira kotača iz s ALEV i SE serije uključuju manju masu i nižu cijenu, prema podacima iz izvora [10, 32-37]. Ti podaci su prikazani u **Tablici 2**, dok su usporedbe razlika u cijeni i masi između prethodno odabranih i novoodabranih kotača prikazane u **Tablici 3**.

**Tablica 2. Podaci o masi i cijeni pojedinih kotača**

serija kotača		masa [kg]	cijena [€]	ukupna masa [kg]	ukupna cijena [€]
GST	zakretni	10,4	480,35	39	1724,6
	statički	9,1	381,95		
ALEV	zakretni	7,6	454,73	30,2	1705,08
	statički	7,5	397,81		
SE	zakretni	9	419,95	33,8	1483,7
	statički	7,9	321,90		

**Tablica 3. Razlika cijene i mase između starog i novog kotača**

	razlika mase kotača [kg]	razlika cijene [€]	ukupna razlika mase konstrukcije [%]	razlika cijene [%]
ALEV	8,8	19,52	2,655	1,132
SE	5,2	240,9	1,569	13,9

Smanjenje ukupne mase konstrukcije za 8,8 kg ili 5,2 kg, odnosno 1,569% ili 2,655%, neće značajno olakšati guranje konstrukcije. Međutim, primjetna razlika u cijeni od 13,9% kod SE modela pokazala se kao dovoljan razlog za njihov odabir. Izgled kotača s odgovarajućim tablicama karakteristika koje su izvučene iz kataloga [10] prikazni su na slici 63.

## LSFE-SE 160K-SG

EAN 4047526431044

ID 431049

Customs tariff number 87169090

**Technical data:**

Wheel Ø (D)	⌀ 160 mm
Wheel width	Δ 50 mm
Load capacity at 4 km/h	⊖ 450 kg
Load capacity (static)	⊖ 1,125 kg
Bearing type	⊕ ball bearing
Spring tension	⊖ 300 kg
Initial tension	⊖ 50 kg
Spring travel	⊕ 25 mm
Total height (H)	⊖ 245 mm
Plate size	⊓ 140 x 110 mm
Bolt hole spacing	⊓ 105 x 75-80 mm
Bolt hole Ø	⊖ 11 mm
Offset (F)	⊖ 100 mm
Temperature resistance min	-20 °C
Temperature resistance max	80 °C
Tread and tyre hardness	65 Shore A
Unit weight	⊖ 9 kg
Non-marking	✓
Non-staining	✓
Antistatic	⊖ X
Electrically conductive	⊖ X
Corrosion-resistant	X
Heat-resistant	⊖ X
Tread hydrolysis-resistant	X
Suitable for autoclaves	X
Suitable for machine washing	X



## BSFE-SE 160K-SG

EAN 4047526431051

ID 431056

Customs tariff number 87169090

**Technical data:**

Wheel Ø (D)	⌀ 160 mm
Wheel width	Δ 50 mm
Load capacity at 4 km/h	⊖ 450 kg
Load capacity (static)	⊖ 1,125 kg
Bearing type	⊕ ball bearing
Spring tension	⊖ 300 kg
Initial tension	⊖ 50 kg
Spring travel	⊕ 25 mm
Total height (H)	⊖ 245 mm
Plate size	⊓ 140 x 110 mm
Bolt hole spacing	⊓ 105 x 75-80 mm
Bolt hole Ø	⊖ 11 mm
Offset (F)	⊖ 101 mm
Temperature resistance min	-20 °C
Temperature resistance max	80 °C
Tread and tyre hardness	65 Shore A
Unit weight	⊖ 7,8 kg
Non-marking	✓
Non-staining	✓
Antistatic	⊖ X
Electrically conductive	⊖ X
Corrosion-resistant	X
Heat-resistant	⊖ X
Tread hydrolysis-resistant	X
Suitable for autoclaves	X
Suitable for machine washing	X



**Slika 63. Novoizabrani kotači [10]**

S konačnim odabirom kotača, završen je proces ergonomskog oblikovanja mobilne stanice. Sada je moguće, u nadolazećem potpoglavlju, odrediti minimalnu potrebnu visinu radnika koji može gurati mobilno postrojenje s neometanim vidnim poljem. Kao što je napomenuto u drugom poglavlju, jedan od glavnih ciljeva ovog preoblikovanja bio je omogućiti upravljanje postrojenjem što većem broju ljudi.

### 6.3. Najniža visina radnika koji može gurati mobilnu stanicu

Prilikom guranja bilo kojeg tereta, ljudsko tijelo se nagnje naprijed, stvarajući kutni pomak radi postizanja mehanički povoljnijeg položaja. U tom položaju tijelo je sposobnije generirati veću količinu sile, što se najbolje vidi kada osoba gura objekt koji zahtijeva veliku silu. Tada osoba pokušava uskladiti svoje tijelo s horizontalnim zahtjevima sile, kako je prikazano na slici 64 a). U takvom položaju tijelo može koristiti velike mišićne skupine u nogama i trupu, a također ima i dodatnu prednost korištenja dijela vlastite tjelesne težine za generiranje sile [38].

#### a) Položaj tijela prilikom generiranja većih sila



#### b) Položaj tijela prilikom generiranja manjih sila



Slika 64. Položaji tijela prilikom guranja [38]

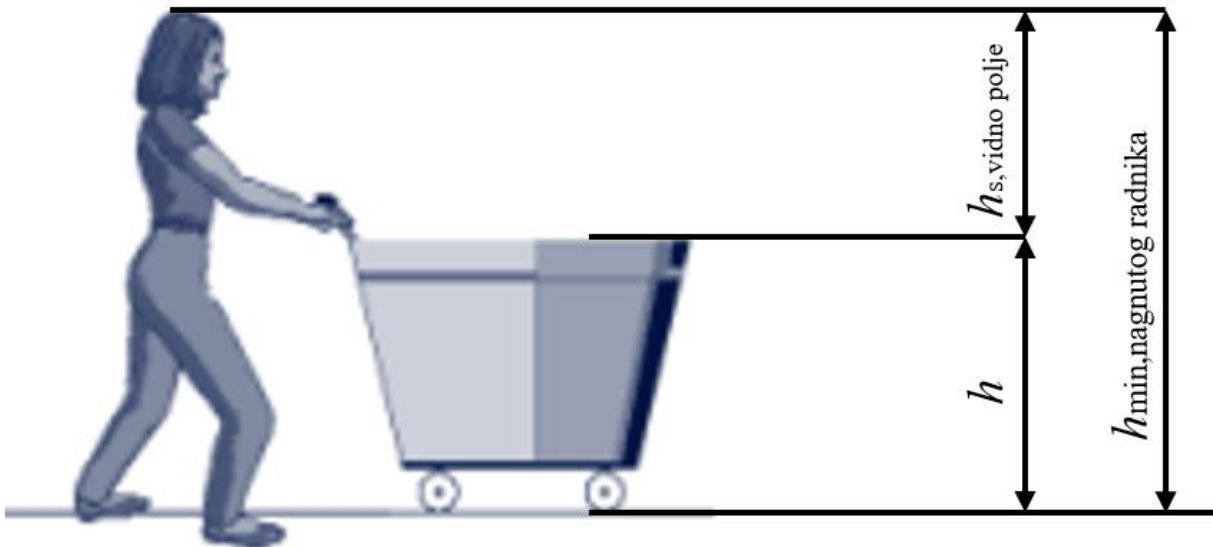
Naravno, takav kutni pomak je velik, i u tom položaju većina ljudi ne bi mogla vidjeti što se događa ispred njih. Međutim, ta faza kratko traje jer se nakon prevladavanja statičke sile trenja potrebna sila za guranje smanjuje te postaje jednaka sili trenja kotrljanja kotača. Kako se nagib tijela postepeno smanjuje tijekom guranja, a najveći nagib tijela nije stalan, minimalna potrebna visina radnika izračunat će se na temelju nagiba tijela nakon razbijanja statičkog trenja, koji je prikazan na slici 64 b).

Kako bi se odredila minimalna visina radnika koji može nesmetano gurati konstrukciju ( $h_{\min, \text{radnika}}$ ) potrebno je pronaći minimalna visina radnika u nagnutom položaju prilikom guranja konstrukcije ( $h_{\min, \text{nagnutog radnika}}$ ) i tu visinu zbrojiti s izgubljenom visinom prilikom grbljenja ( $h_{\text{grbljenja}}$ ). Odnosno  $h_{\min, \text{radnika}}$  jednaka je:

$$h_{\min, \text{radnika}} = h_{\min, \text{nagnutog radnika}} + h_{\text{grbljenja}} \quad (6.3.1.)$$

Prvo je potrebno odrediti  $h_{\min, \text{nagnutog radnika}}$ , ona bi prema slici 65, bila jednaka zbrajanjem visine najviše točke mobilne stanice na mjestu guranja ( $h$ ) i visine potrebnog vidnog polja ( $h_{s, \text{vidno polje}}$ ) dobiva se minimalna visina radnika u pogrbljenom položaju tijekom guranja ( $h_{\min, \text{pogrbljenog radnika}}$ ):

$$h_{\min, \text{nagnutog radnika}} = h + h_{s, \text{vidno polje}} \quad (6.3.2.)$$



Slika 65. Visina pogrbljenog radnika [38]

Visina najviše točke kaveza na mjestu guranja dobivena je u izrazu (5.2.1.1.4) i iznosi 1474 mm. Za kako bi se proračun visine vidnog polja potrebno je analizirati antropometrijske podatke iz tablice iz izvora [14] koja se nalazi na slici 66, posebice visinu tijela i visinu očiju u stojećem položaju



Anthropometric Data for U.S. Adults (all dimensions in inches)

Dimension	Men				Women			
	5th %ile	50th %ile	95th %ile	SD	5th %ile	50th %ile	95th %ile	SD
1 Stature	64.88	69.09	73.62	2.70	60.04	64.02	68.50	2.53
2 Eye height	60.47	64.57	69.02	2.62	55.94	59.72	64.02	2.43
3 Shoulder height	52.72	56.65	60.87	2.49	48.90	52.44	56.46	2.29
4 Elbow height	39.53	42.64	45.94	1.97	36.69	39.45	42.68	1.79
5 Hip height	32.44	35.39	38.78	1.94	30.47	33.23	36.18	1.76
6 Knuckle height	26.50	28.78	30.51	1.39	24.88	27.01	28.50	1.27
7 Fingertip height	23.35	25.75	28.23	1.47	21.89	24.13	26.46	1.37
8 Sitting height	33.86	36.14	38.46	1.41	31.61	33.74	35.91	1.37
9 Sitting eye height	29.53	31.65	33.86	1.31	27.48	29.45	31.46	1.20
10 Sitting shoulder height	21.73	23.74	25.71	1.21	20.28	22.20	23.98	1.10
11 Sitting elbow height	7.76	9.69	11.46	1.13	7.44	9.17	10.87	1.03
12 Thigh clearance	6.18	7.09	8.15	0.61	5.71	6.57	7.52	0.55
13 Buttock-knee length	22.40	24.29	26.34	1.20	21.30	23.19	25.43	1.28
14 Buttock-popliteal length	18.07	19.76	21.57	1.08	17.36	19.02	21.06	1.13
15 Sitting knee height	20.04	21.77	23.70	1.10	18.46	20.08	21.93	1.07
16 Popliteal height	15.35	16.93	18.54	0.98	13.78	15.24	16.85	0.93
17 Shoulder breadth (bideltoid)	18.07	20.04	22.32	1.28	15.98	17.72	19.65	1.13
18 Shoulder breadth (biacromial)	15.12	16.34	17.60	0.75	13.19	14.37	15.59	0.72
19 Hip breadth	12.13	13.54	15.24	0.95	12.24	13.90	15.75	1.05
20 Chest (bust) depth	8.31	9.96	11.73	1.03	8.07	9.65	11.65	1.08
21 Abdominal depth	7.87	9.88	12.60	1.47	7.24	8.94	11.22	1.24
22 Shoulder-elbow length	13.15	14.29	15.51	0.72	12.09	13.15	14.29	0.68
23 Elbow-fingertip length	17.48	18.90	20.47	0.92	15.91	17.24	18.90	0.92
24 Upper limb length	28.50	30.94	33.58	1.53	26.10	28.35	30.91	1.47
25 Shoulder-grip length	25.75	27.99	30.43	1.43	23.51	25.59	28.07	1.39
26 Head length	7.40	7.87	8.31	0.28	7.01	7.48	7.95	0.29
27 Head breadth	5.75	6.06	6.42	0.22	5.51	5.79	6.14	0.20
28 Hand length	76.97	7.60	8.27	0.39	6.50	7.09	7.83	0.40
29 Hand breadth	3.19	3.46	3.78	0.17	2.83	3.07	3.35	0.15
30 Foot length	9.84	10.67	11.54	0.52	8.90	9.59	10.55	0.49
31 Foot breadth	3.70	4.02	4.37	0.21	3.35	3.66	3.98	0.19
32 Span	66.14	71.34	77.05	3.33	60.20	65.24	70.98	3.27
33 Elbow span	31.18	33.54	36.11	1.49	28.38	30.76	33.18	1.43
34 Vertical grip reach (standing)	77.68	84.21	91.90	3.87	71.34	77.32	84.21	4.11
35 Vertical grip reach (sitting)	46.93	51.26	55.75	2.46	43.03	47.05	51.14	2.67
36 Forward grip reach	27.05	29.76	32.72	1.72	24.53	27.20	30.12	1.68

References: Gordon, Claire C. et. al (2014). 2012 Anthropometric Survey of U.S. Army Personnel: Methods and Summary Statistics.



© 4/2017 The Ergonomics Center of North Carolina

Slika 66. Tablica antropoloških podataka [14]

Pomoću ovih podataka, točnije onih unutar crvenog pravokutnika, može se izračunati potrebna udaljenost od vrha glave do visine očiju.

$$h_{\text{vidno polje}} = h_{\text{visina tijela}} - h_{\text{visina očiju}} \quad (6.3.3.)$$

Uvrštavanjem podataka sa slike 66 u izraz (6.3.3.), dobivaju se rezultati udaljenosti između vrha glave i središta očiju, koji su navedeni u tablici 4.

Tablica 4. Tablica izračunatih vrijednosti udaljenosti između vrha glave i očiju

$h_{\text{vidno\_polje}}$ [in]			
muškarci	4,41	4,52	4,6
žene	4,1	4,3	4,48



Množenjem maksimalne vrijednosti iz tablici 4 s faktorom sigurnosti  $S_{\text{vidnog\_polja}} = 1,5$ , s ciljem povećanja udaljenosti od središta očiju do vrha „krova“ konstrukcije, osigurat će se dodatni prostor potreban za neometano vidno polje:

$$h_{s,\text{vidno polje}} = h_{\text{max,vidno polje}} \cdot S_{\text{vidnog polja}} = 4,6 \cdot 1,5 = 6,9 \text{ in} = 17,526 \text{ cm} = 175,26 \text{ mm} \quad (6.3.4.)$$

Zbrajanjem ove vrijednosti s visinom konstrukcije koja je dobivena u izrazu (5.2.1.1.4.), dobiva se minimalna visina radnika u pogrbljenom položaju tijekom guranja:

$$h_{\text{min,nagnutog radnika}} = h + h_{s,\text{vidno polje}} + h_{\text{izubljena visina}} = 1474 + 175,26 = 1649,26 \text{ mm} \quad (6.3.5.)$$

Sada kada je dobivena  $h_{\text{min,nagnutog radnika}}$ , moguće je izračunati minimalnu visinu uspravnog radnika koji može gurati mobilnu stanicu s neometanim vidnim poljem ( $h_{\text{min,radnika}}$ ). Ova vrijednost dobiva se zbrajanjem izraza (6.3.5) s izgubljenom visinom prilikom grbljenja ( $h_{\text{grbljenja}}$ ). Ta veličina nije precizno određena, ali se, prema preporukama i iskustvu inženjera ergonomije, kreće u rasponu od 2 do 5 cm. Radi sigurnosti  $h_{\text{min,radnika}}$  zbrojit će se s najvećom vrijednosti  $h_{\text{grbljenja}}$ :

$$\begin{aligned} h_{\text{min,radnika}} &= h_{\text{min,pogrbljenog radnika}} + h_{\text{grbljenja}} = 1649,26 + 50 = 1699,26 \text{ mm} \\ &= 169,926 \text{ cm} \end{aligned} \quad (6.3.6.)$$

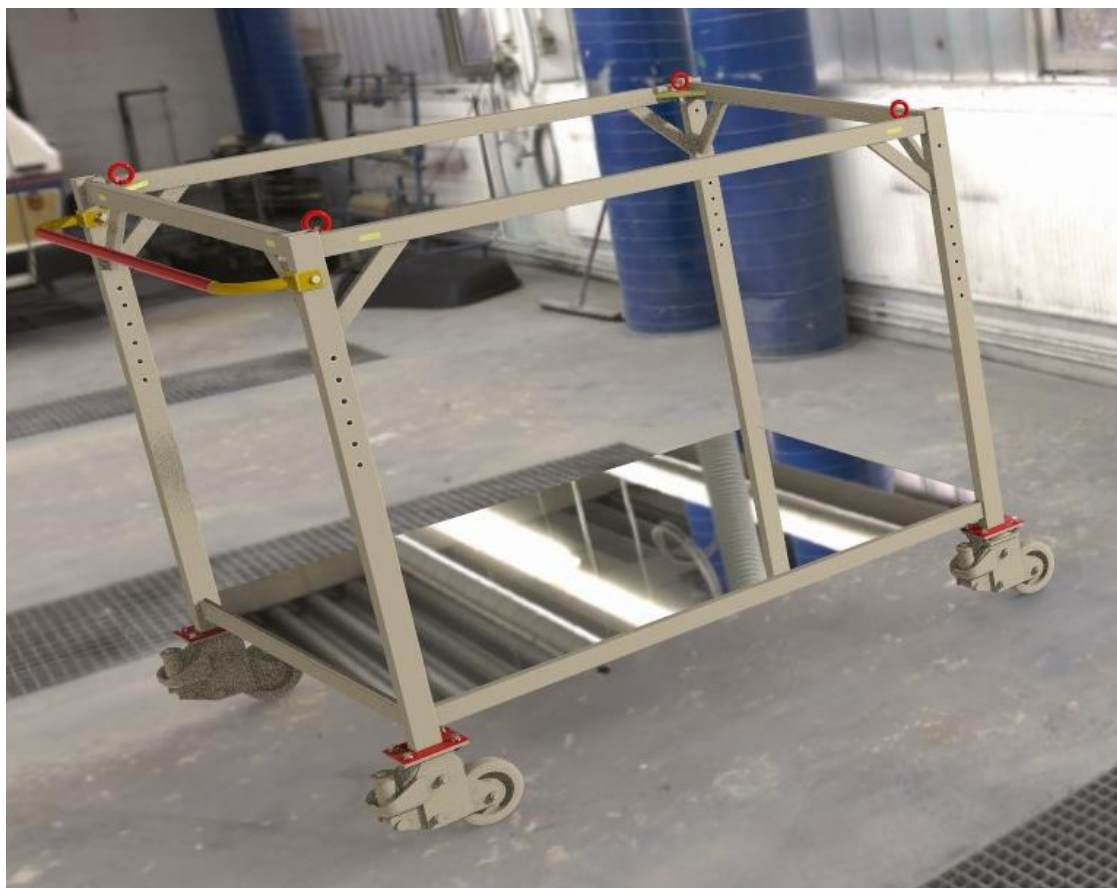
Uzimajući u obzir podatke o prosječnim visinama iz članka [9], prema kojem prosječna visina hrvatskih muškaraca iznosi 180,4 cm, a prosječna visina žena 166,49 cm, zaključuje se da konstrukciju mogu neometano gurati žene koje su malo iznadprosječne visine, ili žene prosječne visine s obućom koja ima džon visine od 3 cm. Također, konstrukciju mogu gurati i muškarci koji su nešto ispodprosječne visine.

#### 6.4. Konačni izgled konstrukcije

Nakon svih adaptacija, konačni izgled konstrukcije prikazan je na slikama 67. i 68.



**Slika 67. Konačni izgled mobilne stanice za vakuumsko impregniranje transformatora**



**Slika 68. Drugi pogled**

## ZAKLJUČAK

U ovom radu ergonomski se adaptira prijedlog stacionarne stanice za vakuumsko impregniranje transformatora zbog potrebe za većom mobilnošću unutar postrojenja. Analizom ergonomskih zahtjeva, utvrđeno je da je guranje mobilne stanice zahtjevan zadatak, zbog čega su provedena istraživanja kako bi se procijenila izvedivost tog procesa. Rezultati su pokazali da je potrebna sila guranja unutar prihvatljivih granica, ali su istaknute nepravilnosti u konstrukciji koje negativno utječu na vidno polje i stabilnost postrojenja. Nakon što su identificirani nedostaci prethodne konstrukcije, u sklopu razvoja nove mobilne stanice za vakuumsko impregniranje transformatora provedena je opsežna analiza i dimenzioniranje ključnih dijelova konstrukcije.

Analiza je provedena iterativnim procesom, koristeći metodu konačnih elemenata unutar programskog paketa ANSYS. Zbog nepoznatih točnih podataka o položaju komponenti unutar mobilne stanice, primijenjena je pretpostavka najgorih uvjeta opterećenja korištenjem koncentrirane sile. Kroz ovaj iterativni postupak, odabrana je optimalna kombinacija i raspored čeličnih profila, čime je postignuta ravnoteža između čvrstoće i mase mobilne stanice. Osim toga, konstrukcija je dodatno prilagođena ugradnjom potrebnih elemenata poput kotača, rukohvata i prihvata za kuke dizalice, kako bi se osigurala sigurnost i učinkovitost prilikom guranja i transporta pomoću viličara ili dizalice. Nakon završetka ergonomске adaptacije mobilne stanice, konstrukcija je dalje detaljnije analizirana metodom konačnih elemenata. Rezultati analize pokazali su se zadovoljavajućim, uzimajući u obzir zanemarene uvjete poput D'Alembertove sile i otpora zraka, kao i utjecaj zavara na ukupnu čvrstoću konstrukcije.

Na temelju tih rezultata, provedeno je daljnje istraživanje radi određivanja mase kaveza mobilnog postrojenja i minimalne visine radnika koji može nesmetano upravljati mobilnim postrojenjem bez ograničenog vidnog polja. Dobiveni rezultati istraživanja zadovoljili su zadane uvjete koje je postavila tvrtka te je utvrđeno da mobilnom stanicom mogu upravljati i radnici nižeg stasa, uzimajući u obzir hrvatske standarde. Zaključno, ovaj koncept zadovoljava sve navedene uvjete, no moguće ga je dodatno poboljšati s obzirom na buduće preciznije informacije i konkretne podatke opterećenja.

## LITERATURA

- [1] Strojopromet (2020.) *Katalog*. [online]. Dostupno na: <https://strojopromet.com/wp-content/uploads/2020/07/strojopromet-katalog-2020.pdf> [23.siječanj 2024.]
- [2] Kraut B. (2006) *Strojarski priručnik*. Zagreb: Sajema d.o.o.
- [3] The Engineering ToolBox (2008). *Rolling Resistance*. [online]. Dostupno na: [https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d\\_1303.html](https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d_1303.html) [13. siječnja 2024.].
- [4] Lippert, D., Spektor, J.(2012.) *Calculating proper rolling resistance: A safer move for material handling*. [online]. Dostupno na: <https://www.plantengineering.com/articles/calculating-proper-rolling-resistance-a-safer-move-for-material-handling/> [15.siječanj 2024.]
- [5] Canadian centre for occupational health and safety (2018.) *Ergonomics Pushing and Pulling – Handcarts*. [online]. Dostupno na: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/push2.html> [13.siječanj 2024.]
- [6] Department od Trade and Industry (2000) *Strength Data for design safety. Phase 1* [online]. Dostupno na: <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20070603154510/http://www.dti.gov.uk/files/file21830.pdf> [01. siječnja 2023.]
- [7] Department od Trade and Industry (2000) *Strength Data for design safety. Phase 2* [online]. Dostupno na: <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20070603154510/http://www.dti.gov.uk/files/file21827.pdf> [01. siječnja 2023.]
- [8] Wollesen, B., Argubi-Wollesen, A., Leitner, M., Schulz, S., Keuchel, M., Mühlemeyer, C., Klußmann, A. & Mattes, K. (2017) *Development and Testing of an Ergonomic Handle and Wheel Design for Industrial Transport Carts*. [online]. Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/321462599\\_Development\\_and\\_Testing\\_of\\_an\\_Ergonomic\\_Handle\\_and\\_Wheel\\_Design\\_for\\_Industrial\\_Transport\\_Carts](https://www.researchgate.net/publication/321462599_Development_and_Testing_of_an_Ergonomic_Handle_and_Wheel_Design_for_Industrial_Transport_Carts) [05. siječnja 2024.]
- [9] Jureša, V., Musil, V., Tiljak, M.K. (2012.) *Growth Charts for Croatian School Children and Secular Trends in Past Twenty Years*. [online]. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/file/112310> [23.siječanj 2024.]

- [10] Blickle (2021.) *General catalogue G16*. [online]. Dostupno na: <https://catalogue.blickle.com/> [23.siječanj 2024.]
- [11] Sinkro (2020.) *Ponuda* .[online]. Dostupno na: <https://sinkro.hr/ponuda> [23.siječanj 2024.]
- [12] Blickle (2021.) *LSFE GST 160K*. [online]. Dostupno na: <https://www.blickle.com/product/LSFE-GST-160K-755379> [30.siječanj 2024.]
- [13] Blickle (2021.) *BSFE GST 160K*. [online]. Dostupno na: <https://www.blickle.com/product/BSFE-GST-160K-755384> [30.siječanj 2024.]
- [14] The Ergonomics Center of North Carolina(2017.) *Anthropometric Data for U.S. Adult*. [online]. Dostupno na: <https://www.ergocenter.ncsu.edu/wp-content/uploads/sites/18/2017/09/Anthropometric-Summary-Data-Tables.pdf> [24.siječanj 2024.]
- [15] Albin, T. (2020) *INDUSTRIAL ERGONOMIC BEST PRACTICES IN CART DESIGN*; DARCOR. Dostupno na: <https://darcor.com/2020/02/27/industrial-ergonomic-best-practices-in-industrial-cart-design/> [05. siječnja 2024.]
- [16] *DIN CEN ISO TR 7250-2* (2010)
- [17] European Steel and Alloy Grades/Numbers SteelNumber(2011.) *S235JR/1.0038(dubl)*. [online]. Dostupno na: [www.steelnumber.com/en/steel\\_composition\\_eu.php?name\\_id=4](http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=4) [26.siječanj 2024.]
- [18] European Steel and Alloy Grades/Numbers SteelNumber(2011.)*S275JR/1.0044*. [online]. Dostupno na: [www.steelnumber.com/en/steel\\_composition\\_eu.php?name\\_id=3](http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=3) [26.siječanj 2024.]
- [19] European Steel and Alloy Grades/Numbers SteelNumber(2011.)*S355/JR*. [online]. Dostupno na: [www.steelnumber.com/en/steel\\_composition\\_eu.php?name\\_id=8](http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=8) [26.siječanj 2024.]
- [20] Buff Dudes (2019.) *How much can a barbell hold*. [online]. Dostupno na : <https://www.youtube.com/watch?v=ZeU1qJwNmW> [13.siječanj 2024.]
- [21] Decker, K-H. (2006) *Elementi strojeva*. Zagreb: GOLDEN MARKETING-TEHNIČKA KNJIGA.
- [22] HELI(2021.) *CPD 15/16/18/20 SQ*. [online]. Dostupno na: <https://helieurope.eu/wp-content/uploads/2021/11/G3-1.5-2t-3-wheel-Dual-Drive-Electric-forklift.pdf> [31.siječanj 2024.]

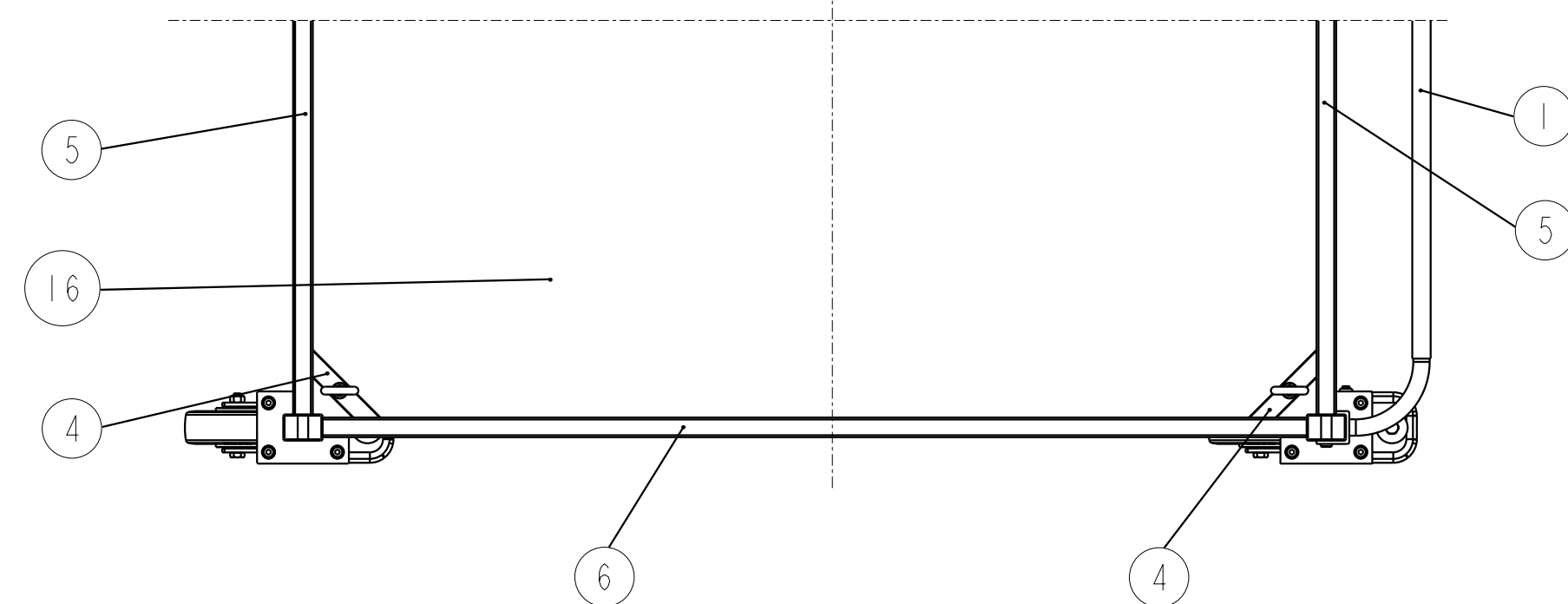
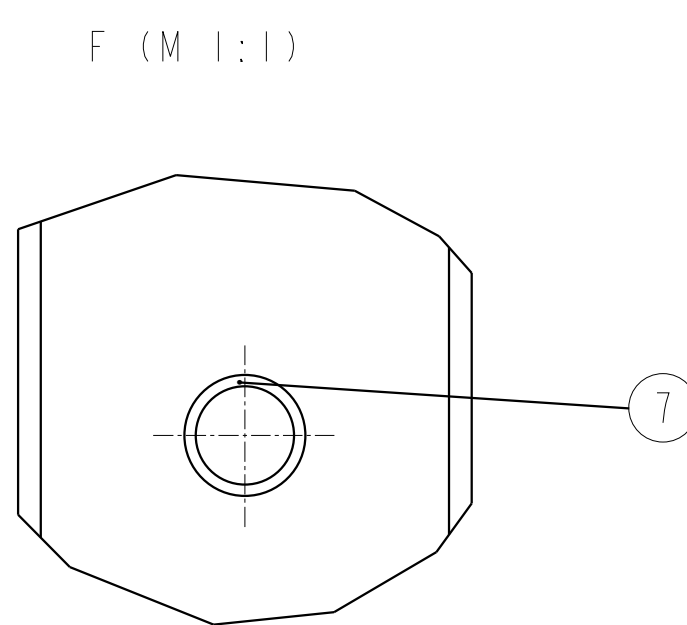
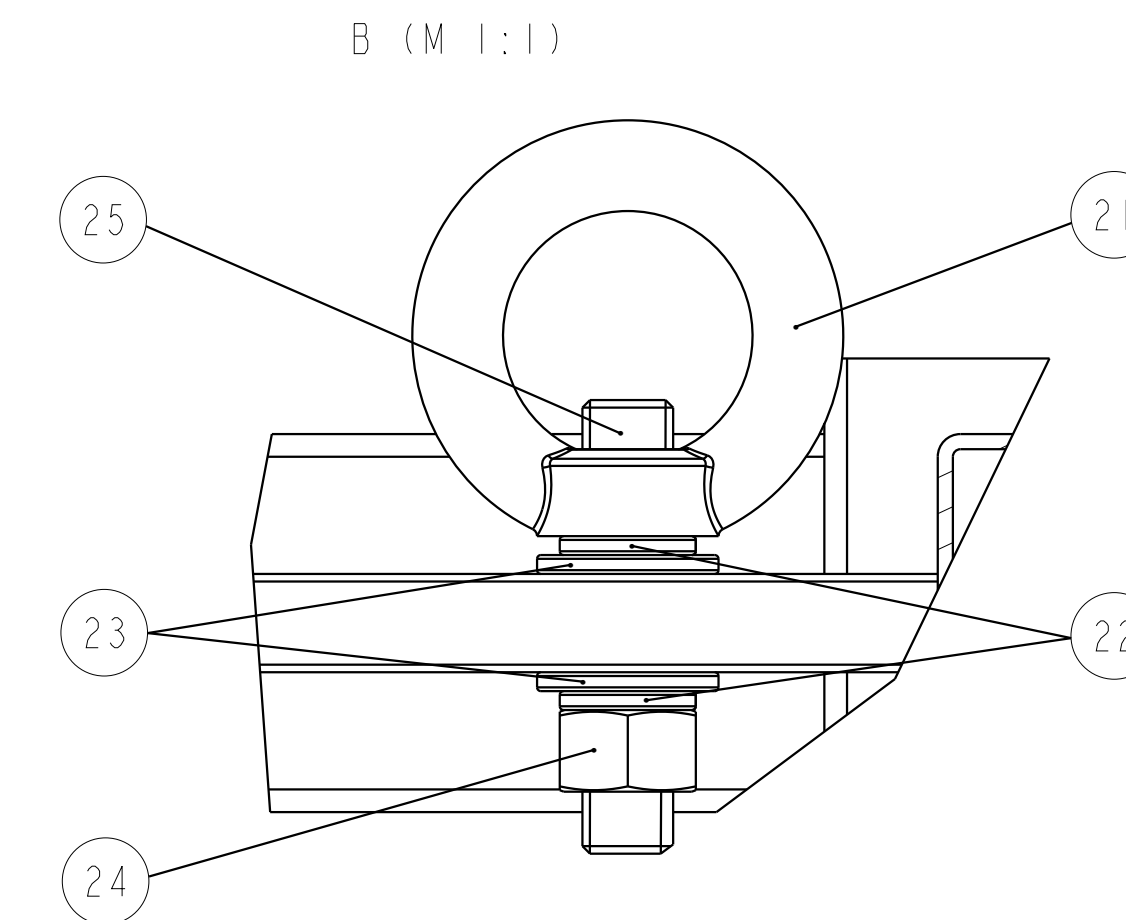
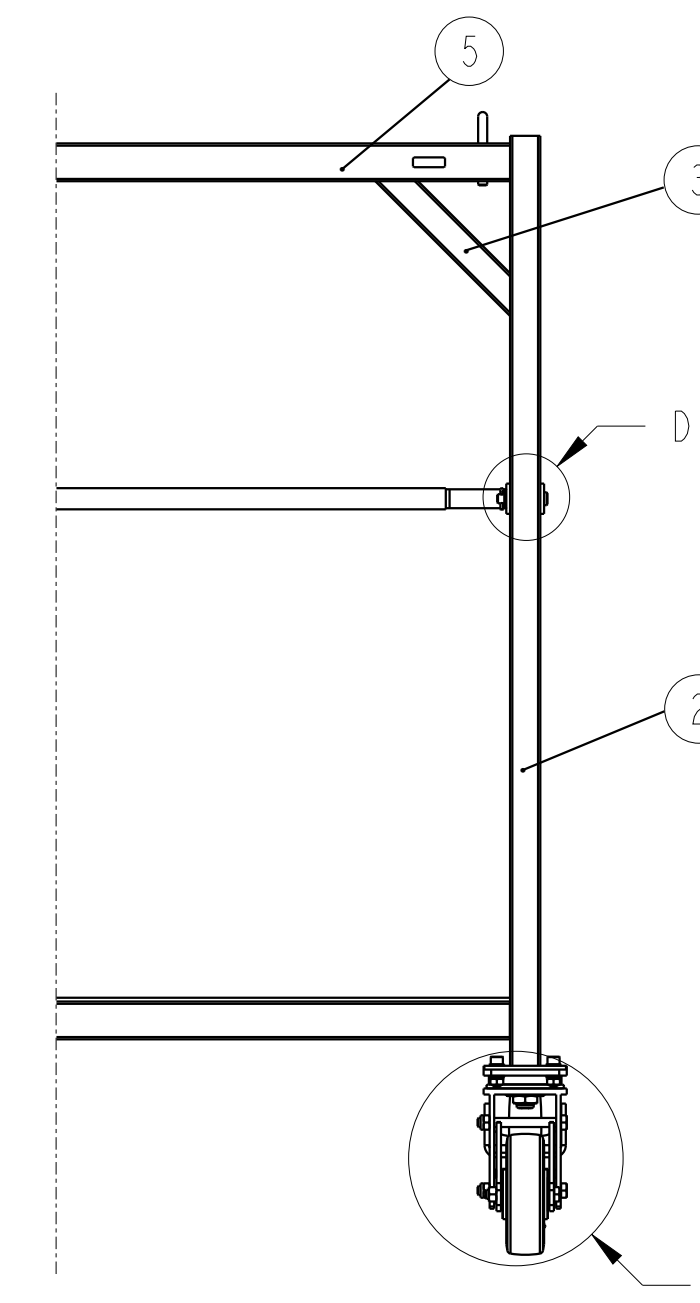
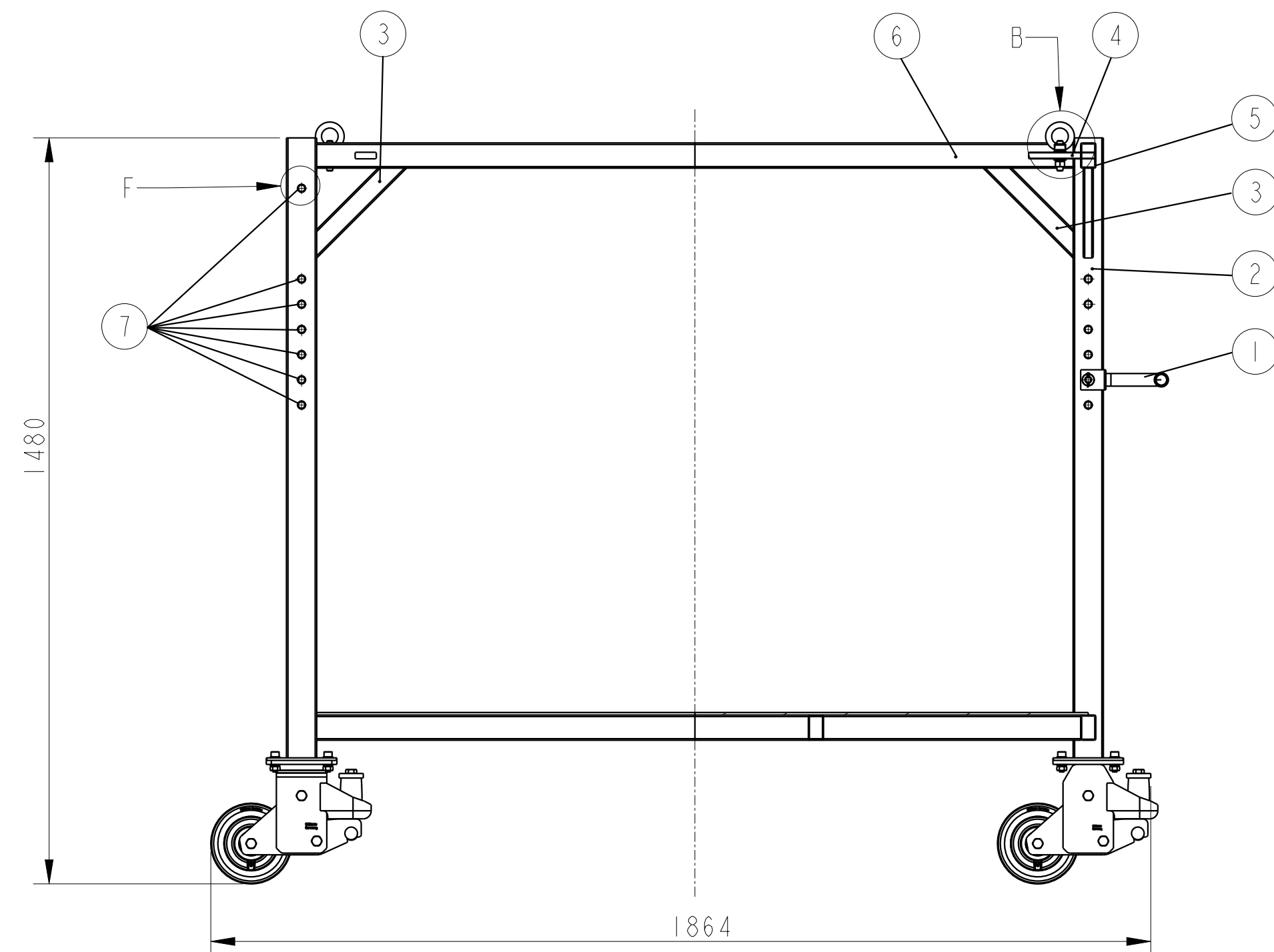
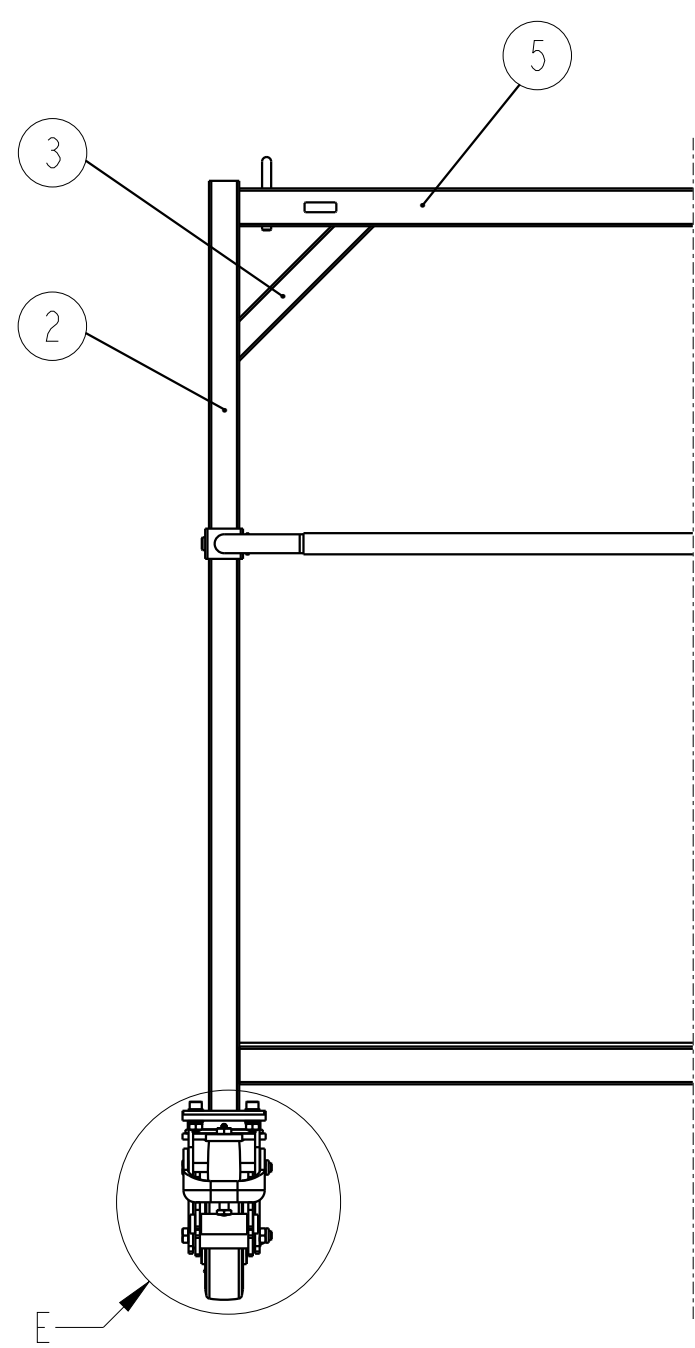
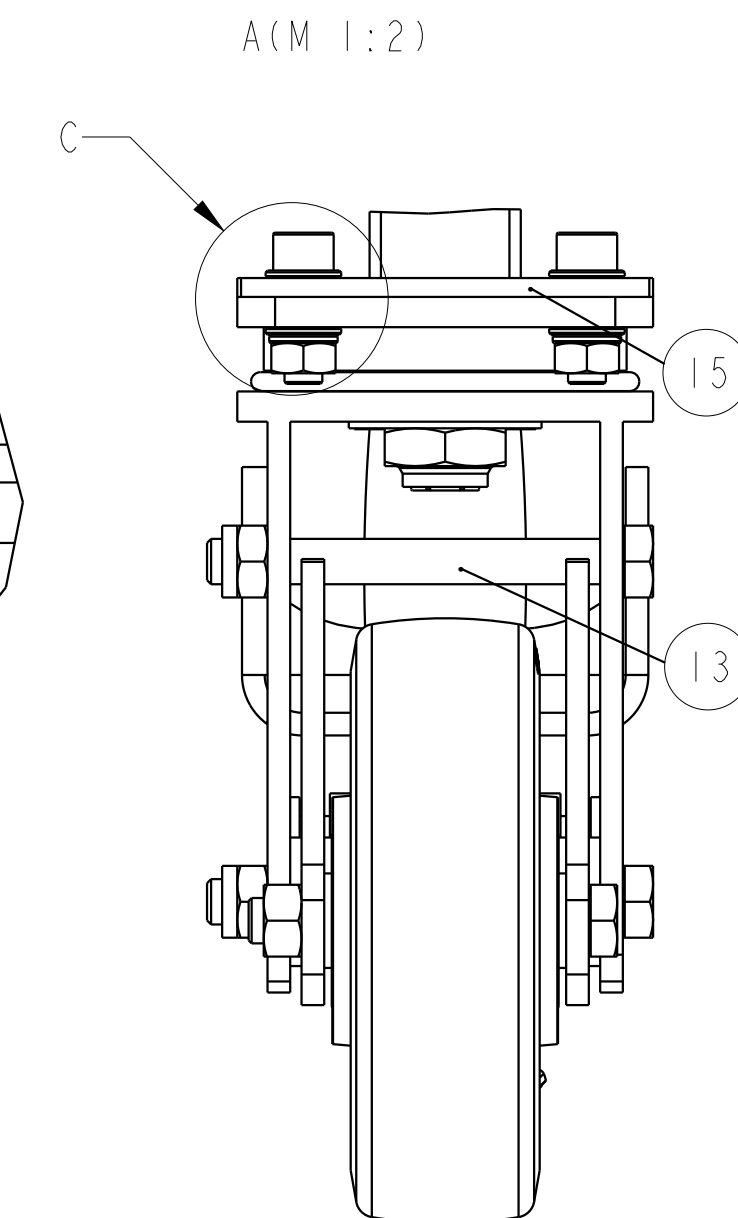
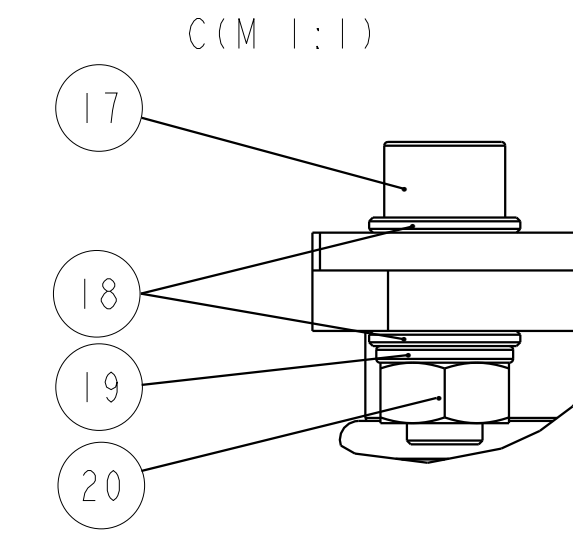
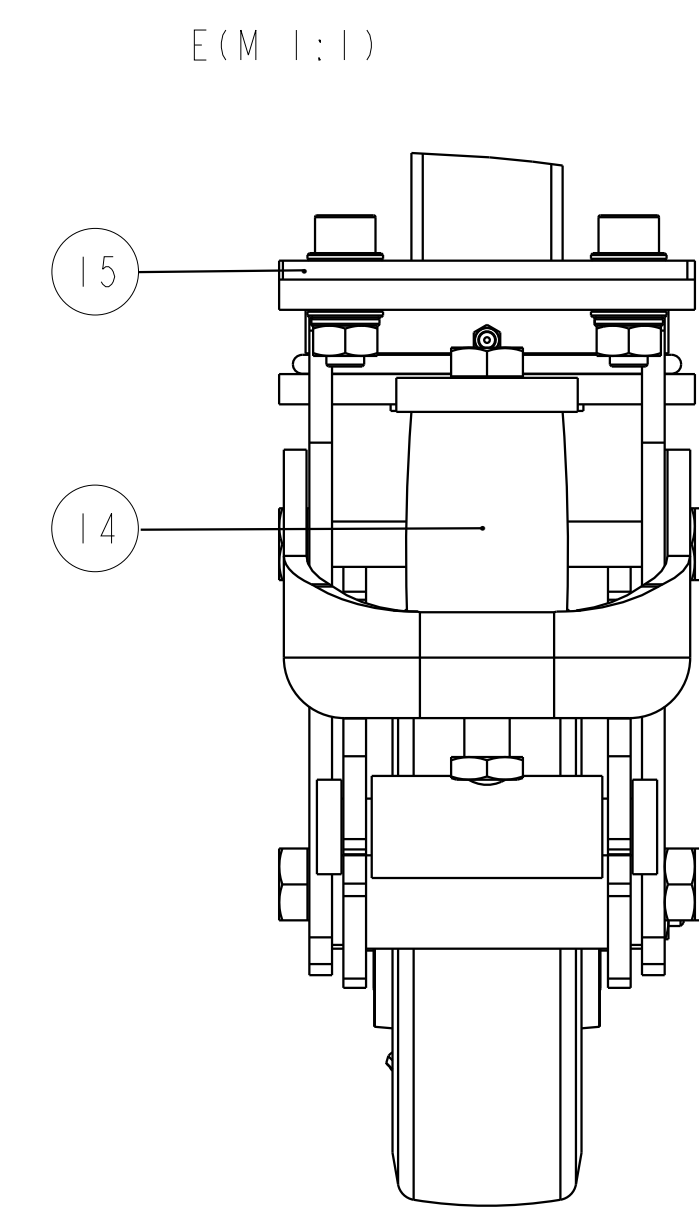
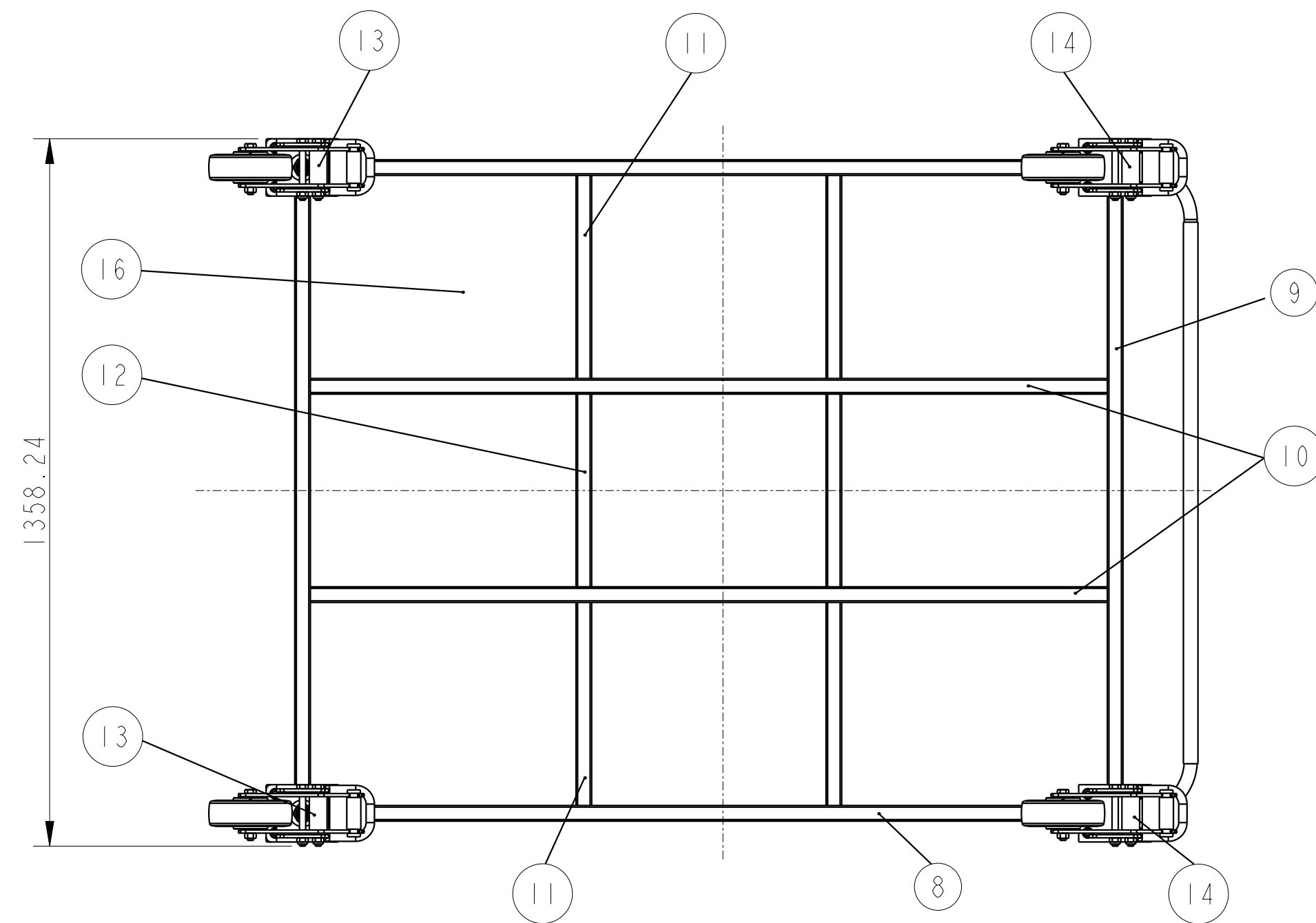
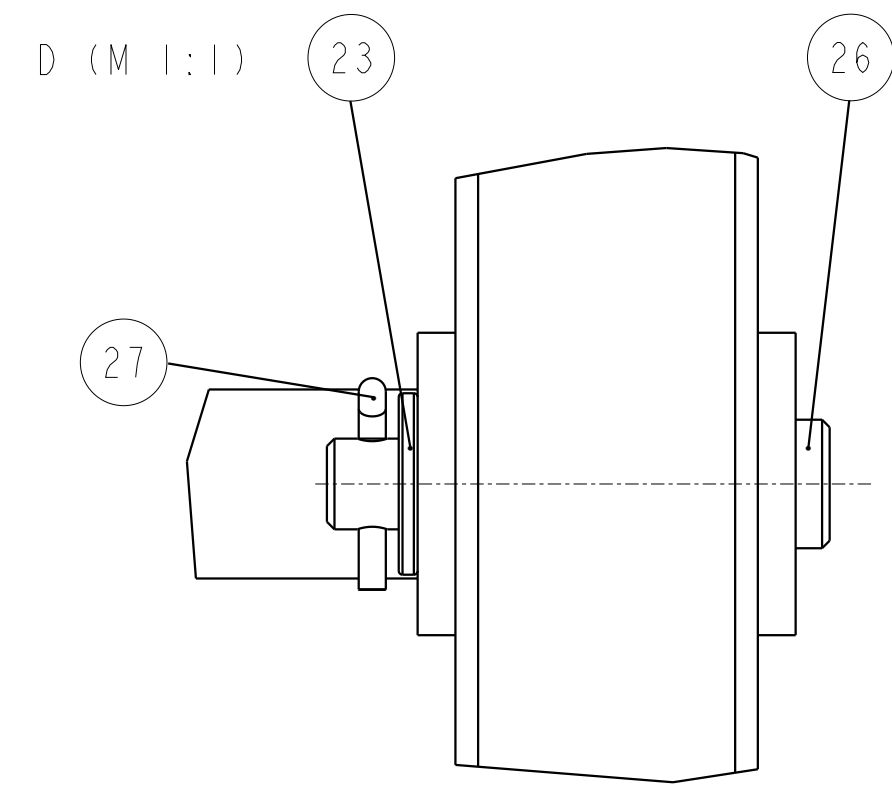
- [23] HELI(2020.) *G3 series Lithium Battery Powered Counterbalanced Forklift Truck*. Dostupno na: <https://heliforklift.hr/nLmwgVFBoWR6SK/wp-content/uploads/2023/04/G3-4-5T-Li-battery-Electic-forklift.pdf> [31.siječanj 2024.]
- [24] Gordon, Claire C. et. al (2014). *2012 Anthropometric Survey of U.S. Army Personnel: Methods and Summary Statistic*. [online]. Dostupno na: <https://dacowits.defense.gov/LinkClick.aspx?fileticket=EbsKcm6A10U%3D&portalid=48> [24.siječanj 2024.]
- [25] Remex(2023.) *PRIBOR G80 I G100*. [online]. Dostupno na: <https://remex.hr/wp-content/uploads/2022/09/Remex-57-OC.MATICA-RX055-OC.VIJAK-RX054-VIJ.-SA-OKOM-TIP-AL.pdf> [30.siječanj 2024.]
- [26] Kraut B. (1987) *Strojarski priručnik*. Zagreb: TEHNIČKA KNJIGA.
- [27] Strojopromet (2011.) *Inox navojna šipka DIN 975 M12x2000 A-2*. [online]. Dostupno na: <https://strojopromet-webshop.com/proizvod/inox-navojna-sipka-din0975-m-12x2000-a-2> [10.veljača 2024.]
- [28] ENG-TIPS (2013.) *How many threads should protrude beyond the nut*. [online]. Dostupno na: <https://www.eng-tips.com/faqs.cfm?fid=1331> [5.veljača 2024. ]
- [29] *EN ISO 4032(DIN 934)*. [online]. Dostupno na: [https://www.intafast.com/wp-content/uploads/2019/09/DIN934\\_ISO\\_4032\\_HEX\\_FULL\\_NUTS.pdf](https://www.intafast.com/wp-content/uploads/2019/09/DIN934_ISO_4032_HEX_FULL_NUTS.pdf) [5.veljača 2024.]
- [30] *DIN 7980* [1987.] . [online]. Dostupno na: <https://bolt.msk.ru/standards/DIN-7980.pdf> [5.veljača 2024. ]
- [31] ISO 7089(2000.). [online]. Dostupno na: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/13666/bd926567c06846afbe5fef5c514ba406/ISO-7089-2000.pdf> [5.veljača 2024.]
- [32] MISUMI (1988) *BSFE-GST 160K*. [online]. Dostupno na: <https://pl.misumi-ec.com/vona2/detail/221304177085/?PNSearch=BSFE-GST+160K&HissuCode=BSFE-GST+160K&searchFlow=suggest2products&Keyword=BSFE-GST+160K> [5.veljača 2024.]
- [33] MISUMI (1988) *LSFE-GST 160K*. [online]. Dostupno na: <https://pl.misumi-ec.com/vona2/detail/221304180135/?PNSearch=LSFE-GST+160K&HissuCode=LSFE-GST+160K&searchFlow=suggest2products&Keyword=LSFE-GST+160K> [5.veljača 2024.]

- [34] MISUMI (1988) *BHF-ALEV 160K-SG*. [online]. Dostupno na: <https://pl.misumi-ec.com/vona2/detail/221304175779/?PNSearch=BHF-ALEV+160K-SG&HissuCode=BHF-ALEV+160K-SG&searchFlow=suggest2products&Keyword=BHF-ALEV+160K-SG> [5.veljača 2024.]
- [35] MISUMI (1988) *LHF-ALEV 160K-SG*. [online]. Dostupno na: <https://pl.misumi-ec.com/vona2/detail/221304178345/?PNSearch=LHF-ALEV+160K-SG&HissuCode=LHF-ALEV+160K-SG&searchFlow=suggest2products&Keyword=LHF-ALEV+160K-SG> [5.veljača 2024.]
- [36] MISUMI (1988) *BSFE-SE 160K-SG*. [online]. Dostupno na: <https://pl.misumi-ec.com/vona2/detail/221304177108/?PNSearch=BSFE-SE+160K-SG&HissuCode=BSFE-SE+160K-SG&searchFlow=suggest2products&Keyword=BSFE-SE+160K-SG> [5.veljača 2024.]
- [37] MISUMI (1988) *LSFE-SE 160K-SG*. [online]. Dostupno na: <https://pl.misumi-ec.com/vona2/detail/221304177108/?PNSearch=LSFE-SE+160K-SG&HissuCode=LSFE-SE+160K-SG&searchFlow=suggest2products&Keyword=LSFE-SE+160K-SG> [5.veljača 2024.]
- [38] Darcor (2019.) *The Ergonomics of Manual Material Handling: Pushing and Pulling Tasks*. Dostupno na: <https://og.mhi.org/media/members/14023/130258038292642021.pdf> [10.rujan 2024.]
- [39] Alfirević, I. (1995) *Nauka o čvrstoći 1*. Zagreb: TEHNIČKA KNJIGA.



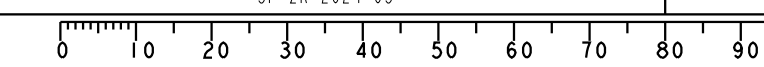
## **PRILOG**

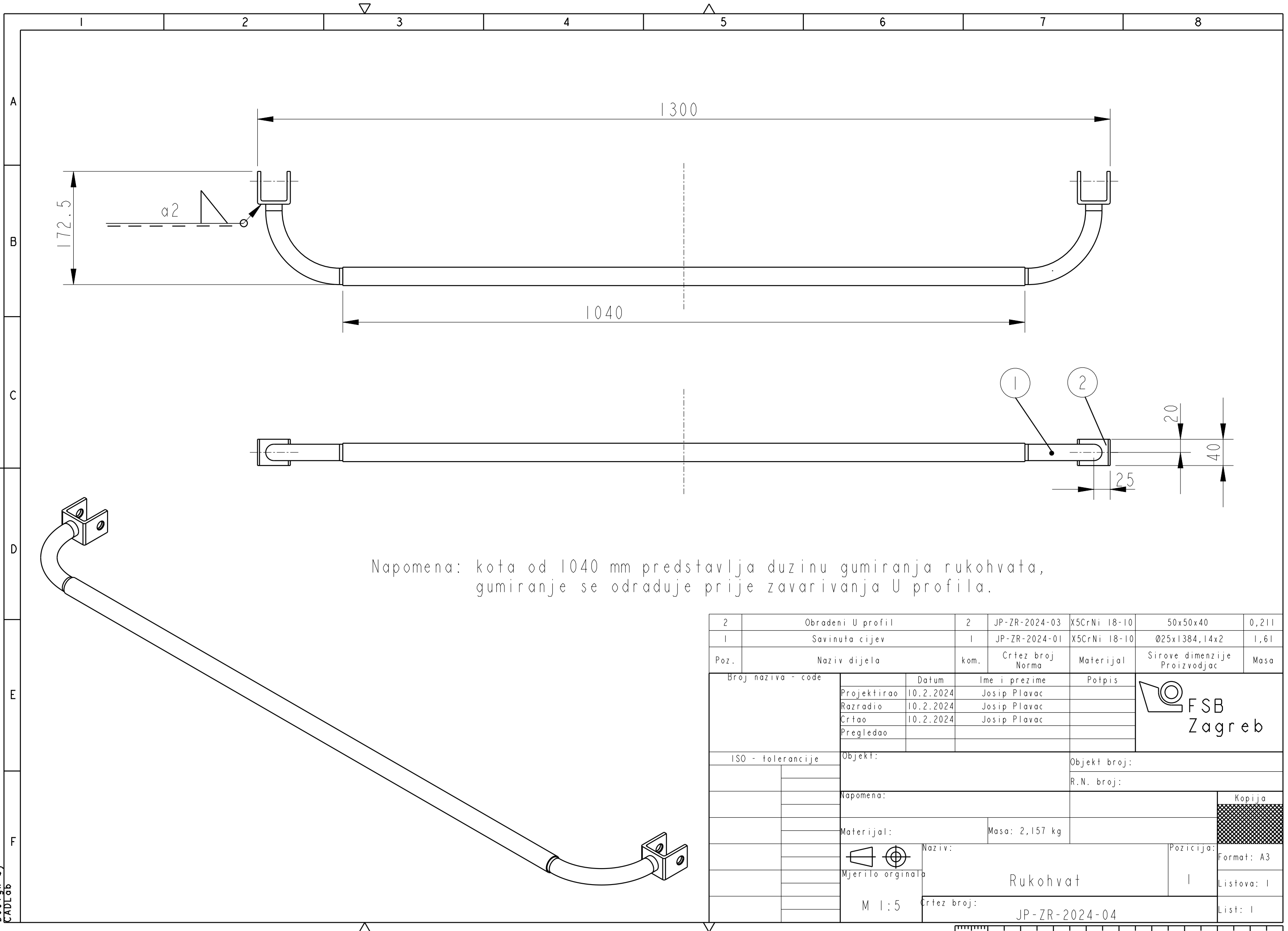
### I. Tehnička dokumentacija



Brj	Opis	Q	St.	Mat.	Dim.	Masa
27	Rascjepka	2	DIN 94	-	20x4	0,002
26	Svornjak	2	DIN 1436	X5CrNi 18-10	Ø12x62	0,062
25	M12 vijak	4	Strojapromet	X5CrNi 18-10	M12x60	0,039
24	M12 matica	4	DIN 934	8.8	-	0,014
23	M12 podložna pločica	10	ISO 7089	-	Ø24x2	0,012
22	M12 opruzna pločica	8	DIN 7980	-	Ø18x2	0,004
21	M12 očna matica	4	Remex	-	-	0,160
20	M10 matica	16	DIN 934	8.8	-	0,012
19	M10 opruzna pločica	16	DIN 7980	-	Ø12x2	0,002
18	M10 podložna pločica	32	ISO 7089	-	Ø20x2	0,005
17	M10 imbus vijak	16	DIN 912	8.8	M12x30	0,003
16	Ploča postolja	1	Strojapromet	S235JR	1560x1240x4	75,831
15	Prihvati kotača	4	Strojapromet	S235JR	140x110x5	0,589
14	BSFE-SE 160R-SG	2	Blitckle	-	220x110x245	9
13	LSFE-SE 160R-SG	2	Blitckle	-	220x110x245	7,9
12	Duga vertikalna ukruta postolja	2	Strojapromet	S235JR	50x30x390	0,863
11	Kraca vertikalna ukruta postolja	4	Strojapromet	S235JR	50x30x370	0,91
10	Horizontalna ukruta postolja	2	Strojapromet	S235JR	50x30x1530	3,369
9	Kraca pravokutna cijev postolja	2	Strojapromet	S235JR	50x30x1500	0,28
8	Duga pravokutna cijev postolja	2	Strojapromet	S235JR	50x30x1200	0,35
7	Paskica	28	Strojapromet	S235JR	Ø16x40	0,028
6	Duga pravokutna cijev krova	2	Strojapromet	S235JR	50x30x1500	3,464
5	Kraca pravokutna cijev krova	2	Strojapromet	S235JR	50x30x1200	2,765
4	Ukruta s pravilom	4	Strojapromet	S235JR	30x13x229	0,598
3	Ukrutni pravokutni profil krova	8	Strojapromet	S235JR	40x20x246	0,362
2	Vertikalni pravokutni profil	4	Strojapromet	S235JR	60x40x1230	3,597
1	Rukohvat	1	JP-ZR-2024-04	-	1300x172,5x40	2,157

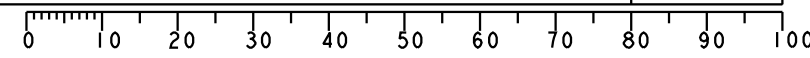
Poz.	Ime dijela	kom.	Crtez broj	Norma	Materijal	Sirove dimenzije	Masa
Projekcija		Ime i prezime		Poljpis			
Projektirao		Datum		Ime i prezime			
Nacrtao		Datum		Ime i prezime			
Pregledao		Datum		Ime i prezime			
ISO - tolerancija		Objekt:		Objekt broj:			
Napomena:		R.N. broj:					
Materijal:		Masa: 176,425 kg		Kopija			
Mjerilo originala		Naziv:		Pozicija:		Format: A1	
M 1:10		Mobilna stanica za vakuumsko impregniranje transformatora		I		Listova: 1	
		Crtez broj:		JP-ZR-2024-05		List: 1	



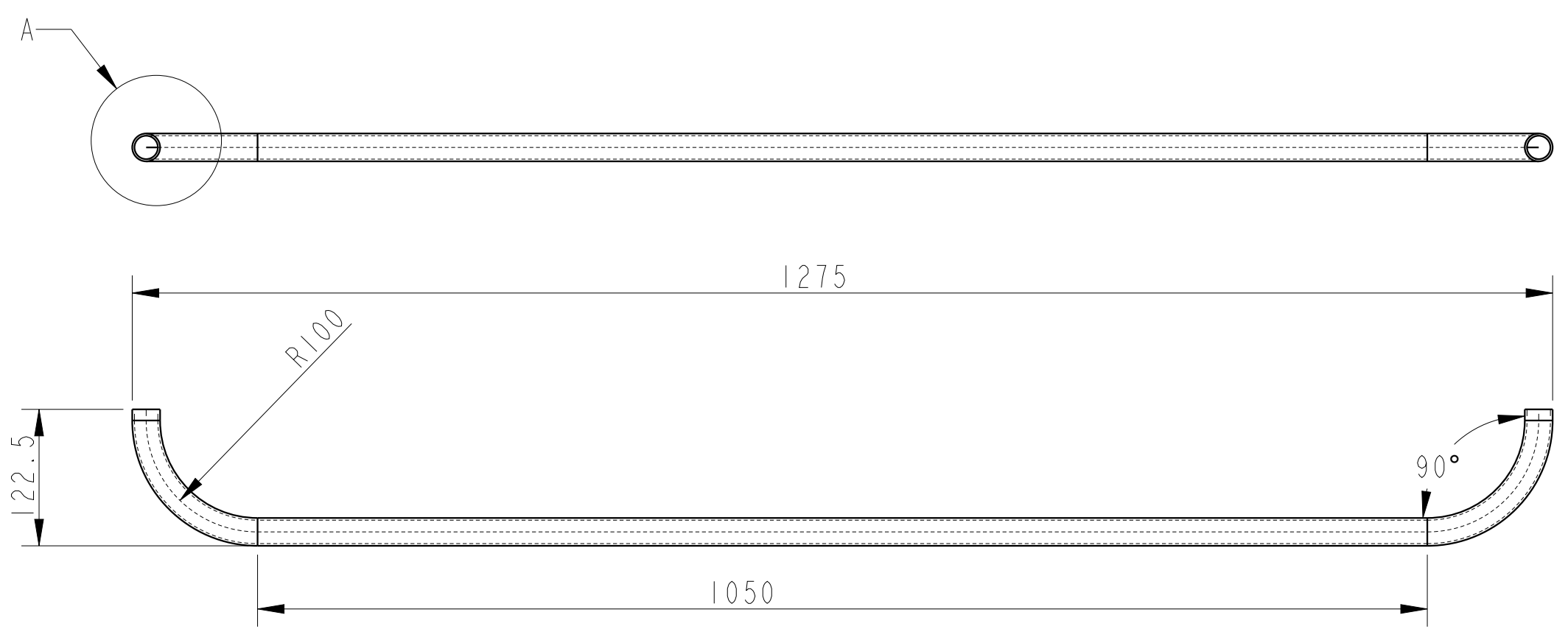


Napomena: kota od 1040 mm predstavlja duzinu gumiranja rukohvata, gumiranje se odraduje prije zavarivanja U profila.

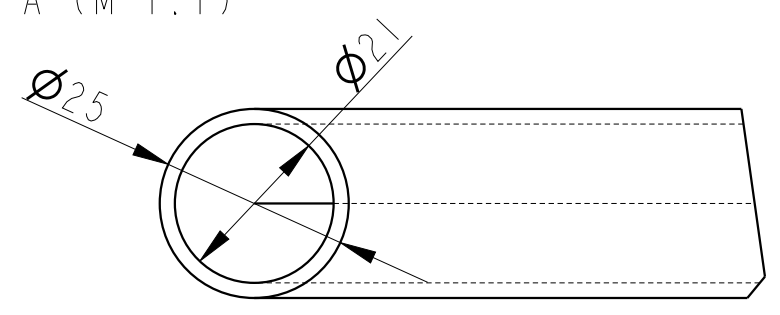
2	Obradeni U profil	2	JP-ZR-2024-03	X5CrNi 18-10	50x50x40	0,211
1	Savinuta cijev	1	JP-ZR-2024-01	X5CrNi 18-10	Ø25x1384,14x2	1,61
Poz.	Naziv dijela	kom.	Crtez broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvodjac	Masa
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
Projektirao		10.2.2024	Josip Plavac			
Razradio		10.2.2024	Josip Plavac			
Crtao		10.2.2024	Josip Plavac			
Pregledao						
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
					R.N. broj:	
		Napomena:				
		Materijal:			Masa: 2,157 kg	
					Naziv: Rukohvat Pozicija: I	
		Mjerilo originala			Format: A3	
		M 1:5			Listova: 1	
		Crtez broj: JP-ZR-2024-04			List: 1	



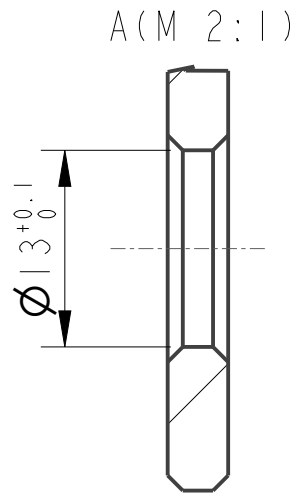
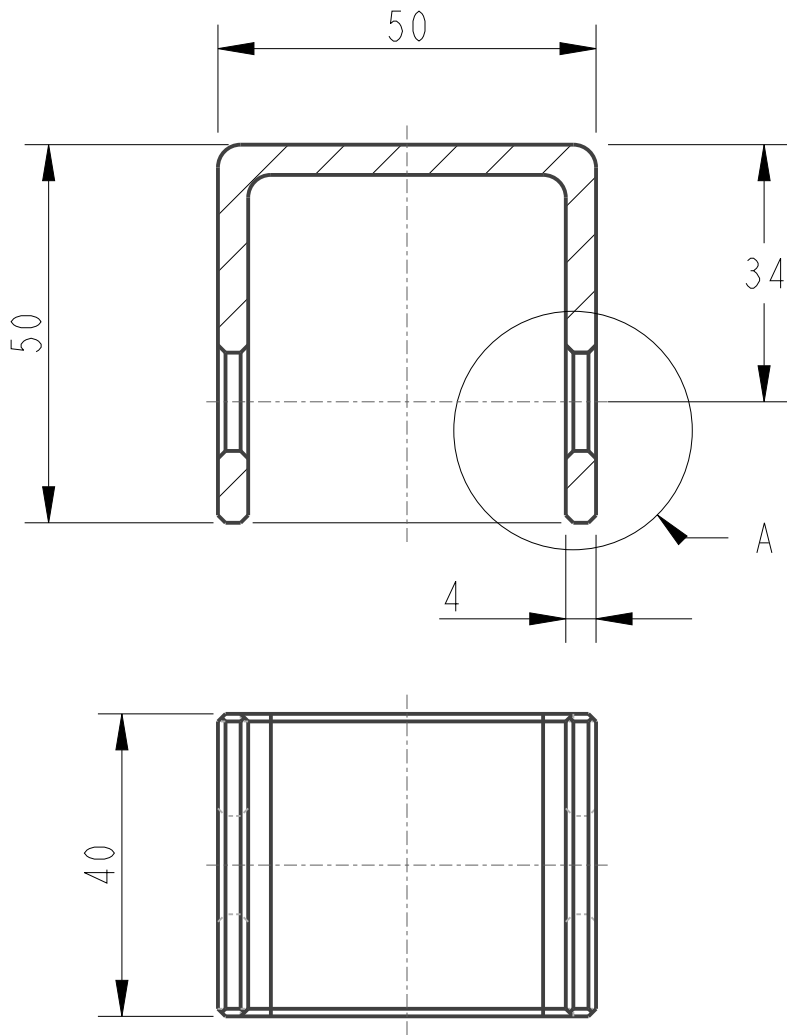
Design by CADLab



A (M 1:1)



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	10.2.2024.	Josip Plavac		
Razradio	10.2.2024.	Josip Plavac		
Crtao	10.2.2024.	Josip Plavac		
Pregledao				
Objekt:		Objekt broj:		
		R.N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal: X5CrNi18-10		Masa: 1,61 kg		
		Naziv:		
Mjerilo originala		Savinuta cijev		Pozicija:
M 1:5		Crtez broj:		Format: A3
		JP-ZR-2024-01		Listova: 1
				List: 1



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	10.2.2024.	Josip Plavac	
Razradio	10.2.2024.	Josip Plavac	
Crtao	10.2.2024.	Josip Plavac	
Pregledao	Sep-10-24	Aleksandar Susic	



Objekt:	Objekt broj:
	R.N. broj:

Napomena:	Sva skosenja su 1x45°	Kopija
-----------	-----------------------	--------

Materijal:	X5CrNi 18-10	Masa:	0.211
------------	--------------	-------	-------

	Naziv:	Pozicija:	Format: A4
	Obradeni U profil	2	Listova: 1

M 1:1	Crtaz broj:	JP-ZR-2024-03	List: 1
-------	-------------	---------------	---------

Design by  
CADLab