

# KONSTRUKCIJA RUČNIH KOLICA ZA TERETE DO 250 KG

---

**Radečić, Antun**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:442149>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

# KONSTRUKCIJA RUČNIH KOLICA ZA TERETE DO 250 KG

---

**Radečić, Antun**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:442149>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2023-02-14**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu

Odjel Strojарstva  
Stručni studij strojarstva

Antun Radečić

**Konstrukcija ručnih kolica za terete  
do 250 kg**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2021. godina

Karlovac University of Applied Sciences

Mechanical Engineering Department

Professional undergraduate study of Mechanical Engineering

Antun Radečić

**Design of hand cart for loads up to  
250 kg**

Final paper

Karlovac, 2021.

Veleučilište u Karlovcu

Odjel Strojарstva  
Stručni studij strojarstva


Antun Radečić


# **Konstrukcija ručnih kolica za terete do 250 kg**


ZAVRŠNI RAD

Mentor:  
Dr.sc Josip Hoster, v. pred.

Karlovac, 2021. godina

 <b>VELEUČILIŠTE U KARLOVCU</b> Karlovac University of Applied Sciences	Klasa:
	602-11/___-01/___
<b>ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA</b>	Datum:

Ime i prezime	Antun Radečić		
OIB / JMBG	70898804931	1501999330080	
Adresa	Marije Jurić Zagorke 10, 10450 Jastrebarsko		
Tel. / Mob./e-mail	01/6282-856	0996757341	antunradecic49@gmail.com
Matični broj studenta	0110618075		
JMBAG	0035218155		
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	<input checked="" type="checkbox"/> preddiplomski		<input type="checkbox"/> specijalistički diplomski
Naziv studija	Stručni studij Strojarstva		
Godina upisa	2018.		
Datum podnošenja molbe	25.06.2021.		
Vlastoručni potpis studenta/studentice			

Naslov teme na hrvatskom: <b>Konstrukcija ručnih kolica za terete do 250 kg</b>	
Naslov teme na engleskom: <b>Design of hand cart for loads up to 250 kg</b>	
Opis zadatka:	
<p>U završnom radu potrebno je opisati ergonomiju utovara, prijevoza i istovara tereta do 250 kg ručnim kolicima. Opisati konstrukcijsku izvedbu kolica koja imaju mogućnost pravocrtnog gibanja težišta pri prelasku preko stepenica odabrane geometrije. Opisati kinematiku i dinamiku utovara (podizanja) tereta. Opisati izračun sile na ručkama kolica prilikom rukovanja, tj. korištenja. Opisati dinamiku kolica pri očekivanim manevrima premještanja tereta.</p> <p>Kao numerički dio zadatka konstruirati konstrukciju kolica za prijevoz kvadrenih (opći kvadar) i valjkastih tereta do 750 mm promjera, visine do 1 200 mm, mase do 250 kg. Podizanje tereta treba izvesti pomoću mehanizma tako da su zadovoljeni zakonski uvjeti (ograničenja) opterećenja za čovjeka. Predvidjeti rasklopnu ručku mehanizma za podizanje radi smanjenja opasnosti od ozljeda. Proračunati i konstruirati pogonsko vratilo mehanizma. Prvi izbor elementa za podizanje treba biti uže ili polimerna traka. Prikazati konstrukciju u obliku sklopnog crteža, a vratilo mehanizma u obliku radioničkog.</p> <p>Zadatak izraditi i opremiti sukladno Pravilniku o završnom radu Veleučilišta u Karlovcu.</p>	
Mentor:	
Predsjednik Ispitnog povjerenstva:	

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

Zahvaljujem se svom mentoru dr.sc. Josipu Hosteru na svojoj pruženoj pomoći tijekom izrade ovog rada.

Na kraju se posebno zahvaljujem svojoj obitelji na podršci tijekom cijelog studiranja te poduzeću OM Radečić koje mi je omogućilo izradu ručnih kolica.

Antun Radečić

## SAŽETAK

Prenošenje tereta danas čini važan dio svake ljudske djelatnosti zbog čega je potrebno osigurati ručna kolica koja su prije svega sigurna za rad, ali i koja će s lakoćom svladavati sve prepreke te izvršavati svoju namjenu. U ovom radu bit će prikazana konstrukcijska izvedba kolica koja imaju mogućnost pravocrtnog gibanja težišta pri prelasku preko stepenica. Također će se opisati ergonomija utovara, prijevoza i istovara tereta do 250 kg ručnim kolicima.

U uvodnom dijelu reći će se osnovna svrha i zahtjevi ručnih kolica. Nastavno na to konstruirat će se sama kolica, izraditi 3D model, opisati izračun sila na ručkama kolica te dinamika samog korištenja. Naravno, prilikom izrade zadovoljit će se svi zakonski uvjeti opterećenja za čovjeka.

Ključne riječi: teret, utjecaj na čovjeka, kolica, 3D modeliranje, proračun



## **SUMMARY**

Carrying cargo is an important part of every human activity today, which is why it is necessary to provide handcarts that are primarily safe to work with, but that can also easily overcome all obstacles and carry out their purpose. In this paper the construction of handcarts with the possibility of rectilinear movement of the center of gravity when crossing (a flight of) stairs will be presented. The ergonomics of loading, transporting and unloading loads up to 250 kg by handcart will also be described.

In the introductory part the basic purpose and requirements of handcarts will be stated. Subsequently, the stroller itself will be constructed, as well as a 3D model, and the calculation of forces on the stroller handles and the dynamics of the use will be described. Of course, all legal requirements on maximum load for humans will be met during construction.

Key words: cargo, influence on humans, handcarts, 3D modelling, budget

**SADRŽAJ**

ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA.....	6
SAŽETAK .....	1
SUMMARY .....	2
SADRŽAJ .....	3
POPIS SLIKA .....	4
POPIS TABLICA.....	5
POPIS OZNAKA.....	6
KONSTANTE.....	8
1. UVOD.....	9
2. TEORIJSKE OSNOVE.....	11
2.1 SILE U LEŽAJEVIMA NA OSOVINI KOTAČA.....	11
2.2 ZAVARENI SPOJ OSOVINE KOTAČA .....	13
2.3 MEHANIZAM PODIZANJA I SPUŠTANJA.....	15
2.4 MEHANIZAM JEDNOSMJERNE KOČNICE .....	16
3. RAZRADA ZADATKA .....	17
3.1 PRORAČUN LEŽAJA.....	17
3.2 PRORAČUN ZAVARENOG SPOJA OSOVINE .....	21
3.3 PRORAČUN SILE U RUCI.....	26
4. IZRADA RUČNIH KOLICA.....	28
5. ERGONOMIJA RUČNIH KOLICA.....	33
6. ISPITIVANJE IZVEDENIH KOLICA .....	35
7. ZAKLJUČAK .....	38
8. LITERATURA.....	39

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Figurica kolica koju vuče bik ( dinastija Sui, Kina, 581. – 618. g.) [1].....	9
Slika 2. Izvedba kolica s dva kotača [2] .....	9
Slika 3. Kolica s ogralom za pridržavanje tereta [3].....	10
Slika 4. Početna skica .....	10
Slika 5. Poprečno kuglični ležaj za poprečno i radijalno opterećenje [4].....	11
Slika 6. Vlačno opterećeni zavareni priključci s kutnim zavarenim spojem [4].....	14
Slika 7. Prikaz mehanizma rada koloture [5].....	15
Slika 8. Prvotna ideja jednosmjerne kočnice .....	16
Slika 9. Pojednostavljen prikaz osovine kotača .....	17
Slika 10. Model ležaja (Solidworks 2017).....	19
Slika 11. Rezultati simulacije .....	20
Slika 12. Kutni kružni zavareni spoj između osovine i zvijezde kotača .....	21
Slika 13. Presjek cijevi osovine sa zavarenim spojem.....	21
Slika 14. Smično opterećen zavareni priključak [4].....	22
Slika 15. Pojednostavljen prikaz sila na kotač .....	23
Slika 16. Moment tromosti kružnog vijenca .....	23
Slika 17. Dopuštena naprezanja za zavarene šavove [4] .....	25
Slika 18. Pojednostavljen prikaz vratila s kočnicom.....	26
Slika 19. Bokocrt slike 18; djelovanje sile ruke na sklopivu ručicu.....	26
Slika 20. Izvadak iz Pravilnika o zaštiti na radu pri ručnom prenošenju teretom [9].....	27
Slika 21. Pneumatski kotač nosivosti 136 kg (Solidworks 2017) .....	28
Slika 22. Postupak izrezivanja zvijezda pomoću vodenog mlaza .....	29
Slika 23. Postupak spajanja kotača i zvijezda .....	29
Slika 24. Mehanizam kretanja kolica (sklop, Solidworks 2017).....	30
Slika 25. Faza izrade 3D modela ručnih kolica (sklop, Solidworks 2017) .....	30
Slika 26. Mehanizam podizanja i spuštanja s jednosmjernom kočnicom.....	31
Slika 27. U potpunosti izrađen 3D model ručnih kolica (Solidworks 2017) .....	31
Slika 28. Fizički izrađena ručna kolica za prijevoz tereta do 250 kg .....	32
Slika 29. Podizanje tereta uz pridržavanje kočnicom.....	32
Slika 30. Izvedba sklopive ručke - radni položaj (namatanje) .....	33

Slika 31. Izvedba sklopive ručke - (vožnja).....	34
Slika 32. Dio obrasca za procjenu rizika prilikom rukovanja teretom [11] .....	34
Slika 33. Dinamometar za provođenje ispitivanja (max. 500 N $\pm$ 1% ) .....	35
Slika 34. Skica ispitivanja izvedenih kolica .....	35
Slika 35. Ispitivanje kolica na betonskoj površini .....	36
Slika 36. Vrijednosti najveće sile kojom djelujemo kako bismo pokrenuli kolica iz stanja mirovanja na različitim površinama i pri različitim opterećenjima.....	36

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Prosječne jedinične vrijednosti sile pokretanja kolica.....	37
--	----

**POPIS OZNAKA**

OZNAKA	VELIČINA	MJERNA JEDINICA
$L$	nominalan vijek trajanja	okr.
$f_H$	faktor tvrdoće na pogonskoj temperaturi	/
$C$	dinamička nosivost normalnog ležaja	kN
$F$	dinamičko ekvivalentno opterećenje	kN
$x$	eksponent vijeka trajanja ležaja	/
$X$	poprečni faktor za dinamičku nosivost	/
$Y$	radijalni faktor za dinamičku nosivost	/
$F_r$	poprečno dinamičko opterećenje	N
$F_a$	radijalni dinamičko opterećenje	N
$F_0$	statička nosivost	N
$X_0$	poprečni faktor za statičku nosivost	/
$Y_0$	radijalni faktor za statičku nosivost	/
$F_{r0}$	poprečno statičko opterećenje	N

$F_{a0}$	radijalno statičko opterećenje	N
$f_s$	karakteristika statičkog opterećenja	/
$C_0$	statička nosivost tereta	N
$\beta$	kut opterećenja	stupnjevi
$\sigma_{\perp v,t}$	vlačno ili tlačno naprezanje u zavarenom šavu	N/mm <sup>2</sup>
$\sum(a \cdot l)$	površina zavarenog šava	mm <sup>2</sup>
$\tau_{\parallel}$	smično naprezanje u zavarenom šavu	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\perp f}$	naprezanje uzrokovano savijanjem u zavarenom šavu	N/mm <sup>2</sup>
$I_{zav}$	moment tromosti površine šava	mm <sup>2</sup>
$z$	okomita udaljenost na sredinu presjeka osovine	mm
$\sigma_{red}$	ekvivalentno/reducirano naprezanje	N/mm <sup>2</sup>
$F_t$	težina tereta	N
$F_k$	težina kolica	N
$F_c$	inercijska centrifugalna sila	N
$F_p$	sila podloge	N
$a$	debljina zavara	mm

$d$	promjer cijevi	mm
$l_{krak}$	krak djelovanja	mm
$M$	moment savijanja	Nmm
$\sigma_{dop}$	dopušteno naprezanje	N/mm <sup>2</sup>
$s$	faktor sigurnosti	/

**KONSTANTE**

oznaka	veličina	vrijednost	mjerna jedinica
$g$	gravitacijska konstanta	9,81	m/s <sup>2</sup>
$v$	prosječna brzina hoda čovjeka	6	km/h

## 1. UVOD

Ručna kolica za prijevoz tereta koriste se u svim segmentima ljudskog života. Počevši od skladišta, trgovina pa sve do industrijskih postrojenja. Postoje razne izvedbe kolica za prijevoz tereta koje su se koristile još od izuma kotača. Razlikujemo kolica koja vuku životinje; konji, volovi, magarci te ručna kolica koja pokreće čovjek svojom snagom.



Slika 1. Figurica kolica koju vuče bik ( dinastija Sui, Kina, 581. – 618. g.) [1]

Ovisno o zaprekama i putu koji prelaze razlikujemo kolica s jednim, dva, tri ili više kotača. Ovisno o potrebama, ali i samom teretu postoje i različite konstrukcije kolica. Također razlikujemo kolica prema vrsti kotača koji mogu biti drveni, plastični, pneumatski ili metalni.



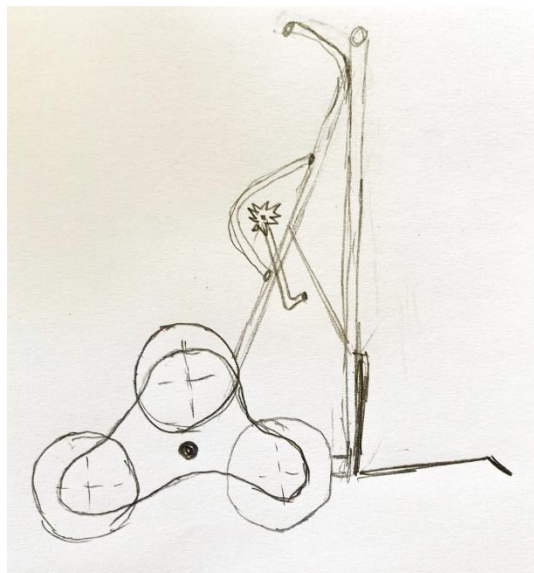
Slika 2. Izvedba kolica s dva kotača [2]





Slika 3. Kolica s ogradom za pridržavanje tereta [3]

Razvitkom svih grana strojarstva izrada ručnih kolica je znatno napredovala, a samim time smanjeni su i troškovi njihove izrade. U isto vrijeme rentabilnost i ergonomičnost im raste. U ovom radu razmatrat će se kolica sa šest pneumatskih kotača kako bi se osigurao transport teškog tereta preko stepenica ili sličnih zapreka. Također, kolica će imati mogućnost podizanja i spuštanja tereta pomoću mehanizma kolotura u kombinaciji s jednosmjernom kočnicom.



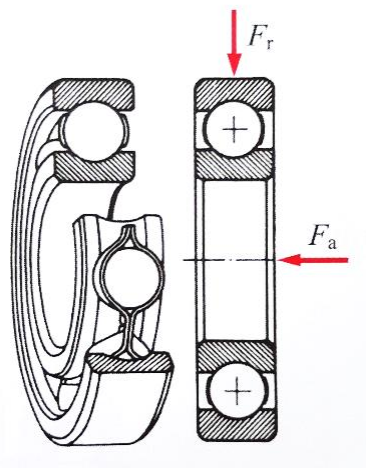
Slika 4. Početna skica

## 2. TEORIJSKE OSNOVE

Važan dio u konstrukciji kolica čine kotači i sama osovina zbog čega ju je potrebno dodatno proračunati. Treba provjeriti i sami zavareni spoj na osovini. Također, mehanizam za spuštanje i podizanje čini važan dio ovih kolica kako bi se omogućilo nesmetano i čovjeku lako korištenje.

### 2.1 SILE U LEŽAJEVIMA NA OSOVINI KOTAČA

Za ležaj na osovini kotača koristimo kuglični ležaj kako bi opterećena kolica izdržala poprečna i radijalna opterećenja. Poprečno opterećenje uzrokuje čovjek tj. djelovanje centrifugalne sile prilikom skretanja, dok radijalno opterećenje uzrokuje sama masa tereta. Važni parametri za ležaj su dinamička i statička nosivost te kut opterećenja.



Slika 5. Poprečno kuglični ležaj za poprečno i radijalno opterećenje [4]

Dinamička nosivost je onaj broj okretaja koji ležaj može izdržati bez znakova zamora materijala na prstenovima, pločama ili valjnim tjelešcima. To je dinamičko ekvivalentno opterećenje pri kojem 90 % svih ležaja daje nominalan vijek trajanja od  $10^6$  okretaja. [4]

$$L = 10^6 \left( \frac{f_H C}{F} \right)^x. \quad (1)$$

Pri čemu je:

- $L$  [okr.] nominalan vijek trajanja,
- $f_H$  [ / ] faktor tvrdoće na pogonskoj temperaturi,
- $C$  [ kN ] dinamička nosivost normalnog ležaja,
- $F$  [ kN ] dinamičko ekvivalentno opterećenje,
- $x$  [ / ] eksponent vijeka trajanja ležaja.

Dinamičko ekvivalentno opterećenje  $F$  računa se prema izrazu:

$$F = XF_r + YF_a. \quad (2)$$

$F_r$  predstavlja poprečno opterećenje što je u našem slučaju težina tereta i kolica. Dok  $F_a$  predstavlja radijalno opterećenje koje nastaje prilikom skretanja s kolicima pri prosječnoj brzini hoda čovjeka od 6 km/h i u radijusu od 1,5 m.  $X$  i  $Y$  su poprečni i radijalni faktor.

Statička nosivost je ono statičko opterećenje koje na valjnom tjelešču u dodiru s valjnom stazom izaziva na mjestu dodira trajnu deformaciju koja još ne smanjuje funkciju ležišta. Statičko ekvivalentno opterećenje računa se prema izrazu:

$$F_0 = X_0 F_{r0} + Y_0 F_{a0}. \quad (3)$$

Pošto se to računa kada kolica miruju radijalnog statičkog opterećenja nema jer se kolica ne gibaju tj. ne skreću kao u ranijem slučaju. Poprečno statičko opterećenje predstavlja težinu kolica i tereta. Bitan faktor ovdje predstavlja i karakteristika statičkog opterećenja  $f_s$  koja se računa kao omjer statičke nosivosti tereta  $C_0$  [ kN ] i statičkog ekvivalentnog opterećenja  $F_0$  [ kN ].

Kut opterećenja  $\beta$  je omjer poprečne i radijalne sile:

$$\tan \beta = \frac{F_a}{F_r}. \quad (4)$$

## 2.2 ZAVARENI SPOJ OSOVINE KOTAČA

Zavarivanje je najčešći postupak spajanja materijala pri čemu je glavna prednost manjak utroška materijala nasuprot lijevanju ili kovanju. Glavna prednost je također i 50 % manja masa od drugih načina spajanja što je u ovom slučaju jako važno, jer želimo da su kolica što lakša kako bi se omogućilo što jednostavnije korištenje. Naprezanja se računaju isto kao i kod čeličnih konstrukcija prema sljedećim formulama.

Vlačno ili tlačno naprezanje:

$$\sigma_{\perp v,t} = \frac{F}{\Sigma(al)}. \quad (5)$$

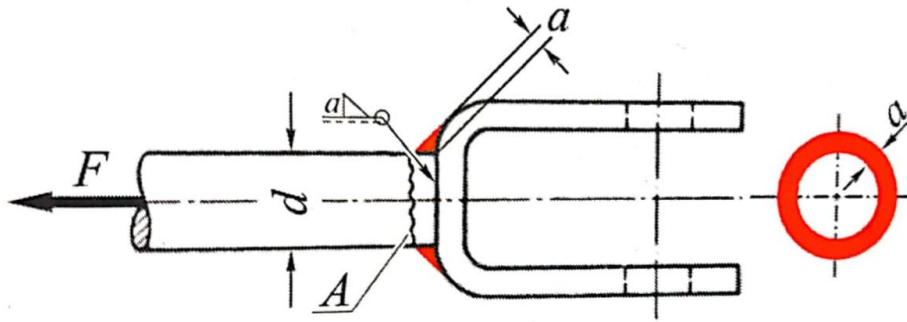
Gdje je:

- $\sigma_{\perp v,t}$  [ N/mm<sup>2</sup> ] vlačno ili tlačno naprezanje u zavarenom šavu,
- $F$  [ N ] vlačna ili tlačna sila okomita na površinu zavarena šava,
- $\Sigma(a \cdot l)$  [ mm<sup>2</sup> ] površina zavarenog šava.

Sila  $F$  okomita na površinu zavarena šava je težina samih kolica i težina tereta.

Površina zavarenog šava u našem je slučaju površina kružnog vijenca što se računa prema formuli:

$$\Sigma(al) = a(d + a)\pi.$$



Slika 6. Vlačno opterećeni zavareni priključci s kutnim zavarenim spojem [4]

Smično naprezanje:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{\sum(al)} \quad (6)$$

Gdje je:

- $\tau_{\parallel}$  [ N/mm<sup>2</sup> ] smično naprezanje u zavarenom šavu,
- $F$  [ N ] smična sila tangencijalna na površinu zavarenog šava,
- $\sum(a \cdot l)$  [ mm<sup>2</sup> ] površina zavarenog šava.

Smičnu silu računamo kao inercijsku centrifugalnu silu pri skretanju kolicima u zavoju radijusa 1,5 m pri prosječnoj brzini hoda od 6 km/h.

Naprezanje na savijanje:

$$\sigma_{\perp f} = \frac{M}{I_{zav}} z \quad (7)$$

Gdje je:

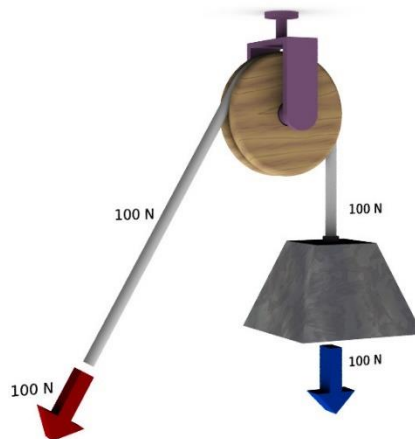
- $\sigma_{\perp f}$  [ N/mm<sup>2</sup> ] naprezanje uzrokovano savijanjem u zavarenom šavu,
- $M$  [ N mm ] moment savijanja na površini šava,
- $I_{zav}$  [ mm<sup>2</sup> ] moment tromosti površine šava,
- $z$  [ mm ] okomita udaljenost na sredinu presjeka osovine.

Ekvivalentno (reducirano) naprezanje:

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_{\perp v,t} + \sigma_{\perp f})^2 + 2 \tau_{||}^2}. \quad (8)$$

### 2.3 MEHANIZAM PODIZANJA I SPUŠTANJA

Za mehanizam podizanja i spuštanja koristimo klasične dvije koloture za promjenu smjera sila. Sve to odvija se uz pomoć polimerne pletene trake za terete ( gurtne ) prikladne nosivosti za teret mase 250 kg.

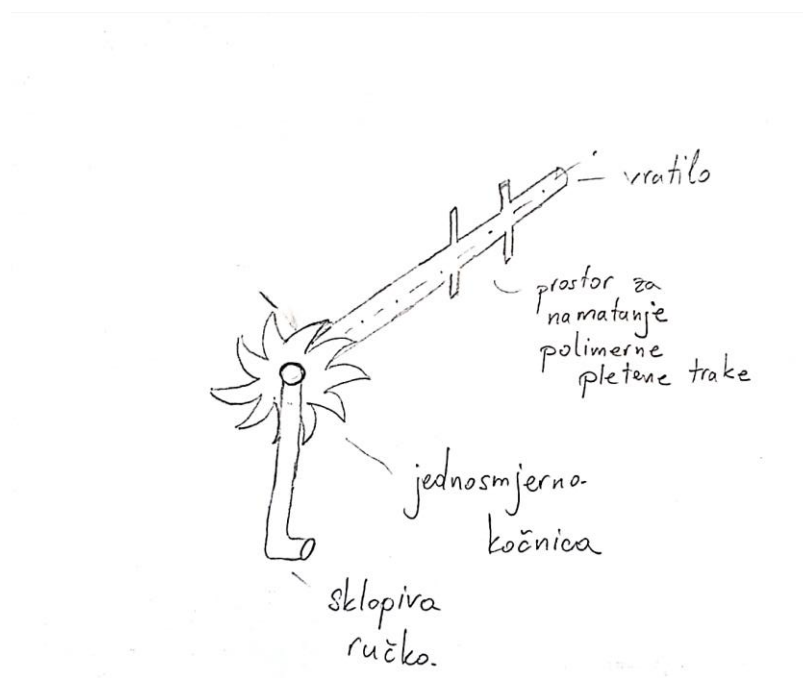


Slika 7. Prikaz mehanizma rada koloture [5]

Kako bismo olakšali čovjeku podizanje teškog tereta moramo konstruirati i ručicu čiji se princip rada temelji na zakonu poluge. Primijenjena sila na jednom kraju poluge i sile kojom se djeluje na drugi kraj odnosit će se kao udaljenost drugog predmeta od točke podupiranja prema udaljenosti od te točke do mjesta primjene sile. [6]

## 2.4 MEHANIZAM JEDNOSMJERNE KOČNICE

Prilikom podizanja i spuštanja također je potrebno osigurati jednostavno, ali i funkcionalno kočenje kako bismo predmet koji dignemo s kolicima na određenu visinu mogli jednostavno prebaciti s njih. Kočnica zbog mora biti stabilna i pouzdana kako ne bi došlo do iznenadnog pada teškog tereta što bi moglo dovesti do ozljeda. Potrebna nam je kočnica za sprječavanje gibanja kako bismo spriječili gibanje u oba smjera. Ona se koristi za pridržavanje tereta u stanju mirovanja. Na slici 8 prikazana je skica ideje jednosmjerne kočnice.



Slika 8. Prvotna ideja jednosmjerne kočnice

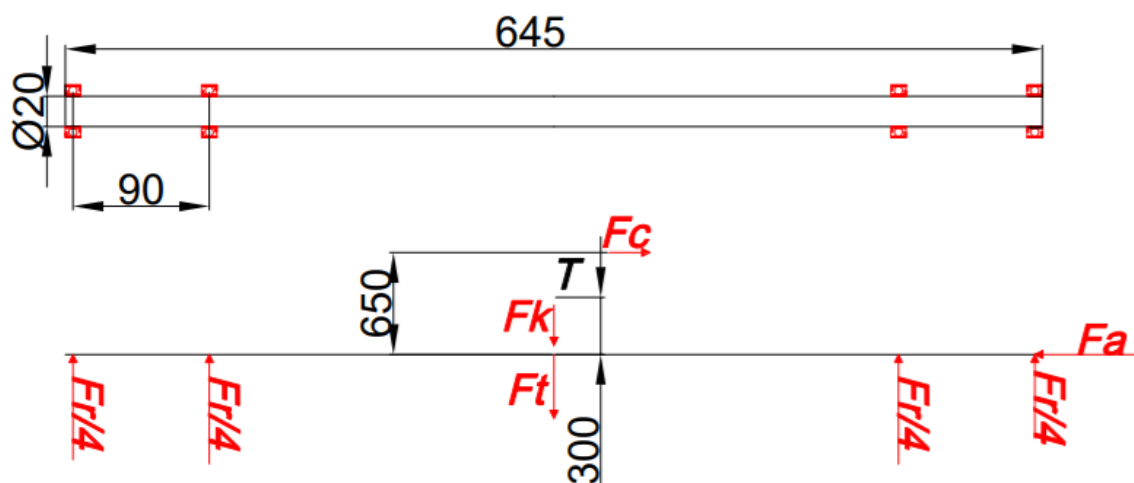
### 3. RAZRADA ZADATKA

Prije izrade 3D modela, ali i fizičke izrade kolica potrebno je proračunati pojedine stvari naknadno opisane te odrediti dimenzije samih kolica. Sve mjere proizvoljno su uzete te provjeravane prema normama i pravilnicima, kako bi se zadovoljili njihovi uvjeti. Nakon toga izrađujemo 3D model čija se veličina podudara sa stvarno izrađenim kolicima.

Početni parametri:

- masa kolica 30 kg,
- masa tereta 250 kg,
- prosječna brzina hoda 1,67 m/s,
- radijus skretanja 1,5 m.

#### 3.1 PRORAČUN LEŽAJA



Slika 9. Pojednostavljen prikaz osovine kotača

- $F_t$  [ N ] težina tereta
- $F_k$  [ N ] težina kolica
- $F_a$  [ N ] aksijalno opterećenje ležaja
- $F_r$  [ N ] poprečno opterećenje ležaja
- $F_c$  [ N ] inercijska centrifugalna sila

Za ležaj je odabran SKF kuglični ležaj 17x35x10, četiri komada prema formuli (4).



Jedan kuglični ležaj preuzima svu aksijalnu silu.

$$\sum F_x = 0$$

$$F_c - F_a = 0$$

$$F_c = F_a = \frac{(m_{kolica} + m_{tereta}) v_{skretanja}^2}{r_{skretanja}} = \frac{(30 + 250) 1,67^2}{1,5}$$

$$F_a = 520,6 \text{ N}$$

Jedan kuglični ležaj preuzima  $\frac{1}{4}$  ukupnog poprečnog opterećenja.

$$\sum F_z = 0$$

$$-F_r + F_t + F_k = 0$$

$$F_r = F_t + F_k = (m_{kolica} + m_{tereta}) g = (30 + 250) 9,81$$

$$F_r = 2746,8 \text{ N}$$

$$\frac{F_r}{4} = 686,7 \text{ N}$$

Dinamičko ekvivalentno opterećenje računamo prema formuli (2). Poprečne i radijalne faktore određujemo iz omjera aksijalne i poprečne sile.

$$\frac{F_a}{F_r} = 0,18$$

Iz tablice 5.12 prema Deckeru, Elementi strojeva, 2006. iščitavamo X i Y.

$$F = X \frac{F_r}{4} + Y F_a = 0,56 \cdot 686,7 + 1,31 \cdot 520,6$$

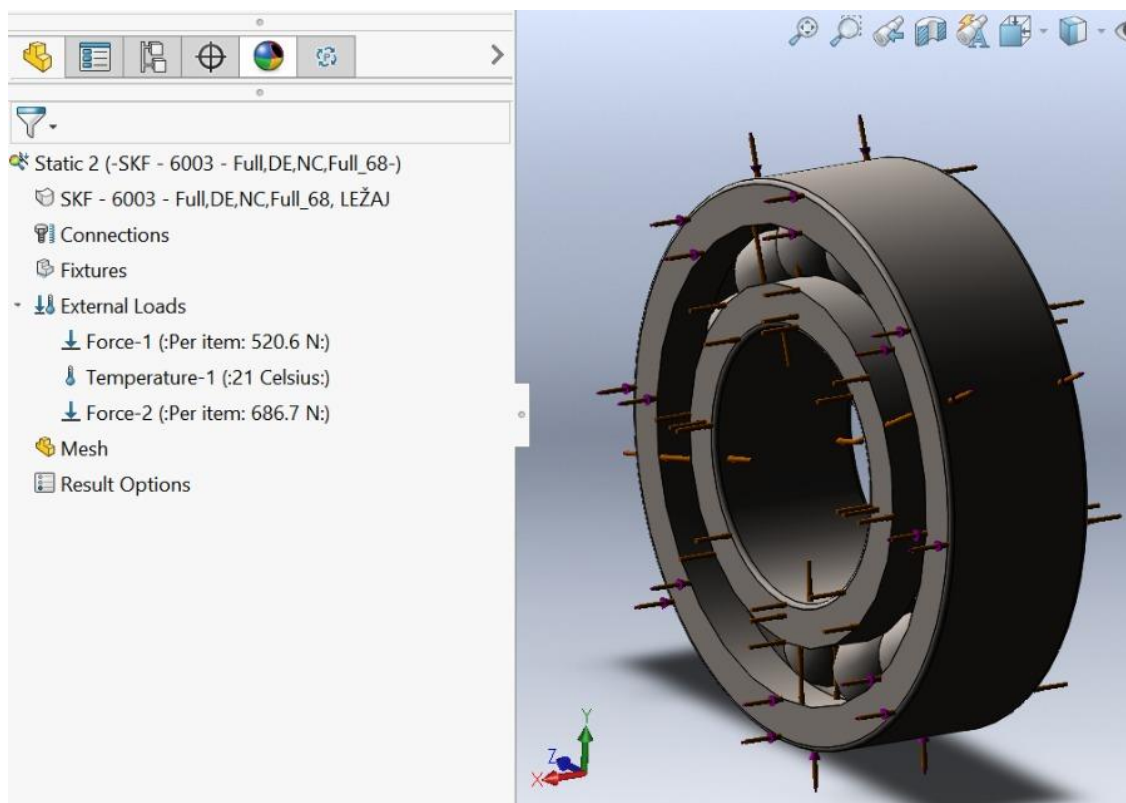
$$F = 1369,25 \text{ N}$$

Kut opterećenja za pojedini ležaj računa se prema formuli (4) iz čega dobivamo:

$$\tan \beta = \frac{F_a}{F_r} = \frac{520,6}{686,7} = 0,76$$

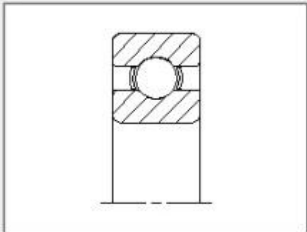
$$\beta = 37^\circ$$

Nakon određivanja opterećenja u ležajevima pomoću programa Solidworks 2017 simuliramo vijek trajanja i moguć broj okretaja navedenog kugličnog ležaja. Za pouzdanost ležaja uzimamo 90 %.



Slika 10. Model ležaja (Solidworks 2017)

Bearing Calculator - 6003 Radial Ball Bearing



Reliability:

Capacity:  Calculated  Rated

Bore:  mm

OD:  mm

# Balls:

Ball Diameter:  mm

Capacity:  N

Units:  US  SI

SKF

Radial Ball Bearing

- 6301
- 61802
- 61902
- 16002
- 6002
- 6202
- 6302
- 61803
- 61903
- 16003
- 6003

Load: Equivalent Load  N

Basic Life: Life in Revs  X 10<sup>6</sup> Revs

Speed:  r/min

Life in hours:  hrs

Slika 11. Rezultati simulacije

Iz simulacije zaključujemo kako naš ležaj može podnijeti  $237,7 \cdot 10^6$  okretaja, što je ukupno oko 60 023 sati rada. Ako uzmemo u obzir prosječnu brzinu hoda čovjeka od 6 km/h kolica će ukupno prevaliti put dugačak 360 138 km.

### 3.2 PRORAČUN ZAVARENOG SPOJA OSOVINE

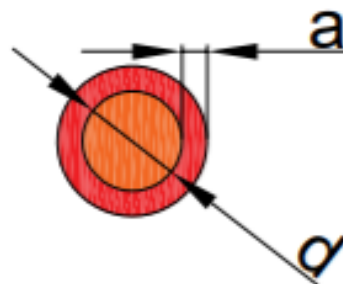
Osovina je napravljena od pune cijevi stoga proračunavamo kutni kružni zavareni spoj.



Slika 12. Kutni kružni zavareni spoj između osovine i zvijezde kotača

Početni parametri:

- $a$  [ mm ] debljina zavarenog spoja;  $a = 5$  mm
- $d$  [ mm ] promjer cijevi;  $d = 20$  mm



Slika 13. Presjek cijevi osovine sa zavarenim spojem

Ukupnu površinu zavarenog spoja računamo prema sljedećoj formuli:

$$\Sigma(a l) = a (d + a)\pi = 392,7 \text{ mm}^2.$$

Normalno vlačno naprezanje u zavarenom spoju posljedica je djelovanja težine tereta te ju računamo prema formuli (5) :

$$\sigma_{\perp v,t} = \frac{F}{\sum(a \cdot l)} = \frac{F_t + F_k}{a \cdot (d + a) \cdot \pi}$$

$$\sigma_{\perp v,t} = \frac{(250 + 30) \cdot 9,81}{392,7}$$

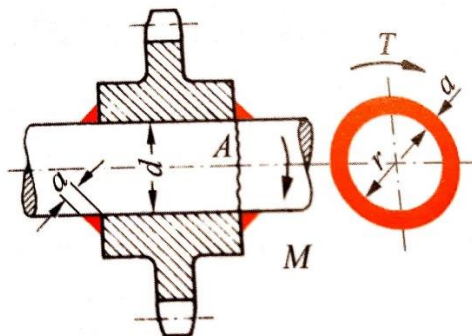
$$\sigma_{\perp v,t} = 7 \text{ N/mm}^2$$

Smično naprezanje kod osovine kotača javlja se kod skretanja kolicima prema ranije navedenim početnim parametrima. Iz formule (6) dobivamo:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{\sum(a l)} = \frac{F_C}{a (d + a) \pi}$$

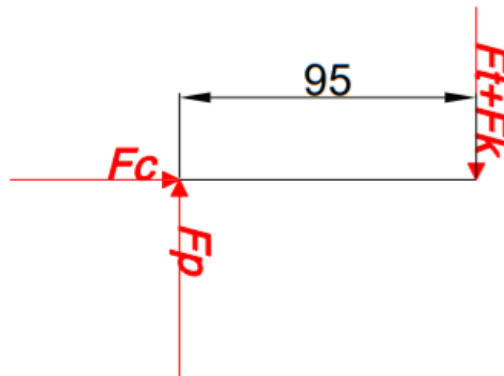
$$\tau_{\parallel} = \frac{(30 + 250) \cdot 1,67^2}{392,7}$$

$$\tau_{\parallel} = 1,33 \text{ N/mm}^2$$



Slika 14. Smično opterećen zavareni priključak [4]

Naprezanje na savijanje javlja se zbog djelovanja momenta savijanja na površini zavarenog spoja.



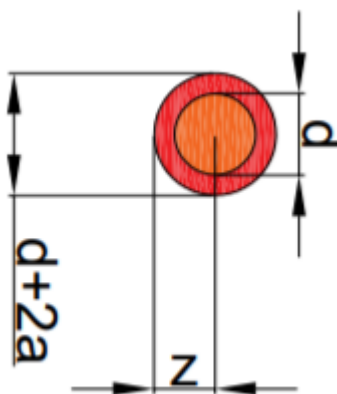
Slika 15. Pojednostavljen prikaz sila na kotač

Ukoliko računamo moment oko lijeve točke dobivamo sljedeću formulu, pri čemu je krak djelovanja momenta u stvarnosti razmak između zvijezda kotača.

$$M = (F_t + F_k) \cdot l_{krak} = ((250 + 30) \cdot 9,81) \cdot 95$$

$$M = 260\,946 \text{ Nmm}$$

Moment tromosti  $I_{zav}$  i okomitu udaljenost na sredinu presjeka osovine  $z$  određujemo uz pomoć slike 23. [7]



Slika 16. Moment tromosti kružnog vijenca

$$I_{zav} = \frac{\pi}{64} [(d + 2a)^4 - d^4]$$

$$I_{zav} = \frac{\pi}{64} [(20 + 2 \cdot 5)^4 - 5^4]$$

$$I_{zav} = 39\,730,1 \text{ mm}^4$$

Prema slici 23 okomita udaljenost na sredinu presjeka osovine z računamo prema:

$$z = \frac{d + 2a}{2} = \frac{20 + 2 \cdot 5}{2}$$

$$z = 15 \text{ mm.}$$

Nakon izračuna svih nepoznanica za računanje napreznja savijanja dobivamo iz (7) :

$$\sigma_{\perp f} = \frac{M}{I_{zav}} \cdot z = \frac{260\,946}{39\,730,1} \cdot 15$$

$$\sigma_{\perp f} = 98,52 \text{ N/mm}^2.$$

Djeluje li na nekom presjeku zavarenog spoja istodobno vlačna napreznja i napreznje na savijanje treba ih oduzeti ili zbrojiti ovisno o njihovom usmjerenju koji zajedno sa smičnim napreznjem čine ekvivalentno ili reducirano napreznje. [4] Prema formuli (8) dobivamo:

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_{\perp v,t} + \sigma_{\perp f})^2 + 2 \cdot \tau_{||}^2}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{(7 + 98,52)^2 + 2 \cdot 1,33^2}$$

$$\sigma_{red} = 105,54 \text{ N/mm}^2$$

Za provjeru sigurnosti zavarenog spoja koristimo sliku 17 te iščitavamo dopuštena napreznja. Radi se dakle o čeliku St 37 pri opterećenju uzrokovanim stalnim teretima (vlastita težina i slobodne sile inercije).

Čelični nosači DIN 4109			Dijelovi od			
			St 37 (Č 0361)		St 52 (Č 0560)	
Zavar	Kvaliteta	Napreznje	Opterećenje			
			H	HZ	H	HZ
1. Čelni zavar	Svaka	Tlak i savojni tlak	160	180	240	270
2. K-zavar dvostruki kutni (provareni korijen)	Dokazano da nema pukotina i pogrješaka u korijenu	Tlak i savojni tlak okomito na smjer šava				
3. Plitki K-zavar dvostruki kutni <sup>1)</sup>						
4. Polu V kutni zavar sa zavarenim korijenom na suprotnoj strani	Nije dokazano		135	150	170	190
5. Polu V-zavar sa zavarenim koljenom	Svaka	Tlak i savojni tlak, vlak i savojni vlak, ekvivalentno napreznje jednadžba I.13.	135	150	170	190
6. Kutni zavar						
7. Svi zavari	Svaka	Smik	135	150	170	190

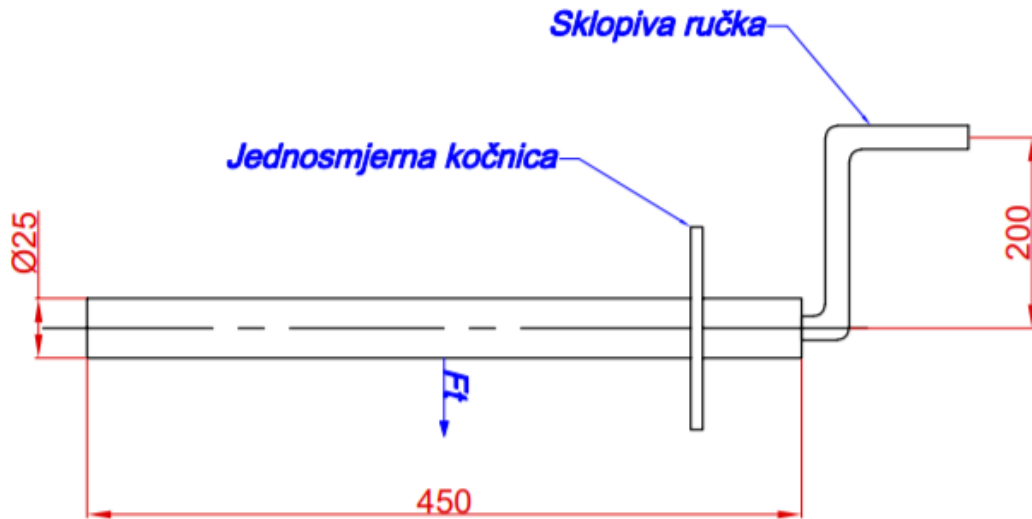
Slika 17. Dopuštena napreznja za zavarene šavove [4]

Iz tablice zaključujemo kako je  $\sigma_{dop} \geq \sigma_{red}$  te je naš zavareni spoj siguran s faktorom sigurnosti [8] :

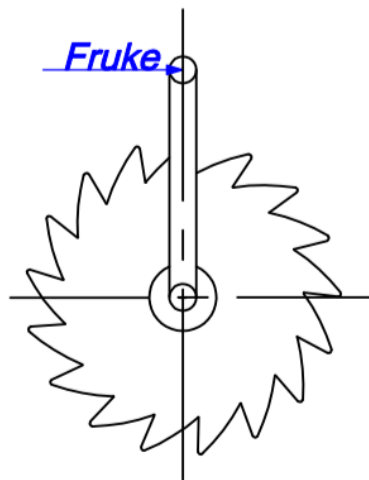
$$s = \frac{\sigma_{dop}}{\sigma_{red}} = \frac{135}{105,54} = 1,3.$$



## 3.3 PRORAČUN SILE U RUCI



Slika 18. Pojednostavljen prikaz vratila s kočnicom



Slika 19. Bokocrt slike 18; djelovanje sile ruke na sklopivu ručicu

Teret mase 250 kg teško je samostalno dignuti, stoga je potrebno osigurati mehanizam koji olakšava rad čovjeku, ali pritom i zadovoljiti Pravilnik o zaštiti na radu pri ručnom prenošenju tereta. Djelovanjem ruke na sklopivu ručku gurtna se namata oko vratila. Korištenjem zakona poluge koji će biti u nastavku teksta i numerički primijenjen osiguravamo sigurnost rada. Ručica je također sklopiva kako ne bi ometala čovjeka prilikom vožnje kolica ili prilikom podizanja tereta.

Numerički primijenjen zakon poluge:

$$F_t \cdot \frac{25}{2} = F_{ruke} \cdot 200$$

$$F_{ruke} = (250 \cdot 9,81) \frac{\frac{25}{2}}{200}$$

$$F_{ruke} = 153,3 \text{ N}$$

Ovim dokazom zaključujemo kako čovjek djeluje silom koja je ekvivalentna podizanju 16 kg kako bi podignuo teret mase 250 kg što značajno olakšava sami rad, ali i zadovoljava ranije navedeni pravilnik, ali samo za muškarce svih dobnih skupina iz čega zaključujemo kako navedena kolica mogu koristiti samo muškarci. [9]

#### NAJVEĆA DOZVOLJENA MASA TERETA (U KG) GLEDE NA SPOL I DOB RADNIKA

Dob	Muškarci	Žene
15 do 19 godina	35	13
od 19 do 45 godina	50	15
iznad 45 godina	45	13
Trudnice		5

Slika 20. Izvadak iz Pravilnika o zaštiti na radu pri ručnom prenošenju teretom [9]

#### 4. IZRADA RUČNIH KOLICA

Nakon proračuna najvažnijih dijelova potrebno je odrediti dimenzije ostalih dijelova ručnih kolica kako bi se zadovoljili pojedini kriteriji. U programu Solidworks 2017 postepeno se izrađuju svi dijelovi kolica te se međusobno povezuju. Sama kolica iako se čine jednostavna imaju dosta dijelova i komponenti. Prilikom izrade koriste se standardne cijevi i limovi radi lakše dostupnosti materijala u željezarama, ali i jeftinije cijene. [10] Zbog vlastitih mogućnosti izrađujem kolica i fizički u proizvodnom centru.

Pneumatski kotači su odličan izbor jer osiguravaju transport kolica na svim vrstama podloga. Od trave, zemlje, šljunka, betona, ... Najjeftinije je nabaviti 6 gotovih kotača standardnih dimenzija dostupnih u trgovini s građevinskim materijalima. U našem slučaju koristimo 6 kotača kako bi se omogućio transport tereta preko stepenica i rubnjaka te sličnih zapreka.



Slika 21. Pneumatski kotač nosivosti 136 kg (Solidworks 2017)  
 $\Phi 250$ , debljine 80 mm

Za povezivanje kotača pomoću vodenog mlaza oblikujemo četiri zvijezde, po dvije sa svake strane, od lima standardne debljine 3 mm. Prije izrezivanja izrađujemo model od kartona kako bismo utvrdili razmak između kotača te se osigurali da ona mogu jednostavno prijeći zapreke visine 30 cm.

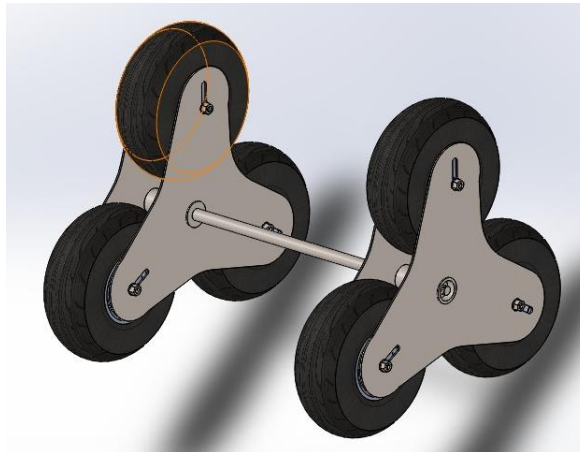


Slika 22. Postupak izrezivanja zvijezda pomoću vodenog mlaza



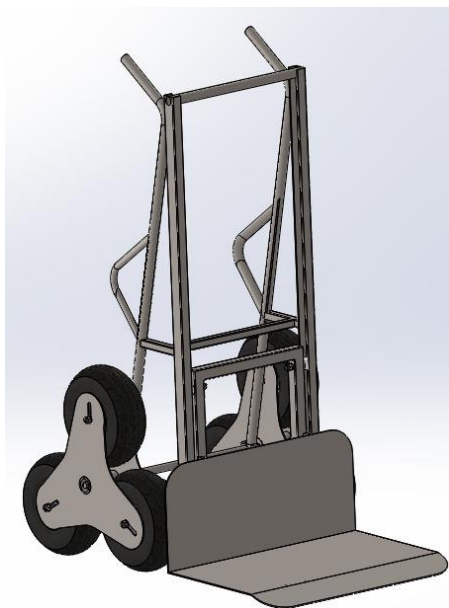
Slika 23. Postupak spajanja kotača i zvijezda

Nakon izrade zvijezda i nabave kotača pomoću standardnih vijaka i podloška spajaju se svi dijelovi te se dobiva temelj svakih kolica tj. sklop pomoću kojeg osiguravamo kretanje kolica.



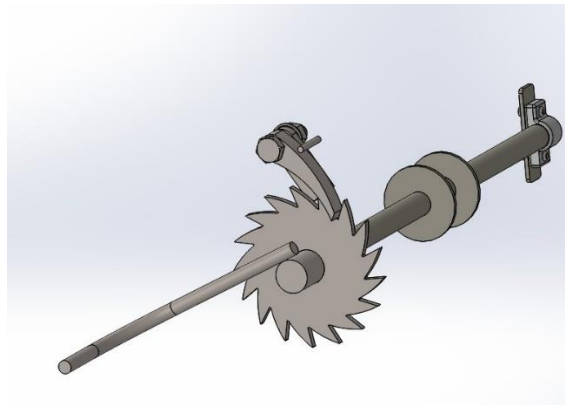
Slika 24. Mehanizam kretanja kolica (sklop, Solidworks 2017)

Nastavno na mehanizam kretanja konstruiramo samu konstrukciju kolica zajedno s ručkama, vodilicom te limom za nalijeganje tereta. Za konstrukciju koristimo standardne čelične cijevi,  $\Phi 250$  debljine stijenke 2 mm. Vodilica je izrađena iz lima debljine 3 mm koji se savija na preši u U-profil kako bi kroz njega išli plastični kotačići. Na plastične kotačiće pomoću vijaka povezujemo okvir na kojem se nalazi lim za nalijeganje tereta.

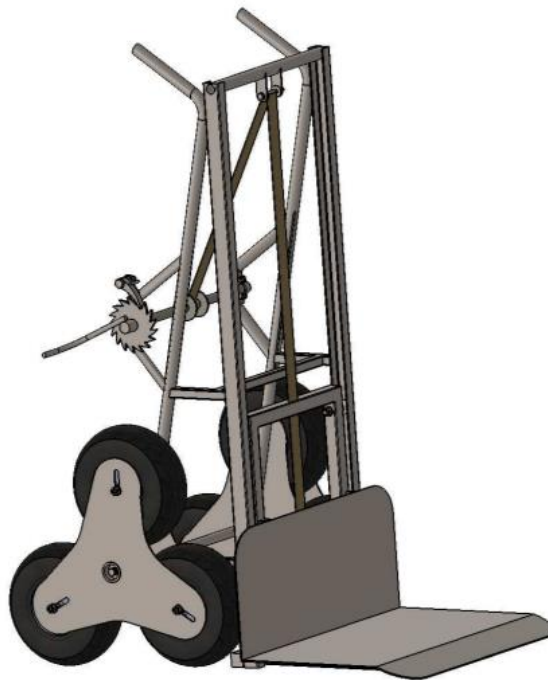


Slika 25. Faza izrade 3D modela ručnih kolica (sklop, Solidworks 2017)

Nakon izrade same konstrukcije potrebno je osigurati podizanje okvira i lima za nalijeganje tereta pomoću mehanizma kolotura i jednosmjerne kočnice. Pomoću ručice osiguravamo da čovjek smanji silu djelovanja kako bi što lakše podigao teški teret, ali i kako bi se zadovoljile pojedine norme za sprječavanje fizičkog preopterećenja. Nastavno na nju nailazimo na koloturu koja svojom rotacijom namata gurtu oko vratila te na taj način podiže ili spušta teret. U mehanizmu kolotura koristimo gurtu odgovarajuće nosivosti (više od 250 kg).



Slika 26. Mehanizam podizanja i spuštanja s jednosmjernom kočnicom



Slika 27. U potpunosti izrađen 3D model ručnih kolica (Solidworks 2017)



Slika 28. Fizički izrađena ručna kolica za prijevoz tereta do 250 kg



Slika 29. Podizanje tereta uz pridržavanje kočnicom



## 5. ERGONOMIJA RUČNIH KOLICA

Ručna kolica su važan alat u svim ljudskim djelatnostima stoga je potrebno osigurati što lakše i sigurnije korištenje. Europska Unija je uvidjela značaj zaštite radnika stoga je već 1990. donijela Direktivu 90/269/EEZ o minimumu zdravstvenih i sigurnosnih zahtjeva za zaštitu radnika od opasnosti pri ručnom rukovanju teretom. [11]

Kako bi se procijenio rizik rada potrebno je dobro poznavati samu aktivnost. Potrebno je znati trajanje rada, težinu tereta, položaj tijela te uvjete rada. Sve to navodi nas do zaključka jesmo li osobu fizički preopteretili. Stoga je jako važno prilikom konstrukcije ručnih kolica uzeti u obzir i utjecaj na čovjeka.

Ručke koje čovjek prihvaća trebaju biti određene hrapavosti kako bi se spriječilo klizanje, stoga se same ručke najčešće oblažu dodatnom gumom ili orebrenom plastikom. Materijal konstrukcije kolica treba biti dovoljno čvrst, ali s druge strane i ne prevelike mase kako sama kolica ne bi bila preteška radniku.

Prilikom konstrukcije kolica uzeta je u obzir ručica koja je napravljena kao sklopiva kako ne bi došlo do ometanja radnika prilikom dvije različite aktivnosti, vožnja i namatanje gurtne. Na slici 30 ručica je u prirodnom položaju za namatanje i okomita je na sami okvir kolica što olakšava čovjeku namatanje. Na slici 31 ručica je paralelna okviru kolica te ne smeta čovjeku prilikom vožnje.



Slika 30. Izvedba sklopive ručke - radni položaj (namatanje)









Slika 31. Izvedba sklopive ručke - (vožnja)

Direktiva nalaže kako čovjek prilikom korištenja ručnih kolica mora biti uspravan te prilikom podizanja tereta mora postojati razmak između čovjeka i tereta. Također, radnik mora imati dovoljno prostora za kretanje. Europska Unija na ovaj način prije svega nastoji spriječiti fizičko preopterećenje radnika te očuvati njegovo zdravlje i sigurnost. Poslodavac je dužan osigurati sve mjere i odgovarajuća sredstva te opremu kako bi se što je moguće više smanjila opasnost prilikom prenošenja tereta. Direktiva posebno naglašava ozljede leđa koja nastaju najčešće prilikom nepravilnog rukovanja teškim teretom.

U Republici Hrvatskoj postoji obrazac za procjenu rizika prilikom rukovanja teškim teretom gdje je poseban naglasak stavljen na nadređene osobe koje su dužne kontrolirati radnike i usmjeravati ih na pravilan i siguran rad. Na slici 32 dio je navedenog obrasca, cilj obrasca je prikupiti što je moguće manje bodova jer manje bodova znači manje fizičko opterećenje radnika.

Položaj tijela <sup>1)</sup>		
	Gornji dio tijela je uspravan, nema zakretanja	1
	Gornji dio tijela je lagano nagnut prema naprijed ili je lagano zakrenut (povlačenje u stranu)	2
	Tijelo je nagnuto nisko u smjeru kretanja, Čučanje, klečanje, saginjanje	4
	Istovremeno naginjanje i zakretanje	8

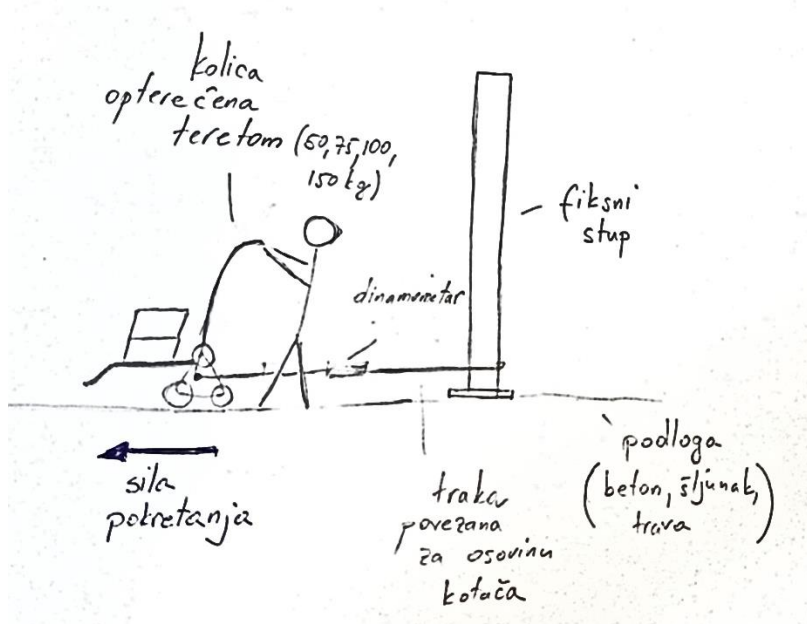
Slika 32. Dio obrasca za procjenu rizika prilikom rukovanja teretom [11]

## 6. ISPITIVANJE IZVEDENIH KOLICA

Kako bismo proveli ispitivanje izvedenih kolica mjerimo najveću silu (peak) kojom djelujemo kako bismo pokrenuli kolica iz stanja mirovanja s odignutom pločom za nalijeganje tereta. Za to nam je potreban dinamometar koji mjeri sile na trima različitim površinama; šljunku, betonu i travi kako bismo ispitali utjecaj površine na samu silu kojom moramo djelovati. Također, te sile mjerimo i pri različitim teretima kojima su opterećena kolica.



Slika 33. Dinamometar za provođenje ispitivanja (max. 500 N  $\pm$  1%)

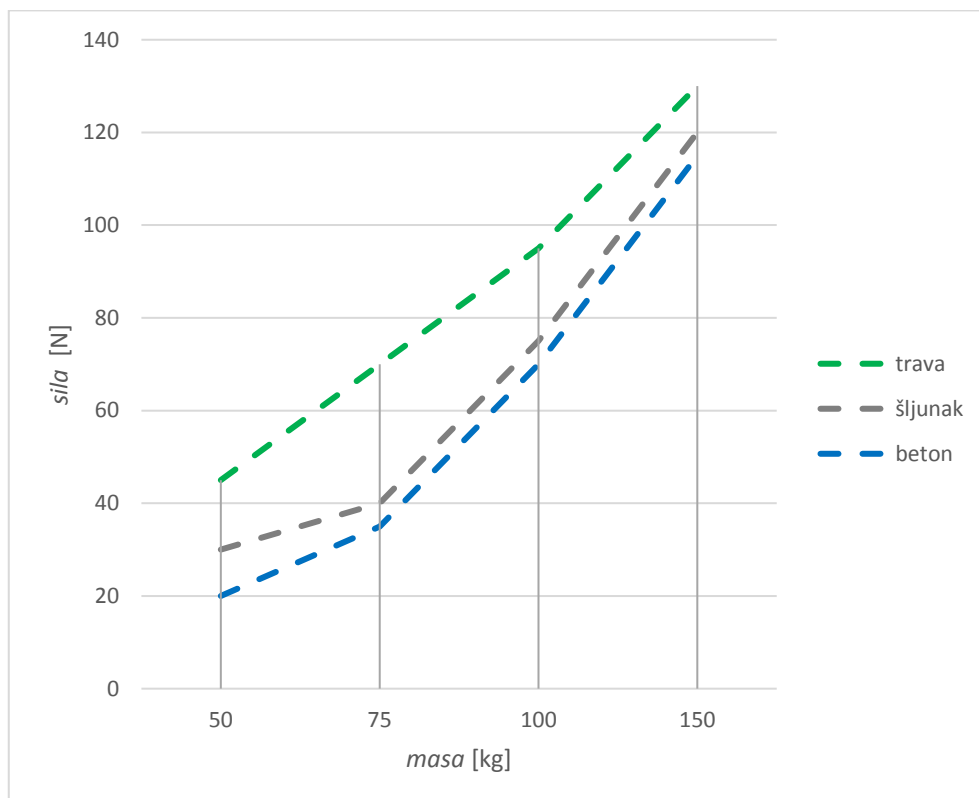


Slika 34. Skica ispitivanja izvedenih kolica



Slika 35. Ispitivanje kolica na betonskoj površini

Samo ispitivanje provodimo više puta prema slici 34 te uzimamo srednje vrijednosti bez decimala. Iz slike 36 uočavamo kako je potrebno djelovati najvećom silom na travi, a najmanjom na betonu što je bilo i za očekivati.



Slika 36. Vrijednosti najveće sile kojom djelujemo kako bismo pokrenuli kolica iz stanja mirovanja na različitim površinama i pri različitim opterećenjima

Nastavno na dobivene rezultate dijelimo dobivenu najveću silu s opterećenjem kako bismo dobili prosječne vrijednosti silom kojom je potrebno djelovati ovisno o opterećenju s izvedenom konstrukcijom. Uočavamo kako je natovarena kolica najlakše pokrenuti na betonu, dok je na travi itekako otežano što je vidljivo iz Tablice 1.

Tablica 1. Prosječne jedinične vrijednosti sile pokretanja kolica

	trava	šljunak	beton
N/kg	0,91	0,67	0,58

## 7. ZAKLJUČAK

Cilj završnog rada je bilo konstruirati ručna kolica za teret mase do 250 kg. Glavna zadaća je bila uravnotežiti čvrstoću konstrukcije kolica i utjecaj na čovjeka. Uvelike mi je u svemu tome pomogla i fizička izrada samih kolica te sam u stvarnom prikazu uočio moguća poboljšanja kako bi se povećala sigurnost prilikom rukovanja. Poboljšanje možemo postići na više načina. Treba biti pažljiviji prilikom odabira materijala same konstrukcije koji mora biti što je moguće lakši, ali s druge strane i dovoljno čvrst. To bi prije svega bile razne aluminijske legure. Također je potrebno povećati razmak između kotača te težište tereta približiti osovini kotača kako bi se smanjio krak, a s time omogućilo lakše pokretanje natovarenih kolica. Najveći problem izvedenih kolica prije svega je bio u samom pokretanju tj. laganom zakretanju kolica prije samog pravocrtnog kretanja što je uzrok same mase kolica.

Uočavam kako je puno teže konstruirati kolica za žene, jer su zahtjevi za njih itekako viši, nego za muškarce, no time sam se uvjerio kako društvo vodi brigu o fizičkom preopterećenju radnika neovisno o spolu, što je jako važan faktor. Razni pravilnici i dokumenti daju glavne smjernice prilikom izrade ergonomičnih kolica što uvelike olakšava sami posao.

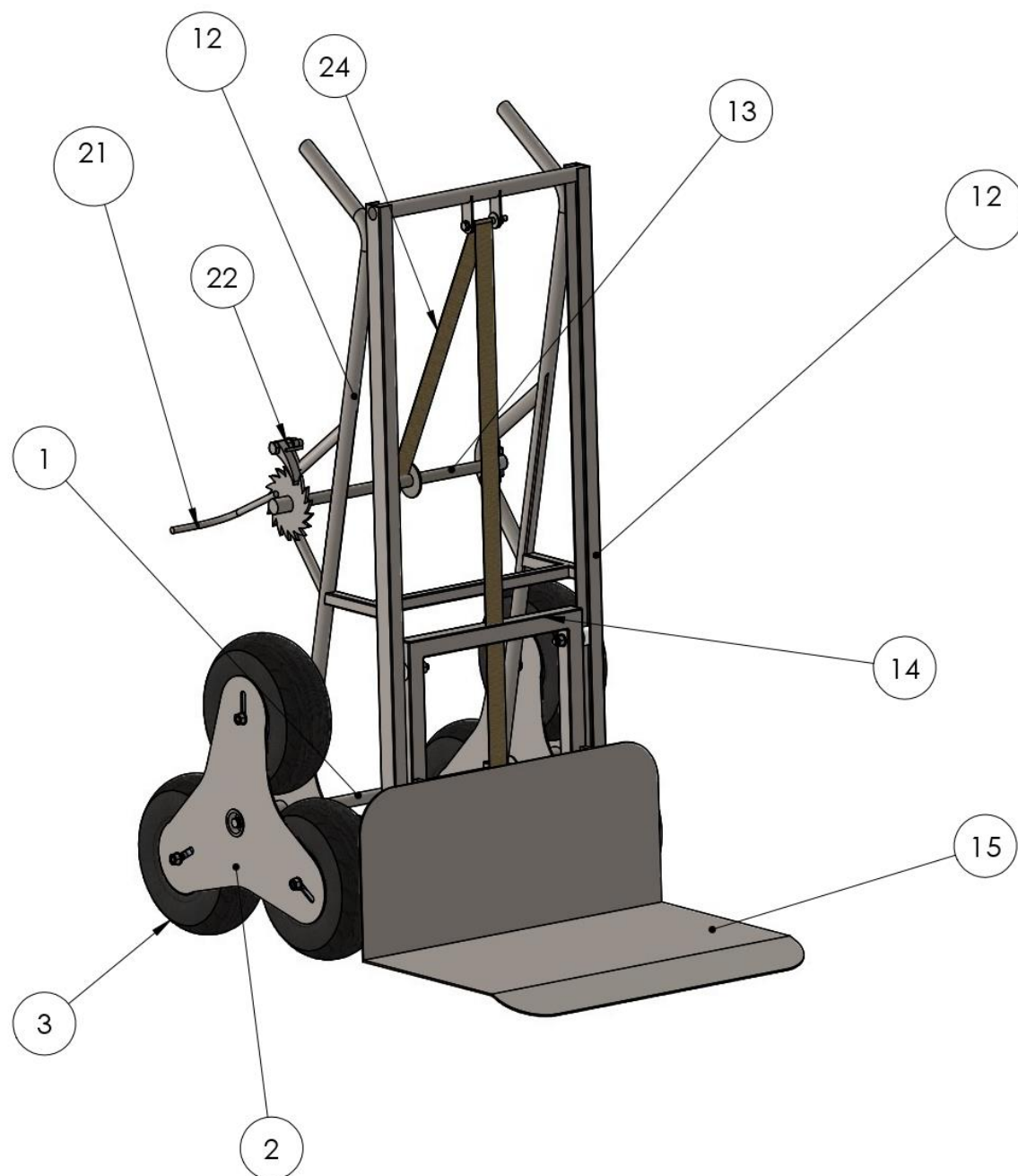
Razvoj što jednostavnijih, što lakših, ali i što je moguće ergonomičnijih ručnih kolica potreban je društvu ukoliko želimo sigurnu industriju, trgovinu ili skladište. Prijevoz tereta je oduvijek bitan faktor u čovjekovom razvoju stoga je potrebno uložiti dodatan napor u razvoj istih.

## 8. LITERATURA

- [1] <https://hr.ert.wiki/wiki/Cart> (28. lipanj 2021.)
- [2] <https://metal-kovis.hr/images/made/slike/rucna-kolica-rudle-klasicna-ht2046-200-kg-3090.jpg> (28. lipanj 2021.)
- [3] <http://www.matmetal-sistem.hr/oprema-za-transport/kolica-sa-mrezastom-kutijom> (28. lipanj 2021.)
- [4] K. H. Decker – Elementi strojeva, 2006. , Golden Marketing
- [5] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kolotura#/media/Datoteka:Polea-simple-fija.jpg> (29. lipanj 2021.)
- [6] Opća i nacionalna enciklopedija u 20 knjiga, Zagreb, 2005. , PRO LEKSIS d.o.o.
- [7] I. Alfirević – Nauka o čvrstoći I, 1995.
- [8] B. Kraut – Strojarski priručnik , Zagreb 1988.
- [9] [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2005\\_04\\_42\\_818.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2005_04_42_818.html) (7. srpanj 2021. )
- [10] <https://strojopromet.com/katalozi/> (29. lipanj 2021.)
- [11] <mailto:http://www.hzzsr.hr/wp-content/uploads/2016/11/Ru%C4%8Dno-rukovanje-teretom.pdf> ( 29. lipanj 2021. )

## **9. PRILOZI**

1. 3D model ručnih kolica za terete do 250 kg (Solidworks 2017)



BR. DIJELA	NAZIV	MATERIJAL	KOL.
1	Osovina za kotače	S235JR	1
2	Zvijezde kotača	S235JR	4
3	Kotači	Guma	6
4	Vijak ISO 4033 - M16 - W - N		2
5	Navojna šipka M10		6
6	Podloška ISO 7090 - 10		12
7	Podloška ISO 7090 - 5		4
8	Podloška ISO 7090 - 8		2
9	Podloška ISO 7090 - 12		1
10	Vijak ISO - 4034 - M10 - N		12
11	Vijak ISO - 4034 - M12 - N		1
12	Okvir kolica	S235JR	1
13	Vratilo za namatanje	S235JR	1
14	Okvir mehanizma podizanja	S235JR	1
15	Lim za podizanje	S235JR	1
16	Vijak ISO 7380 - M4 x 16 - 16C		4
17	Vijak ISO - 4032 - M4 - W - N		4
18	Vijak ISO - 4032 - M8 - W - N		1
19	Sklopiva ručka	S235JR	1
20	Vijak ISO 8765 - M8x1.0 x 80 x 22-C		1
21	Jednosmjerna kočnica	S235JR	1
22	Držać mehanizma podizanja	S235JR	1
23	Vijak ISO 4014 - M12 x 50 x 30-C		1
24	Polimerna traka	Polimer	1

Mjerilo:	Datum: 17.7.2021.	Ime i prezime: Antun Radečić	VELEUČILIŠTE U KARLOVCU Strojarski Odjel
Pozicija:	Sklopni crtež (broj): 1		Materijal:
Broj crteža: 1		Naziv dijela: 3D model ručnih kolica za terete do 250 kg	