

UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
MAŠINSKI FAKULTET

Zorana Mijić

RAZVOJ TROTINETA

Završni rad – II ciklusa studija

Banja Luka, mart 2025.



UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
UNIVERSITY OF BANJA LUKA



MAŠINSKI FAKULTET U BANJOJ LUCI
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Zorana Mijić

RAZVOJ TROTINETA

Završni rad – II ciklusa studija

Mentor:

Prof. dr Milan Tica

Banja Luka, mart 2025.

Komisija za odbranu rada:

1. Dr Dejan Jeremić, vanredni profesor, predsjednik
2. Dr Milan Tica, redovni profesor, mentor
3. Dr Tihomir Mačkić, docent, član

Datum odbrane: 31.04.2025.

Šadržaj

Popis slika	8
Popis tabela.....	10
Popis oznaka	11
1. Uvod	12
1.1 Istorijski razvoj	12
1.2 Analiza postojećih konstrukcionih rješenja dijelova električnog trotineta	15
1.2.1 Platforma	16
1.2.2 Kočnice	16
1.2.3 Viljuška	18
1.2.4 Mehanizam za upravljanje	18
1.2.5 Upravljač	19
1.2.6 Kompresioni zavrtanj.....	19
1.2.7 Gume.....	20
1.2.8 Baterije	21
1.2.9 Motor	23
2. Analiza tržišta	25
2.1 Scotex H20 eKFV (SXT)	25
2.2 Rover (Cycleboard)	26
2.3 X-Quad 3000 (Cycleboard).....	28
2.4 KickScooter GT2P (Segway)	29
2.5 Xiaomi Mi Pro 2 (Xiaomi)	30
3. Definisanje konstrukcionog zadatka.....	32
4. Koncipiranje idejnog rješenja	35
5. Struktura funkcija	36
6. Varijantna rješenja – izbor optimalne varijante	38
6.1 Formiranje varijantnih rješenja	38
7. Prethodni proračun i modeliranje	42
7.1 Modeliranje tijela trotineta	42
7.1.1 Modeliranje platforme	43
7.1.2 Modeliranje prednjeg upravljačkog sklopa	43

7.1.3 Modeliranje prednjeg točka	44
7.1.4 Modeliranje zadnjeg točka	45
7.1.5 Montaža	45
7.2 Proračun električnog trotineta	47
7.2.1 Proračun mašinskih elemenata	47
7.2.2 Određivanje potrebne snage motora	52
7.2.3 Određivanje dometa električnog trotineta	53
7.2.4 Proračun nosivosti električnog trotineta	53
8. Optimizacija konstrukcije i simulacija	58
8.1 Topološka optimizacija platforme	59
8.1.1 Naponsko deformaciona analiza optimiziranog sklopa	62
8.2 Parametarska optimizacija platforme električnog trotineta	63
9. Zaključak	65
10. Literatura	66
Prilozi	69

RAZVOJ TROTINETA

Mentor: dr Milan Tica, redovni profesor, Mašinski fakultet u Banjoj Luci.

Naslov master rada: Razvoj trotineta.

Rezime:

S obzirom na globalni trend razvoja električnih vozila, električni trotinet je zgodno rješenje sa pristupačnom cijenom za prelaz kratkih destinacija. U ovom radu prikazan je postupak konstruisanja i optimizacije električnog trotineta, koji zadovoljava postavljene tehničke i ekonomske ciljeve.

U sklopu razvoja urađeno sljedeće:

- analiza tržišta postojećih konstrukcionih rješenja,
- precizno definisanje konstrukcionog zadatka i određivanje svih željenih karakteristika,
- koncipirano je idejno rješenje i odrađena analiza strukture funkcija,
- formirana su varijantna rješenja,
- izvršen je izbor optimalne varijante,
- izvršeno je modeliranje i proračun,
- optimizirana je konstrukcija,
- rad ključnih funkcija projektovanog sistema je provjeren simulacijom.

Ključne riječi: električni trotinet, projektovanje, simulacija, optimizacija, analiza tržišta, razvoj proizvoda.

Naučna oblast: Mašinske konstrukcije

Naučno polje: Mašinstvo

Klasifikaciona oznaka:

Tip odabrane licence Kreativne zajednice: Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND).

DEVELOPMENT OF SCOOTERS

Mentor: PhD, Milan Tica, professor, Faculty of Mechanical Engineering Banja Luka

Master's thesis title: Development of scooters

Abstract:

In light of the global shift towards the development of electric vehicles, the electric scooter is a convenient solution with an affordable price useful for traveling short distances. This paper describes the proces of designing and optimizing an electric scooter, which fulfills the set technical and economic goals.

While developing the scooter, the following was done:

- product research of existing design solutions,
- precise description of the design task and the deduction of all desired characteristics,
- a conceptual solution was conceived and a function structure analysis was carried out,
- variant solutions were formed,
- optimal variant solution was chosen,
- product modeling and calculations were performed,
- the initial design was optimized,
- the key functions of the designed product were verified by simulation.

Key words: electric scooter, design, simulation, optimization, product research, product development.

Scientific field: Mechanical Design

Scientific field: Mechanical Engineering

Classification code:

Type of Creative Community license: Authorship - no modification (CC BY-ND).

Popis slika

Slika 1. Velociped proizveden 1868. godine [2].

Slika 2. Autoped – prvi motorizovani trotinet [2].

Slika 3. Motorizovani trotinet *Go-ped* [2].

Slika 4. Trotinet kompanije *Razor* iz 1990. godine [2].

Slika 5. Električni trotineti proizvođača *Cycleboard* sa: a) tri točka i b) četiri točka [4].

Slika 6. Platforma trotineta [5].

Slika 7. Mehaničke kočnice – nožna kočnica.

Slika 8. Mehaničke kočnice – bubanj kočnica [6].

Slika 9. Mehaničke kočnice – disk kočnica.

Slika 10. Viljuške na trotinetima [5].

Slika 11. Sastavni dijelovi mehanizma za upravljanje [7].

Slika 12. Upravljač trotineta [7].

Slika 13. Sastavni dijelovi trotineta: 1 - upravljač, 2 – kompresioni zavrtanj, 3 - čep , 4 - stezaljka, 5 - C prsten , 6 - viljuška , 7 - platforma [8].

Slika 14. Tipovi guma koji se najčešće mogu pronaći na električnim trotinetima: a) pneumatske gume bez crijeva, b) pneumatske gume sa crijevom, c) čvrste gume [9].

Slika 15. Položaj baterije kod električnih trotineta [13].

Slika 16. HUB motor električnog trotineta [13].

Slika 17. Mid-drive motor sa zupčastim remenom na električnom trotinetu [15].

Slika 18. Električni trotinet model *Scotex H20 eKFV* proizvođača *SXT* [16].

Slika 19. Električni trotinet model *Rover* proizvođača *Cycleboard* [4].

Slika 20. Električni trotinet *X-Quad 3000* proizvođača *Cycleboard* [4].

Slika 21. Električni trotinet *KickScooter GT2P* proizvođača *Segway* [17].

Slika 22. Slika 22. Električni trotinet model *Xiaomi Mi PRO 2* [13].

Slika 23. Dijagram odnosa cijene i kvaliteta.

Slika 24. Zastupljenost električnih vozila na dva i tri točka na globalnom tržištu [20].

Slika 25. Blok šema koncepta za formiranje idejnog rješenja [23].

Slika 26. Funkcionalni spektar električnog trotineta.

Slika 27. Prikaz odabranih varijantnih rješenja.

Slika 28. Modelirana platforma trotineta.

Slika 29. Model prednjeg upravljačkog sklopa.

Slika 30. Model prednjeg točka.

Slika 31. Model zadnjeg točka.

Slika 32. Sklop električnog trotineta.

Slika 33. a) Povezivanje viljuške sa ostatkom upravljačkog sklopa, b) povezivanje prednjeg upravljačkog sklopa sa platformom.

Slika 34. Povezivanje sklopa zadnjeg točka sa sklopom platforme.

Slika 35. Grafički prikaz opterećenja na osovini zadnjeg točka.

Slika 36. Smicajna poprečno opterećena zavrtanjska veza između vijka, ploče platforme i osovine zadnjeg točka.

Slika 37. Grafički prikaz opterećenja na osovini mehanizma za upravljanje.

Slika 38. Pravac djelovanja opterećenja na ležajeve u mehanizmu za upravljanje.

Slika 39. Raspodjela opterećenja na ležajevima u zadnjem točku električnog trotineta.

Slika 40. Prikaz opterećenja i ograničenja platforme u modulu za simulacije unutar programa *SolidWorks*.

Slika 41. Parametri podešavanja mreže unutar modula za simulacije.

Slika 42. Prikaz naponskog stanja i stepena sigurnosti platforme nakon simulacije.

Slika 43. Maksimalna pomjeranja platforme nakon simulacije.

Slika 44. Rezonantne frekvencije modela trotineta.

Slika 45. Vrijednost rezultantne sile koja djeluje na pravougaonu cijev.

Slika 46. Vrijednost rezultantne sile koja djeluje na okruglu cijev platforme.

Slika 47. Vrijednost rezultantnih sila koje djeluju na oslonu ploču platforme.

Slika 48. Prikaz opterećenja i ograničenja ploče platforme prilikom topološke optimizacije.

Slika 49. Prikaz rezultata topološke optimizacije ploče platforme unutar programa *SolidWorks*.

Slika 50. Rezultat topološke optimizacije pravougaone cijevi platforme unutar programa *SolidWorks*.

Slika 51. Uporedni prikaz mreže optimiziranog početnog modela i modela pravougaone cijevi nakon isjecanja.

Slika 52. Prikaz naponskog stanja i stepena sigurnosti sklopa optimiziranog pomoću topološke optimizacije.

Slika 53. Prikaz ugiba sklopa nakon topološke optimizacije.

Slika 54. Varijable, ograničenja i ciljevi parametarske optimizacije.

Slika 55. Podešavanja parametarske optimizacije i prikaz optimalnog rezultata.

Popis tabela

Tabela 1. Prednosti i mane pneumatskih, bezvazdušnih i čvrstih guma [9].

Tabela 2. Tehničke karakteristike modela *Scotex H20 eKFV* [16].

Tabela 3. Tehnički kriterijumi električnih trotineta *H10 eKFV* i *H20 eKFV* [16].

Tabela 4. Tehničke karakteristike modela *Rover* [4].

Tabela 5. Tehničke karakteristike modela *X-Quad 3000* [4].

Tabela 6. Tehničke karakteristike modela *KickScooter GT2P* [17].

Tabela 7. Tehničke karakteristike modela *Xiaomi Mi PRO 2* [13].

Tabela 8. Lista zahtjeva novog mašinskog sistema – električnog trotineta.

Tabela 9. Tehničke karakteristike novog mašinskog sistema – električnog trotineta.

Tabela 10. Funkcije električnog trotineta.

Tabela 11. Tabela odlučivanja izvršilaca funkcija.

Tabela 12. Tehnički i ekonomski kriterijumi za definisane varijante električnog trotineta.

Tabela 13. Parametri konstrukcije električnih trotineta [26].

Popis oznaka

σ_s	Napon savijanja osovine	[N/mm ²]
M	Moment savijanja osovine	[Nmm]
W	Aksijalni moment otpora poprečnog presjeka osovine	[mm ³]
σ_{fdoz}	Dozvoljeni napon u odnosu na savijanje osovine	[N/mm ²]
σ_{fkr}	Kritična vrijednost napona u odnosu na savijanje osovine	[N/mm ²]
S	Stepen sigurnosti	-
σ_{Df}	Trajna dinamička izdržljivost u odnosu na savijanje	[N/mm ²]
K	Faktor koji uzima u obzir koncentraciju napona i ostale uticaje na dinamičku izdržljivost	-
τ	Srednji tangencijalni napon smicanja osovine	[N/mm ²]
F_s	Sila smicanja zavrtnja	[N]
i	Broj presjeka zavrtnja izloženih smicanju, koji je jednak broju parova dodirnih površina spojenih dijelova	-
A	Poprečni presjek stabla zavrtnja	[mm ²]
D_2	Prečnik stabla zavrtnja bez navoja	[mm]
τ_{doz}	Dozvoljeni napon smicanja	[N/mm ²]
p	Površinski pritisak na dodirnim površinama stabla zavrtnja i spojenih dijelova	[bar]
D_o	Prečnik otvora	[mm]
s	Debljina lima	[mm]
p_{doz}	Dozvoljeni površinski pritisak dijelova u dodiru	[bar]
R_e	Granica tečenja	[N/mm ²]
R_m	Zatezna čvrstoća	[N/mm ²]
d_s	Spoljašnji prečnik osovine u obliku cijevi	[mm]
d_u	Unutrašnji prečnik osovine u obliku cijevi	[mm]
L	Dužina osovine	[mm]
σ_z	Napon od zatezanja (pritiska)	[N/mm ²]
F_a	Aksijalna sila	[N]
σ_d	Dozvoljeni napon od zatezanja	[N/mm ²]
$R_{p0.2}$	Konvencionalna granica tečenja materijala	[N/mm ²]
S_0	Faktor statičke sigurnosti ležaja	-
C_0	Statička nosivost ležaja	
P_0	Ekvivalentno statičko opterećenje	[N]
f_0	Faktor proračuna ležaja	-
F_r	Radikalna sila	[N]
C_{rr}	Koeficijent otpora kotrljanja	-
C_dA	Atmosferski otpor	[m ²]
P	Snaga motora	[W]
ρ	Gustina vazduha	[kg/m ³]

1. Uvod

Razvoj proizvoda predstavlja skup niza aktivnosti koje u konačnici dovode do nastanka novog proizvoda. Ovaj proces se odvija „korak po korak“, a krajnji cilj je plasman konkurentnog proizvoda na tržište.

Pod razvojem proizvoda podrazumjeva se da stručnjaci tehničke struke projektuju i konstruišu proizvod pomoću prethodno prikupljenih informacija o pojedinim svojstvima i funkcijama proizvoda, postojećim trendovima u industriji, finansijskim ograničenjima koja prate razvoj proizvoda i sl. Proces razvoja obuhvata sljedeće elemente:

- identifikacija novih kombinacija tehnologija, materijala i informacija u cilju iznalaženja novih kreativnih i nekonvencionalnih rješenja postavljenog zadatka,
- izbor najboljeg rješenja od ponuđenih kombinacija za buduću investiciju,
- pretvaranje formirane ideje u proizvod koji će se ponuditi na tržištu,
- koordinacija informacija i aktivnosti prilikom razvoja novog proizvoda.

Uzimajući u obzir jaku konkurenciju na globalnom tržištu, kompanije svakodnevno vode borbu razvoja svojih proizvoda u skladu sa sve zahtjevnijim tržištem. Upravo proces razvoja proizvoda ima nezamjenjiv značaj na konkurentnost kompanija na tržištu, jer samo kvalitetan, jeftin, pouzdan i poželjan proizvod osigurava razvoj i opstanak tih kompanija.

Razvoj trotineta predstavlja odgovor na rastuće zahtjeve tržišta prema efikasnim, jeftinim i praktičnijim načinima transporta. Proces razvoja trotineta započinje sa idejom, baziranoj na postojećim proizvodima na tržištu i razmatranjem šta se može poboljšati na tim proizvodima.

1.1 Istorijski razvoj

Krajem 90-ih godina XX vijeka na popularnosti dobijaju električna vozila male snage ili LEV (eng. *Light Electric Vehicles*) kao što su električni skuteri, trotineti, bicikli i sl. Električni trotineti omogućavaju da korisnici pređu kratke destinacije do posla ili mjesta boravka i izbjegnu svakodnevnu gužvu u saobraćaju. Iako mnogi misle da je razvoj električnih trotineta započeo u posljednjih nekoliko godina, prvi električni trotineti su se pojavili na ulicama prije više od 100 godina.

Jedan od ključnih istorijskih perioda za tehnološki razvoj, ali i period koji je promijenio način života i poslovanja je period industrijske revolucije. Razvoj parne mašine 1712. godine, te razvoj parne lokomotive 1800-ih godina doveo je do novih otkrića, među kojima je i velociped (eng. *Velocipede*) koji predstavlja najraniji oblik bicikla (sl. 1). Jedinstven dizajn velocipeda inspirisao je dalji razvoj bicikala i trotineta, a potom i autopedu – prvog motorizovanog trotineta pogonjenog na gorivo [2].



Slika 1. Velociped proizveden 1868. godine [2].

Artur Gibson je patentirao autoped 1913. godine, sa ciljem da stvori motorizovano vozilo koje će biti lakše od bilo kojeg drugog do tada postojećeg, a koje će omogućiti ljudima jednostavan način da stignu do željene destinacije. Autoped (sl. 2) je u mnogočemu ličio na moderne električne trotinete, međutim zbog ograničenih proizvodnih tehnologija te ere, autoped je bio mnogo veći i teži od današnjih trotineta [2].



Slika 2. Autoped – prvi motorizovani trotinet [2].

Iako je autoped predstavljao veliki napredak u odnosu na tradicionalne drvene trotinete, nije bio komercijalni uspjeh. Nedostatak sjedišta rezultirao je time da ljudi iz više klase ulože svoj novac u druge tipove transporta, kao što su automobili početkom 20. vijeka [2].

Razvojem automobila i motora, električni trotinet je naočigled nestao sa istorijske scene. Međutim, 1985. godine Stiv Patmont je patentirao motorizovani trotinet *Go-ped* i započeo revoluciju u industriji električnih trotineta (sl. 3.) [2].



Slika 3. Motorizovani trotinet *Go-ped* [2].

Iako je *Go-ped* predstavljao revoluciju trotineta, 2000-ite godine je obilježio *Razor*-ov nemotorizovani trotinet (sl. 4). Ovakvi trotineti su i dalje dostupni na tržištu kao dječija igračka, ali se trotineti sličnog dizajna koriste i u ekstremnim sportovima [3].



Slika 4. Trotinet kompanije *Razor* iz 1990. godine [2].

Međutim, postavlja se pitanje zbog čega je električni trotinet postao popularan u novijoj istoriji. Dalji razvoj trotineta je bio neizbežan, međutim tehnologija je morala da uznapreduje. Jedna od glavnih prepreka bila je visoka cijena baterija, koja je rezultovala i visokom cijenom

trotineta. Pad cijena baterija od 2010. do 2016. godine značio je da proizvođači mogu smanjiti svoje troškove do 86% [2].

Rast popularnosti se najviše osjetio od 2018. godine sa osnivanjem kompanija koje iznajmljuju električne trotinete. Razlog tome je pad cijena uređaja za GPS praćenje i baterija, kao i sve veća želja za čistim i lakšim transportom u velikim gradovima. U isto vrijeme raste i tržište personalnih električnih trotineta. S obzirom da mnogi iznajmljeni trotineta završe u rijekama, smetljštima ili kao prepreke na putu, ljubitelji električnih trotineta pribjegavaju sopstvenim trotinetima jer ih mogu sami održavati i skladištiti u svojim kućama ili stanovima [3].

Danas su na tržištu dostupni mnogi električni trotineta različitih cijena i namjena. Jeftiniji trotineta namijenjeni su za gradsku vožnju, a sa porastom cijene poboljšavaju se i specifikacije trotineta (trotineta namijenjeni za lošije terene i veće uspone). Osim dizajna sa dva točka, na tržištu se mogu pronaći i trotineta sa tri (sl. 5a) ili četiri točka (sl. 5b), koji nude veću stabilnosti i sigurnost od trotineta sa dva točka. Međutim, ovi trotineta su skuplji i zahtijevaju češće održavanje u odnosu na električne trotinete sa dva točka.



Slika 5. Električni trotineta proizvođača *Cycleboard* sa: a) tri točka i b) četiri točka [4].

Električni trotineta su pristupačni mnogim građanima zbog jednostavne upotrebe, niske cijene i mogućnosti iznajmljivanja. Pored navedenih prednosti, postoje i neki nedostaci. Jedan od glavnih nedostataka je ograničen doseg baterije, koji je kod većine trotineta od 20 do 60 km. Pored toga, sve su češće prijavljene povrede prilikom vožnje, uglavnom zbog loših vremenskih uslova, neodgovarajuće infrastrukture u gradovima ili zbog brze i opasne vožnje [1].

1.2 Analiza postojećih konstrukcionih rješenja dijelova električnog trotineta

Za mnoge tradicionalni nemotorizovani trotineta predstavljaju stvar prošlosti. Električni trotineta su moderna i ekološki prihvatljiva alternativa svojih prethodnika, koja omogućava lak i brz transport kroz urbane sredine.

Prije daljeg razmatranja električnih trotineta, neophodno je poznavati dijelove koje grade svaki električni trotinet i upoznati se sa osobinama tih dijelova.

1.2.1 Platforma

Platforma (eng. *deck*) (sl. 6) ima nekoliko funkcija u sklopu električnog trotineta. Dimenzije platforme utiču na udobnost vožnje, a zatvoren sistem štiti bitne komponente, kao što su baterija i kontroler od spoljašnjeg uticaja. Zbog sigurnosnih razloga i udobnije vožnje, na vrhu platforme postavlja se guma ili grip traka, što obezbeđuje bolje prijanjanje i sprječava klizanje.



Slika 6. Platforma trotineta [5].

1.2.2 Kočnice

Kočnice (eng. *brakes*) čine neizostavan dio svakog vozila i njihova funkcija je usporavanje i zaustavljanje vozila. Kočnice, kod električnih trotineta, se mogu svrstati u dvije kategorije: mehaničke i elektronske. Mehaničke kočnice koriste fizički mehanizam koji omogućava usporavanje ili kočenje do stajanja. Dijele se na:

- nožne kočnice (sl. 7) – podrazumjevaju da vozač nogom pritisće zadnji branik, time pritišće zadnju gumu i dovodi do kočenja. Iako ove kočnice dovode do usporavanja, nisu efikasne kao disk i bubanj kočnice. Uglavnom se postavljaju kao dodatni tip kočenja, uz glavni kočioni sistem [6].



Slika 7. Mehaničke kočnice – nožna kočnica.

- bubanj kočnice (sl. 8) – su čest tip kočnica koje se javljaju kod električnih trotineta. Postavljaju se unutar točka i rade na principu da pločice kočnice pritišću bubanj koji je povezan na točak usljed čega dolazi do usporavanja ili zaustavljanja trotineta. Ne zahtjevaju mnogo održavanja i njihove performanse su konzistentene na različitim terenima. Kočione pločice su deblje i traju duže u poređenju sa disk kočnicama [6].



Slika 8. Mehaničke kočnice – bubanj kočnica [6].

- disk kočnice (sl. 9) – takođe se često mogu pronaći na električnim trotinetima. Metalni disk je montiran na točak, a kočiona sila se ostvaruje pritiskom kočionih pločica na rotirajući disk. Imaju bolje performanse u odnosu na bubanj kočnice, međutim zahtjevaju često održavanje zbog trošenja diska, kočionih pločica i kočionih klipova (drže kočionu pločicu i pritišću je na disk) [6].



Slika 9. Mehaničke kočnice – disk kočnica.

Elektronski kočioni sistemi – generalno posmatrano elektronske kočnice ne zahtjevaju održavanje kao što to zahtjevaju mehaničke kočnice. Elektronski sistemi rade na principu da se prilikom aktiviranja kočnice povećava otpor prema rotaciji električnog motora. Zbog toga se mogu naći samo na električnim vozilima. Prednost elektronskih kočnica je da ne dodaju dodatnu težinu,

nemaju komponente kao što su kočione pločice i klipovi, te ne zahtjevaju održavanje. Glavni nedostatak je da ne ostvaruju dovoljno veliku kočionu silu, pogotovo pri većim brzinama [6].

Regenerativne kočnice – rade na istom principu kao i elektronske kočnice, tj. koriste kinetičku energiju motora za ostvarivanje kočione sile. Pored toga, regenerativne kočnice koriste energiju proizvedenu procesom kočenja i vraćaju je u sistem, tj. skladište je u bateriju. Ovaj proces i dalje nije na nivou da bi se smatrao efikasnim jer ne proizvodi mnogo električne energije [6].

1.2.3 Viljuška

Viljuška (eng. *fork*) povezuje prednji točak sa ostatkom troineta. Omogućava upravljanje smjerom kretanja i osigurava stabilnost prilikom vožnje (sl. 10).



Slika 10. Viljuška na troineta [5].

1.2.4 Mehanizam za upravljanje

Mehanizam za upravljanje (eng. *headset*) omogućava rotaciju viljuške. Najčešće se ovaj mehanizam sastoji od (sl. 11) [7]:

1. prstena za viljušku (eng. *crown race*) – postavlja se na kraj viljuške i služi kao oslonac za ležaje. Njegova funkcija je da obezbedi stabilnu površinu za rotaciju i da pomogne u održavanju ispravnog položaja ležajeva.
2. ležajeva mehanizma za upravljanje (eng. *headset bearings*) – u sklopu mehanizma za upravljanje dolaze u paru (gornji i donji). Omogućavaju glatko i efikasno okretanje prednjeg upravljačkog sklopa pri čemu smanjuju trenje, ravnomjerno raspoređuju opterećenje i mogu da izdrže udarce i vibracije koji su neminovni prilikom vožnje.
3. C prstena – popunjava prazninu unutar cijevi viljuške i time poboljšava stabilnost.
4. Čep/zaštita od nečistoća – štiti ležajeve od nečistoća.



Slika 11. Sastavni dijelovi mehanizma za upravljanje [7].

1.2.5 Upravljač

Upravljač (eng. *bar*) ima nekoliko bitnih uloga kao što su:

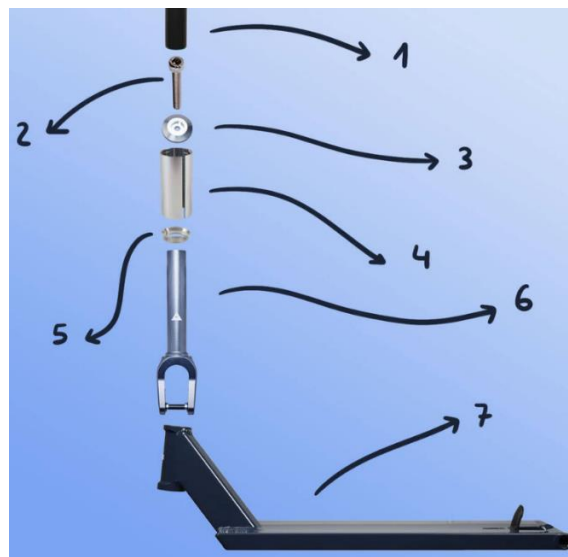
- upravljanje tročetkom – okretanjem se određuje pravac i smjer kretanja,
- pristup kontrolama – na upravljaču se nalaze različiti kontrolni elementi kao što je prekidač za ubrzavanje, kočnice, zvono, svjetla, displej i sl.
- udobnost – pruža ergonomsku podršku vozaču i smanjuje umor,
- sigurnost – na sebi imaju gumene rukohvate koji sprječavaju proklizavanje.



Slika 12. Upravljač tročetka [7].

1.2.6 Kompresioni zavrtnj

Kompresioni zavrtnj (eng. *compression bolt*) pritišće ležajeve u mehanizmu za upravljanje i drži ih u mjestu (sl. 13).



Slika 13. Sastavni dijelovi trotineta: 1 - upravljač, 2 – kompresioni zavrtanj, 3 - čep , 4 - stezaljka, 5 - C prsten , 6 - viljuška , 7 - platforma [8].

1.2.7 Gume

Gume (eng. *tires*) - najčešći tip guma koji se može pronaći na električnim trotinetima su pneumatske gume. Pneumatske gume su punjene vazduhom i imaju bolju apsorpciju udara, što rezultuje ugodnijom vožnjom. Mogu imati unutašnje crijevo ispunjeno vazduhom (sl. 14b), ili bez crijeva koristeći vakuum (sl. 14a). Ovaj tip guma zahtjeva često održavanje jer su podložnije izduvavanju u poređenju sa čvrstim gumama [9].



Slika 14. Tipovi guma koji se najčešće mogu pronaći na električnim trotinetima: a) pneumatske gume bez crijeva, b) pneumatske gume sa crijevom, c) čvrste gume [9].

Čvrste gume su izgrađene od gume ili plastike. Gume od pune plastike koriste uglavnom na dječijim i jeftinim trotinetima. Neke čvrste plastične gume mogu imati unutrašnju strukturu u obliku košnice, pri čemu se smanjuje težina i poboljšava apsorpcija udara, ali se ne koriste često. Tip čvrstih guma koje se najčešće koristi su punjene gumom, pjenom ili fleksibilnim polimerom (sl. 14c). Ove gume su teže i kruće, i iako su građene od čvrstih materijala, usljed trenja prilikom vožnje se brzo troše. Glavna prednost čvrstih guma je otporost na napuknuća i izduvavanje, ali ne pružaju isti nivo udobnosti i prijanjanja za podlogu kao pneumatske gume [9].

Tabela 1. Prednosti i mane pneumatskih, bezvazdušnih i čvrstih guma [9].

Pneumatske gume bez crijeva	Pneumatske gume sa crijevom	Čvrste gume
PREDNOSTI		
U slučaju malih pukotina su lakše za održavanje pomoću zaptivača	Gume sa crijevom je lakše i jeftinije zamijeniti nego pneumatske gume bez crijeva	Čvrste gume se nikad neće izduvati, jer se ne mogu probušiti
Pneumatske gume pružaju bolju apsorpciju udara u odnosu na čvrste gume	Ne zahtijevaju češće održavanje u odnosu na gume bez crijeva	Duži životni vijek u odnosu na pneumatske gume
	Pneumatske gume pružaju bolju apsorpciju udara u odnosu na čvrste gume	
NEDOSTACI		
Zahtjeva često održavanje i naduvavanje. S obzirom da ovaj tip guma koristi vakuum, nizak pritisak unutar gume može dovesti do izduvanja	Više su podložne pukotinama na grubljim terenima	Ne pružaju isti nivo apsorpcije udara kao pneumatske gume
U slučaju zamjene gume, pneumatske gume bez crijeva je teže zamijeniti nego gume sa crijevima. Zahtijevaju kompresor visokog pritiska i prethodno zagrijavanje gume	U slučaju da se crijevo probuši, mora se zamijeniti.	Nove gume je teško ugraditi bez odgovarajuće opreme
		Podložnije su proklizavanju na mokrim površinama u odnosu na pneumatske gume

1.2.8 Baterije

Baterije su neizostavan dio svakog električnog vozila jer obezbjeđuju energiju potrebnu za rad. Postoji više tipova baterija koje se mogu pronaći na tržištu. Neke od njih su NiCd – nikel-kadmijum, NiMH – nikel-metal-hibrid, Li-ion, Li-polymer i LTO - litijum-titanat. Glavne karakteristike definisane su u nastavku.

Nikel-kadmijum (NiCd) baterije – na tržištu su dostupne u različitim veličinama i oblicima. Najveću popularnost su imale u drugoj polovini 20-og vijeka, ali se i danas koriste u mnogim elektronskim uređajima zbog dobre pouzdanosti i jednostavnosti. Hemijski sastav NiCd baterija je vrlo štetan za okolinu zbog toksičnosti kadmijuma u njihovom sastavu. Zbog sve oštrijih ekoloških

zahtjeva, većina popularnih veličina NiCd baterija (AA, AAA i druge) su zamjenjene sa nikl-metal-hibridnim baterijama [10].

Tokom rada, promjene u ciklusima punjenja i pražnjenja dovode do značajnog pogoršanja performansi NiCd baterija. Ukoliko se baterija ne napuni do maksimalne vrijednosti, redovno snažno i brzo punjenje, prenisko punjenje i dugotrajan rad na niskim temperaturama dovode do gubitka kapaciteta jer se smanjuje količina aktivne supstance [10].

Glavna prednosti NiCd baterija je njihov dug radni vijek, nizak trošak i mogućnost skladištenja u praznom stanju. Međutim, gubitak kapaciteta usljed promjene ciklusa punjenja i pražnjenja, niska gustina energije u poređenju sa drugim baterijama, visoka toksičnost kadmijuma i velika težina dovele su do pada popularnosti na svjetskom tržištu [10].

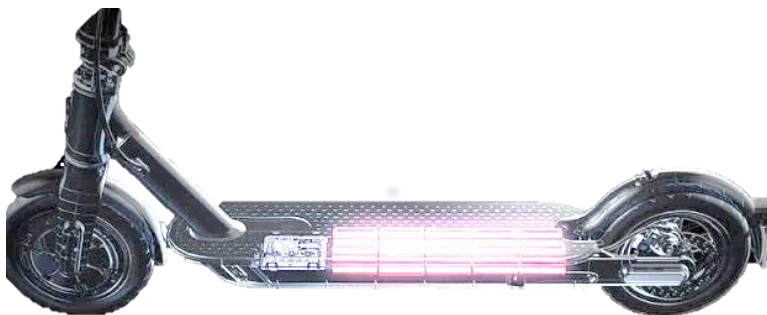
Nikl-metal-hibridne (NiMH) baterije – zbog dobrih karakteristika NiMH baterije su imale široku primjenu. Visoki kapacitet, mala reakcija na vrlo niske temperature i manja toksičnost u poređenju sa NiCd, NiMH baterije su bile prikladne za korištenje u skoro svim primjenama. Negativni aspekti su skupa proizvodnja, ograničen radni vijek, opadanje kapaciteta i veća brzina samopražnjenja. Danas se mogu naći u prenosnim svjetlima i radio opremi [10].

Litijum-jonske (Li-ion) baterije - su postale standardni izbor za proizvođače zbog svojih dobrih osobina, i primjenjuju se čak i u vojsci i avijaciji. Imaju dug životni vijek i najmanji negativan uticaj na okolinu. Međutim u zavisnosti od materijala i gustine energije, litijum-jonske baterije mogu biti drastično različite [11].

Litijum-jonske baterije su danas najrasprostranjenije baterije na tržištu. Razlog tome je dug životni vijek, širok raspon radnih temperatura, ne zahtjevaju održavanje, dobra energetska efikasnost, niska stopa samopražnjenja i sl. Glavni nedostatak je da gube kapacitet kada se isprazne ispod 2 V ili kada se prekomjerno pune, kao i pri radu na temperaturama koje dosežu 65 °C. Zbog toga uglavnom koriste zaštitne krugove koji štite bateriju od prekomjernog punjenja ili pražnjenja [10].

Litijum-polimer (Li-polymer) baterije – su podvrsta Li-ion baterija, pri čemu je glavna razlika u elektrolitu. Najčešće se mogu pronaći u mobilnim uređajima, zamotane u srebrnu plastiku [10].

Baterije od litijum-titanata (LTO) – takođe podvrsta Li-ion baterija, najčešće se mogu pronaći u većim vozilima, kao što su električni autobusi. Pozitivni aspekti LTO su dobre performanse, sigurnost u poređenju sa drugim Li baterijama zbog odsustva litijum dendrita (koji se mogu smatrati pokazateljem disbalansa u strukturi baterije) prilikom različitih ciklusa punjenja/pražnjenja, dug životni vijek čak i prilikom rada na ekstremnim temperaturama (-50÷+65°C) i mogućnost skladištenja kada su prazne. Glavni nedostaci su nizak napon (oko 30% niži nego kod drugih Li-ion baterija) koji rezultuje malom gustinom energije i visoka cijena usljed cijene titanijuma [12].



Slika 15. Položaj baterije kod električnih trotineta [13].

1.2.9 Motor

Kod električnih trotineta upravljanje radom električnog motora je pomoću prekidača (ima istu ulogu kao papučica za gas na automobilima) koji se nalazi na upravljaču. Kontroler prenosi signal sa prekidača na motor, a motor vuče potrebnu energiju iz baterije.

Kod električnih trotineta najčešće se mogu pronaći dva tipa električnih motora. To su DC motori sa četkicama i bez. Bolja opcija su motori bez četkica jer su tiši, zahtjevaju manje održavanja i manje se zagrijevaju. Kod modernih trotineta motor je smješten u točak i direktno ga pogoni i takvi motori se zovu HUB motori. Više su zastupljeni od bilo kojeg drugog tipa motora jer ne zahtjevaju mnogo održavanja i popravki. Ali ukoliko dođe do kvara, mogu biti zahtjevni za popravak jer je nepohodna stručnost i posebni alati [14].



Slika 16. HUB motor za električne trotinete [13].

Neki trotineti koriste motore sa lačanim ili remenim prenosom i kod njih se snaga prenosi pomoću zupčanika i lanca/remena. Kod ovih trotineta koristi se *mid-drive* električni motor. Nedostatak ovakvog prenosa, zbog čega se i ne koristi često, je gubitak energije i trošenje komponenti, kao i činjenica da se ovi motori moraju postaviti na platformu što smanjuje efektivnu površinu platforme [14].



Slika 17. Mid-drive motor sa zupčastim remenom na električnom trotinetu [15].

Pored samih dijelova koje čine električne trotinete, potrebno je razmotriti i materijale od kojih su izrađeni neki od tih dijelova. Materijal koji se najčešće koristi u proizvodnji električnih trotineta je aluminijum. Zbog male težine i otpornosti prema koroziji, aluminijum ima značajnu ulogu u dugovječnosti električnog trotineta. Legura koja se najčešće koristi je aluminijum 6061. Pored aluminijuma u proizvodnji električnih trotineta, koriste se čelik, karbonska vlakna i nekad titanijum. Čelik se koristi u dijelovima koji su izloženi velikom opterećenju. Karbonska vlakna omogućavaju da proizvođači značajno smanje težinu trotineta, a da pri tome ne naruše njegov strukturni integritet. Zbog svojih dobrih osobina mogu se pronaći kod nekih proizvođača, međutim zbog visoke cijene nisu popularan izbor [11].

2. Analiza tržišta

Izbor proizvoda koji će se razvijati u velikoj mjeri zavisi od vjerovatnoće tržišne realizacije. Da bi se odredio uspjeh ideje na tržištu potrebno je analizirati tržište, tj. prikupiti informacije o postojećim proizvodima na tržištu i njihovoj cijeni/uslovima prodaje, o stvarnoj potražnji, o procesu proizvodnje, neophodnim tehnologijama, alatima, materijalima i sl. Nakon prikupljanja podataka, slijedi obrada u cilju dobijanja bitnih informacija i definisanja načina poboljšanja odabranog proizvoda.

Nastanak nekog proizvoda je uslovljen potrebom za tim proizvodom. Na taj način definisana je namjena tog proizvoda i sljedeći korak je formiranje idejnog rješenja. Idejno rješenje podrazumjeva razmatranje različitih mogućnosti realizacije proizvoda, a potom odabir najpovoljnijeg rješenja [23].

U opseg analize tržišta uzeti su u obzir razmatranja vodeći proizvođači kao što su *SXT Scooters*, *Cycleboard*, *Xiaomi* i *Segway*. Uzeti su u obzir trotineti različiti po konstrukciji, brzini, materijalima, dimenzijama i cijeni. Razmatraju se sljedeći modeli: *Scotex H20 eKFV* (SXT), *Rover* i *X-Quad 3000* (*Cycleboard*), *KickScooter GT2P* (*Segway*) i *Xiaomi Mi PRO 2* (*Xiaomi*). Svi modeli koji se razmatraju namijenjeni su odrasle osobe.

2.1 Scotex H20 eKFV (SXT)

Odabrani model njemačke kompanije SXT, *Scotex H20 eKFV* dostiže maksimalnu brzinu do 20 km/h, koja je zakonom ograničena u zemlji porijekla. Na LED ekranu prikazana je brzina, nivo napunjenosti baterije i ukupna i dnevna kilometraža. *Scotex H20 eKFV* ima mogućnost preklapanja upravljača [16].



Slika 18. Električni trotinet model *Scotex H20 eKFV* proizvođača SXT [16].

Tabela 2. Tehničke karakteristike modela *Scotex H20 eKFV* [16].

Doseg	Do 42 km za jedno punjenje
Maksimalna brzina	20 km/h
Motor	HUB DC motor bez četkica postavljen na zadnjem točku
Dimenzije	L 123 x W 50 x H 124 cm
Baterija	Li-ion, omogućeno punjenje preko punjača
Kočnice	Bubanj kočnice na prednjem i disk kočnice na zadnjem točku, ručno upravljane
Gume	Prednja i zadnja guma su pneumatske prečnika 254 mm
Težina trotineta	20,5 kg
Maksimalna nosivost	120 kg
Materijal platforme i upravljača	Legura aluminijuma
Cijena	EUR 795

S obzirom da većina trotineta koji se mogu pronaći na tržištu su trotineti od 100 do 120kg nosivosti, mogu se razmotriti neke od razlika koje dolaze sa povećanjem nosivosti.

Prilikom odabira trotineta, korisnicima su bitni tehnički kriterijumi (kao što su dimenzije, nosivost, brzina i doseg) i cijena. Povećanje nosivosti rezultuje konačnim povećanjem cijene između modela, s obzirom da se koristi više materijala, koriste veće baterije, gume i sl. Uvid u razlike između modela od 100 kg i 120 kg prikazan je u tab. 3, koja pokazuje razlike između modela *H10 eKFV* i *H20 eKFV* proizvođača *SXT Scooters*.

Tabela 3. Tehnički kriterijumi električnih trotineta *H10 eKFV* i *H20 eKFV* [16].

Tehnički podaci	H10 eKFV	H20 eKFV
Dimenzije [cm]	108 x 49 x 119	123 x 50 x 124
Prečnik gume [inch]	8	10
Težina [kg]	14.8	20.5
Maksimalna nosivost [kg]	100	120
Cijena [EUR]	649	795

Veličina trotineta može da utiče na sve, od udobnosti vožnje do nosivosti. Prilikom odabira je potrebno obratiti pažnju na dimenzije, kako savijene tako i rasklopljene, veličinu platforme, nosivost, težinu trotineta i cijenu kako bi se pronašlo odgovarajuće rješenje.

2.2 Rover (Cycleboard)

Rover je električni trotinet na tri točka i namijenjen je gradsku vožnju i teže terene. Pogon na zadnjoj strani omogućava vožnju na uzvišenjima do 30%, a suspenzija na prednjim i zadnjem

točku omogućava ugodnu vožnju na svim terenima. Na svakom *Rover*-u može se pronaći sistem vješanja koji je patentirala kompanija *Cycleboard*. Ovaj sistem uvećava ugao zakretanja točkova kada se vozač blago nagne, a da pri tome ne gubi na stabilnosti i sigurnosti [4].

Zbog bolje raspodjele opterećenja trotineta sa tri ili četiri točka omogućavaju ugodniju vožnju licima sa ograničenom mobilnosti.



Slika 19. Električni trotinet model *Rover* proizvođača *Cycleboard* [4].

Tabela 4. Tehničke karakteristike modela *Rover* [4].

Doseg	64 km
Maksimalna brzina	43 km/h
Motor	HUB DC
Dimenzije	L 113 x W 63,5 x H 107 cm
Baterija	Li-ion
Kočnice	Kombinacija elektronske i hidraulične disk kočnice
Gume	Prednje: 254x 76 mm <i>All-Terrain</i> pneumatske, zadnje: 254x 89 mm <i>All-Terrain</i> pneumatske
Težina trotineta	38 kg
Maksimalna nosivost	125+ kg
Materijal platforme i upravljača	Aluminijum i nehrđajući čelik
Cijena	EUR 2398

2.3 X-Quad 3000 (Cycleboard)

Namijenjen za *off-road* vožnju, *X-Quad 3000* opremljen je sa dvostrukom suspenzijom, četiri točka i robusnom konstrukcijom. Kao i *Rover*, *X-Quad 3000* opremljen je sa patentiranim sistemom vješanja koji omogućava lako upravljanje [4].



Slika 20. Električni trotinet *X-Quad 3000* proizvođača *Cycleboard* [4].

Tabela 5. Tehničke karakteristike modela *X-Quad 3000* [4].

Doseg	80,5 km
Maksimalna brzina	43 km/h
Motor	Dva motora na zadnjim točkovima
Dimenzije	L 109 x W 67 x H 107 cm
Baterija	Li-ion
Kočnice	Na zadnjim točkovima hidraulične disk, na prednjim mehaničke bubanj kočnice, dual motor regenerativno elektronsko kočenje
Gume	279x101 mm <i>All-Terrain</i> pneumatske
Težina trotineta	43 kg
Maksimalna nosivost	159+ kg
Materijal platforme i upravljača	Aluminijum i nehrđajući čelik
Cijena	EUR 3685

2.4 KickScooter GT2P (Segway)

KickScooter GT2P pruža novu perspektivu na tržištu trotineta na dva točka. Namijenjen samo za trkačke trake, trotinet dostiže brzinu do 70 km/h i može savladati nagibe do 30%. Ima mogućnost prednje, zadnje ili kombinovane vuče, kao i prednje i zadnje disk kočnice. Karakteristično za *KickScooter GT2P* su samozacijeljujuće pneumatske gume, koje imaju žele premaz sa unutrašnje strane koji čuva gume od pukotina. Pored toga, ovaj trotinet je opremljen suspenzijom na prednjem i zadnjem točku i posjeduje kontrolu vuče (eng. *Segway Dynamic Traction Control – STDC*) što pruža dodatnu sigurnost prilikom kretanja u teškim uslovima vožnje [17].



Slika 21. Električni trotinet *KickScooter GT2P* proizvođača *Segway* [17].

Tabela 6. Tehničke karakteristike modela *KickScooter GT2P* [17].

Doseg	90 km
Maksimalna brzina	70km/h
Motor	Dva HUB motora
Dimenzije	L 148.5 x W 65 x H 131 cm
Baterija	-
Kočnice	Disk kočnice na prednjem točku i regenerativno kočenje
Gume	Pneumatske gume bez cijevi prečnika 279 mm
Težina trotineta	52,6 kg
Maksimalna nosivost	150 kg
Materijal platforme i upravljača	-
Cijena	EUR 2999

2.5 Xiaomi Mi Pro 2 (Xiaomi)

Atraktivnim dizajnom, pristupačnom cijenom i dobrim specifikacijama *Xiaomi* je jedan od vodećih proizvođača električnih trotineta. Na displeju omogućen je pregled brzine, preostala snaga baterije, status trotineta i pokazivač smjera navigacije. Putem *Xiaomi* aplikacije moguće dobiti informacije o statusu trotineta, kontrolisati svjetla i zaključati motor [13].

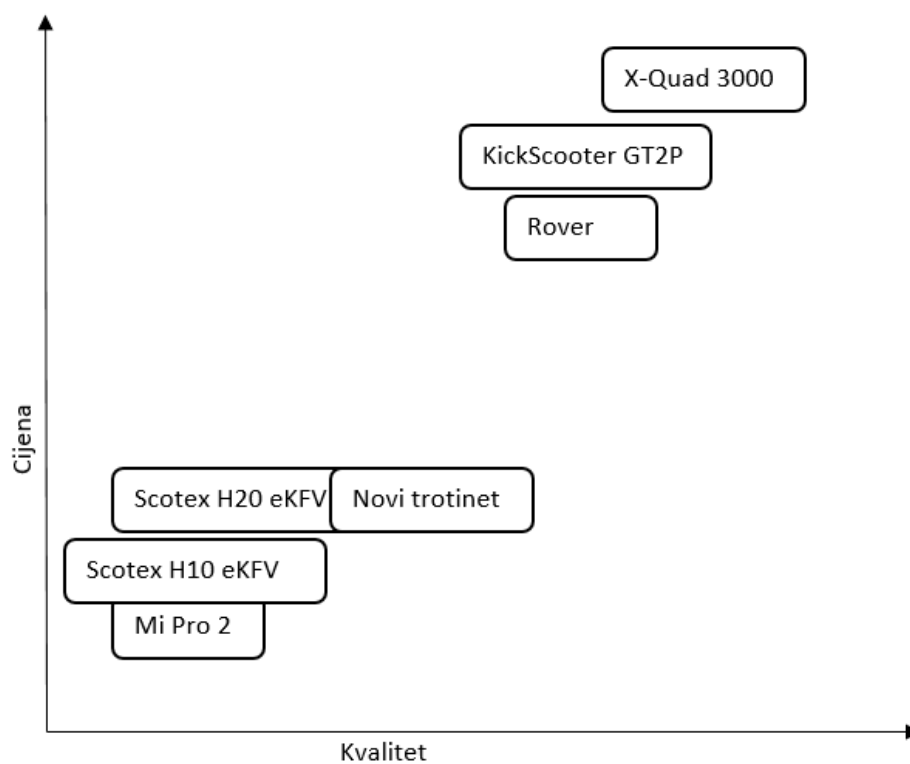


Slika 22. Električni trotinet model *Xiaomi Mi PRO 2* [13].

Tabela 7. Tehničke karakteristike modela *Xiaomi Mi PRO 2* [13].

Doseg	45 km
Maksimalna brzina	25 km/h
Motor	HUB DC motor bez četkica
Dimenzije	L 113 x W 43 x H 118 cm
Baterija	Li-ion
Kočnice	Disk kočnica na zadnjem točku i regenerativno kočenje
Gume	Pneumatske prednje i zadnje gume prečnika 216 mm x 42 mm
Težina trotineta	14,2 kg
Maksimalna nosivost	100 kg
Materijal platforme i upravljača	Legura aluminijuma
Cijena	600 EUR

Na sl. 23 prikazan je dijagram odnosa cijena-kvalitet. Kvalitet je posmatran sa stanovišta prosječnog korisnika električnog trotineta. Razmatran je domet, gume, nosivost i dizajn.



Slika 23. Dijagram odnosa cijene i kvaliteta.

3. Definisanje konstrukcionog zadatka

Na osnovu prethodno prikupljenih podataka i analize tržišta, postavlja se konstrukcioni zadatak tako da se apstraktno opiše šta novi proizvod treba da radi i koje uslove treba da zadovolji. Proizvod koji se razvija je električni trotinet namijenjen za gradsku vožnju.

Prije konstruisanja definiše se lista zahtjeva koji se moraju uzeti u razmatranje, kako bi se na osnovu njih mogla izvršiti procjena pojedinih varijantnih rješenja. Lista zahtjeva prikazuje zahtjeve i ograničenja koji su predviđeni za razmatrani proizvod.

Tabela 8. Lista zahtjeva novog mašinskog sistema – električnog troineta.

Br.	Vrsta zahtjeva	Objašnjenje
1.	Transport korisnika	Opšta funkcija električnog troineta
2.	Izvor energije	Kod električnih troineta izvor energije je baterija
3.	Pogon	Pogon električnog troineta je električni motor, koji koristi energiju iz baterije za rad
4.	Lagana, a kruta i čvrsta konstrukcija	Eliminiše nedozvoljena kretanja, obezbjeđuje stabilnost i nosivost, zaštitu komponenti, na jednostavan način je moguće prenijeti proizvod i sl.
5.	Jednostavna montaža/demontaža	Skraćuje vrijeme montaže u proizvodnji i olakšava servisiranje
6.	Kontrola brzine	Korisnik preko prekidača kontroliše količinu snage koja se dovodi na električni motor, što rezultuje ubrzavanjem ili usporavanjem
7.	Upravljanje	Integrirani sistemi koji upravljaju radom motora, kočioni sistem, sistem koji optimizira punjenje i pražnjenje baterije, sistem za asistenciju u vožnji
8.	Sigurnost	Dodatna oprema koja osigurava sigurnost korisnika prilikom korištenja
9.	Dizajn	Atraktivan i ergonomičan dizajn je ključan za plasiranje proizvoda na tržište
10.	Odabir odgovarajućih komponenti i materijala	Osigurava sigurnost korisnika, smanjuje proizvodnu cijenu troineta, olakšava transport
11.	Tehnološkičnost komponenti	Cilj je da cijena izrade bude što manja i vrijeme izrade što kraće
12.	Jednostavno sastavljanje i rastavljanje proizvoda	Olakšava izradu, servisiranje i zamjenu komponenti
13.	Zatvoren sistem	Eliminiše mogućnost pojave stranog tijela u sistemu i štiti komponente od spoljašnjeg uticaja.

Prvi korak prilikom razrade konstrukcionog zadatka je razmatranje dimenzija trotineta. Generalno, dužina električnih trotineta je od 102-178 cm i time se obezbjeđuje dovoljno prostora da korisnik može ugodno da stoji. Širina trotineta je uglavnom od 40-60 cm i pruža stabilnost prilikom vožnje. Visina trotineta je ta koja najviše utiče na vozno iskustvo i skladištenje, te je uglavnom u opsegu od 96-115 cm od dna trotineta do vrha upravljača [21].

Neki trotineti su dizajnirani da budu lagani i kompaktni, sa mogućnosti preklapanja. Na taj način je omogućeno praktično skladištenje u malim prostorima poput ormara ili ispod kancelarijskih stolova. Mogućnost preklapanja trotineta je ključna funkcija i za mnoge korisnike koji svoje trotinete trebaju prenijeti u javnom prevozu ili uz stepenice [21].

Veličina platforme je takođe aspekt koji se mora razmotriti. Veća platforma odgovara korisnicima koji imaju veće stopalo i pruža više prostora za promjenu položaja. Dužine se kreću od 36-51 cm, a širina od 13-25 cm [21].

Nosivost električnog trotineta je takođe povezana s veličinom, jer veći trotineti podržavaju veću težinu korisnika. Nosivost trotineta se definiše kao maksimalna težina (uključujući korisnika i teret) koju uređaj može da nosi, a da zadrži optimalne performanse.

Pogonski sistem električnog trotineta uključuje električni motor koji se snabdijeva iz baterije pomoću elektronskog pretvarača energije. Sistem je kontrolisan elektronski na osnovu informacija dobijenih iz senzora položaja, brzine i komande za ubrzanje. Ostvaruje se kontrola snage, obrtnog momenta i brzine.

Sistem za kontrolu baterije prati stanje baterije, što podrazumjeva nivo napunjenosti, naponske nivoe, kapacitet, temperaturu i zdravlje baterije. S obzirom da Li-ion baterije mogu izgubiti kapacitet usljed prekomjernog ili nedovoljnog punjenja i pražnjenja, ovaj sistem je ključan za dugoročan rad baterije.

Pored ovih sistema može se pronaći i sistem za signalizaciju i displej, koji se odnosi na svjetlosnu signalizaciju kao što su prednje svjetlo, žmigavci i sl. Ovakvi sistemi se aktiviraju preko vozačevih komandi. Displej omogućava da vozač dobije informacije o statusu vozila, nivou napunjenosti baterije, pređenim kilometrima i sl.

Sistem za asistenciju u vožnji se može pronaći kod mnogih električnih vozila, ali kod električnih trotineta je zastupljen samo djelimično. Neki trotineti nude povezivanje sa mobilnim uređajem i podešavanje parametara vožnje na telefonu, međutim neki od sistema koji bi mogli unaprijediti postojeće iskustvo su adaptivni tempomat, sistem za praćenje mrtvog ugla, automatski sistem prepoznavanja prepreka i sl. Sistem za asistenciju u vožnji smanjuje stres u vožnji i bitno utiče na sigurnost vozača i drugih učesnika u saobraćaju.

Na osnovu prethodnih podataka i analize tržišta, postavlja se konstrukcioni zadatak za razvoj električnog trotineta brzine do 25 km/h (ograničenje brzine nameće se zbog nacionalnih propisa nekih zemalja), namijenjen za gradsku vožnju, nosivosti do 100 kg i koji ima mogućnost preklapanja. Cilj je konstruisati trotinet koji će biti lagan i omogućiti jednostavan prenos nakon preklapanja, koji je atraktivnog dizajna, a cjenovno pristupačan. U sklopu zadatka biće određena

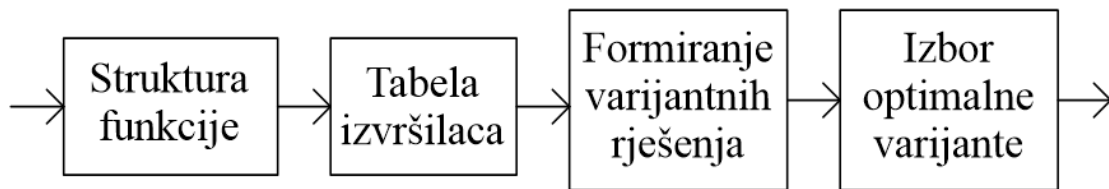
konstrukcija koja ispunjava zahtjeve nosivosti i brzine, sa opremom koja će omogućiti doseg do 50 km vožnje za jedno punjenje. Tehničke karakteristike prikazane su u tab. 9.

Tabela 9. Tehničke karakteristike novog mašinskog sistema – električnog trotineta.

Doseg	50 km
Maksimalna brzina	25 km/h
Motor	HUB DC motor bez četkica
Dimenzije	L 106 x W 41 x H 114 cm
Baterija	Li-ion
Kočnice	Disk kočnica na zadnjem točku i regenerativno kočenje
Gume	Pneumatske prednje i zadnje gume prečnika 254 mm
Težina trotineta	Do 20 kg
Maksimalna nosivost	100 kg
Materijal platforme i upravljača	Legura aluminijuma i čelika
Cijena	1200 (proizvodna cijena: 700 KM)

4. Koncipiranje idejnog rješenja

Prilikom koncipiranja idejnog rješenja razmatra se rad proizvoda. Postupak se sastoji od nekoliko koraka, a blok šema optimalnog rješenja prikazana je na sl. 24. Proces stvaranja idejnog rješenja se zasniva na razmatranju svih mogućnosti, a potom se bira optimalna. Optimalno rješenje je ono koje ispunjava sve postavljene zahtjeve u zadanim okvirima cijene, vremena i kvaliteta. Jedan od načina kako se može doći do ovakvog rješenja je funkcijska dekompozicija proizvoda, što predstavlja polaznu tačku za generisanje mogućih rješenja na osnovu definisane funkcije proizvoda. Opšta funkcija sistema se može podijeliti na nekoliko podfunkcija i na taj način se posmatra cijeli funkcionalni spektar, gdje je lakše uočiti specifične zadatke koje sistem treba da ispuni [23].



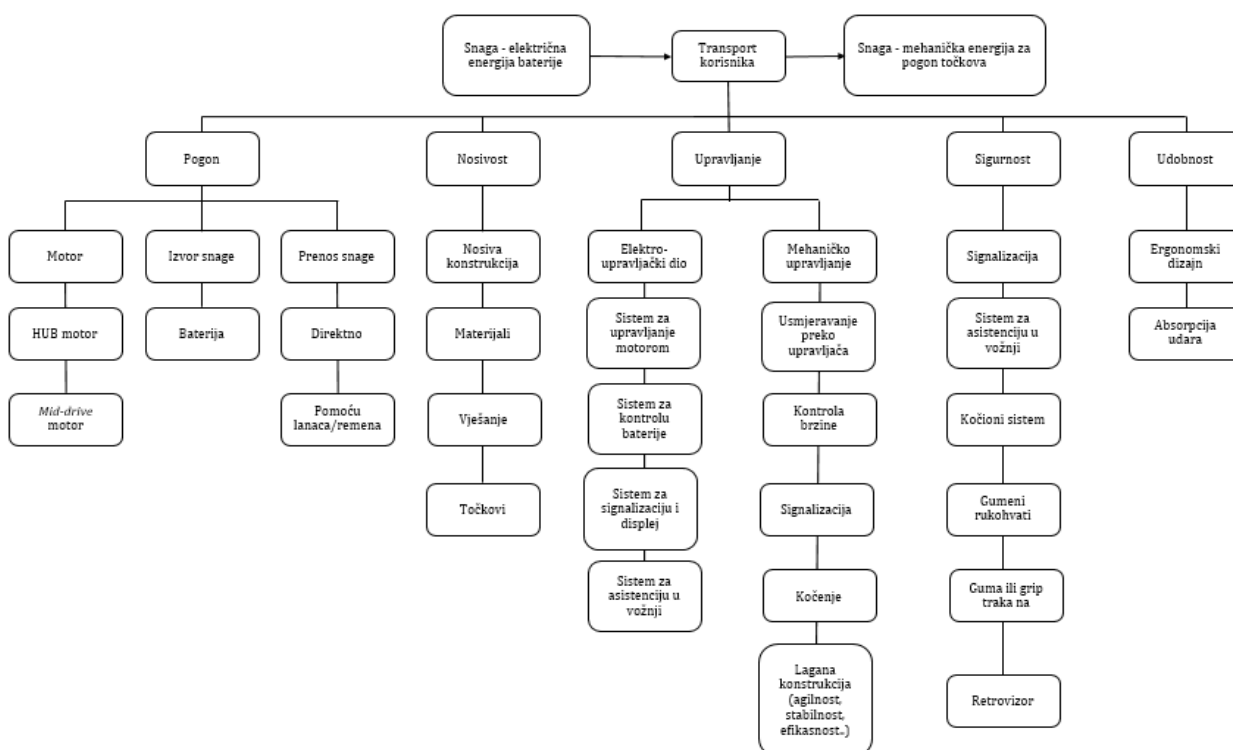
Slika 25. Blok šema koncepta za formiranje idejnog rješenja [23].

Konstruktor prilikom koncipiranja rješenja pretpostavlja najbolje opcije i njih bira. Ova faza se realizuje preko: formiranja strukture funkcija, analize mogućnosti izvršavanja funkcija, formiranja varijantnih rješenja, i izbora optimalne koncepcione varijante [23].

5. Struktura funkcija

Struktura funkcija u suštini predstavlja grafički prikaz odnosa ulaznih i izlaznih veličina koje su svojstvene proizvodu koji se razvija. Njena funkcija je da olakša otkrivanje potencijalnih rješenja. S obzirom da je proizvod već poznat, struktura funkcija se razvija na osnovu prethodno prikupljenih informacija [18].

Glavna funkcija električnog trotineta je obezbjeđenje transporta korisnika, međutim uzimajući u obzir potrebe korisnika, od električnog trotineta se očekuje mnogo više od toga. Na osnovu podfunkcija proizvoda određuje se ponašanje u eksploataciji.



Slika 26. Funkcionalni spektar električnog trotineta.

Tabela 10. Funkcije električnog trotineta.

NAZIV FUNKCIJE	IZVRŠIOCI FUNKCIJA	
Pokretanje i ubrzavanje (1)	Električni motor	HUB motor (1.1)
		Mid-drive motor (1.2)
Kontrola brzine (2)	Kontrolna elektronika i prekidač (2)	
Kočenje (3)	Kočioni sistemi	Disk kočnica na nemotorizovanom točku upravljana pomoću ručice na upravljaču (3.1)
		Bubanj kočnica na nemotorizovanom točku upravljana pomoću ručice na upravljaču (3.2)

		Nožna kočnica – zadnji branik (3.3)	
		Elektronska kočnica unutar električnog motora (3.4)	
		Kombinacija disk kočnice i elektronske kočnice sa regenerativnim kočenjem (3.5)	
		Kombinacija bubanj kočnice i elektronske kočnice sa regenerativnim kočenjem (3.6)	
Napajanje (4)	Baterija	NiCd (4.1)	
		NiMH (4.2)	
		Li-ion (4.3)	
		Li-polymer (4.4)	
		LTO (4.5)	
Osvjetljenje i signalizacija (5)	Crveni reflektor (5.1)		
	Prednje svjetlo (5.2)		
	Zadnje svjetlo (5.3)		
	Žmigavci (5.4)		
Stabilnost i upravljanje (6)	Prednji upravljački sklop		Aluminijum (6.1.1)
			Čelik (6.1.2)
			Karbonska vlakna (6.1.3)
			Titanijum (6.1.4)
	Točkovi	Broj točkova	Dva (6.2.1)
			Tri (6.2.2)
			Četiri (6.2.3)
		Tip guma	Pneumatske gume sa crijevom (6.3.1)
			Pneumatske gume bez crijeva (6.3.2)
			Čvrste gume od pune plastike (6.3.3)
			Čvrste punjene gumom (6.3.4)
Komunikacija i interfejs (7)		Ekran (7.1)	
	Zvučnici (7.2)		
Održavanje ravnoteže (8)	Platforma		Aluminijum (8.1)
			Čelik (8.2)
			Karbonska vlakna (8.3)
			Titanijum (8.4)
	Točkovi		
Skladištenje/pakovanje (9)	Mehanizam za preklapanje		Sa preklapanjem (9.1)
			Bez preklapanja (9.2)

6. Varijantna rješenja – izbor optimalne varijante

Informacije prikupljene u prethodnim koracima razvoja proizvoda rezultuju generisanjem velikog broja potencijalnih rješenja. Iako je poželjno imati širok spektar mogućih rješenja, neophodno je ograničiti broj rješenja kojima će se posvetiti pažnja za dalji razvoj.

Jedan od načina kako se može ograničiti broj rješenja jeste procjena potencijalnih rješenja primjenom tabele odlučivanja (tab. 11). Pomoću tabele odlučivanja, na osnovu postavljenih kriterijuma za krajnji proizvod, vrši se sistematično poređenje mogućih rješenja [23].

Tabela 11. Tabela odlučivanja izvršilaca funkcija.

Oznaka funkcije	Oznaka izvršilaca funkcije
1	1.1, 1.2
2	2
3	3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6
4	4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5
5	5.1, 5.2, 5.3, 5.4
6.1	6.1.1, 6.1.2, 6.1.3, 6.1.4
6.2	6.2.1, 6.2.2, 6.2.3
6.3	6.3.1, 6.3.2, 6.3.3, 6.3.4
7	7.1, 7.2
8	8.1, 8.2, 8.3, 8.4
9	9.1, 9.2

6.1 Formiranje varijantnih rješenja

Varijantna rješenja se formiraju tako što se odrede izvršioci parcijalnih funkcija i upisuju se u tabelu (tab. 11). Kombinacijom pojedinih izvršilaca se formiraju varijante. Moguće je ostvariti veliki broj varijanti u odnosu na postavljene kriterijume, međutim odabrane su varijante imajući u vidu značajne razlike između pojedinačnih izvršilaca i vodeći računa o tome da li varijante koje se uzimaju u obzir predstavljaju savremena rješenja. Nakon toga se vrši procjena varijanti prema dva kriterijuma – tehničkom i ekonomskom. Procjena se vrši na osnovu liste zahtjeva [23].

Varijanta 1 – 1.2, 2, 3.1, 4.3, (5.1, 5.2, 5.3, 5.4), 6.1.1, 6.2.1, 6.3.4, 7.1, 8.1, 9.1

Varijanta 2 – 1.1, 2, 3.5, 4.3, (5.1, 5.2, 5.4), 6.1.1, 6.2.1, 6.3.1, (7.1, 7.2), 8.2, 9.1

Varijanta 3 – 1.1, 2, 3.2, 4.3, (5.1, 5.2, 5.3), 6.1.2, 6.2.2, 6.3.2, (7.1, 7.2), 8.2, 9.1

Formiranjem varijanti treba gravitirati prema karakteristikama koje bi privukle kupce. Kada kupac kupuje proizvod, najčešće se orijentiše prema svojim uvjerenjima o određenim karakteristikama proizvoda. Uzimajući u obzir da većina kupaca nema visoka stručna znanja o proizvodu koje kupuju, ta uvjerenja su rezultat različitih uticaja (kao što su marketinške kampanje, cijena proizvoda i sl.). Kupovinom proizvoda, kupac nastoji da osigura optimalan odnos tehničkih karakteristika i cijene, što bi sa aspekta kupca bio optimalan proizvod. Kao i kupac, i konstruktor treba da nađe optimalan odnos između ugrađenih karakteristika proizvoda, troškova proizvodnje i zarade, na osnovu čega je moguće formirati cijenu proizvoda. Uspostavljanjem balansa između optimalnog proizvoda sa aspekta kupca i sa aspekta proizvođača najčešće rezultuje dobrom tržišnom potražnjom.

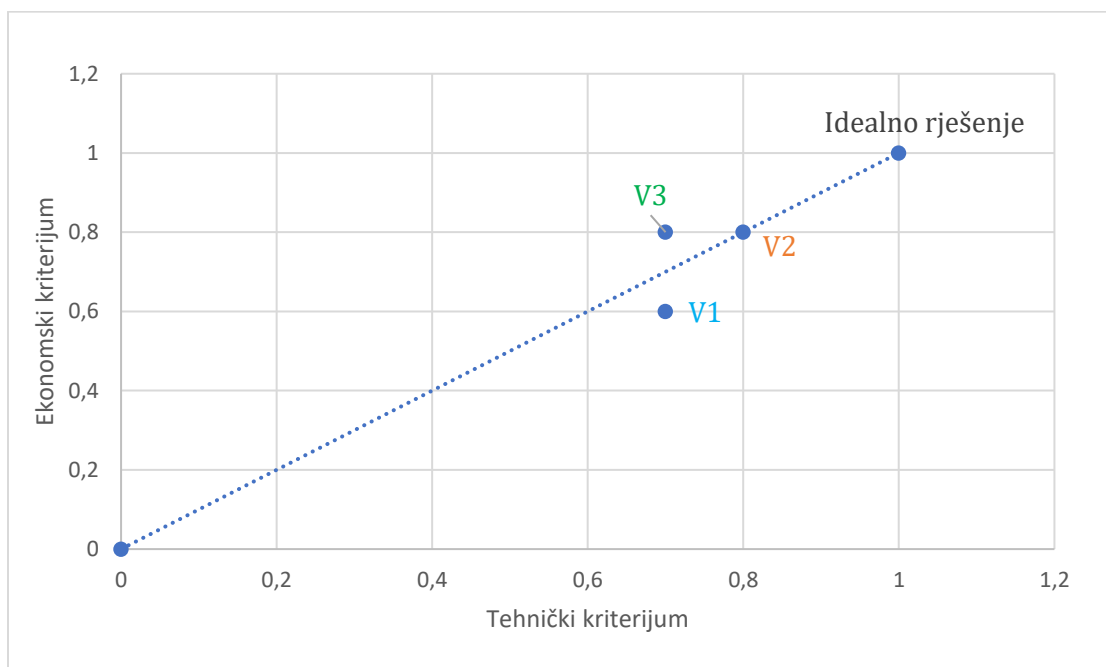
Tabela 12. Tehnički i ekonomski kriterijumi za definisane varijante električnog trotineta.

Tehnički kriterijum	V1	V2	V3	Idealna ocjena
Kapacitet	2	4	3	4
Brzina	3	3	3	4
Bezbjednost	4	3	3	4
Ekološki aspekt	3	3	3	4
Pogodnost za održavanje	2	3	2	4
Broj dijelova sa ograničenim vijekom	2	3	3	4
Ergonomičnost	2	3	4	4
Masa trotineta i skladištenje	4	3	2	4
Zbir	22	25	23	32
Tehnička koordinata Xi	0,7	0,8	0,7	1
Ekonomski kriterijumi	V1	V2	V3	Idealna ocjena
Cijena održavanja	2	3	2	4
Cijena izrade	2	3	3	4
Specifičnost tehnologije	4	4	4	4
Dugovječnost	2	3	3	4
Zbir	10	13	12	16
Tehnička koordinata Yi	0,6	0,8	0,8	1

Konstrukciono rješenje se bira na osnovu odabranih varijanti. Konstruktor sam vrednuje koliko varijante ispunjavaju postavljene uslove i potom bira varijantu koja je optimalna, ali ne i

najbolja. Jedan od kriterijuma je tehnički kriterijum preko koga se provjerava da li odabrano rješenje zadovoljava funkciju za koju je namijenjeno. Drugi kriterijum je ekonomski kriterijum i preko njega se provjerava da li je novo varijantno rješenje ekonomski prihvatljivo [23].

Prilikom razmatranja varijante, prihvatljiva su samo rješenja koja zadovoljavaju i tehničke i ekonomske uslove. Varijante se ocjenjuju od 0 do 4 prema nivou zadovoljenosti kriterijuma. Uzima se da ocijena 1 znači da se varijanta može prihvatiti ali nije dobra, ocijena 2 da je varijanta odgovarajuća, ocijena 3 da je dobra i ocijena 4 da je varijanta idealna [23].



Slika 27. Prikaz odabranih varijantnih rješenja.

Rezultati vrednovanja prikazani su na sl. 27. Za svaku varijantu računa se tehnička koordinata X_i i ekonomska koordinata Y_i . Varijantna rješenja sa ocijenom 0,8 smatraju se vrlo dobrom, iznad 0,7 kao dobre, a ispod 0,6 kao nezadovoljavajuće [22].

Kao varijantno rješenje odabrana je varijanta 2, koja predstavlja električni trotinet sa HUB motorom, koji ima kombinaciju mehaničke disk kočnice i elektronsko regenerativno kočenje. U odabranoj varijanti trotinet ima pneumatske gume sa crijevom, koje obezbjeđuju ugodniju vožnju i jednostavnije se održavaju u odnosu na pneumatske gume bez crijeva.

Odabrana je Litijum-jonska baterija (Li-ion) koja u predstavlja industrijski standard. Velika gustina energije u odnosu na druge baterije (npr. nikl-kadmijum ili nikl-metal-hlorid baterije), brzo punjenje i dug životni vijek doveo je do toga da su Li-ion baterije potisnule druge tipove baterija na tržištu. Iako daleko od savršenstva, sa ekološkog stanovišta njihova proizvodnja i reciklaža su manje štetne, a njihova svestranost znači da se mogu koristiti u različitim aplikacijama, od mobilnih telefona do električnih vozila.

HUB motori su integrisani unutar točka što smanjuje ukupnu veličinu i predstavlja moderniji dizajn. S obzirom da je motor integrisan u točku, on ga direktno pogoni. Eliminise se potreba za lancima ili remenima, koji mogu dovesti do gubitka energije i čestog održavanja.

Materijali koji su odabrani u sklopu varijante 2 su aluminijum i čelik. Legura aluminijuma 6061 je popularna zbog čvrstoće, otpornosti na koroziju i male težine. Zbog toga je čest odabir prilikom izrade konstrukcije električnih trotineta. Zbog koncentracije opterećenja na platformi, odabran je čelik S235JR. Cilj je formirati konstrukciju koja je stabilna i robusna, ali lagana zbog transporta nakon preklapanja.

U cilju unapređenja postojećeg upravljačkog sistema koji se može naći na električnim trotinetima, na prednjoj i bočnim stranama postavljaju se senzori čija je uloga detekcija uslova vožnje i prepreka oko vozila. Senzori šalju signal u kontroler, koji nakon obrade podataka u vidu zvučnog i vizuelnog signala na displeju upozoravaja vozača. Takođe, omogućeno je povezivanje uređaja pomoću *bluetooth* konekcije sa trotinetom i zvučni signali se takođe mogu poslati na slušalice ukoliko ih vozač nosi prilikom vožnje. U skladu sa ovim unapređenjem moguće je, ukoliko vozač odabere takvu nadogradnju, postaviti retrovizor koji vizuelnim signalom (lampicom na staklu) upozorava vozača na potencijalni objekat u slijepom uglu.

Funkciju detekcije, prepoznavanja i praćenja objekata prilikom vožnje može obavljati više različitih senzora, kao što su ultrazvučni senzori, kamere, radar i sl. Ultrazvučni senzor se sastoji od ultrazvučnog primopredajnika koji periodično emituje ultrazvučni talas koji, ako se reflektuje od objekta, vraća prema prijemniku. Prema poznatoj brzini prostiranja talasa može se odrediti udaljenost objekta od vozila. Dobro su rješenje za predloženu nadogradnju, zbog njihove ekonomičnosti, dobrih karakteristika i dostupnosti [24],[25].

7. Prethodni proračun i modeliranje

Nakon definisanja parametara neophodnih za projektovanje, vrši se prerada i korištenje tih informacija da se od ideje dođe do modela koji je osnova za realizaciju proizvoda.

Električni trotinet se može podijeliti na nekoliko glavnih sklopova:

- zadnji točak,
- platforma,
- prednji točak,
- prednji upravljački sklop.

U tabeli 13. prikazane su najčešće vrijednosti parametara električnih trotineta koje su vezane za sam dizajn trotineta.

Tabela 13. Parametri konstrukcije električnih trotineta [26].

Parametri	Najčešći opseg
Nagib upravljača	75°-80°
Rastojanje između točkova	750-900 mm
Ukupna težina	11-30 kg
Težina točka bez pogona	1-2 kg
Težina točka sa pogonom	3-4 kg

7.1 Modeliranje tijela trotineta

Računarski podržano modeliranje omogućava formiranje digitalnog modela proizvoda, i uključuje razmatranje geometrije, tehnologije i funkcije proizvoda, kao i njihove međuzavisnosti. Formiranje digitalnog proizvoda je osnova za virtuelni razvoj proizvoda, koji se odnosi na primjenu softverskih alata za razradu svih faza proizvodnje, od koncepta do pripreme dokumentacije za proizvodnju [18].

Prilikom oblikovanja radnog rješenja proizvoda, implementuje se princip jednostavnosti koji podrazumjeva primjenu formi koja se jednostavno analiziraju u odnosu na parametre čvrstoće i krutosti, primjenjuju se jednostavni oblici koji dopuštaju korištenje poznatih i rutinskih metoda proizvodnje i kontrole kvaliteta, podrazumjeva se jednostavna montaža i demontaža komponenti proizvoda i sl.

Proces modeliranja započinje sa određivanjem gabaritnih mjera. Usvojena su sljedeća ograničenja: ukupna visina trotineta 1140 mm, dimenzije platforme: 500x200 mm imajući u vidu da ispod ploče platforme treba imati prostora da se smjesti baterija i kontroler, prečnik guma 254 mm i rastojanje između točkova: 790 mm. Sa jasno definisanim gabaritima, prelazi se na modeliranje platforme.

7.1.1 Modeliranje platforme

Platforma električnog trotineta se modelira u cilju da se zadovolji nazivna nosivost od 100 kg, zaštite komponente ispod ploče platforme i obezbijedi veza sa viljuškom i upravljačem.



Slika 28. Modelirana platforma trotineta.

Platforma je jednostavnog oblika u cilju da cijena proizvodnje bude što niža. Iznad zadnjeg točka postavlja se blatobran, na kojem se nalazi crveni reflektor. Dijelovi se povezuju postupkom zavarivanja, osim donje ploče koja se pričvršćuje zavrtnjevima radi lakšeg servisiranja baterije i kontrolera, kao i blatobran koji se zavrtnjevima povezuje na gornju ploču. Pored navedenog, na zadnjem dijelu platforme, kod zadnjeg točka, postavljena su klješta disk kočnice.

7.1.2 Modeliranje prednjeg upravljačkog sklopa

Prednji upravljački sklop uključuje upravljač, mehanizam za preklapanje, mehanizam za upravljanje, viljušku i prednji blatobran. Na upravljaču se nalazi ekran za praćenje stanja trotineta, prednje svjetlo i cijev za rukovanje trotinetom. Na cijevi se nalazi kočnica, prekidač za upravljanje brzinom, retrovizor, gumeni rukohvati i žmigavci na krajevima rukohvata. Radi smanjenja ukupne težine trotineta cijevi su od aluminijuma, a mehanizam za preklapanje je od čelika usljed predviđene učestane upotrebe. U cilju lakšeg servisiranja trošnih komponenti u prednjem upravljačkom sklopu, postupak njihovog povezivanja je pomoću zavrtnajskih veza.



Slika 29. Model prednjeg upravljačkog sklopa.

7.1.3 Modeliranje prednjeg točka

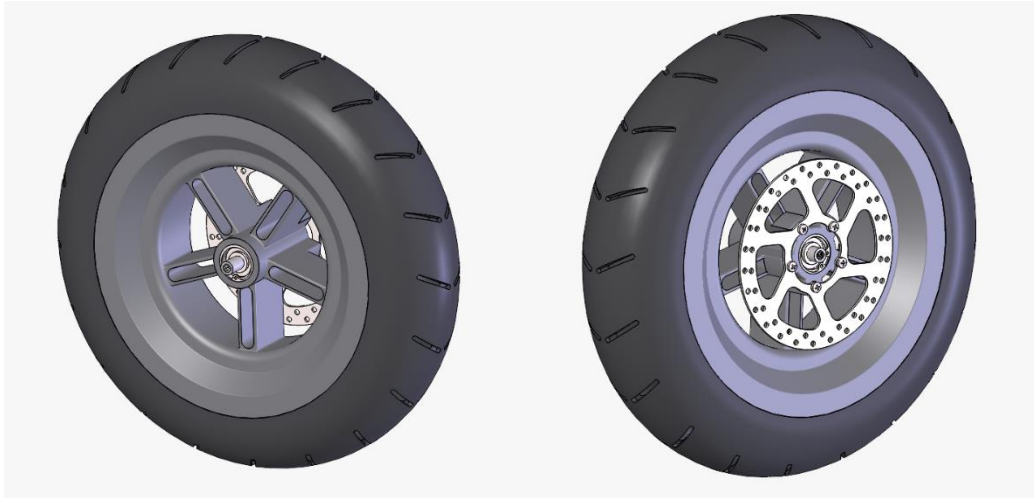
Na prednjem i zadnjem točku predviđene su pneumatske gume sa crijevom, a prečnik točka je 254 mm. U prednjem točku nalazi se HUB DC motor bez četkica odgovarajuće snage. U HUB motoru integrisano je vratilo točka pomoću koje se točak veže na viljušku. Na ovaj način omogućeno je jednostavno servisiranje u slučaju kvara.



Slika 30. Model prednjeg točka.

7.1.4 Modeliranje zadnjeg točka

Zadnji točak čine pneumatska guma i feluga od aluminijuma. Unutar zadnjeg točka ugrađeni su ležajevi koji smanjuju trenje, omogućavaju glađu rotaciju i osiguravaju da će točak biti centriran na osovini. Ležaj se ograničava standardnim elementima – potpornim prstenovima DIN 971. Na zadnjem točku se takođe montira disk od disk kočnice.



Slika 31. Model zadnjeg točka.

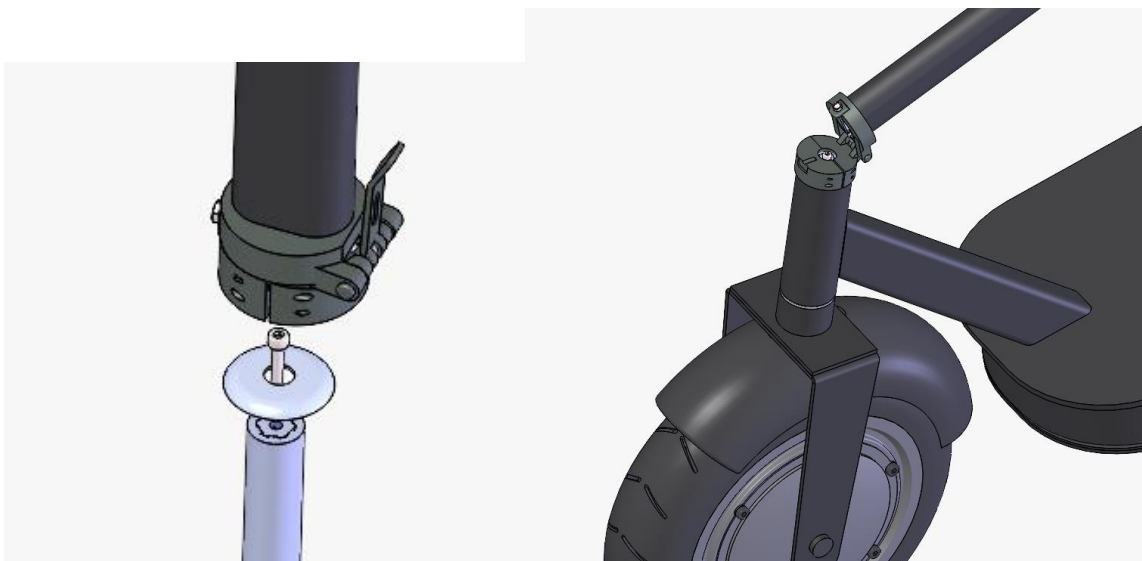
7.1.5 Montaža

U završnoj fazi modeliranja vrši se montaža (sl. 32). Montaža je proces povezivanja dijelova i komponenti u određen proizvod, pri čemu se ti dijelovi i komponente postavljaju u tačno određen međuodnos.



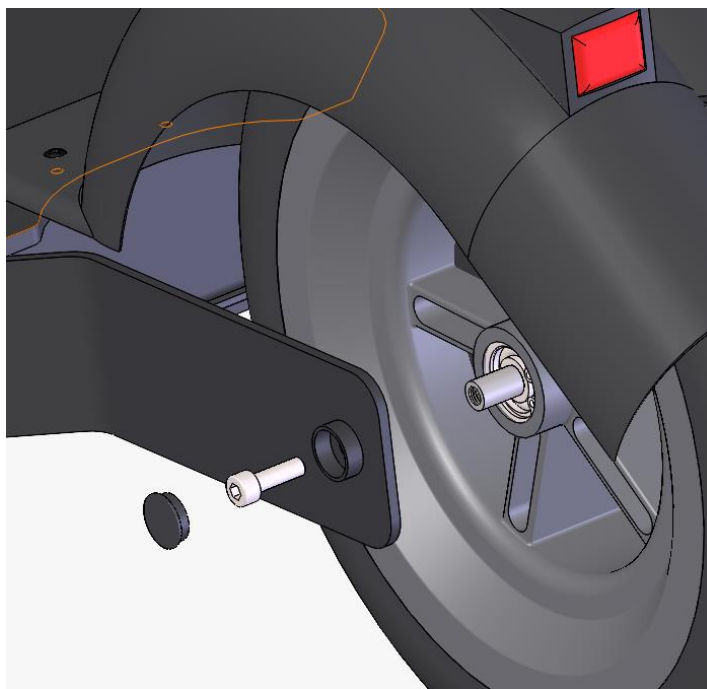
Slika 32. Sklop električnog trotineta.

Prednji točak se vezuje za viljušku zavrtanjском vezom. Sklop viljuške prolazi kroz cijev platforme i pomoću kompresionog zavrtnja se vezuje za mehanizam za preklapanje (sl. 33). Sa gornje i donje strane cijevi platforme postavljaju se ležajevi koji omogućavaju rotaciju viljuške.



Slika 33. a) Povezivanje viljuške sa ostatkom upravljačkog sklopa, b) povezivanje prednjeg upravljačkog sklopa sa platformom.

Zadnji točak se povezuje sa platformom zavrtanjском vezom između osovine zadnjeg točka i zavrtnja koja pričvršćuje osovinu za platformu (sl. 34). Kablovi kočnice prolaze od zadnjeg točka, kroz platformu i cijev prednjeg upravljačkog sklopa do ručice kočnice.



Slika 34. Povezivanje sklopa zadnjeg točka sa sklopom platforme.

7.2 Proračun električnog trotineta

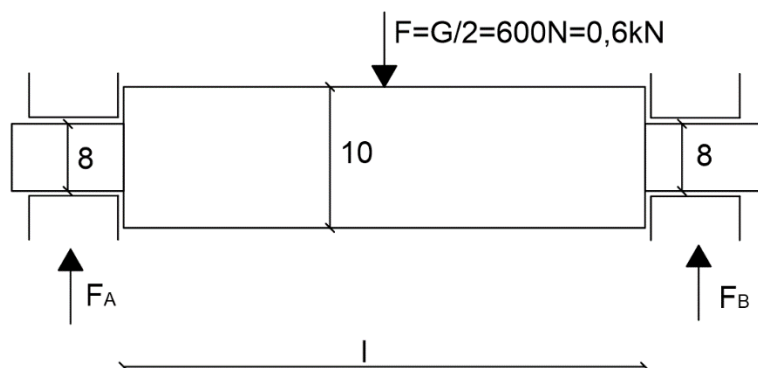
7.2.1 Proračun mašinskih elemenata

Kretanje točkova omogućeno je pomoću mehaničkog sistema kojeg čine ležajevi i osovina. Osovina se može posmatrati kao centralna komponenta koja povezuje zadnji točak sa ostatkom vozila, a ležajevi omogućavaju lakše rotiranje točka jer smanjuju trenje i trošenje komponenti. Na sličan način omogućeno je okretanje prednjeg upravljačkog sklopa kada se upravlja električnim trotinetom.

Ležajevi su mašinski elementi koji omogućavaju obrtno kretanje između dijelova, osiguravaju tačan položaj tih dijelova i istovremeno prenose opterećenje (radijalne, aksijalne i kose sile). Druga bitna uloga ležajeva jeste smanjenje trenja između pokretnih dijelova, pri čemu se smanjuje trošenje komponenti [24], [27].

Osovine su nosači obrtnih mašinskih dijelova. Pretežno su opterećene na savijanje, ne prenose obrtni moment i nisu opterećene na uvijanje [27].

7.2.1.1 Proračun osovine u zadnjem točku



Slika 35. Grafički prikaz opterećenja na osovini zadnjeg točka.

S obzirom da je dominantno naprezanje kod osovine savijanje, odgovarajući napon savijanja koji je bitan za dimenzionisanje je $\sigma_s = \frac{M}{W} \leq \sigma_{fdoz}$, gdje su: M - moment savijanja, W – aksijalni moment otpora poprečnog presjeka osovine i σ_{fdoz} – dozvoljeni napon u odnosu na savijanje.

$$W = d^3 \cdot \frac{\pi}{32} = 98,125 [mm^3].$$

$$\sigma_{fdoz} = \frac{\sigma_{fkr}}{S} \cong \frac{\sigma_{Df}}{K \cdot S}.$$

Stepen sigurnosti se kreće u granicama $S=2,0..2,5$ (usvojeno $S=2$), a vrijednosti σ_{Df} ($\sigma_{Df}=\sigma_{Df(0)}$) – trajne dinamičke izdržljivosti u odnosu na savijanje i faktora K se biraju tabelarno za materijal osovine S235JR [27].

$$\rightarrow \sigma_{f(0)} = 270; K = 1 (R_m < 700).$$

$$\sigma_{fdoz} = \frac{270}{1 \cdot 2} = 135.$$

$$\Sigma F = 0 \rightarrow F_A + F_B - F = 0 \quad F_B = F - F_A.$$

$$\Sigma M_B^F = 0 \rightarrow -F_A \cdot l + F \cdot \frac{l}{2} = 0 \rightarrow F_A = 300 [N] = F_B.$$

$$M = F_A \cdot \frac{l}{2} = 5625 [Nmm].$$

$$\sigma_s = \frac{5625}{98,125} = 57,32 \left[\frac{N}{mm^2} \right] < 135 \left[\frac{N}{mm^2} \right].$$

7.2.1.2 Proračun zavrtnja na zadnjoj osovini

Osovina zadnjeg točka se pričvršćuje na platformu pomoću dva zavrtnja DIN 912, veličine M5x16, standardnog metričkog navoja i klase čelika 8.8. Zavrtnaj je napregnut na smicanje i na površinski pritisak. Srednji tangencijalni napon smicanja i površinski pritisak između zavrtnja i lima iznosi:

$$\tau = \frac{F_s}{i \cdot A} \leq \tau_{doz},$$

$$p = \frac{F_s}{D_o \cdot s} \leq p_{doz},$$

gde su: F_s – sila smicanja koja djeluje na zavrtnaj, i – broj presjeka zavrtnja koji su izloženi na smicanje (jednak je broju parova dodirnih površina spojenih dijelova) i $A = \frac{D_2^2 \cdot \pi}{4}$ – poprečni presjek stabla zavrtnja, D_o – prečnik otvora, s – debljina lima. Dozvoljeni napon i pritisak za statičko opterećenje računa se pomoću formula [27]:

$$\tau_{doz} = \frac{R_e}{S} = \frac{R_e}{1,7} \approx 0,6 \cdot R_e,$$

$$p_{doz} = 1,2 \cdot R_e \approx 0,75 \cdot R_m.$$

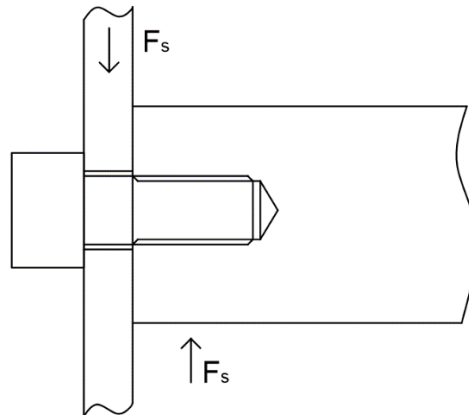
Usvaja se granica tečenja R_e (ili zatezna čvrstoća R_m) za slabiji materijal u spoju (S235JR). Razmatraće se da je platforma neravnomjerno opterećena, te da je zavrtnaj zadnjeg točka opterećen sa 80% ukupnog opterećenja ($F_s = \frac{0,8 \cdot 120 \cdot 10}{2} = 480$ N). Za odabrani zavrtnaj slijedi: $D_2=4,480$, $A=15,763 \text{ mm}^2$, $i=1$, $R_{m(S235)}=370 \text{ N/mm}^2$, $R_{m(M5)}=800 \text{ N/mm}^2$, $R_{e(S235)}=235 \text{ N/mm}^2$, $R_{m(M5)}=640 \text{ N/mm}^2$.

$$\tau_{doz} = 0,6 \cdot 235 = 141 \left[\frac{N}{mm^2} \right],$$

$$\tau = \frac{480}{1 \cdot 15,763} = 30,451 \left[\frac{N}{mm^2} \right] < 141 \left[\frac{N}{mm^2} \right],$$

$$p_{doz} = 1,2 \cdot 235 = 282 \left[\frac{N}{mm^2} \right] = 2820 [bar],$$

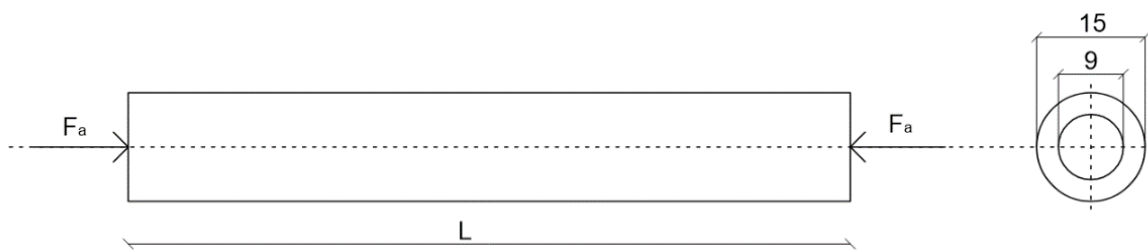
$$p = \frac{480}{5,5 \cdot 3} = 29,091 \left[\frac{N}{mm^2} \right] = 290,91 [bar] < 2820 [bar].$$



Slika 36. Smicajna poprečno opterećena zavrtnajska veza između zavrtnja, ploče platforme i osovine zadnjeg točka.

7.2.1.3 Proračun osovine u mehanizmu za upravljanje

Kao osovina u mehanizmu za upravljanje, koristi se cijev bez promjene poprečnog presjeka spoljašnjeg prečnika $d_s=15$ mm, unutrašnjeg prečnika $d_u=9$ mm i dužine $L=100$ mm, na kojoj aksijalne sile izazivaju napone usljed pritiska (sl. 37).



Slika 37. Grafički prikaz opterećenja na osovini mehanizma za upravljanje.

Napon se određuje prema izrazu:

$$\sigma_z = \frac{F_a}{A},$$

gdje su: F_a - aksijalna sila u [N] i A - poprečni presjek osovine u [mm²]. Aksijalna sila u razmatranom slučaju biće ukupna težina platforme i vozača.

$$F_a = m \cdot g = 120 \cdot 10 = 1200 \text{ [N]},$$

$$A = (r_s^2 - r_u^2) \cdot \pi = 113,097 \text{ [mm}^2\text{]},$$

$$\sigma_z = \frac{1200}{113,097} = 10,61 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right].$$

Naponi usljed pritiska su ravnomjerno raspodijeljeni po poprečnom presjeku osovine. Pretpostaviće se da su naponi konstantni, s obzirom da je broj uključenja toku radnog vijeka relativno mali, pa se proračun izvodi po kriterijumu čvrstoće [27].

Aksijalno opterećen štapa zadovoljava kriterijum čvrstoće ako mu računski napon σ_z zadovolji uslov čvrstoće [28]:

$$\sigma_z \leq \sigma_d,$$

u kojem je σ_d – dozvoljeni napon. U slučaju srednje plastičnih materijala, kao što je materijal cijevi (čelik S235JR) dozvoljeni napon se određuje pomoću konvencionalne granice tečenja $R_{p0,2}$, pa je:

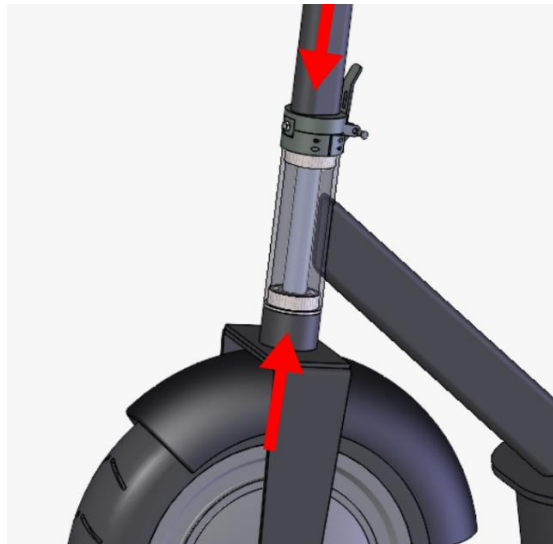
$$\sigma_d = \sigma_{de} = \frac{R_{p0,2}}{S},$$

gdje je: S – stepen sigurnosti u granicama 1,6...2,5, usvaja se vrijednost $S=2,0$.

$$\rightarrow \sigma_d = \frac{235}{2} = 117,5 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \rightarrow \sigma_z = 10,61 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] < \sigma_d = 117,5 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right].$$

7.2.1.4 Proračun ležajeva u mehanizmu za upravljanje

U mehanizmu za upravljanje ležajevi se uglavnom mogu naći u paru, jedan na gornjem dijelu cijevi platforme, a drugi na donjem. Njihova primarna svrha prenos aksijalnog opterećenja, što bi u ovom slučaju bila težina vozača i platforme (sl. 38) i omogućavaju prenos obrtnog kretanja sa upravljačkog sklopa na točak.



Slika 38. Pravac djelovanja opterećenja na ležajeve u mehanizmu za upravljanje.

U cilju smanjenja cijene, ali i mogućnosti nabavke i lakoće ugradnje, bira se kuglični jednoredi ležaj sa radijalnim dodirom. Ovi ležajevi imaju mogućnost prenosa i aksijalnog i radijalnog opterećenja i u katalogu proizvođača se mogu naći pod oznakom 60 ili 62 [24].

Na osnovu unutrašnjeg prečnika cijevi, bira se ležaj sa spoljašnjim prečnikom $D=28$ mm, unutrašnjim prečnikom $d=15$ mm i širinom $B=7$ mm. Vrijednosti koeficijenta ležajeva mogu se uzeti iz kataloga proizvođača (SKF). Statička sigurnost ležaja provjerava se pomoću faktora statičke sigurnosti S_0 . On se definiše kao mjera sigurnosti protiv pojave prevelikih plastičnih deformacija na mjestima dodira kuglice ležaja sa ostalim dijelovima ležaja, koje nastaju kao posljedica djelovanja opterećenja na ležaj [24].

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0},$$

gdje su: C_0 – statička nosivost ležaja, tj. opterećenje koje na najopterećenijim mjestima dodira dijelova ležaja neće izazvati deformaciju veću od 0,01% prečnika kuglice i P_0 – ekvivalentno statičko opterećenje. Vrijednost C_0 se može pronaći u katalogu proizvođača i određuje se eksperimentalno, a s obzirom da se razmatra samo aksijalno opterećenje, onda je $P_0=F_{a0}$ [kN].

$$F_a = m_{gaz+nos} \cdot g \approx 1,2 \text{ [kN]}.$$

$$\frac{f_0 \cdot F_a}{C_0} \approx 7 \rightarrow e = 0,43.$$

$$P_0 = F_a = 1,2 \text{ [kN]}.$$

$$S_0 = \frac{2,24}{1,2} \approx 2.$$

Prema SKF preporukama odabrani ležaj zadovoljava visoke zahtjeve za mirnim radom pri jakim udarima u radnim uslovima.

7.2.1.5 Proračun ležajeva u prednjem i zadnjem točku

Jednoredi kuglični ležaj sa radijalnim dodirom se može primjeniti i u točkovima, jer mogu prenijeti radijalno opterećenje koje nastaje od težine tijela troketeta i težine vozača kao i odgovarajuću silu reakcije. Da bi se ležaj zaštitio od prodiranja stranih tijela bira se ležaj sa dva zaptivna prstena.

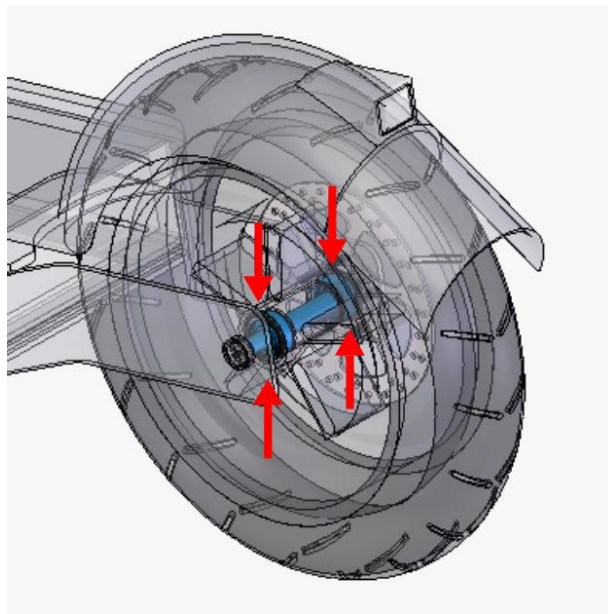
Ukupna težina djeluje na radijus ležaja, tj. djeluje normalno na rotacionu osu ležaja. S obzirom da se ukupno opterećenje prenosi na 4 ležaja (po dva u svakom točku), za jedan ležaj uzeta je u obzir $\frac{1}{4}$ opterećenja koja djeluje sa gornje strane ležaja i $\frac{1}{4}$ sile reakcije koje djeluje sa donje strane.

Ukupna težina troketeta i vozača iznosi $M=115,57 \text{ kg} \approx 120 \text{ kg}$, a opterećenje koje se razmatra po ležaju je $F_r=600 \text{ N} = 0,6 \text{ kN}$. S obzirom da se razmatra samo radijalno opterećenje, ekvivalentno statičko opterećenje je $P_0=F_r=0,6 \text{ kN}$. Za jednoredi kuglični ležaj unutrašnjeg

prečnika $d=8$ mm, spoljašnjeg prečnika $D=22$ mm i širine $B=7$ mm , odnos statičke nosivosti ležaja je $C_0= 1,37$ kN i odgovarajući faktor statičke sigurnosti je:

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0} = 2,283.$$

Ovakav ležaj zadovoljava zahtjeve za mirnim radom pri jakim udarima u radnim uslovima prema SKF preporukama.



Slika 39. Raspodjela opterećenja na ležajevima u zadnjem točku električnog trotineta.

7.2.2 Određivanje potrebne snage motora

Prilikom odabira snage motora potrebno je razmotriti više faktora:

- željena brzina – trotineti koji ostvaruju veće brzine zahtjevaju jače motore,
- težina vozača,
- težina trotineta,
- teren za koji je trotinet namijenjen,
- uticaj sila na trotinet kao što su otpor kotrljanju točkova, atmosferski otpor i sl.
- efikasnost motora – uglavom od 80-90%, te je potrebno uzeti u obzir gubitke,
- kapacitet baterije.

Za trotinet koji je modeliran usvaja se:

- težina korisnika: 100 kg
- težina trotineta: 15,57 kg
- željena brzina: 25 km/h (6,94 m/s)
- teren: ravan (gradska vožnja)

Usvaja se koeficijent otpora kotrljanja $C_{rr}=0,01$ (prosječna vrijednost za gume trotineta), atmosferski otpor za vozača koji stoji na trotinetu $C_dA=0,9 \text{ m}^2$. Ukupna težina koja se razmatra [29]:

$$m = m_v + m_t \text{ [kg]},$$

gdje je: m_v – težina korisnika (vozača) i m_t – težina trotineta.

Snaga koja je potrebna da bi se savladao otpor:

$$P = \frac{F \times v}{1000} \text{ [kW]},$$

gdje je: $F=F_{kotrj}+F_{vaz}$ – ukupna sila koja je potrebna za kretanje [N], v – željena brzina trotineta [m/s], P – snaga [kW].

$$F_{kotrj} = M * F_{rr} = M * (C_{rr} * g) = 115,57 * (0,01 * 9,81) = 11,34 \text{ [N]},$$

$$F_{vaz} = 0,5 * \rho * C_dA * v^2 = 0,5 * 1,204 * 0,9 * 6,94^2 = 26,1 \text{ [N]},$$

gdje je: ρ – gustina vazduha.

Usvaja se ukupna sila $F = 11,34 + 26,1 = 37,5 \approx 38 \text{ N}$. Potrebna snaga da bi se ostvarila brzina od 25 km/h: $P = \frac{38 * 6,94}{1000} = 0,264 \text{ [kW]} = 264 \text{ [W]}$. Uzimajući u obzir gubitke u motoru, usvaja se efikasnost od 85% i potrebna snaga je: $P_r = \frac{264}{0,85} = 310,59 \approx 311 \text{ [W]}$. Prema prethodnom proračunu usvaja se motor snage 350 [W]. Motori ove snage su standardni za trotinete namijenjene za gradsku vožnju.

7.2.3 Određivanje dometa električnog trotineta

Odabrana je Li-ion baterija sa specifikacijama: 36 V i 18 Ah. Kapacitet baterije se može odrediti kao: $KB = \text{napon} \cdot \text{kapacitet} = 36 \cdot 18 = 648 \text{ [Wh]}$. Za procjenu dometa potrebno je odrediti prosječnu potrošnju energije [Wh/km]. Ovaj parametar varira u zavisnosti od težine korisnika, terena, otpora vjetrova i drugih faktora. Za većinu trotineta može se uzeti da je taj parametar 12 [Wh/km]. Na osnovu navedenog, domet odabranog trotineta je [30]:

$$\text{domet} = \frac{\text{kapacitet baterije}}{\text{prosječna potrošnja}} = \frac{648}{12} = 54 \text{ [km]}.$$

Razmatrana baterija zadovoljava predviđeni domet od 50 km. Dimenzije ovakve baterije su 40x114x410 mm i njihova težina je 2,5 kg. Međutim, bitno je imati u vidu da je izračunati domet samo procjena. Stvarni domet može da varira zbog raznih faktora, kao što su teren, stil vožnje, vremenski uslovi i sl.

7.2.4 Proračun nosivosti električnog trotineta

Kada na tijelo djeluje spoljašnje opterećenje, dejstvo tog opterećenja se prenosi na cijelo tijelo. Unutar tijela se formiraju unutrašnje sile i reakcije koje teže da dovedu tijelo u stanje ravnoteže.

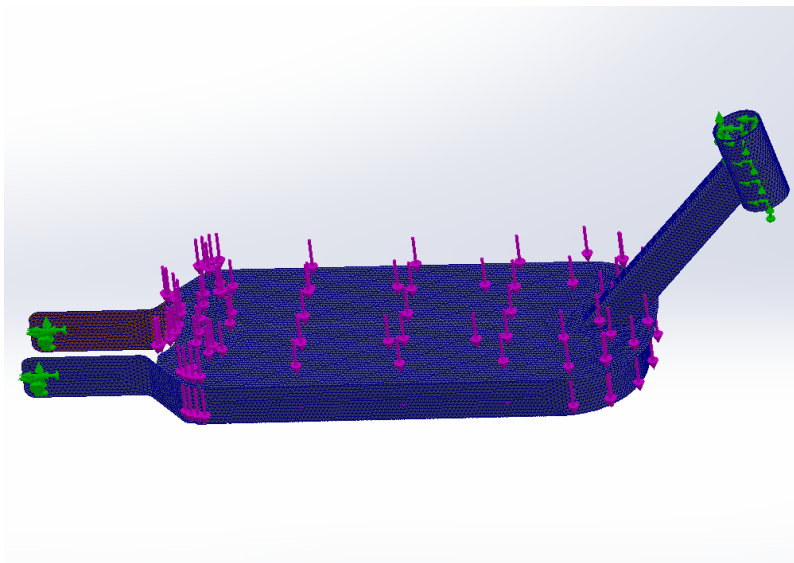
Program u kome je simulirano opterećenje na model trotineta je *SolidWorks*. Odabrana je linearna statička analiza koja izračunava deformacije, naprezanja i reakcije usljed dejstva opterećenja. Za linearnu statičku analizu usvojene su određene pretpostavke kao što je konstantno opterećenje i linearan odnos između opterećenja i odziva. Ova pretpostavka se usvaja ako [31]:

- svi materijali nisu dosegli granicu elastičnosti usljed naprezanja i deformacija,
- ne dolazi do promjene graničnih uslova (opterećenja ostaju konstantna po vrijednosti, smjeru i prenosu kroz tijelo),
- se zanemare promjene krutosti usljed deformacije tijela.

Simulacija unutar programa *SolidWorks* koristi metodu konačnih elemenata (MKE) za proračun. MKE je prihvaćena kao standardna metoda analize zbog široke primjene i pogodnosti za implementaciju na računaru. Metoda dijeli model na više manjih dijelova jednostavnih oblika i na taj način se komplikovana analiza dijeli na veliki broj jednostavnih analiza koje je potrebno izvršiti istovremeno. Dijelovi su međusobno povezani čvorovima, a postupak podjele na modela na male dijelove naziva se mreža (eng. *meshing*) [31].

7.2.4.1 Naponsko deformaciona analiza

Naponsko deformaciona analiza rađena je u modulu za simulacije unutar *SolidWorks*-a. Da bi se proračun pojednostavio, platforma je „fiksirana“ na mjestu oslonca na zadnjem točku i na mjestu gdje se platforma spaja sa upravljačkim sklopom. Postavlja se opterećenje od 100 kg koje normalno djeluje sa gornje strane ploče platforme, kao i opterećenje od 2,5 kg sa donje strane, koje simulira težinu baterije kao na sl. 40.



Slika 40. Prikaz opterećenja i ograničenja platforme u modulu za simulacije unutar programa *SolidWorks*.

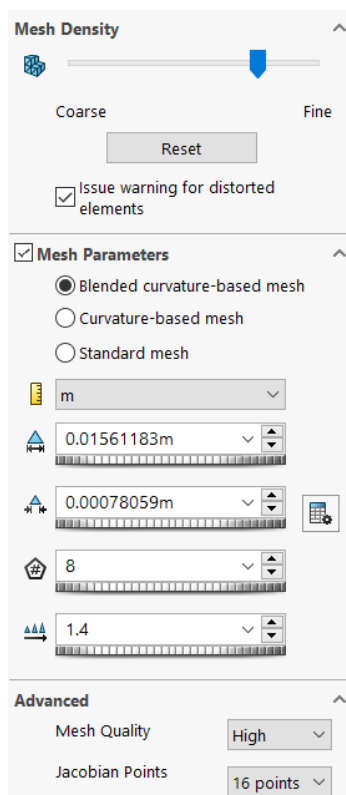
U sljedećem koraku potrebno je definisati mrežu. Prilikom izrade mreže moguće je izabrati da u mreži budu dijelovi većih ili manjih dimenzija. Previše male dimenzije elemenata mogu da produže proces proračuna, ali previše veliki elementi čine proračun nedovoljno preciznim.

Generalno se primjenjuje da se u zonama koncentracije napona uzimaju što sitniji elementi, dok u ostalim zonama mreža može biti rjeđa [23].

Podešavanje parametara mreže je bitan faktor prilikom generisanja rezultata simulacije. Postoji nekoliko tipova mreže koje je moguće izabrati (sl. 41) [32]:

- mješana mreža bazirana na zakrivljenosti konture (eng. *Blended curvature-based mesh*) – automatski podešava veličinu elemenata mreže prema zakrivljenosti. Ima prednost u poređenju sa standardnom mrežom i mrežom baziranoj na zakrivljenosti konture jer formira elemente većeg kvaliteta,
- mreža bazirana na zakrivljenosti konture (eng. *Curvature-based mesh*) – formira više elemenata na mjestima veće zakrivljenosti konture,
- standardna mreža (eng. *Standard mesh*) – koristi *Voronoi - Delaunay* triangulaciju poligona za formiranje mreže.

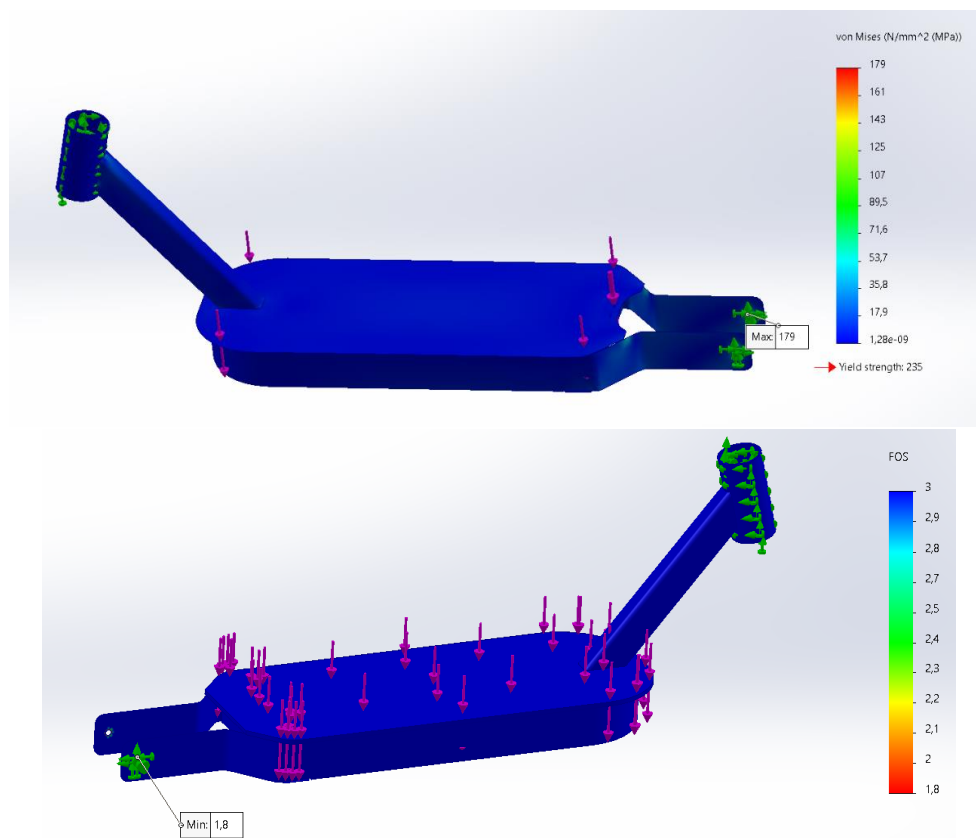
Gustina mreže se podešava pomoću klizača pod opcijom *Mesh Density*. U slučaju da je gustina mreže veća (klizač pomjeren prema opciji *Fine*), program podešava broj Jakobijevih tačaka tako što provjerava izobličenja elemenata mreže [32].



Slika 41. Parametri podešavanja mreže unutar modula za simulacije.

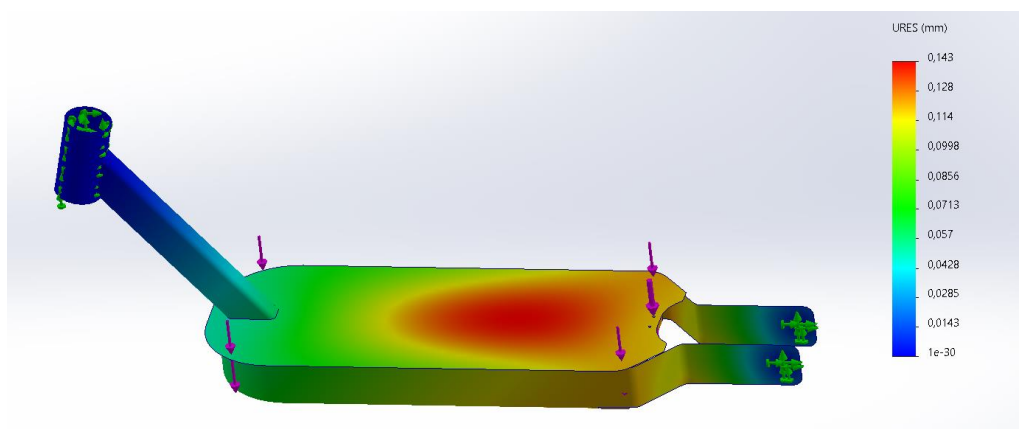
Rezultat naponskog stanja za prethodno opisan slučaj prikazan je na sl. 42. Iz legende se može vidjeti da maksimalni napon ne prelazi granicu razvlačenja koja iznosi 235 MPa i da je stepen sigurnosti veći od minimalnog (usvojen minimalni stepen sigurnosti $S=1,5$). Maksimalni

napon iznosi 179 MPa i može se zaključiti da je model predimenzionisan, te je moguće smanjiti debljine materijala za optimalni odnos mase i krutosti.



Slika 42. Prikaz naponskog stanja i stepena sigurnosti platforme nakon simulacije.

Maksimalan ugib prikazan je na sl. 43. Najveće deformacije javljaju se na ploči platforme u smjeru djelovanja opterećenja. Deformacije su male, ne ugrožavaju integritet i funkcionalnost trotineta i mogu se zanemariti. Iz prethodno opisanog zaključuje se da platforma zadovoljava prethodno postavljene zahtjeve sistema, što podupire pretpostavku o pouzdanosti konstrukcije u realnim uslovima eksploatacije.

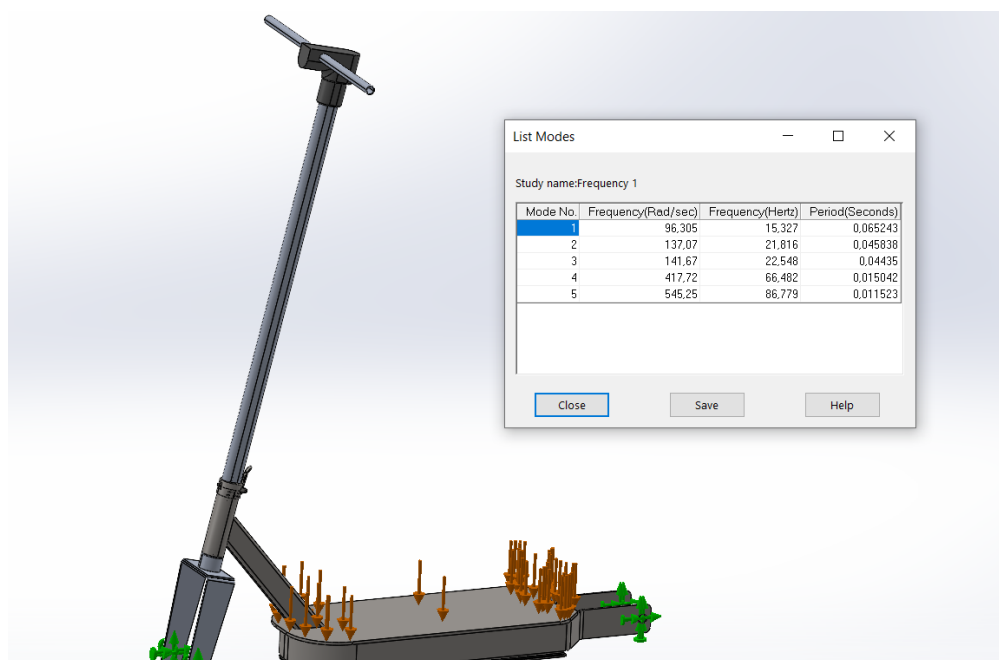


Slika 43. Maksimalna pomjeranja platforme nakon simulacije.

7.2.4.2 Frekventna analiza

Sve strukture vibriraju na određenim frekvencijama koje se zovu prirodne ili rezonantne frekvencije. Vrijednost ovih frekvencija zavisi od oblika proizvoda. Kada na proizvod djeluje opterećenje čija je frekvencija ista kao prirodna frekvencija proizvoda dešavaju se velike deformacije. Ove deformacije nastaju usljed fenomena koji se naziva rezonanca koji, ukoliko ne postoje ograničenja na proizvodu, teoretski izaziva beskonačno kretanje. U stvarnosti proizvodi imaju ograničen broj prirodnih frekvencija i njihov broj je jednak broju stepeni slobode [33].

Generalno posmatrano, opterećenja koja pritišću proizvod smanjuju rezonantne frekvencije, dok ih zatezna opterećenja povećavaju. Analiza unutar *SolidWorks*-a uzima u obzir opterećenje i ukazuje na slučaj kada se jave rezonantne frekvencije unutar proizvoda [33].



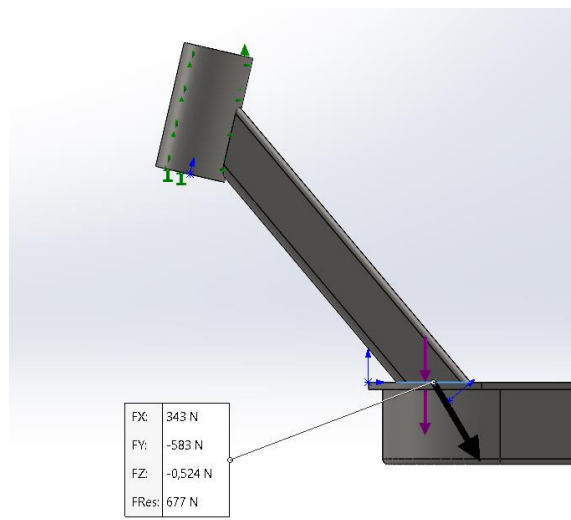
Slika 44. Rezonantne frekvencije modela trotineta.

Na sl. 44. prikazano je 5 osnovnih modova u frekventnoj analizi. Svaki mod odgovara različitoj prirodnoj frekvenciji modela. Svaka od ovih frekvencija definiše specifičan način deformacije modela. Prva prirodna frekvencija je frekvencija na kojoj model najlakše osciluje, dok sa porastom frekvencije javljaju se složeni načini oscilovanja.

8. Optimizacija konstrukcije i simulacija

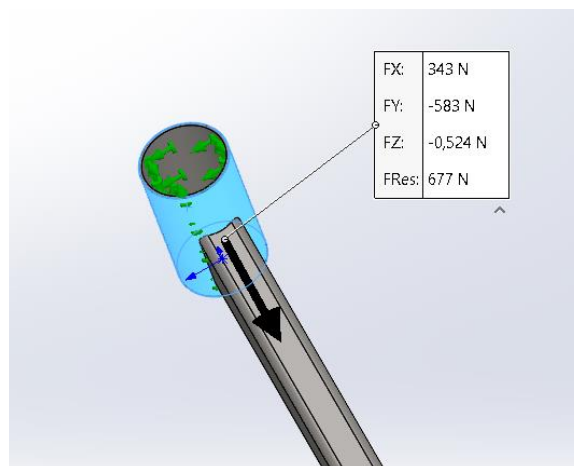
Nakon modeliranja trotineta, u cilju unapređenja konstrukcije odrađena je optimizacija. Optimizacija se radi u okviru studija *Topology Study* i *Design Study* unutar programa *SolidWorks*, koja koristi metodu konačnih elemenata za analizu. Preko ovog modula može se optimizirati oblik uz više varijacija do postizanja optimalne raspodjele napona ili deformacija.

Topološka studija se odnosi na analizu pojedinačnih dijelova, te je prije njihove optimizacije potrebno odrediti rezultantne sile i njihov smjer. Nakon statičke analize sklopa, prikaz rezultantnih sila se može dobiti u kartici *Results* biranjem opcije *List result force*. Rezultantna sila pravougaone cijevi i njene komponente prikazane su na sl. 45.



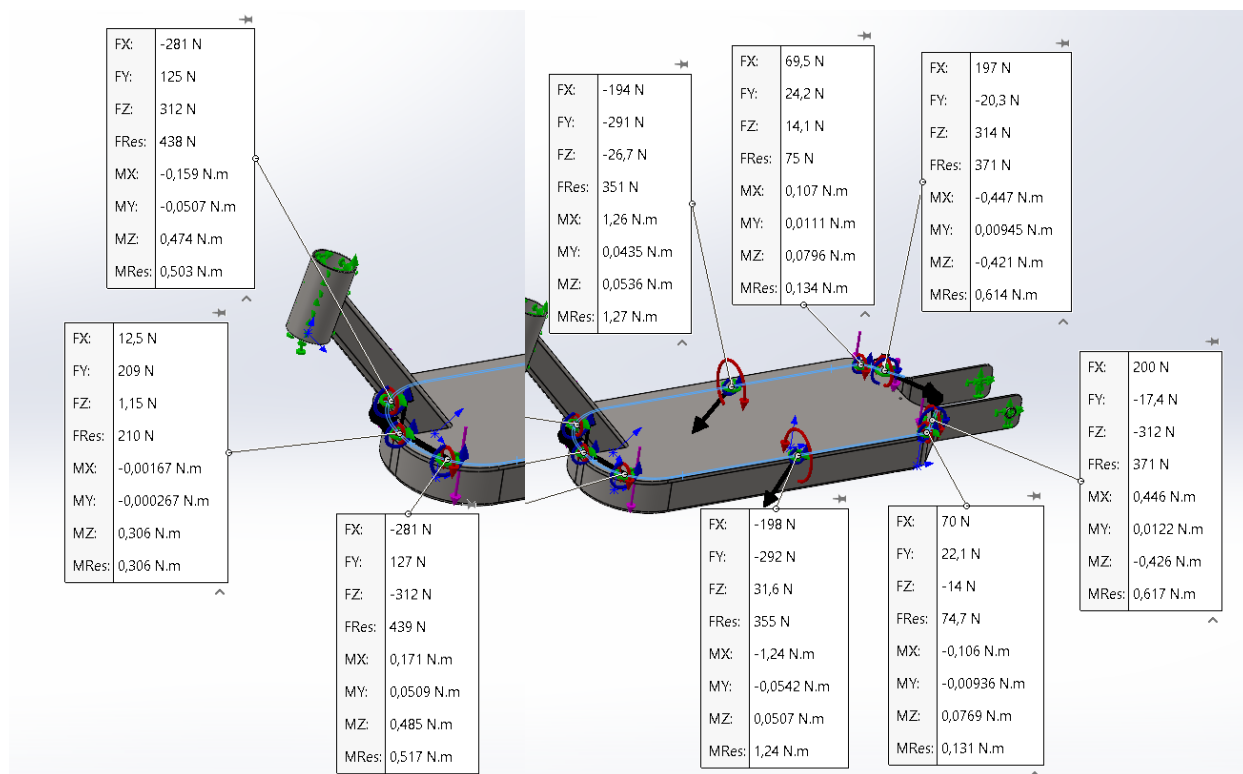
Slika 45. Vrijednost rezultantne sile koja djeluje na pravougaonu cijev.

Rezultantna sila okrugle cijevi prikazana je na sl. 46. Sila se prenosi sa pravougaone na okruglu cijev, za koju je prethodno usvojeno da je nepokretni oslonac sklopa platforme.



Slika 46. Vrijednost rezultantne sile koja djeluje na okruglu cijev platforme.

Rezultantna sila oslone ploče prikazana je na sl. 47. Ovo je rezultat djelovanja opterećenja od 100 kg na ploču platforme, kao i dejstvo težine pojedinačnih komponenti.



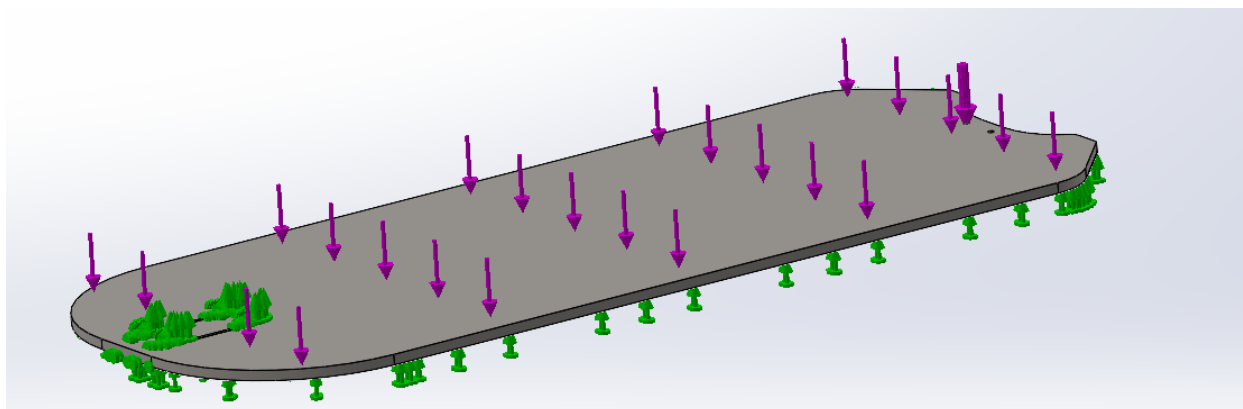
Slika 47. Vrijednost rezultantnih sila koje djeluju na oslonu ploču platforme.

8.1 Topološka optimizacija platforme

Topološka studija se odnosi na optimizaciju dijelova. Cilj je optimizirati ploču i pravougaonu cijev, da bi se smanjila ukupna masa platforme.

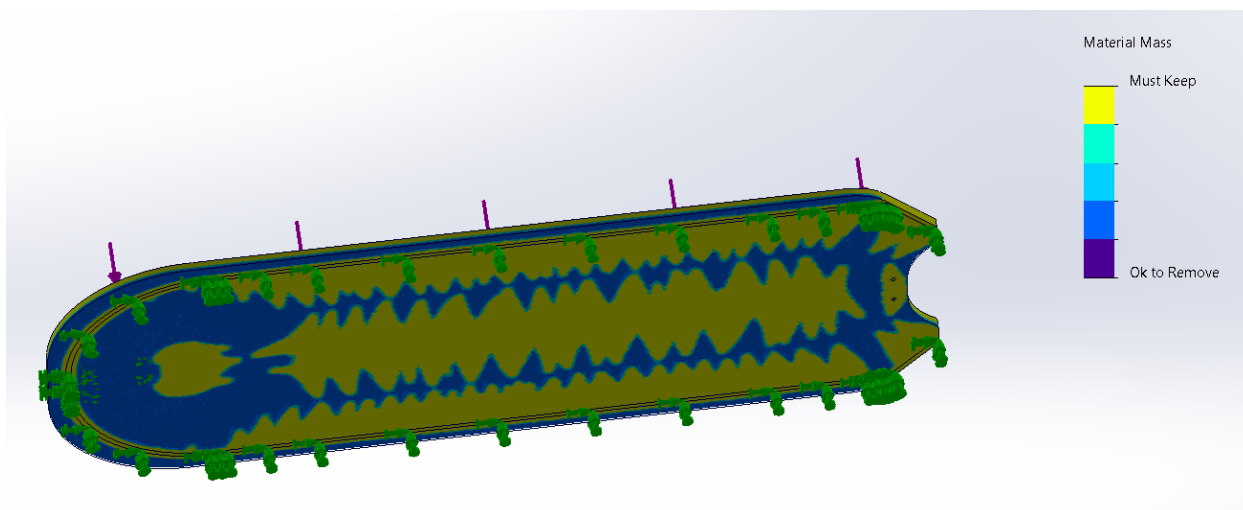
Optimizacija je započeta sa pločom platforme. Prvi korak prilikom topološke optimizacije je definisanje oslonca. To su površine koje su u dodiru sa pravougaonom cijevi i oslonom pločom. Kao i kod statičke analize, postavljaju se sile od 1000 i 25 N (sl. 48). U kartici *Goals and Constrains* bira se najbolji odnos krutosti prema masi, te se postavlja cilj koji je u ovom slučaju smanjenje mase za 30%.

U dijelu *Manufacturing Control* definiše se ravan simetrije i biraju elementi koji se trebaju zaštititi prilikom optimizacije. To mogu biti regije dijelova koji ne treba da se pomjeraju, kao npr. oslonci. Ovakve površine neće biti dio optimizacije i ostaće nepromijenjene. U razmatranom slučaju to su rupe za povezivanje blatobrana za platformu.



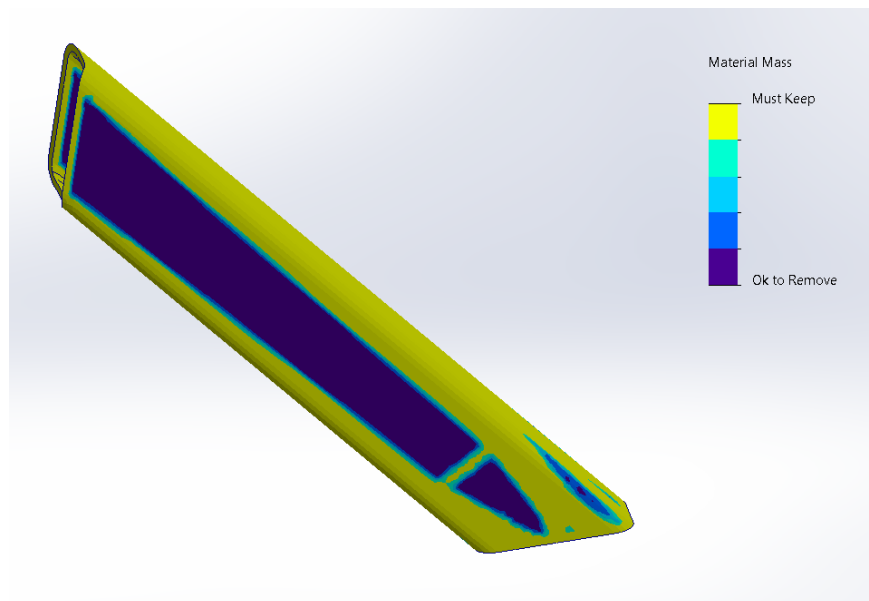
Slika 48. Prikaz opterećenja i ograničenja ploče platforme prilikom topološke optimizacije.

Rezultat optimizacije prikazan je na sl. 49. *Solidworks* osim regija koje su zaštićene, automatski štiti oslonce i njih izostavlja iz simulacije. S obzirom da se mora obezbijediti zatvoren sistem platforme, ne može se odraditi prava topološka optimizacija u smislu isjecanja pozicije. Rezultat optimizacije se može tumačiti kao smanjenje debljine materijala sa 5 mm na 3 mm, bez promjene oblika ploče platforme.



Slika 49. Prikaz rezultata topološke optimizacije ploče platforme unutar programa *SolidWorks*.

Za pravougaonu cijev postavlja se fiksni oslonac za okruglu cijev i reakciona sila sa ploče platforme. Kao cilj optimizacije postavlja se najbolji odnos krutosti prema masi i smanjenje mase za 40%.



Slika 50. Rezultat topološke optimizacije pravougaone cijevi platforme unutar programa *SolidWorks*.

Kod optimizacije cijevi omogućeno je isjecanje s obzirom da ona nije dio zatvorenog sistema. Prilikom topološke optimizacije cijevi u modulu za sklopove, moguće je eksportovati i preklopiti mrežu optimalnog i početnog dijela što značajno olakšava proces optimizacije, jer vizuelno prikazuje oblasti materijala koje se mogu odstraniti.

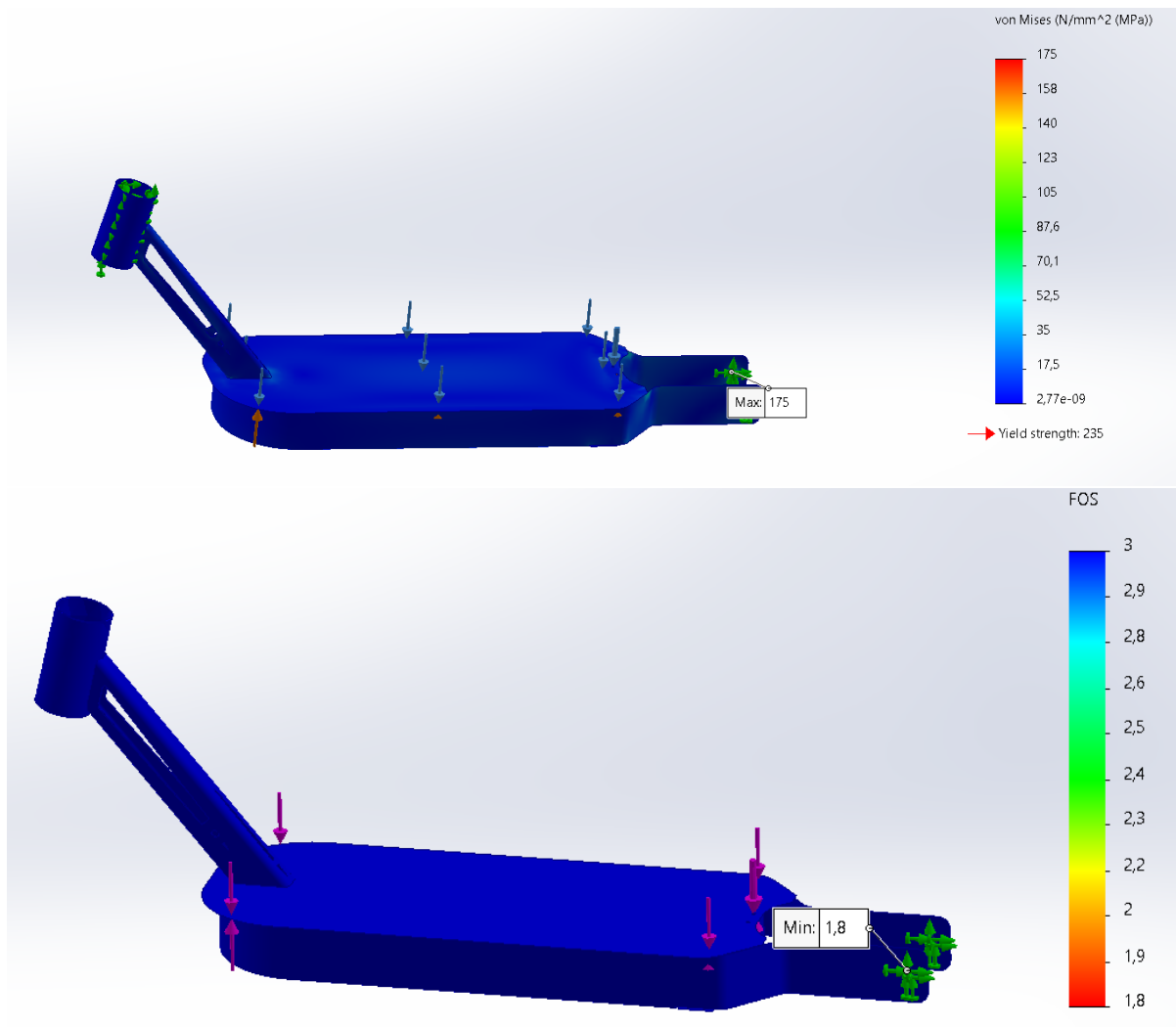


Slika 51. Uporedni prikaz mreže optimiziranog početnog modela i modela pravougaone cijevi nakon isjecanja.

Nakon optimizacije sastavnih dijelova platforme, ukupna masa je smanjena sa 7015 g na 5208 g. Nakon optimizacije neophodno je provjeriti da li optimizirani sklop zadovoljava početne uslove.

8.1.1 Naponsko deformaciona analiza optimiziranog sklopa

Postavljaju se isti uslovi kao kod statičke analize prvobitnog modela. Raspodjela i intenzitet napona i vrijednost stepena sigurnosti prikazani su na sl. 52.



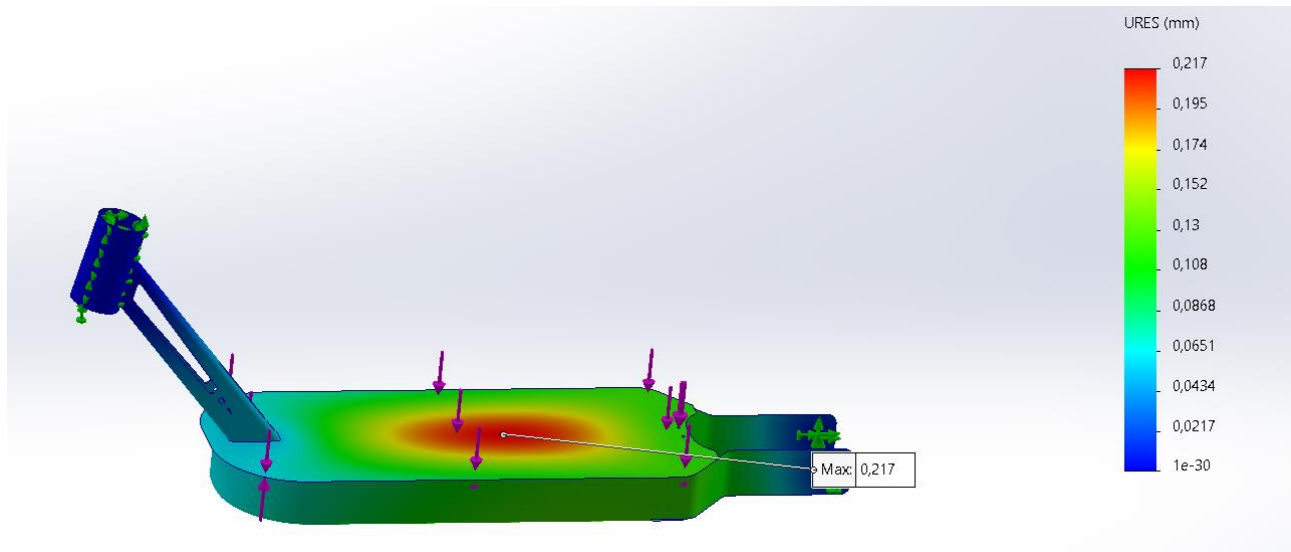
Slika 52. Prikaz naponskog stanja i stepena sigurnosti sklopa optimiziranog pomoću topološke optimizacije.

Naponi u optimiziranom dijelu iznose 175 MPa i ne prelaze granicu razvlačenja. Štaviše napon je manji u poređenju sa izvornim modelom, jer je ukupna masa smanjena, a samim tim je i smanjeno opterećenje na oslonce, gdje se nalazi najveća koncentracija napona.

U cilju poboljšanja sigurnosti i performansi moguće je smanjiti koncentracije napona na kritičnim mjestima na sljedeće načine:

- izmjena geometrije, primjena zaobljenja ili skošenja na ivicama,
- korištenje drugih materijala – primjena legura ili kompozitnih materijala može rezultovati boljim naponskim stanjem usljed boljih osobina pod specifičnim uslovima eksploatacije.

Minimalni stepen sigurnosti $S=1.8$. Ugib za optimizirani model (sl. 53) se povećao za 0,074 mm što je zanemarljivo.



Slika 53. Prikaz ugiba sklopa nakon tološke optimizacije.

8.2 Parametarska optimizacija platforme električnog trotineta

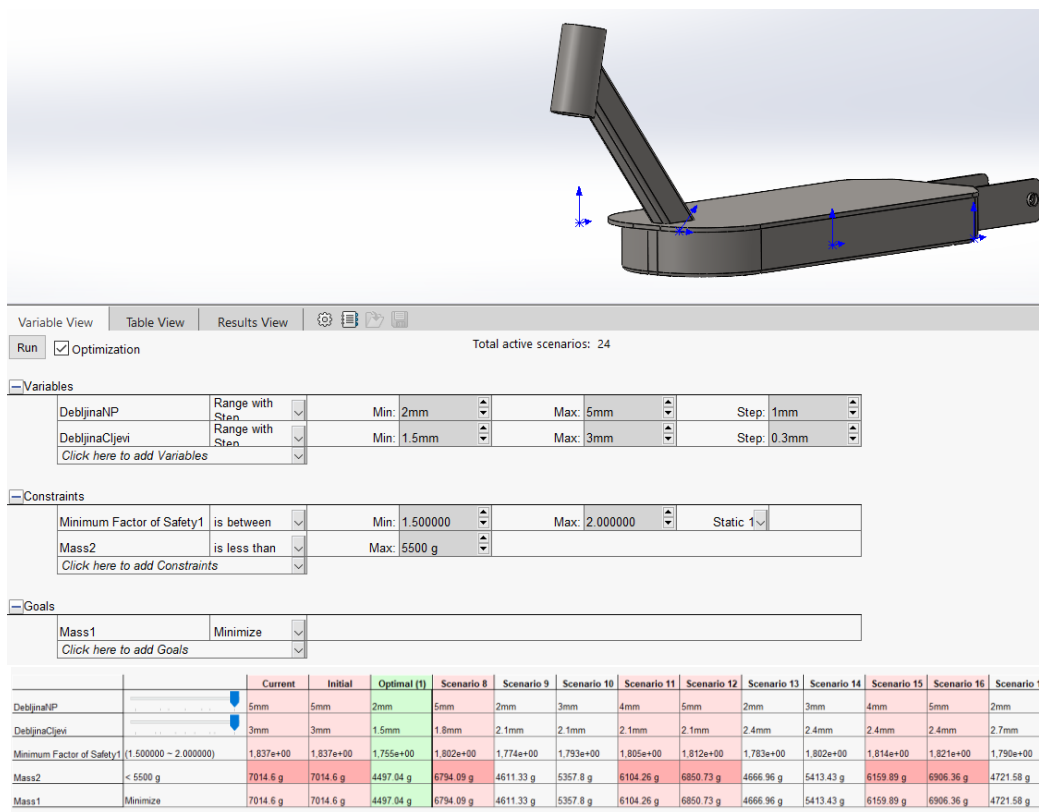
Pomoću parametarske optimizacije (eng. *Design Study*) pronalazi se optimalna kombinacija parametara dijela ili sklopa, kroz više iteracija. Parametarska optimizacija omogućava da se razmatra veliki broj varijabli sistema, bez da projektant redom ispituje svaku opciju pojedinačno (sl. 54).



Slika 54. Varijable, ograničenja i ciljevi parametarske optimizacije.

Ograničenja i ciljeve optimizacija definiše projektant. Ova ograničenja i ciljevi se mogu odnositi na bilo koje varijable modela (kao što su dimenzije, materijal i sl.). Kao ograničenja postavljaju se „senzori“ koji mogu biti podaci iz simulacije, ograničenja mase, dimenzija ili cijene. Prilikom postavljanja „senzora“ cilja potrebno je razmatrati u kojem smjeru se želi sprovesti studija. Za razvoj trotineta razmatra se samo smanjenje mase.

Postavljene varijable, ograničenja i ciljevi parametarske optimizacije prikazani su na sl. 55. Od 24 moguća scenarija odabrana je optimalna varijanta koja je naznačena zelenom bojom.



Slika 55. Podešavanja parametarske optimizacije i prikaz optimalnog rezultata.

Ova optimizacija radi na principu promjene debljine materijala, geometrije i distribucije materijala u cilju smanjenja ukupne mase. Potom se pronalazi optimalno rješenje prema postavljenom ograničenju, koje je u razmatranom slučaju faktor sigurnosti, koji je dio statičke analize koja je prethodno odrađena, kao i smanjenje mase ispod određene vrijednosti.

Može se zaključiti da sinteza topološke i parametarske optimizacije kao kombinovanog modela ima niz prednosti jer omogućava holistički pristup dizajnu. Topološka optimizacija vrši optimizaciju prema postavljenim opterećenjima i ograničenjima, i traži optimalnu raspodjelu materijala unutar definisane geometrije. Međutim ovakva rješenja mogu da budu radikalna i teško izvediva u proizvodnji. Parametarska optimizacija vrši optimizaciju prema definisanim parametrima i njihovim varijacijama, gdje je moguće postaviti ograničenja iz statičke ili dinamičke simulacije ili ograničenja koje postavlja projektant unutar simulacije. Prema definisanom cilju program prolazi kroz scenarije kombinacija varijabli u cilju da se zadovolje postavljena ograničenja. Iako parametarska studija pruža mogućnost brze i matematički tačne optimizacije, izlazni rezultat može biti bez formiranja stvarnog optimiziranog oblika. Primjenom oba pristupa poboljšava se efikasnost, smanjuje se vrijeme optimizacije i ostvaruje bolji dizajn, jer se fokus ne stavlja samo na jedan tip optimizacije i na taj način se proširuje spektar mogućnosti izvođenja proizvoda, koja su teoretski optimalna ali i realno izvodiva.

9. Zaključak

U novije vrijeme električni trotineti su veoma zastupljeni i popularni, posebno u urbanim sredinama. Karakteriše ih relativno niska cijena, jednostavnost i dobre ekološke karakteristike u odnosu na ostale oblike transporta.

Trotineti su kroz istoriju pratili ljudsku želju za bržim i lakšim transportom. Počevši od drvenih trotineta pa sve do razvoja električnih trotineta, kroz uspone i padove popularnosti, njihov jednostavan dizajn i intuitivno upravljanje čine ih efikasnim načinom transporta namijenjenim za kratke destinacije.

U ovom radu prikazan je proces konstruisanja i optimizacije električnog trotineta. Analizom postojećih konstrukcionih rješenja trotineta na tržištu izvršena je adekvatna postavka razvojnog zadatka, a nakon toga uz primjenu adekvatne metodologije razvijena je konstrukcija koja ispunjava sve postavljene tehničke i ekonomske zahtjeve.

Nakon koncipiranja idejnog rješenja, formiranja varijantnih rješenja i izbora optimalne varijante izvršeno je 3D modeliranje električnog trotineta u programu *SolidWorks*. U okviru modula integrisanog unutar programa izvršena je analiza opterećenja i testirana je nosivost konstrukcije, kao i simulacija napona kod pojedinih elemenata i sklopova. U sklopu razvoja, izvršen je izbor i proračun ključnih mašinskih elemenata. Proračun snage motora i dometa baterije ima veliki značaj za efikasnost trotineta i iskustvo korisnika, kao i konkuretnost proizvoda na tržištu.

Dodatno, optimizacija konstrukcije kroz simulaciju rezultovala je smanjenjem težine uz očuvanje čvrstoće i stabilnosti. Optimizacija omogućava brze iteracije konstrukcije, pri čemu se testiraju različite konfiguracije i unapređuje dizajn, što predstavlja čvrst temelj za izradu prototipa, a potom i konačnog proizvoda.

Razvoj i konstruisanje proizvoda je multidisciplinarni proces koji integriše inženjerske konvencije, dizajn i potrebe tržišta. Svaka faza razvoja, od ideje do izrade tehničke dokumentacije doprinjela je da se dobije model proizvoda koji zadovoljava savremene standarde i trendove na tržištu. Dalji koraci su proizvodnja i ispitivanje prototipa, a nakon toga i puštanje u serijsku proizvodnju. U svakoj fazi je neophodno prikupljanje povratih informacija, pa tako i informacija o iskustvu kupaca, kao i praćenje budućih trendova. U skladu s tim potrebno je nastaviti dalji razvoj trotineta primjenjujući stalno nova i kvalitetnija rješenja.

10. Literatura

- [1] Kubik Andrzej: „IMPACT OF THE USE OF ELECTRIC SCOOTERS FROM SHARED MOBILITY SYSTEMS ON THE USERS“. Silesian University of Technology, Department of Road Transport - Faculty of Transport and Aviation Engineering, Poland 2022. Link: https://www.researchgate.net/publication/363099988_Impact_of_the_Use_of_Electric_Scooters_from_Shared_Mobility_Systems_on_the_Users.
- [2] Rider Guide: „THE FIRST ELECTRIC SCOOTERS“. Link: <https://riderguide.com/blog/the-first-electric-scooters/>.
- [3] Fluid Freeride: „ELECTRIC SCOOTER HISTORY – INVENTION, EVOLUTION & INNOVATIONS“. Link: <https://fluidfreeride.com/blogs/news/electric-scooters-history>.
- [4] Informacije dostupne na veb sajt-u proizvođača „CYCLEBOARD“. Link: <https://www.cycleboard.com/collections/boards>.
- [5] Informacije dostupne na veb sajt-u prodavača „Alpha Pro Scooters“. Link: <https://www.alphaproscooters.com/en-eu/collections/decks?page=2>
- [6] Apollo Scooters: “ELECTRIC SCOOTER BRAKES – THE ULTIMATE GUIDE”. Link: <https://apolloscooters.co/blogs/news/electric-scooter-brakes-knowledge-for-beginners> .
- [7] SkatePro: “PRO SCOOTER HEADSET BUYER'S GUIDE“. Link: <https://www.skatepro.com/en-us/a697.htm> .
- [8] SkatePro: “SCOOTER COMPRESSION GUIDE”. Link: <https://www.skatepro.com/en-us/a702.htm> .
- [9] Levy Electric: „THE DIFFERENT TYPES OF ELECTRIC SCOOTER TIRES“. Link: <https://www.levyelectric.com/electric-scooter-tires> .
- [10] Franjo Čulap: „PUNJIVE BATERIJE I SUSTAVI UPRAVLJANJA BATERIJAMA“. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku - Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek 2021. [Link: https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A3077/datastream/PDF/view](https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A3077/datastream/PDF/view).
- [11] Apollo Scooters: „SUSTAINABLE MATERIALS IN ELECTRIC SCOOTER CONSTRUCTION“. Link: <https://apolloscooters.co/blogs/news/sustainable-materials-in-electric-scooter-construction> .
- [12] Inus Grobler: “PERFORMANCE AND APPLICATIONS OF LITHIUM TITANITE OXIDE CELLS“. Council of Scientific and Industrial Research Stellenbosch South Africa, Spain, October 2022. Link: https://www.researchgate.net/publication/364292551_Performance_and_Applications_of_Lithium_Titanite_Oxide_Cells

- [13] Informacije dostupne na veb sajt-u proizvođača „Xiaomi“. Link: https://www.mi.com/uk/mi-electric-scooter-Pro2/?srsltid=AfmBOoo83CNVmlfjxLbx_vPmLe8SLknkILDJnM30zZ8T_zlmd1X5eidC
- [14] Fluid Freeride: „THE ULTIMATE BEGINNER'S GUIDE TO ELECTRIC SCOOTER MOTORS 2024“. Link: <https://fluidfreeride.com/blogs/news/electric-scooter-motors-guide>
- [15] AuroraElectrico: „EVERYTHING YOU WANT TO KNOW ABOUT THE E-SCOOTER MOTOR“. Link: <https://auroraelectrico.com/electric-scooter-motor/>
- [16] Tehnički katalog električnog trotineta Scotex H20 eKFV proizvođača SXT. Link: <https://www.sxt-scooters.de/index.php?lang=1&cl=details&am=1&removecompare=1&fnc=tocomparelist&aid=a81cebf730528f88c545d80c2d007c60&anid=a81cebf730528f88c545d80c2d007c60&pgNr=0&cid=ff43c641afc4db9f3f2ea51396f10b1e&listtype=list&actcontrol=oxwarticledetails>
- [17] Tehnički katalog električnog trotineta Segway KickScooter GT2P proizvođača Segway. Link: <https://eu-en.segway.com/products/segway-kickscooter-gt2p>.
- [18] M. Tica, R. Mitrović, A. Miltenović, Ž. Mišković, M. Banić: „INOVACIJE I PATENTI – teorija rješavanja pronalazačkih zadataka“. Univerzitet u Banjoj Luci – Mašinski fakultet, Banja Luka 2015., ISBN:978-999-38-39-56-9.
- [19] R. Mitrović, Ž. Mišković, Z. Stamenić, B. Marković, M. Tica:“ OSNOVE TEHNIČKIH PROPISA“. Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd 2015., ISBN: 978-86-7083-861-1.
- [20] International Energy Agency: „TRENDS IN OTHER LIGHT-DUTY ELECTRIC VEHICLES“. Link: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/trends-in-other-light-duty-electric-vehicles>
- [21] Levy Electric: “UNDERSTANDING ELECTRIC SCOOTER DIMENSIONS FOR THE PERFECT RIDE”. Link: <https://www.levyelectric.com/resources/understanding-electric-scooter-dimensions-for-the-perfect-ride>
- [22] AIKE: „ELECTRIC SCOOTER WEIGHT LIMIT: WHAT YOU NEED TO KNOW“. Link: <https://rideaike.com/blog/electric-scooter-weight-limit-what-you-need-to-know/>.
- [23] Milosav Ognjanović: „KONSTRUISANJE MAŠINA“. Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd 2000., ISBN: 86-7083-389-1.
- [24] V. Miltenović, M. Tica, B. Marković: „KONSTRUKCIONI ELEMENTI U MAŠINOGRADNJI 2“. Univerzitet u Istočnom Sarajevu – Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo 2020., ISBN: 978-99976-719-5-0.
- [25] Vinay Malligere Shivanna, Jiun-In Guo: „OBJECT DETECTION, RECOGNITION, AND TRACKING ALGORITHMS FOR ADASS – A STUDY ON RECENT TRENDS“. National Yang-Ming Chiao Tung University, Department of Electrical Engineering, Institute of Electronics, Taiwan 2023. Link:

https://www.researchgate.net/publication/377025095_Object_Detection_Recognition_and_Tracking_Algorithms_for_ADASs-A_Study_on_Recent_Trends

[26] Milan Paudel, Fook Fah Yap:“FRONT STEERING DESIGN GUIDELINES FORMULATION FOR E-SCOOTERS CONSIDERING THE INFLUENCE OF SITTING AND STANDING RIDERS ON SELF-STABILITY AND SAFETY PERFORMANCE”. Institution of Mechanical Engineers - Journal of Automobile Engineering, Singapore 2020. Link: https://www.researchgate.net/publication/349323818_Front_steering_design_guidelines_formulation_for_e-scooters_considering_the_influence_of_sitting_and_standing_riders_on_self-stability_and_safety_performance

[27] V. Miltenović, B. Marković, M. Tica:“ KONSTRUKCIONI ELEMENTI U MAŠINOGRADNJI 1“. Univerzitet u Istočnom Sarajevu – Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo, novembar 2018., ISBN: 978-99976-719-3-6.

[28] Strain I. Posavljak: „OTPOROST MATERIJALA 1“. Univerzitet u Banjoj Luci – Mašinski fakultet, Banja Luka 2014., ISBN:978-99938-39-50-7.

[29] Muhammad Nur Yuniarto, Stefanus Eko Wiratno, Yoga Uta Nugraha, Indra Sidharta, Achmad Nasruddin: “MODELIN, SIMULATION, AND VALIDATION OF AN ELECTRIC SCOOTER ENERGY CONSUMPTION MODEL: A CASE STUDY OF INDONESIAN ELECTRIC SCOOTER”. IEEEAccess, Indonesia 2022. Link: https://www.researchgate.net/publication/360326318_Modeling_Simulation_and_Validation_of_An_Electric_Scooter_Energy_Consumption_Model_A_Case_Study_of_Indonesian_Electric_Scooter

[30] Levy Electric: „HOW TO DETERMINE YOUR ELECTRIC SCOOTER'S RANGE FROM ITS BATTERY“. Link: <https://www.levyelectric.com/resources/how-to-determine-your-electric-scooter's-range-from-its-battery>.

[31] SOLIDWORKS Help: „LINEAR STATIC ANALYSIS“. Link: https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cworks/c_Linear_Static_Analysis.htm?id=fde35cba903c4b909968136dbe6b4b23#Pg0

[32] SOLIDWORKS Help: “Meshing Options”. Link: https://help.solidworks.com/2022/english/SolidWorks/cworks/c_meshing_options.htm

[33] SOLIDWORKS Help: „Frequency Analysis“. Link: https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cworks/c_Frequency_Analysis.htm

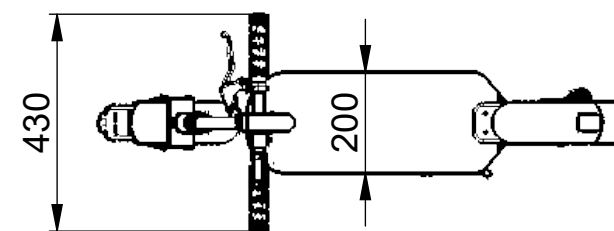
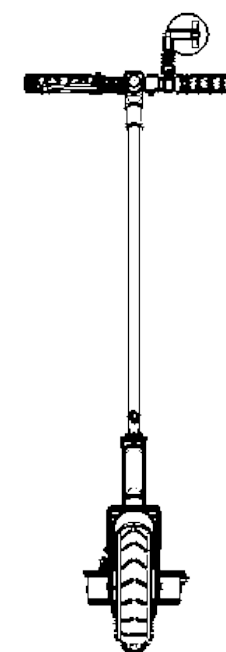
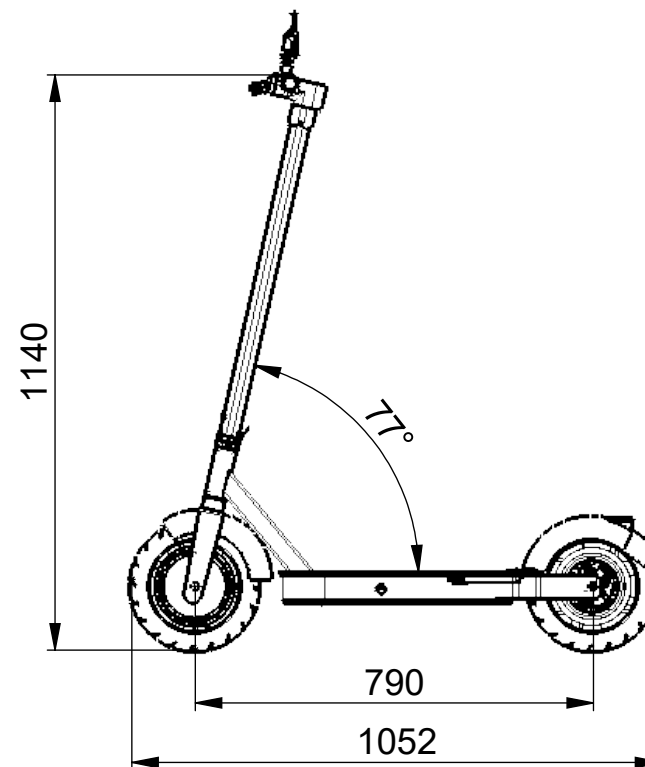
Prilozi



ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	PART NUMBER
1	1	Poklopac	TR1.01.01.001
2	1	Gumeni podmetač	TR1.01.01.002
3	1	Ploča	TR1.01.01.004
4	1	Cijev	TR1.01.01.005
5	1	Cijev	TR1.01.01.006
6	1	Oslona ploča	TR1.01.01.007
7	1	Profil	TR1.01.01.008
8	1	Oslonac	TR1.01.01.009
9	1	Ploča noge	TR1.01.01.010
10	1	Profil noge	TR1.01.01.011
11	1	Noga	TR1.01.01.012
12	1	Baterija	36V 18Ah Li-ion battery pack
13	1	Kontroler	X9 electric scooter controller
14	1	Zadnji blatobran	TR1.01.01.01
15	3	Senzor	UV sensor
16	1	Segment mehanizma za preklapanje	TR1.01.02.03.001
17	1	Zavrtanj	TR1.01.02.03.003
18	1	Čep	TR1.01.02.03.004
19	1	Segment mehanizma za preklapanje	TR1.01.02.03.002
20	1	Ručka	TR1.01.02.03.005
21	1	Poklopac	TR1.01.02.03.006
22	1	Prednje svjetlo	659867
23	1	Okošasti zavrtanj	TR1.01.02.03.007
24	1	Osovina	TR1.01.02.03.007
25	1	Zavrtanj	DIN933 M4x8
26	1	Cijev upravljača	TR1.01.02.001
27	1	Nosač	TR1.01.02.002
28	1	Cijev za rukovanje trotinetom	TR1.01.02.003
29	1	Prsten za viljušku	TR1.01.02.004
30	1	Osovina upravljača	TR1.01.02.005
31	1	Cijev viljuške	TR1.01.02.02.001
32	1	Profil viljuške	TR1.01.02.02.002
33	1	Ploča viljuške	TR1.01.02.02.003
34	1	Prednji blatobran	TR1.01.02.006
35	2	Veznik	TR1.01.02.007
36	2	Žmigavac	Handle bar turn signal
37	1	Prekidač za gas	Thumb Gas Pedal Speed Controller
38	1	Poklopac	TR1.01.02.008
39	1	Ogledalo - sklop	OG1
40	1	Ručna kočnica - sklop	Hand Brake Assembly
41	2	Gumeni rukohvat	TR1.01.02.009
42	2	Pneumatska guma	TR1.01.03.001
43	1	HUB motor	TR1.01.04.01
44	1	Feluga	TR1.01.03.002
45	1	Osovina točka	TR1.01.03.003
46	1	Disk kočnice	TR1.01.03.004
47	4	Čep	TR1.01.001

48	1	Klješta disk kočnice	JAK 5
49	1	Sigurnosni prsten	DIN471 - 16 x 1
50	1	Zavrtanj	DIN 912 M3 x 16
51	2	Ležaj	SKF 608
52	2	Zavrtanj	DIN913 - M3 x 8
53	2	Zavrtanj	DIN913 - M1.4 x 5
54	2	Ležaj	SKF 608-2RSH
55	2	Sigurnosni prsten	DIN472 - 22 x 1
56	5	Zavrtanj M3x6	ISO 7380 - M3 x 6
57	1	Zavrtanj	DIN 7340-A 1.5x0.2x8
58	4	Zavrtanj M5x16	DIN912 M5x16
59	14	Zavrtanj	DIN7991 M3x8
60	1	Zavrtanj	EN ISO 4762 M2 x 5
61	1	Zavrtanj	EN ISO 4762 M3 x 12
62	1	Zavrtanj	EN ISO 4762 - M4 x 8
63	2	Zavrtanj	DIN912 M4 x 25
64	1	Zavrtanj	DIN912 M2 x 10
65	2	Zavrtanj	DIN 913 - M1.4 x 6

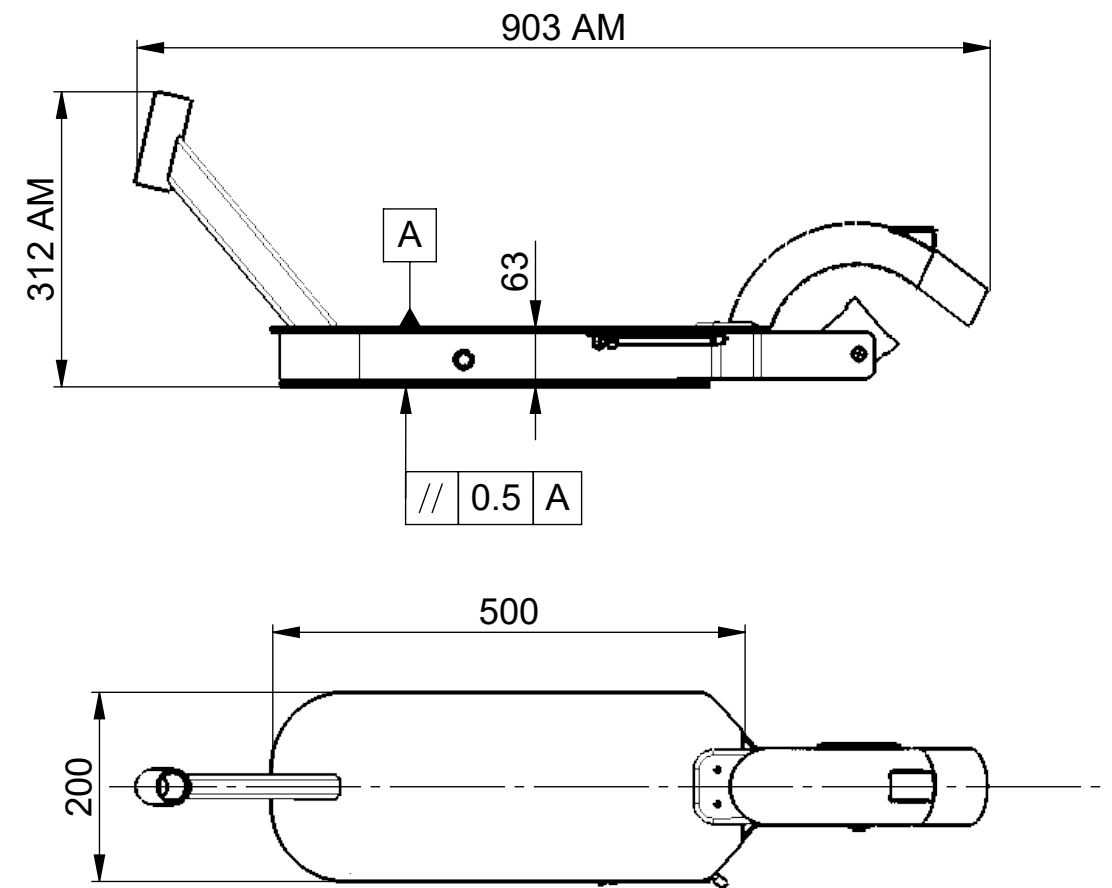
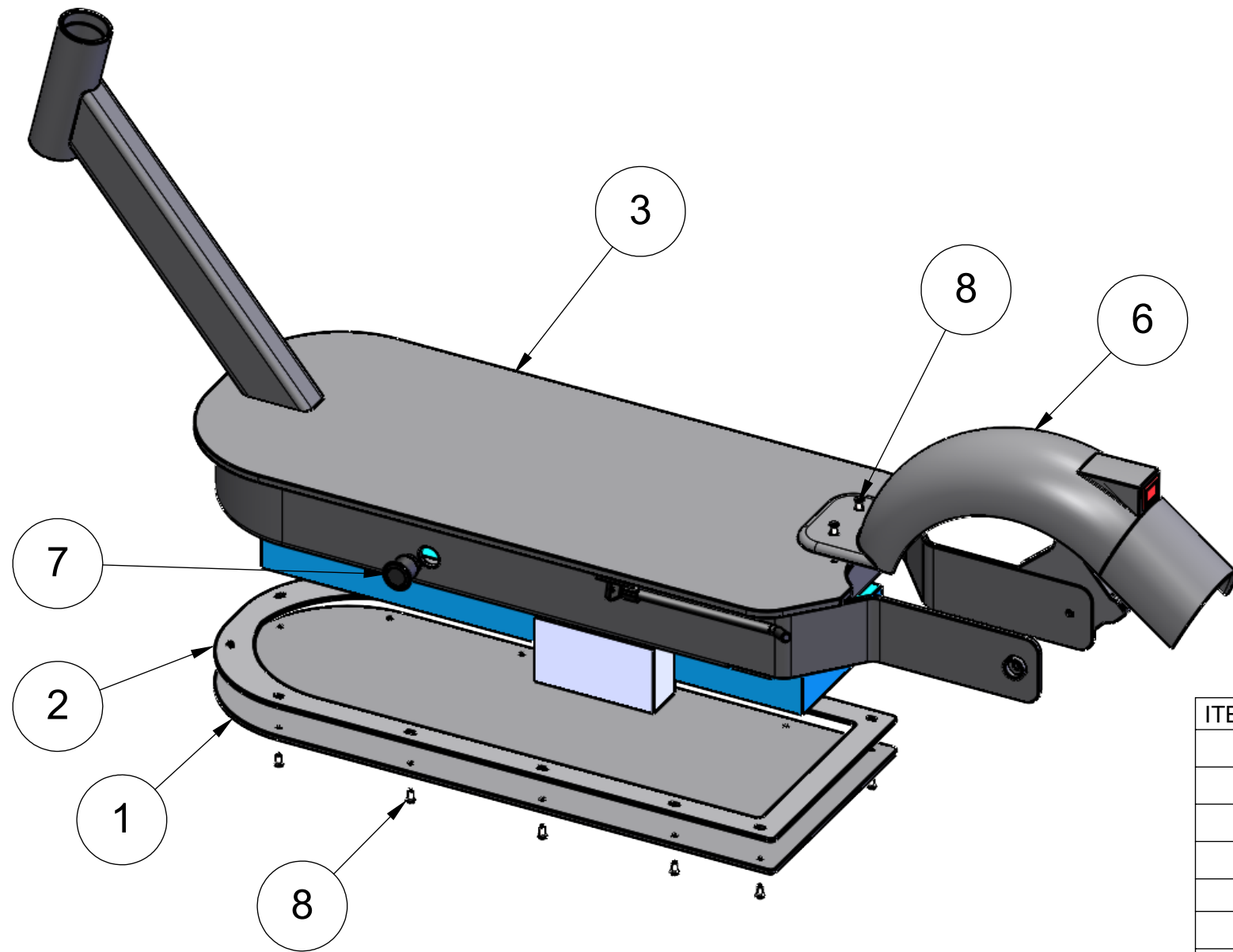
Ovaj dokument je naša intelektualna svojina. Ne smije se kopirati, reprodukovati ili koristiti, niti prosledjivati trećim licima bez naše izričite dozvole. Kršenje je kažnjivo i biće krivično gonjeno pred sudom. Autorska prava zadržana!



ITEM NO.	QTY.	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	TR1.01.01	Platforma skl.
2	1	TR1.01.02	Prednji upravljački sklop
3	1	TR1.01.04	Sklop prednjeg točka
4	1	TR1.01.03	Sklop zadnjeg točka
5	4	TR1.01.001	Čep
6	4	DIN912 M5x16	Zavrtnanj M5x16
7	1	JAK 5	Klješta disk kočnice
8	2	DIN912 M4 x 25	Zavrtnanj

				Dimenzije (L x B x H)					Masa (kg)	
				1140 x 1052 x 430					15.98	
Narudžba				Status		Datum	Potpis	Razmjera	mm 	
					Crtao			1:7		
Kupac				Opšta tolerancija ISO 2768m	Kontrolisao			Format	List:	
					Odobrio			A3		1 / 1
				Naziv Električni trotinet - sklop			Crtež br. TR1.01			Indeks
Ind.	Opis izmjene	Datum	Potpis							

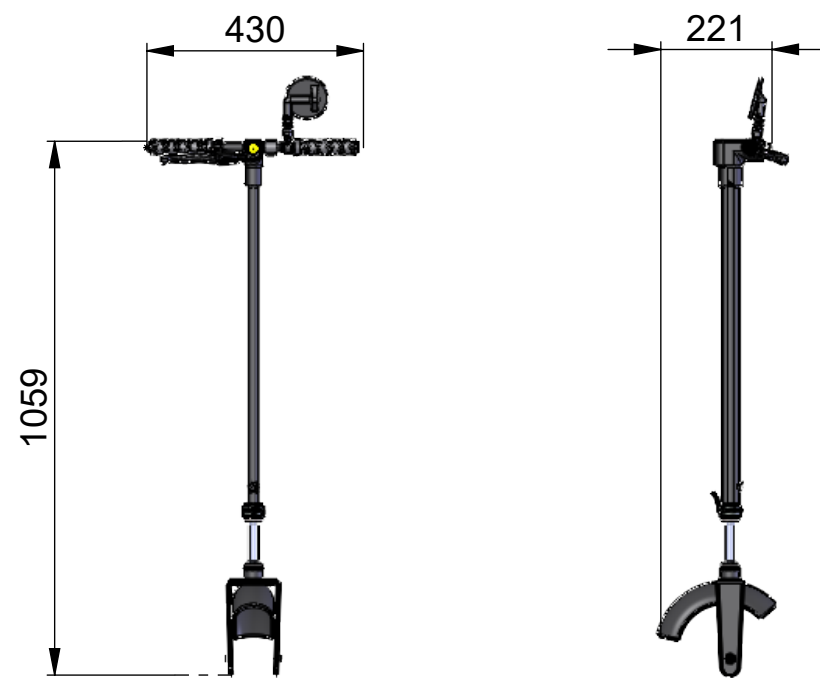
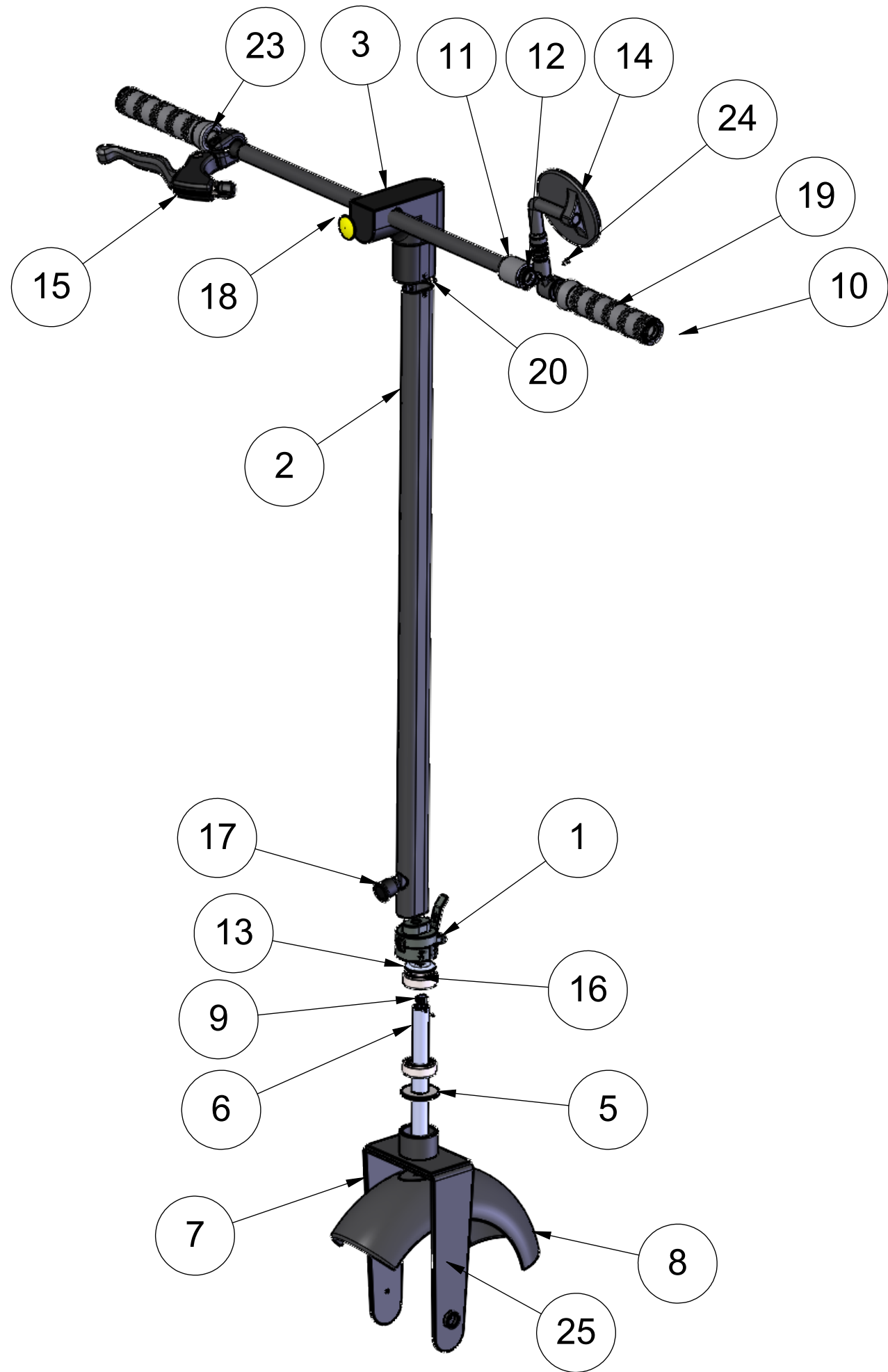
Ovaj dokument je naša intelektualna svojina. Ne smije se kopirati, reprodukovati ili koristiti, niti prosledjivati trećim licima bez naše izričite dozvole. Kršenje je kažnjivo i biće krivično gonjeno pred sudom. Autorska prava zadržana!



ITEM NO.	QTY.	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	TR1.01.01.001	Poklopac
2	1	TR1.01.01.002	Gumeni podmetač
3	1	TR1.01.01.003	Sklop platforme - zav.
4	1	36V 18Ah Li-ion battery pack	Baterija
5	1	X9 electric scooter controller	Kontroler
6	1	TR1.01.01.01	Zadnji blatobran
7	2	UV sensor	Senzor
8	14	DIN7991 M3x8	Zavrtanj

		Dimenzije (L x B x H) 903 x 312 x 200					Masa (kg) 9.84
		Status		Datum	Potpis	Razmjera 1:4	mm 
Narudžba			Crtao				
Kupac		Opšta tolerancija ISO 2768m	Kontrolisao			Format A3	List: 1 / 1
			Odobrio				
		Naziv Platforma - montažni crtež			Crtež br. TR1.01.01		Indeks
Ind.	Opis izmjene	Datum	Potpis				

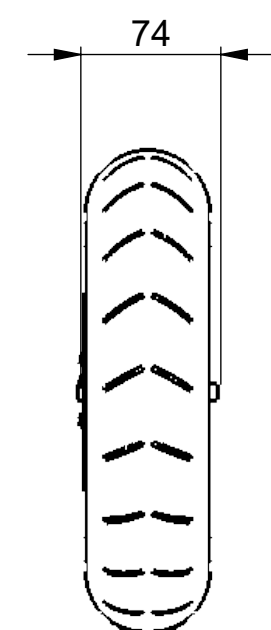
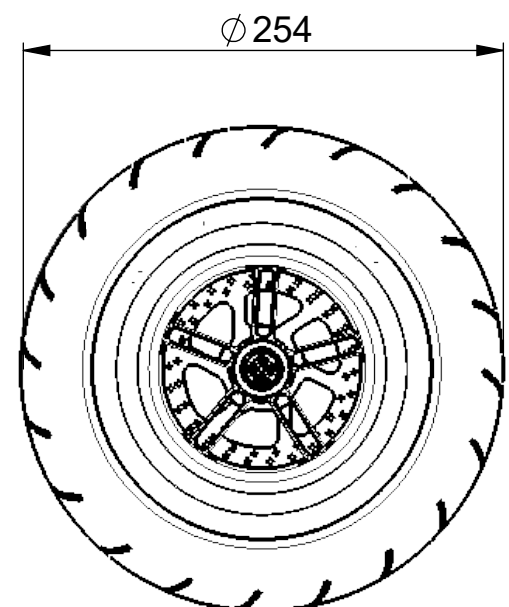
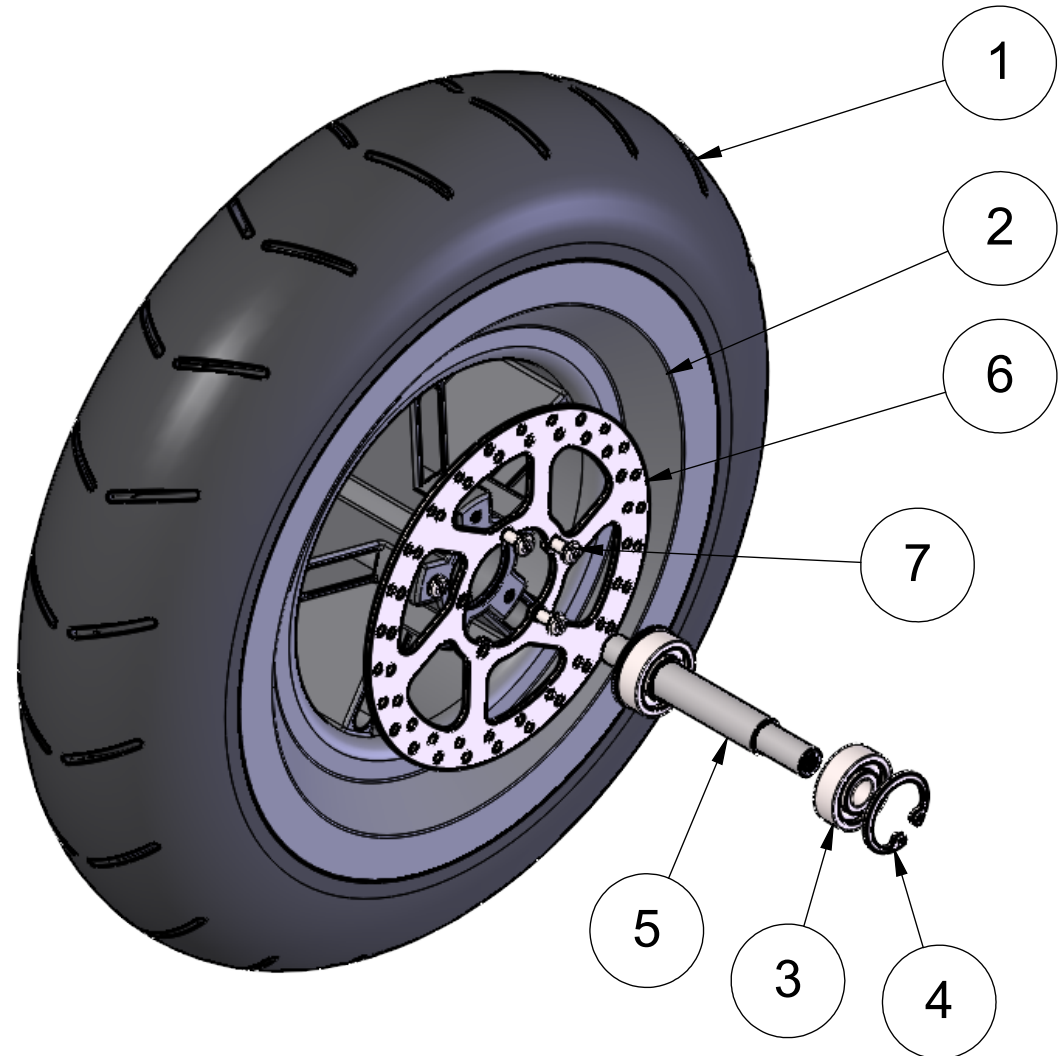
Ovaj dokument je naša intelektualna svojina. Ne smije se kopirati, reprodukovati ili koristiti, niti prosledjivati trećim licima bez naše izričite dozvole. Kršenje je kažnjivo i biće knjižno gonjeno pred sudom. Autorska prava zadržana!



ITEM NO.	QTY.	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	TR1.01.02.01	Mehanizam za preklapanje - sklop
2	1	TR1.01.02.001	Cijev upravljača
3	1	TR1.01.02.002	Nosač
4	1	TR1.01.02.003	Cijev za rukovanje troinjetom
5	1	TR1.01.02.004	Prsten za viljušku
6	1	TR1.01.02.005	Osovina upravljača
7	1	TR1.01.02.02	Viljuška - sklop
8	1	TR1.01.02.006	Prednji blatobran
9	1	TR1.01.02.007	Veznik
10	2	Handle bar turn signal	Žmigavac
11	1	Thumb Gas Pedal Speed Controller	Prekidač za gas
12	1	DIN471 - 16 x 1	Sigurnosni prsten
13	1	TR1.01.02.008	Poklopac
14	1	OG1	Ogledalo - sklop
15	1	Hand Brake Assembly	Ručna kočnica - sklop
16	1	DIN 912 M3 x 16	Zavrtanj
17	1	UV sensor	Senzor
18	1	659867	Prednje svjetlo
19	2	TR1.01.02.009	Gumeni rukohvat
20	2	DIN913 - M3 x 8	Zavrtanj
21	1	DIN913 - M1.4 x 5	Zavrtanj
22	2	SKF 608	Ležaj
23	1	EN ISO 4762 M3 x 12	Zavrtanj
24	1	EN ISO 4762 M2 x 5	Zavrtanj
25	1	DIN912 M2 x 10	Zavrtanj

	Dimenzije (L x B x H)				Masa (kg)
	1059 x 430 x 221				1.19
Narudžba	Status	Crtao	Datum	Potpis	Razmjera
Kupac	Opšta tolerancija	Kontrolisao			1:5
	ISO 2768m	Odobrio			mm
	Naziv	Crtež br.			Indeks
	Prednji upravljački sklop - montažni crtež	TR1.01.02			
Ind.	Opis izmjene	Datum	Potpis		

Ovaj dokument je naša intelektualna svojina. Ne smije se kopirati, reprodukovati ili koristiti, niti prosledjivati trećim licima bez naše izričite dozvole. Kršenje je kažnjivo i biće krivično gonjeno pred sudom. Autorska prava zadržana!



ITEM NO.	QTY.	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	TR1.01.03.001	Pneumatska guma
2	1	TR1.01.03.002	Feluga
3	2	SKF 608-2RSH	Ležaj
4	2	DIN472 - 22 x 1	Sigurnosni prsten
5	1	TR1.01.03.003	Osovina točka
6	1	TR1.01.03.004	Disk kočnice
7	5	ISO 7380 - M3 x 6	Zavrtanj M3x6

	Dimenzije (L x B x H)				Masa (kg)
	245 x 74 x -				2.52
Narudžba		Status		Datum	Potpis
Kupac		Opšta tolerancija			
		ISO 2768m			
		Naziv	Crtež br.		Indeks
		Zadnji točak - montažni crtež	TR1.01.03		
Ind.	Opis izmjene	Datum	Potpis		