



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO  
INSENERITEADUSKOND  
Virumaa kolledž

**Raami ja kinnituste konstruktsiooni arendamine ja  
analüüs universaalsele robotiplatvormile**

**Development and analysis of the frame and mounting structure  
for a universal robot platform**

MASINAEHITUS- JA ENERGIATEHNOLOOGIA PROTSESSIDE JUHTIMINE  
ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Vasiliy Bezlyudnyy

Üliõpilaskood: 207660

Juhendaja: Gennadi Arjassov, Dotsent -  
Masinaehitus- ja energiatehnoloogia  
protsesside juhtimise töörühm

## AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"...." ..... 20.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele

"...." ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"...." ..... 20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

# LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS<sup>1</sup>

Mina Vasiliy Bezlyudnyy (sünnikuupäev: 22.08.2001)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Drooni staatilise osade konstrueerimine, mille juhendaja on Genadi Arjassov,
  - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautori(d) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

# SISUKORD

EESSÕNA	6
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	7
SISSEJUHATUS	8
1. TEHNILINE ÜLEVAADE	10
1.1 Üldkasutatav skateboard platvorm	10
1.2 Universaal skateboard platvormi raami nõuded	11
2. PATENTI UURING	13
2.1 Patenti CN105966172 ülevaade:	13
2.1.1 Võrdlev analüüs.....	13
2.2 Patenti CN109624607 ülevaade	14
2.2.1 Võrdlev analüüs.....	15
3. ARVUTAMINE	16
3.1 Põhiraami arvutused	16
3.1.1 Painutusarvutus.....	18
3.1.2 Väänamisarvutus .....	22
3.1.3 Põhiraami tugevusarvutus.....	24
3.2 Rattaraami arvutused	26
3.2.1 Painutusarvutus.....	26
3.2.2 Rattaraami tugevusearvutus .....	31
4. MATERJALI UURING	33
4.1 Materjalide Kirjeldus ja Omadused	33
4.2 Materjalide analüüs	34
5. TEHNOLOOGIAKAART	36
5.1 Detailide lõikamine	36
5.2 Keevitustööd	37
5.3 Toote visuaalne kontroll ja pindade puhastamine	37
5.4 Toote täielik visuaalne kontroll	37
6. LIGIKAUDNE KONSTRUKTSIOONI HINNA ARVUTAMINE	38
6.1 Materjali kulu	38
6.1.1 Põhiraami materjali kulu .....	38
6.1.2 Rattaraami materjali kulu .....	38
6.1.3 Kokku materjali kulud.....	38
6.2 Töö kulud	38

6.3	Kulud kokku	40
	KOKKUVÕTE	41
	SUMMARY	42
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	43
	LISAD	44

## **EESSÕNA**

FRAAG technology OÜ algatusel sõnastati lõputöö teema teatud tehnoloogia valdkonna aspektide uurimiseks ja arendamiseks. Soovin avaldada sügavat tänu ettevõtte juhile, hr Andrei Raagile, tema algatuse ja pideva toetuse eest käesoleva töö ettevalmistamise protsessis. Tema väärtuslikud soovitud ja suunamine mängisid olulist rolli selle uurimistöö edu ja tulemuslikkuse tagamisel.

Samuti soovin väljendada siirast tänu Gennadi Arjassovile, ülikooli esindajale, tema professionaalse toe eest ja töö õigsuse tagamise eest. Tema hindamatud nõuanded ja konsultatsioonid aitasid mul parandada uurimistöö kvaliteeti ja saavutada seatud eesmärgid.

Täna kõiki, kes selle protsessi osalised olid, väärtuslike ideede, toe ja julgustuse eest, mida mulle selle lõputöö ettevalmistamise ajal anti. isikutele.

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

$[\tau]$	Lubatud nihkepinge, MPa;
$[\sigma]$	Lubatud normaalpinge, MPa;
$E$	Elastsus moodul, MPa;
$I_z$	Ristlõike telginertsimoment, mm <sup>4</sup> ;
$I_p$	Ristlõike polarinertsimoment, mm <sup>4</sup> ;
$W_z$	Ristlõike telgvastupanumoment, mm <sup>3</sup> ;
$W_{pl}$	Ristlõike polarvastupanumoment, mm <sup>3</sup> ;
$M_r$	Paindemoment, kNm;
$F_r$	Painutusjõud, kN;
$S$	Lubatud tugevuse varutegur;
$K_m$	Mterjali kulu, eur;
$G$	Nihkemoodul, MPa.

## SISSEJUHATUS

Kaasaegses maailmas muutuvad autonoomsed robotid üha olulisemaks erinevates valdkondades, pakkudes tõhusaid ja mitmekülgseid lahendusi erinevatele ülesannetele. Need tehnoloogilised lahendused hõlmavad kaupade kättetoimetamist, infrastruktuuri hooldust, logistikat ja erakorraliste olukordade lahendamist. Üks suuremaid väljakutseid autonoomsete robotite arendamisel on nende võimekus liikuda erinevat tüüpi pindadel, sealhulgas maanteedel, maastikul ja raudteedel. Projekt "Universal Vehicle Skateboard" on innovatiivne platvorm, mille eesmärk on olla aluseks erinevat tüüpi robotitele ning võimaldada neil tõhusalt ja ohutult liikuda erinevatel pindadel.

Käesoleva lõputöö eesmärk on arendada ja uurida põhiraami ja ratta välisraami konstruktsiooni universaalsele skateboardsõiduk-platvormile, mis vastab projekti vajadustele. Projekti unikaalne omadus on selle rattamehhanism, mis annab robotitele võimaluse manööverdada ja ületada takistusi erinevatel maastikel. Raami konstruktsioon on üks kriitilisemaid komponente, kuna see peab tagama sõiduki tugevuse, vastupidavuse ja funktsionaalsuse erinevates keskkondades.

Uurimistöö raames käsitleme erinevaid raami tüüpe universaalsetele skateboardsõiduk-platvormidele. Selleks määratleme peamised nõuded raamile, sealhulgas selle tugevuse, vastupidavuse ja kerguse. Eesmärk on arendada uurimismetoodika, mis hõlmab:

3D modelleerimist: kasutame kaasaegseid tarkvaralahendusi nagu SolidWorks, et visualiseerida raami konstruktsiooni ja analüüsida selle mehhaanilisi omadusi.

Materjalide uurimist: uurime erinevaid materjale, nende omadusi ja sobivust antud rakenduseks, sealhulgas S355JR terase kasutamist.

Raami konstruktsiooni arvutamist: teostame põhjalikud tugevusarvutused ja stressianalüüsid, et tagada raami konstruktsiooni vastupidavus ja ohutus.

Tehnoloogilise kaardi ja tootmise eelarve koostamist: koostame detailse tehnoloogilise kaardi ja arvutame tootmise eelarve, et tagada projektile kulutõhus ja praktiline lahendus.

Oodatakse, et töö tulemused aitavad leida optimaalset lahendust universaalse skateboardsõiduk-platvormi raami konstruktsioonile. Need tulemused peaksid mitte ainult parandama raami konstruktsiooni, vaid ka panustama autonoomse robotika arengusse. Uurimistöö tulemused võivad pakkuda uuenduslikke lahendusi kaupade kättetoimetamise turule ja autonoomsele transpordile, suurendades nende lahenduste tõhusust ja usaldusväärsust.

Universaalse skateboardsõiduk-platvormi rakendused ulatuvad paljudesse



valdkondadesse. Logistikasüsteemides võib see platvorm aidata optimeerida kaubavedu, vähendades kulusid ja suurendades efektiivsust. Infrastruktuuri hoolduses võimaldaks see robotitel liikuda raskesti ligipääsetavates kohtades, parandades tööohutust ja tõhusust. Erakorraliste olukordade lahendamisel võivad need platvormid pakkuda kiiret ja usaldusväärset transpordivahendit, aidates päästetöötajatel jõuda sihtkohtadesse kiiremini ja ohutumalt.

Kokkuvõttes on käesolev lõputöö pakkunud olulisi teadmisi ja oskusi, mis aitavad kaasa autonoomsete robotite ja universaalsete skateboardsõiduk-platvormide arengule. Need saavutused pakuvad väärtuslikku panust FRAAG TECHNOLOGY OÜ-le, aidates kaasa tulevaste tehnoloogiliste lahenduste arendamisele ja rakendamisele. Diplomitöö käigus omandatud teadmised ja oskused on hindamatuks lisandväärtuseks nii autori professionaalsele arengule kui ka ettevõtte edasistele projektidele.

Lõputöö käigus on analüüsitud turul saadaolevaid patendianalooge ja nende rakendust, uuritud raamile mõjuvaid koormusi, viidud läbi põhjalikud tugevusarvutused ja koostatud tehnoloogilised kaardid. Samuti on loodud tööjoonised ja koostejoonised ning arvatud ligikaudne konstruktsiooni hind. Kõik need saavutused aitavad kaasa universaalse skateboardsõiduk-platvormi arendamisele ja rakendamisele erinevates tööstusvaldkondades.

# 1. TEHNILINE ÜLEVAADE

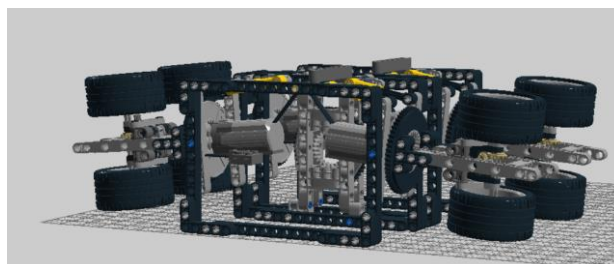
Selles osas käsitletakse peamisi aspekte seoses universaalsete skateboard platvormidega ja nende raami arendamisega. Eriti tutvustatakse universaalset skateboard platvormi ning uuritakse selle konstruktsioonilisi omadusi, laagreid ja kinnitusi. Samuti kirjeldatakse põhilisi nõudeid universaalse skeidiplatvormi raamile, sealhulgas tugevust, vastupidavust ja kergusust. See osa aitab mõista peamisi põhimõtteid ja ülesandeid, mis seisavad silmitsi antud uurimisega universaalse skeidiplatvormi osas.

## 1.1 Üldkasutatav skateboard platvorm

Kaasaegsed automatiseerimise ja robotitehnoloogia lahendused viivad uute lähenemisviiside tekkimiseni kaupade transpordi ja erinevate ülesannete täitmise valdkonnas. Üheks selliseks innovaatiliseks arenguks on FRAAG Technology poolt pakutavad universaalsed skateboard platvormid, mis moodustavad paindliku aluse erinevat tüüpi robotite ja autonoomsete transpordivahendite paigaldamiseks. Need võimaldavad liikumist erinevatel tüüpi pindadel, sealhulgas teedel, maastikul ja raudteedel, ning suudavad efektiivselt vedada kaupu.

Need skateboard platvormid mängivad võtmerolli autonoomsete robotite arendamisel, mis suudavad täita mitmesuguseid ülesandeid erinevates valdkondades, sealhulgas logistika, transpordi ja infrastruktuuri hooldus. Need pakuvad paindlikkust ja mobiilsust ülesannete täitmisel, muutes need kaasaegsetes töötingimustes väga nõutavaks.

Üheks universaalsete skateboard platvormide võtmefunktsiooniks on rataste pöördmehhanism, mis võimaldab ratta pöörlemist erinevates tasapindades. See võimaldab ruladel tõhusalt manööverdada ja ületada liikumisel takistusi, mis on eriti oluline keerulistes piirkondades liikumisel.



Joonis 1.1 Platvormi LEGO prototüüp.

Selle lõputöö eesmärgiks on välja töötada antud ettevõtte universaalse skateboard platvormi põhiraami ja ratta välisraami, mis vastaks kaasaegsele robotitehnika ja transpordisüsteemide nõuetele. Selle eesmärgi saavutamiseks on vajalik analüüsida raami tüüpi, omadused ja nõuded ning meetodite väljatöötamine raami

modelleerimiseks ja testimiseks erinevates kasutustingimustes.

## 1.2 Universaal skateboard platvormi raami nõuded

Uuring raami kohta üldise tõukerattaplatvormi jaoks hõlmab mitmekülgset analüüsi, arvestades erinevaid tehnilisi omadusi ja konstruktsiooni eripärasid. Raam on platvormi võtmekomponent, tagades kogu süsteemi vajaliku tugevuse, stabiilsuse ja funktsionaalsuse.

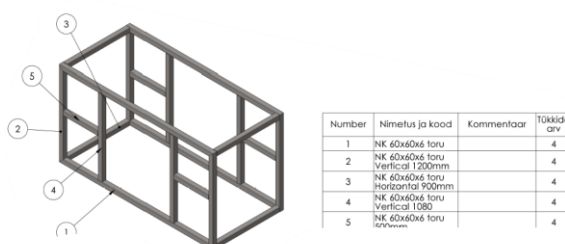
Raami projekteerimine toimub selle geomeetriliste parameetrite, funktsionaalsete omaduste ja koormuse nõuete ning kasutustingimuste arvesse võtmisega. Üheks oluliseks projekteerimise aspektiks on ühilduvuse tagamine erinevat tüüpi robotitega, mis põhinevad antud platvormil.

See konstruktsioon peab tagama kauba usaldusväärse transpordi. Selles arenduses peab raam taluma kuni 1 tonni kaaluva laadungi, mis paigaldatakse raami keskele palettidele.

3D mudeli raami loomiseks kasutatakse kaasaegseid tarkvaravahendeid, nagu SolidWorks. See võimaldab mitte ainult raami konstruktsiooni visualiseerida, vaid ka selle tugevuse ja jäikuse analüüsimist elementmeetodi abil. Selline lähenemine võimaldab hinnata raami jõudlust ja usaldusväärsust juba projekteerimisetapis, vähendades oluliselt aega ja kulusid reaalsete proovide testimisel.

### Põhiraam.

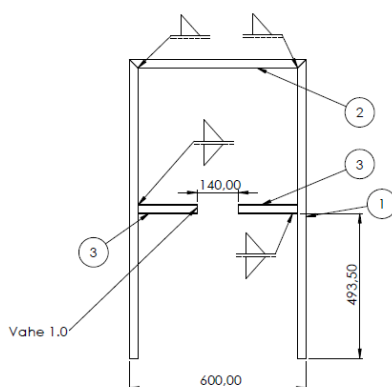
Erilist tähelepanu pööratakse raami valmistamiseks kasutatavate materjalide valikule. Erinevaid materjalivariante uuritakse optimaalse lahenduse määramiseks, võttes arvesse tugevuse, kaalu ja maksumuse nõudeid. Antud uuringu raames viiakse läbi analüüs kahe põhielemendi kohta üldise tõukerattaplatvormi raamis: põhiraami ja välise ratta kinnitusraami kohta. Põhiraami tala, mille mõõtmed on 60x60x6 mm ja mis on valmistatud materjalist S355, moodustab aluse, millele toetuvad erinevat tüüpi robotid ja mis tagab liikumise erinevatele pindadele. See element on mitte ainult struktuurimehaaniline alus, tagades kogu platvormi tugevuse ja stabiilsuse, vaid mängib olulist rolli ka kogu süsteemi funktsionaalsuse säilitamisel.



Joonis 1.2 Põhiraami 3D mudel, eesvaade

## Väline rattaraam.

Teine oluline konstruktsiooni element on väline rattakinnituse raam. Raami tala mõõdud on 30x30x3 mm ja see on samuti S355 materjalist. Kuigi see osa on oma suuruselt tagasihoidlik, mängib see süsteemi üldises toimimises võtmerolli. Selle unikaalne omadus seisneb võimaluses pöörduda, mis võimaldab rattal muuta oma pöörlemise tasapinda. See funktsionaalne lahendus laiendab oluliselt platvormi võimalusi ja suurendab selle manööverdusvõimet erinevat tüüpi pindadel, sealhulgas teedel, maastikul ja raudteedel.



Joonis 1.3 Rattaraami 3D mudel

## Laagrid.

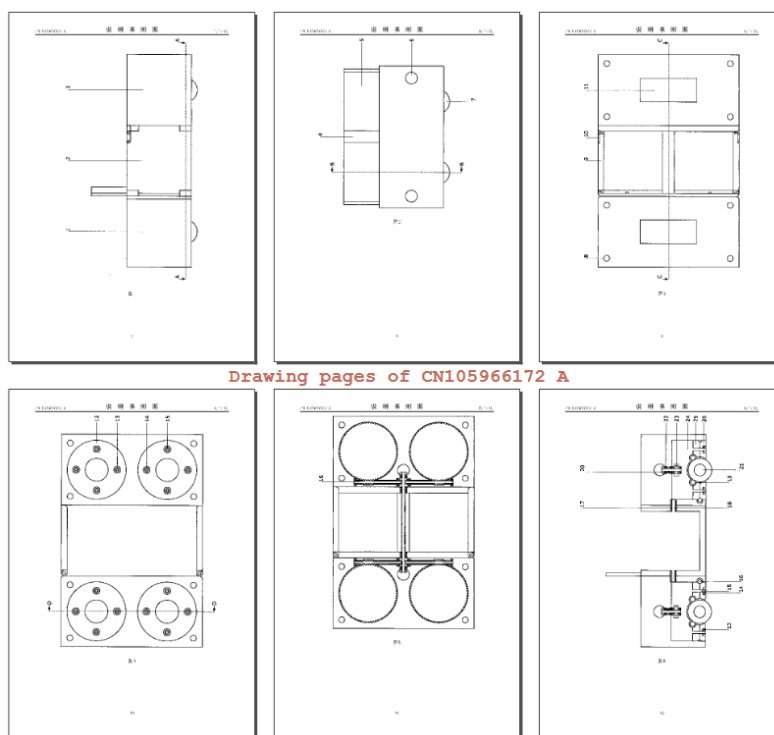
Uurimise käigus pööratakse tähelepanu ka laagrite parameetritele, mis on mehaanilise platvormi süsteemi lahutamatu osa. Vaadeldakse nii tavaliste kui ka pöördlaagrite omadusi ning nende mõju konstruktsiooni üldisele jõudlusele ja usaldusväärsusele. Kõik see võimaldab süsteemi mehaanilise osa põhjalikku analüüsi ja optimeerimist, tagades selle tõhusa toimimise erinevates kasutustingimustes.

## 2. PATENTI UURING

### 2.1 Patenti CN105966172 ülevaade:

Käsitletakse prototüüpi uurimisnumbriga CN105966172. Pallikujuliste ratastega sõiduk on rattaga sõiduk, mis puutub kokku maapinnaga nii, et sõiduki pallid ühendatakse rataste vahel. Sõiduki pallideks on valitud kummist rehvide pallid, rataste välisküljed on varustatud nõgusate servadega, sõiduki pallid liiguvad rataste vahel ja puutuvad väljaspool rataste keskele kahe übermõõdu või kahe palli suhtes. Ühest-paljudele režiimis alluvad rehvide pallid ratastele ja saavad pöörata edasi-tagasi mitme pinnaga suunas. Sõiduk puutub maapinnaga kokku punktirežiimis, rataste pöörlemissuund erineb sõiduki pallide pöörlemissuunast, seega säilib rataste energia sõiduki pallide liikumiseks. Pallikujulise rattaga sõiduk on täpne ja paindlik edastamisel, võimsuse edastamisel kontsentreeritud, täielikult digiteeritav ja sobib paremini kasutamiseks nutikana sõidukina. [13]

#### 2.1.1 Võrdlev analüüs



Drawing pages of CN105966172 A

Joonis 2.1 CN105966172 patenti joonis

#### Konstruksiooniraam

Prototüüp CN105966172: Sõidukil on rattakonstruktsioon koos pallikujuliste ratastega, kus pallid on rataste vahel ühendatud. Rataste energia hoitakse pallide liigutamiseks.

Universaalne platvorm: Raam on spetsiaalselt välja töötatud pallikujuliste rataste jaoks,

tagades usaldusväärse ja stabiilse aluse liikumiseks.

Ratta kinnitamine

Prototüüp CN105966172 kohaselt liiguvad sõiduki pallid rataste vahel ja puutuvad kokku nende välispinnaga suhtega üks-kaks või kaks-kaks. Rataste liikuvus võimaldab neil pöörata mitmetes suundades. [13]

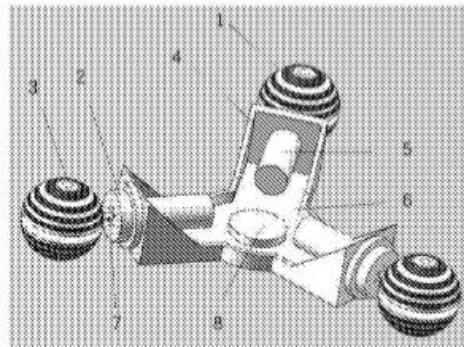
Universaalne platvorm hõlmab raamile kinnitatud rattaid, millel on spetsiaalsed mehhanismid tagamaks vaba pöörlemist ja stabiilset liikumist kõigis suundades. [13]

Võrreldes prototüübiga CN105966172, on meie prototüübil tugevam ja stabiilsem raamikonstruktsioon ning usaldusväärne rattakinnitus, mis võimaldab sõidukil täpset ja paindlikku liikumist. Ratastel on nõgusad servad pallidega kokkupuuteks ning nende energia on efektiivselt säilitatud. [13]

## **2.2 Patenti CN109624607 ülevaade**

Prototüüp CN105966172 käsitleb sõiduki pallide liigutamist rataste vahel ja nende puudutamist. Seda prototüüpi uuritakse numbriga CN109624607. Leiutis kuulub mobiilsete robotite põhimehhanismide kavandamise valdkonda, eriti aga kõikide suundade liikuvale mobiilsele platvormile, mis sarnaneb kuulikujulise rattaga. Mobiilne platvorm koosneb kolmest kuulikujulisest rattast, mis on ühtlaselt paigutatud paigaldusjalale 120-kraadise intervalliga. Iga kuuliratas koosneb kahest poolkerakujulisest rattast, mille kaudu kulgevad kahe poolkerakujulise ratta mõlemad otsad; vedava varda otsad kattuvad poolkerakujuliste rataste tippudega ning mõlemad vedava varda otsad on varustatud terasest kuulikujulise rullikuga. Vedava varda keskosa on risti ühendatud juhtiva vardaga ning käivitusvõll on ühendatud toiteallikaga, mis ajab käivitusvõlli pöörlemiseks, et saavutada kuulikujuliste rataste käivitatud pöörlemine. Terasest kuulikujulised rullikud on paigaldatud kahele kuulikujulise ratta vedava varda otsale, mis efektiivselt lahendab eriliste punktide probleemi. Kuulikujulised rattad valmistatakse vahelduvalt paigaldades plastik- ja kummimaterjale, parandades oluliselt kuuli kareduse ja hõõrdejõudu ning vältides tõhusalt libisemist liikumise ajal kuulikujulise ratta korral. [12]

## 2.2.1 Võrdlev analüüs



Joonis 2.2 CN109624607 patenti joonis

### Konstruksiooniraam

Prototüüp CN109624607 kirjeldab raami, mis sisaldab paigaldusjalga, millele on ühtlaselt paigaldatud kolm kuulikujulist ratta liikumismehhanismi 120-kraadise intervalliga. See universaalne platvorm on loodud spetsiaalselt kuulikujuliste rataste paigaldamiseks, tagades sellega usaldusväärse ja stabiilse aluse liikumiseks. [12]

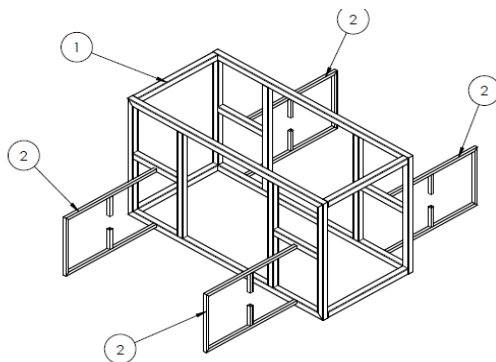
### Ratta kinnitus

Prototüüp CN109624607: Igal kuulikujulisel rattal on kaks poolkerakujulist ratast, mille otstes on terasest kuulikujulised rullikud. Käivitusvõll on ühendatud toiteallikaga, mis tagab rataste pöörlemise käivitamise. Universaalne platvorm: Rattad kinnitatakse raamile spetsiaalsete mehhanismide abil, mis tagavad vaba pöörlemise ja stabiilse liikumise igas suunas. Võrreldes prototüübiga CN109624607, on meie prototüübil lihtsam ja efektiivsem raamikonstruktsioon ning usaldusväärne rattakinnitus, mis kindlustab stabiilse ja täpse liikumise kasutamisel. [12]

### 3. ARVUTAMINE

Antud arvutustes kasutati platvormi kavandamiseks organisatsiooni poolt pakutud S355JR talasid mõõtudega 60x60x6 mm ja 30x30x3 mm. Järgnevad arvutused tehti nende talade konstruktsioonide arvesse võtmisel.

Selles jaotises arvutatakse iga üksiku kokkupandava raamikomplekti põhikonstruktsiooni osa (Vt Joonist 3.1a). [1,2,4,8,7,9]

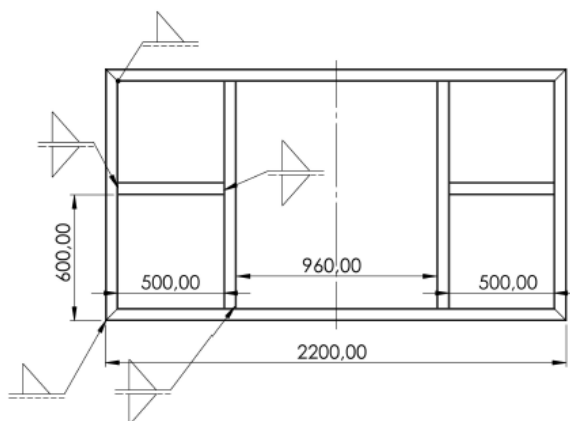


Number	Nimetus ja kood	Kommentaar	Kogus
1	002/a Põhiraam		1
2	002/b Põhiraam		4

Joonis 3.1a Üldkonstruktsiooni 3D mudel

#### 3.1 Põhiraami arvutused

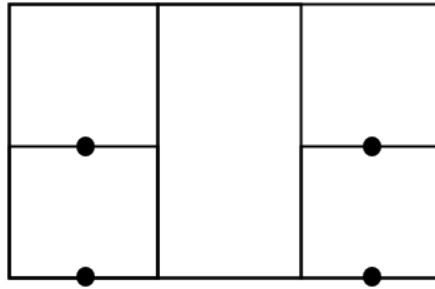
Vaatame platvormi põhiraami eestvaadet.



Joonis 3.1b Põhiraami eesvaade

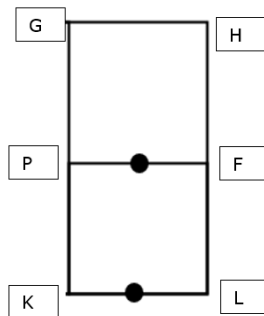
Kujutame ette tasapinnalineram, millel on koormuspunktid. Koormuspunktid on koondunud joonisel näidatud kohtadesse (Vt Joonist 3.2).





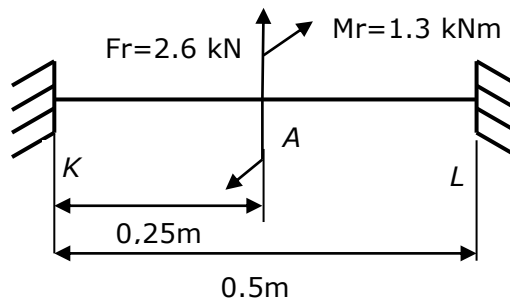
Joonis 3.2 Põhiraami tasapinnaline skeem

Arvestades koormuse sümmeetria, vaatleme raami vasakpoolse koormuskoha üht osa (Vt Joonist 3.3).



Joonis 3.3 Ühepoolne põhiraami kinnituskeem

Kuna koormus kantakse üle rattaraamilt, käsitleme ühte koormatud taladest KL. Lihtsustame konstruktsiooni, vaatleme ainult raami kinnituse osa KL, edaspidi varras KL (Vt Joonis 3.3a).



Joonis 3.3a Jäigalt fikseeritud tala KL

Tegemist on keerulise pingeseisundiga, kuna see toimib väänamisel ja painutamisel mõjuvate jõudude  $M_r$  ja  $F_r$  tõttu.

$$F_r = \frac{G}{8} = \frac{21}{8} = 2,6 \text{ kN} \quad (3.1)$$

$$M_r = F_r * AK' = 1,3 \text{ kNm} \quad (3.2)$$

Kus,

$$AK' = BK'' = 0,508 \text{ m}$$

Valides platvormi massiks  $m_k \approx 1100 \text{ kg}$ , saame mootoriga platvormi kogumassi. Platvormi juurde kuuluvate koormate ja muude seadmete (akud, võllid jne) mass on

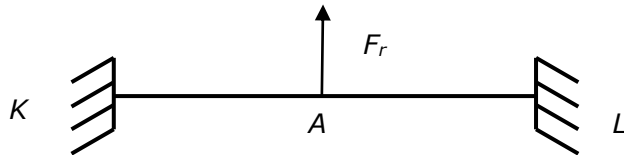
$m_k \approx 1000 \text{ kg}$ .

Kogukaal ja vastav koormus  $G$  on:

$$G = m_k + m_v = 1100 + 1000 = 2100 \text{ kg} \approx 21 \text{ kN} \quad (3.3)$$

### 3.1.1 Painutusarvutus

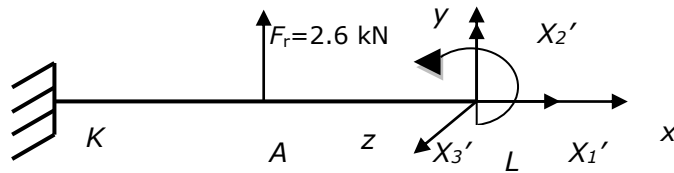
Vastav arvutuskeem näidetud Joonisel 3.3b.



Joonis 3.3b Koormatud tala  $KL$  paindejõuga  $F_r$

Kuna see osa  $KL$  kahe jäiktoega, siis konstruktsioon on kolme kordselt staatikamääramatu. On vaja koostada täiendavad deformatsioonivõrrandid.

Selleks vabastame paremast jäigast toest  $L$  ja asendame selle reaktsioonidega  $X_1', X_2', X_3'$  ja saame põhiskeemi (Vt Joonist 3.4). [1,2]



Joonis 3.4 Tala  $KL$  tugireaktsioonidega punktus  $L$

Antud,

$$KL = 0,5 \text{ m};$$

$$KA = AL = 0,25 \text{ m};$$

$$E = 210 \text{ GPa};$$

$$F_r = 2,6 \text{ kN}.$$

Siirded arvutame Mohri meetodiga [1,2]

$$\delta_{ij} = \sum \int_0^l \frac{m_i \cdot m_j}{EI_z} dx \quad (3.4)$$

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^l \frac{M_p \cdot m_i}{EI_z} dx \quad (3.5)$$

Kus

$$i = 1-3;$$

$$j = 1-3;$$

$M_p$  – paindemomenti epüüri koormusest;

$m_i, m_j$  - paindemomentide epüürid ühikjõust;

$EI_z$  - tala paindejäikus.

Mohri integraali lahendamiseks kasutame Simpsoni meetodit (Vt valemi 3.5). [1,4]

$$\int_0^l \frac{M_p \cdot m_i}{EI_z} = \frac{l}{6EI_z} (M_p' m_i' + 4M_p'' m_i'' + M_p''' m_i''') \quad (3.6)$$

Momentide suurused:

$M_p' m_i'$  - lõigu alguspunktis;

$M_p'' m_i''$  - lõigu keskpunktis;

$M_p''' m_i'''$  - lõigu lõpppunktis.

Arvestades asendatud reaktsioonide suundi, koostame diformatsioonivõrrandid.

$$\begin{cases} \delta_{11}' X_1' + \delta_{12}' X_2' + \delta_{13}' X_3' + \Delta_{1p}' = 0 \\ \delta_{21}' X_1' + \delta_{22}' X_2' + \delta_{23}' X_3' + \Delta_{2p}' = 0 \\ \delta_{31}' X_1' + \delta_{32}' X_2' + \delta_{33}' X_3' + \Delta_{3p}' = 0 \end{cases} \quad (3.7)$$

Kus,

$X_1', X_2', X_3'$  - tundmatud reaktsioonid punktis  $L$ ;

$\delta_{ij}' (i, j=1-3)$  - siirded ühikjõöst punktis  $L$ ;

$\Delta_{1p}', \Delta_{2p}', \Delta_{3p}'$  - siirded koormusest punktis  $L$ .

### Nüüd ehitame epüürid.

PS! Arvestades et talale KL mõjub vertikaaljõud  $F_r$ , siis horisontaalreaktsioon  $X_1'$  võrdub nulliga ja vastav paindemoment  $m_1'$  on võrdne 0-ga (Vt Joonist 3.5).

Määrame paindemomentide suurused lõikude  $LA$  ja  $AK$  piirpunktides, just nimelt

$$(\cdot)L; m_2 = 1 \cdot 0 = 0; m_3 = 1 \quad (3.8)$$

$$(\cdot)A; m_2 = 1 \cdot LA = 1 \cdot 0.25 = 0.25; m_3 = 1; M_p = F_r \cdot 0 = 0 \quad (3.9)$$

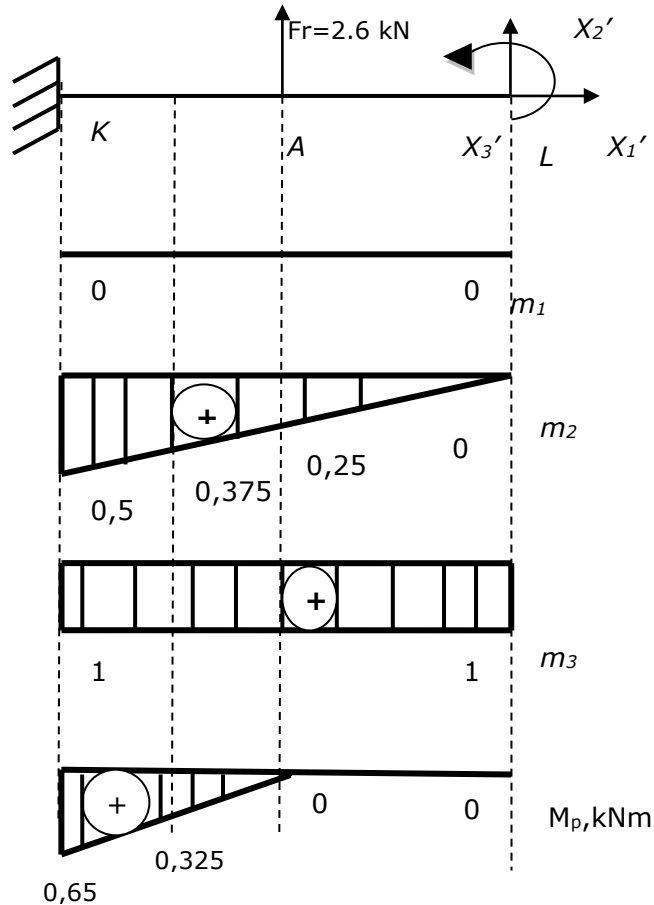
$$(\cdot)K; m_2 = 1 \cdot KL = 1 \cdot 0.5 = 0.5; m_3 = 1; M_p = F_r \cdot AK = 2.6 \cdot 0.25 = 0.65 \quad (3.10)$$

Lõigu  $AK$  keskel

$$m_2' = 1(LA) + \frac{AK}{2} = 0.25 + 0.125 = 0.375; \quad (3.11)$$

$$m_3' = 1; \quad (3.12)$$

$$M_p' = 2.6 \cdot \frac{AK}{2} = 2.6 \cdot \frac{0.25}{2} = 0.325; \quad (3.13)$$



Joonis 3.5 Paindemomendi epüürid  $m_1, m_2, m_3, M_p$

Leiame ühiksiirded ja siirded koormuses

$$\delta_{11}' = \sum \int_0^l \frac{m_1 \cdot m_1}{EI_z} dx = \frac{0,5}{6EI_z} (0 \cdot 0 + 4 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0) = 0 \quad (3.14)$$

$$\delta_{22}' = \sum \int_0^l \frac{m_2 \cdot m_2}{EI_z} dx = \frac{0,5}{6EI_z} \left( (1 \cdot 0,5)^2 + 4 \cdot \left(1 \cdot \frac{0,5}{2}\right)^2 + 0 \cdot 0 \right) = \frac{0,25}{6EI_z} \quad (3.15)$$

$$\delta_{33}' = \sum \int_0^l \frac{m_3 \cdot m_3}{EI_z} dx = \frac{0,5}{6EI_z} (1 \cdot 1 + 4 \cdot 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1) = \frac{3}{6EI_z} \quad (3.16)$$

$$\delta_{12}' = \delta_{21}' = \sum \int_0^l \frac{m_1 \cdot m_2}{EI_z} dx = \frac{0,5}{6EI_z} (0 \cdot (1 \cdot 0,5) + 4 \cdot 0 \cdot (1 \cdot \frac{0,5}{2}) + 0 \cdot 0) = 0 \quad (3.17)$$

$$\delta_{13}' = \delta_{31}' = \sum \int_0^l \frac{m_1 \cdot m_3}{EI_z} dx = \frac{0,5}{6EI_z} (0 \cdot 1 + 4 \cdot 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1) = 0 \quad (3.18)$$

$$\delta_{23}' = \delta_{32}' = \sum \int_0^l \frac{m_2 \cdot m_3}{EI_z} dx = \frac{0,5}{6EI_z} ((1 \cdot 0,5) \cdot 1 + 4 \cdot (1 \cdot \frac{0,5}{2}) \cdot 1 + 0 \cdot 1) = \frac{0,75}{6EI_z} \quad (3.19)$$

$$\Delta_{1p}' = \sum \int_0^l \frac{m_1 \cdot M_p}{EI_z} dx = \frac{0,5}{6EI_z} ((1 \cdot 0,5) \cdot 0 + 4 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0) = 0 \quad (3.20)$$

$$\Delta_{2p}' = \sum \int_0^l \frac{m_2 \cdot M_p}{EI_z} dx = \frac{0,5}{6EI_z} ((1 \cdot 0,5) \cdot 1 + 4 \cdot 1 \cdot 0 + 0 \cdot 0) = \frac{0,203}{6EI_z} \quad (3.21)$$

$$\Delta_{3p}' = \sum \int_0^l \frac{m_3 \cdot M_p}{EI_z} dx = \frac{0,5}{6EI_z} \left( (1 \cdot 0,5)^2 + 4 \cdot (1 \cdot \frac{0,5}{2}) \cdot 0 + 0 \cdot 0 \right) = \frac{0,487}{6EI_z} \quad (3.22)$$

Paneme leitud siirded deformatsioonivõrranditesse (Vt valem 3.7).

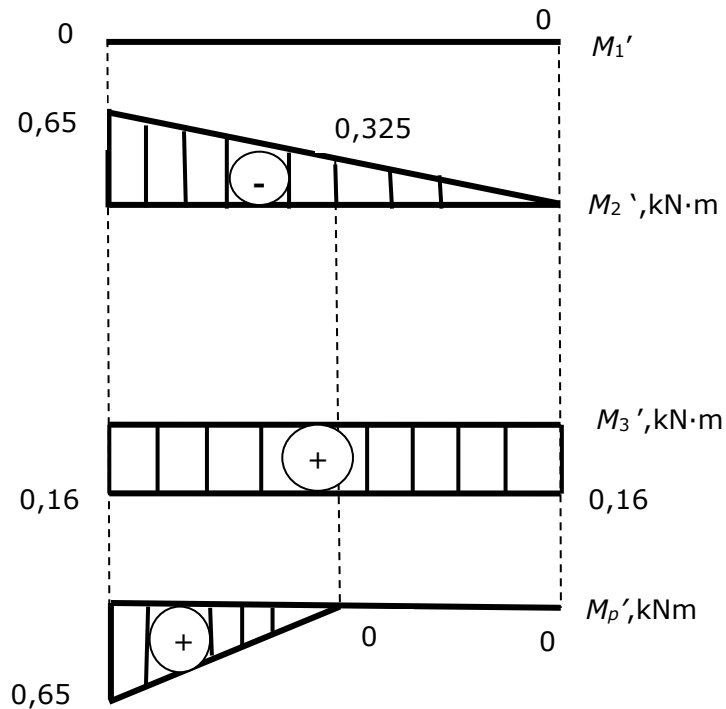
$$\begin{cases} 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0 = 0 \\ 0X_1 + \frac{0,25}{6EI_z} X_2 + \frac{0,75}{6EI_z} X_3 + \frac{0,203}{6EI_z} = 0 \\ 0X_1 + \frac{0,75}{6EI_z} X_2 + \frac{3}{6EI_z} X_3 + \frac{0,487}{6EI_z} = 0 \end{cases} \quad (3.23)$$

$$X_1' = 0 \text{ kN};$$

$$X_2' = -1,3 \text{ kN};$$

$$X_3' = 0,16 \text{ kN};$$

Parandatud epüüride ehitamine (Vt Joonist 3.6)



Joonis 3.6 Tala  $KL$  parandatud paindemomendi epüüri

Nüüd ehitame lõpliku paindemomendi epüüri  $M_z$ .

Selle jaoks määrame paindemomendide suurused lõikude  $LA$  ja  $AK$  piirpunktides vastavalt valemile (3.24)

$$M_z = M_1' + M_2' + M_3' + M_p' \quad (3.24)$$

Kus,

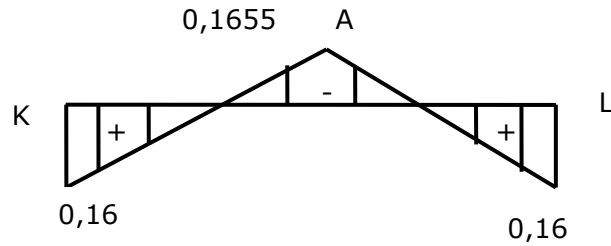
$$M_{1,2,3} = m_{1,2,3}' \cdot X_{1,2,3}$$

$$(\cdot)L; M_z' = 0 + X_3' \cdot 1 + 0 = 0 + (0,16) \cdot 1 + 0 = 0,16 \text{ kNm} \quad (3.25)$$

$$(\cdot)A; M_z' = 0,25 \cdot X_2' + X_3' \cdot 1 + 0 = 0,25 \cdot (-1,3) + (0,16) \cdot 1 + 0 = -0,165 \text{ kNm} \quad (3.26)$$

$$(\cdot)K; M_z' = 0,5 \cdot X_2' + X_3' \cdot 1 + 0,65 = 0,5 \cdot (-1,3) + (0,16) \cdot 1 + 0,65 = 0,16 \text{ kNm} \quad (3.27)$$

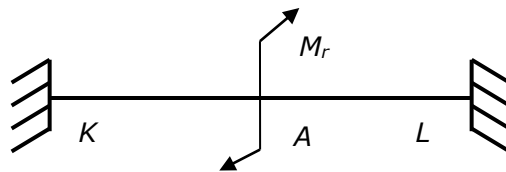
Ning lõplik paindemomendi epüür  $M_z$  on näidatud joonisel 3.7.



Joonis 3.7 Lõplik paindemomendi epüür

### 3.1.2 Väänamisarvutus

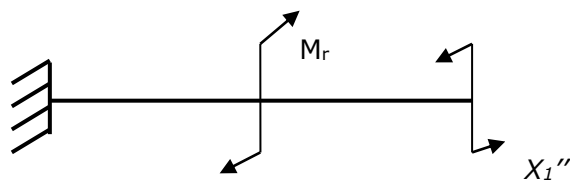
Vastav arvutuskeem joonisel (Vt Joonis 3.10a).



Joonis 3.8a Tala KL pöördemomendiga  $M_r$

Kuna antud tala  $KL$  on kahe jäiktoega ja töötab ainult väändeles, siis ta on ühekordselt staatikamääratu (me ei võta arvesse põike- ja pikkejõude).

Selleks vabastame paremast jäiktoest  $L$  ja asendame selle ühe reaktsiooniga  $X_1''$  ning saame põhiskeemi (vt joonost 3.8b).[1,2]



Joonis 3.8b Tala KL reaktsioonijõuga  $X_1''$

Nüüd koostame deformatsioonivõrrandi, s.t. väändenurk toes  $L$  on võrdne nulliga.

$$\delta_{11}'' X_1'' + \Delta_{1p}'' = 0 \quad (3.28)$$

Kus

$\delta_{11}''$ -siire (pöördnurk) ühikjõust punktis  $L$ ,

$\Delta_{1p}''$ - siire(pöördnurk) koormusest punktis  $L$ .

Nüüd ehitame väändemomendi epüürid (Vt joonist 3.9)

Selleks määrame pöördemomendide suurused lõikude  $LA$  ja  $AK$  piirpunktides, just

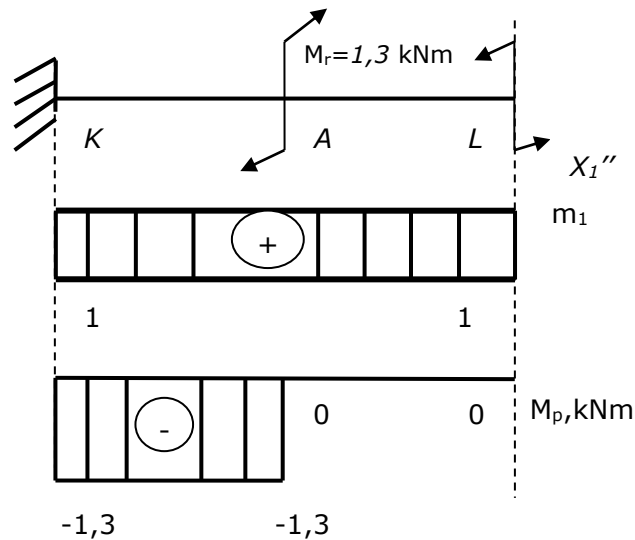
nimelt

$$(\cdot)L; m_1'' = 1; Mp'' = 0;$$

$$(\cdot)A-; m_1'' = 1; Mp'' = 0;$$

$$(\cdot)A+; m_1'' = 1; Mp'' = -Mr = -1,3 \text{ kNm};$$

$$(\cdot)K; m_1'' = 1; Mp'' = -Mr = -1,3 \text{ kNm}.$$



Joonis 3.9 Väändemomendi epüür  $KL$

Mohri integraali lahendamiseks kasutame Simpsoni meetodit. [1,4]

$$\int_0^l \frac{M_p \cdot m_i}{GI_p} dx = \frac{l}{6GI_p} (M_p' m_i' + 4M_p'' m_i'' + M_p''' m_i''') \quad (3.29)$$

kus,

$G$ - nihkemoodul;

$I_p$ - polaarinerentsimoment.

Määrata siirded (pöördenurgad)

$$\delta_{11}'' = \sum \int_0^l \frac{m_1'' \cdot m_1''}{GI_p} dx = \frac{0,5}{6GI_p} (1 \cdot 1 + 4 \cdot 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1) = \frac{3}{6GI_p} \quad (3.30)$$

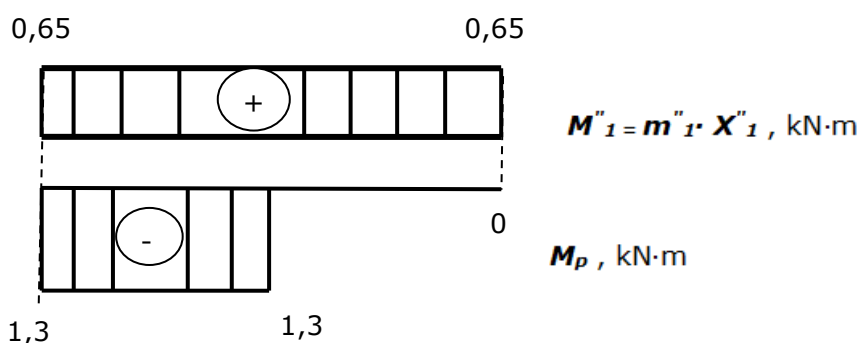
$$\Delta_{1p}'' = \sum \int_0^l \frac{m_1'' \cdot M_p''}{GI_p} dx = \frac{0,25}{6GI_p} (1 \cdot 0 + 4 \cdot 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0) + \frac{0,25}{6GI_p} (1 \cdot (-1,3) + 4 \cdot 1 \cdot (-1,3) + 1 \cdot (-1,3)) = -\frac{1,95}{6GI_p} \quad (3.31)$$

Need väärtused asendatakse deformatsioonivõrrandiga.

$$\frac{3}{6GI_p} X_1'' - \frac{1,95}{6GI_p} = 0 \quad (3.32)$$

$$X_1'' = 0,65 \text{ kNm}$$

Ehitame parandatud epüürid (Vt Joonost 3.10)



Joonis 3.10 Väändemomendi parandatudepüürid

Saadetud andmete jätgi ehitame summaarse epüüri T(Vt Joonost 3.11)

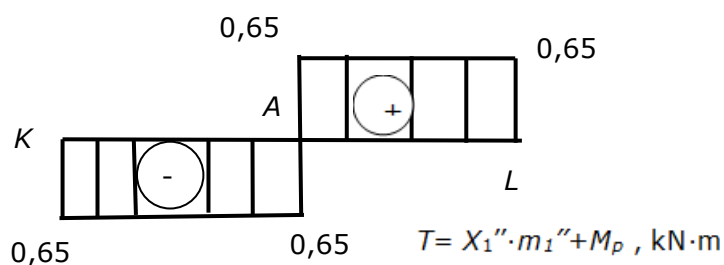
$$T = m_1'' + M_p'' \quad (3.33)$$

$$(\cdot)L; T = m_1'' + X_1'' + M_p'' = 1 \cdot (0,65) + 0 = 0,65 \text{ kNm}$$

$$(\cdot)A-; T = m_1'' + X_1'' + M_p'' = 1 \cdot (0,65) + 0 = 0,65 \text{ kNm}$$

$$(\cdot)A+; T = m_1'' + X_1'' + M_p'' = 1 \cdot (-0,65) + (-1,3) = -0,65 \text{ kNm}$$

$$(\cdot)K; T = m_1'' + X_1'' + M_p'' = 1 \cdot (-0,65) + (-1,3) = -0,65 \text{ kNm}$$



Joonis 3.11 Summarne väändemomentide epüür

### 3.1.3 Põhiraami tugevusarvutus

Kontrollime valitud ristlõike profiili 60x60x6 mm teras S355JR, tugevusele.[16]

Antud profiili geomeetriselised karakteristikud on järgmised:

$W_z = 16,8 \text{ cm}^3$  – rislõike telgvastupannumoment;

$W_p = 20,9 \text{ cm}^3$  – rislõike polaarvastupannumoment.

Materjali S355JR mehaanilised karakteristikud [3]:

$R_{eH} = 355 \text{ MPa}$  – voolavuspiir;

$R_m = 630 \text{ MPa}$  – tugevuspiir.

Siis lubatud normaalpinge  $[\sigma]$  tuleb [1,2]



$$[\sigma] = \frac{R_{eH}}{S} = \frac{355}{2,5} = 142 \text{ MPa} \quad (3.34)$$

kus

$S = 2,5$  – varutegur.

Lubatud nihkepinge  $[\tau]$  tuleb [1,2]

$$[\tau] = 0,6 * [\sigma] = 0,6 * 142 \approx 85 \text{ MPa} \quad (3.35)$$

Arvestades, et tala KL töötab nii paindele kui ka väände (Vt Joonist 3.3a), määrame maksimaalsed normal-ja nihkepinged ohtlikus lõikes. Antud juhul see on lõige punktis A, kus

$|M_z^{max}| = 0,165 \text{ kNm}$  (Vt Joonist 3.7);

$T^{max} = 0,65 \text{ kNm}$  (Vt Joonist 3.11).

Siis maksimaalne normaalpinge  $\sigma_{max}$ , tuleb

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|}{W_z} = \frac{0,165 * 10^3}{16,8 * 10^{-6}} = 9,8 * 10^6 \text{ Pa} \approx 9,8 \text{ MPa} < [\sigma] = 142 \text{ MPa} \quad (3.36)$$

Arvutame maksimaalse nihkepinge  $\tau_{max}$ , tuleb

$$\tau_{max} = \frac{T^{max}}{W_p} = \frac{0,65 * 10^3}{20,9 * 10^{-6}} = 31 * 10^6 \text{ Pa} \approx 31 \text{ MPa} < [\tau] = 85 \text{ MPa} \quad (3.37)$$

Vastavalt kolmandale tugevusteooriale  $\sigma_{ekv}^{max}$  [1,2] maksimaalne ekvivalentnepinge on (Vt valemid 3.36, 3.37)

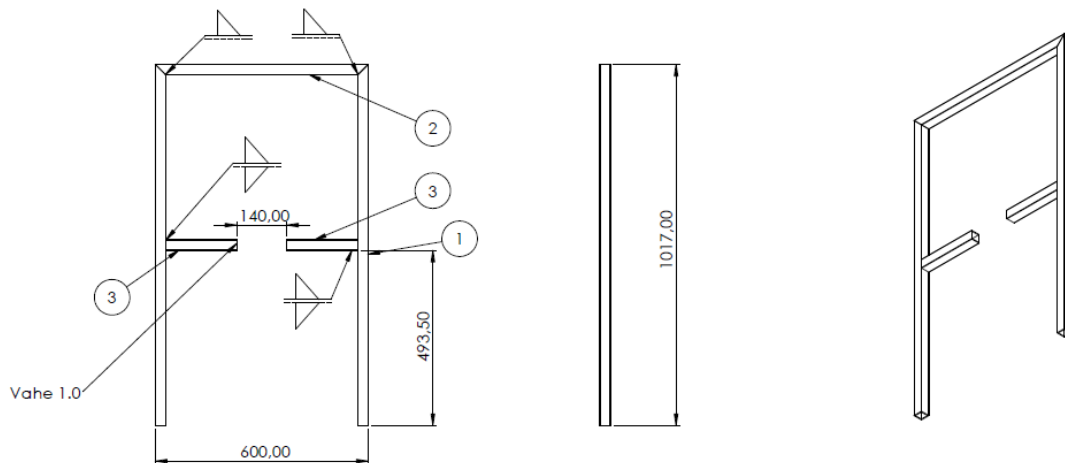
$$\sigma_{ekv}^{max} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 4\tau_{max}^2} = \sqrt{9,8^2 + 4 * 31^2} \approx 62,7 \text{ MPa} < [\sigma] = 142 \text{ MPa} \quad (3.38)$$

Tegelik varutegur  $S_{tegelik}$  tuleb

$$S_{tegelik} = \frac{R_{eH}}{\sigma_{ekv}^{max}} = \frac{355}{62,7} \approx 5,6 \quad (3.39)$$

Järelikult antud põhiraam **vastab** tugevustungimusele.

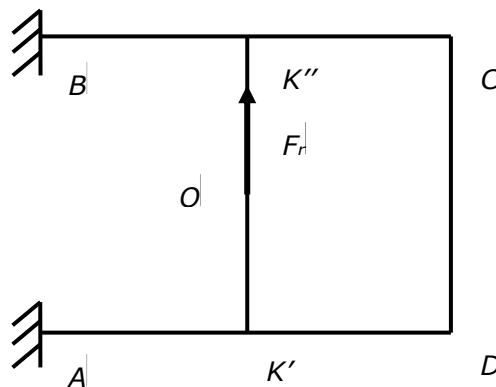
## 3.2 Rattaraami arvutused



Joonis 3.12 Rattaraami joonis

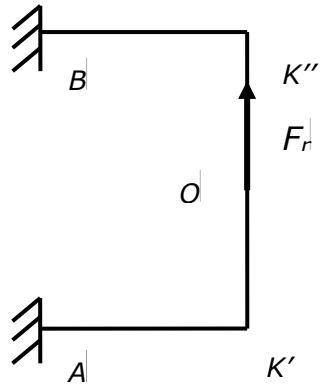
### 3.2.1 Painutusarvutus

Konstruksiooni lihtsustamine lineaarseks vormiks



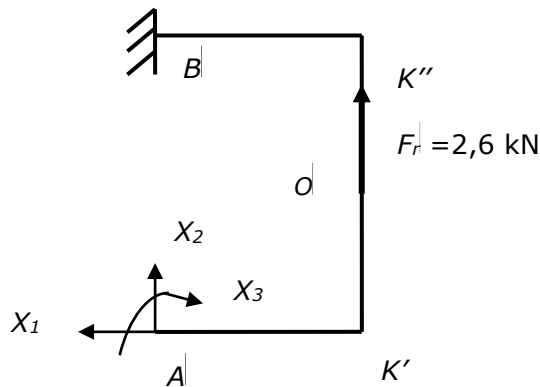
Joonis 3.13 Ratta kinnitusraami joonjoonis

Lihtsustame konstruktsiooni, kuna osa  $K'DCK''$ , on koormamata vaatleme ainult raami kinnituste osa  $AK'K''B$  (vt Joonist 3.14a).



Joonis 3.14a Ratta raami jõu lihtsustatud rakendusala

Vabastame tugedest ja asendame reaktsioonidega punktis A (Vt Joonist 3.14b).



Joonis 3.14b Raamilõike  $AK'K''B$  toe asendusreaktsioonidega joonis

Antud,

$$AD=CB=1,017 \text{ m};$$

$$AK'=BK''=0,508 \text{ m};$$

$$CD=K'K''=0,6 \text{ m};$$

$$F_r= 2,6 \text{ kN};$$

$$G=21\text{kN}.$$

**Nüüd ehitame epüürid.** [1,4]

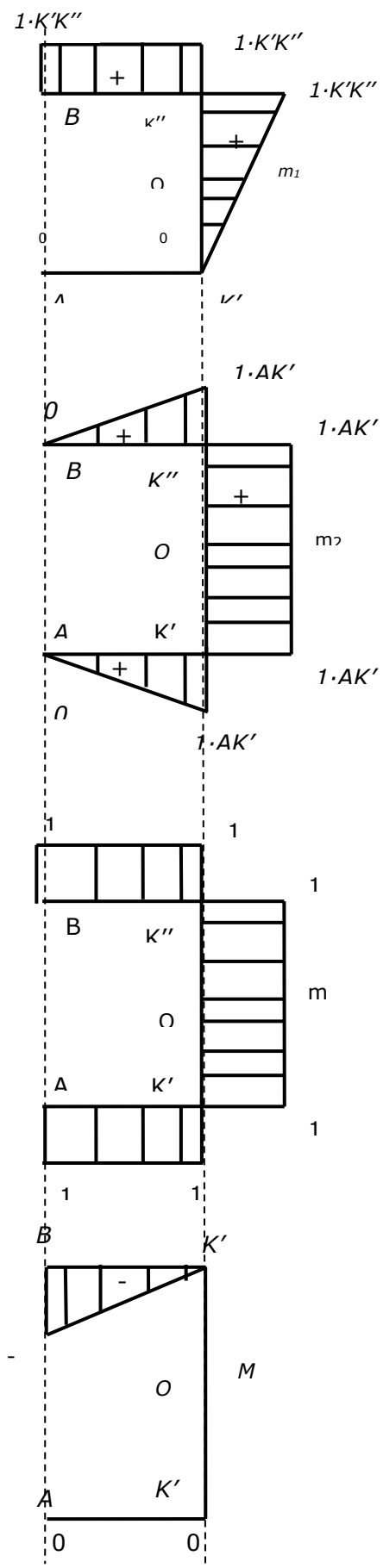
Vaatleme tugede reaktsioonide mõju raamilõikudele  $AK';K'K'';K''B$  (Vt joonis 3.15).

$$(\cdot)A; m_1 = 0; m_2 = 0; m_3 = 0; M_p = 0;$$

$$(\cdot)K'; m_1 = 0; m_2 = 1 \cdot AK'; m_3 = 0; M_p = 0;$$

$$(\cdot)K''; m_1 = 1 \cdot K'K''; m_2 = 1 \cdot AK'; m_3 = 0; M_p = 0;$$

$$(\cdot)B; m_1 = 1 \cdot K'K''; m_2 = 0; m_3 = 0; M_p = -F_r \cdot BK''.$$



Joonis 3.15 Raami  
seksiooni  $AK'K''B$  epüürid

Siirded arvutame Mohri meetodiga. [1,4]

Mohri integraali lahendamiseks kasutame Simpsoni meetodit

Koostame võrrand liigid, mida esindavad valemid.

$$\begin{cases} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1p} = 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2p} = 0 \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3p} = 0 \end{cases} \quad (3.37)$$

Arvutus

$$\delta_{11} = \sum \int_0^l \frac{m_1 \cdot m_1}{EI_z} dx = \frac{0.508}{6EI_z} (0 \cdot 0 + 4 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0) + \frac{0.6}{6EI_z} (0 \cdot 0 + 4 \cdot (1 \cdot \frac{0.6}{2}) \cdot (1 \cdot \frac{0.6}{2}) + (1 \cdot 0.6) \cdot (1 \cdot 0.6)) + \frac{0.508}{6EI_z} ((1 \cdot 0.6) \cdot (1 \cdot 0.6) + 4 \cdot (1 \cdot 0.6) \cdot (1 \cdot 0.6) + (1 \cdot 0.6) \cdot (1 \cdot 0.6)) = \frac{0.27}{6EI_z} \quad (3.38)$$

$$\delta_{22} = \sum \int_0^l \frac{m_2 \cdot m_2}{EI_z} dx = \frac{0.508}{6EI_z} (0 \cdot 0 + 4 \cdot (1 \cdot \frac{0.508}{2}) \cdot (1 \cdot \frac{0.508}{2}) + (1 \cdot 0.508) \cdot (1 \cdot 0.508)) + \frac{0.6}{6EI_z} ((1 \cdot 0.508) \cdot (1 \cdot 0.508) + 4 \cdot (1 \cdot 0.508) \cdot (1 \cdot 0.508) + 0 \cdot 0) + \frac{0.508}{6EI_z} ((1 \cdot 0.508) \cdot (1 \cdot 0.508) + 4 \cdot (1 \cdot \frac{0.508}{2}) \cdot (1 \cdot \frac{0.508}{2}) + 0) = \frac{1.304}{6EI_z} \quad (3.39)$$

$$\delta_{33} = \sum \int_0^l \frac{m_3 \cdot m_3}{EI_z} dx = \frac{0.508}{6EI_z} (1 \cdot 1 + 4 \cdot 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1) + \frac{0.6}{6EI_z} (1 \cdot 1 + 4 \cdot 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1) + \frac{0.508}{6EI_z} (1 \cdot 1 + 4 \cdot 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1) = \frac{9.68}{6EI_z} \quad (3.40)$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \sum \int_0^l \frac{m_1 \cdot m_2}{EI_z} dx = \frac{0.508}{6EI_z} (0 \cdot 0 + 4 \cdot 0 \cdot (1 \cdot \frac{0.508}{2}) + 0 \cdot 0.508) + \frac{0.6}{6EI_z} (0 \cdot (1 \cdot 0.508) + 4 \cdot (1 \cdot \frac{0.6}{2}) \cdot (1 \cdot 0.508) + (1 \cdot 0.508) \cdot (1 \cdot 0.508)) + \frac{0.508}{6EI_z} ((1 \cdot 0.508) \cdot (1 \cdot 0.6) + 4 \cdot (1 \cdot \frac{0.508}{2}) \cdot (1 \cdot 0.6) + 0 \cdot (1 \cdot 0.6)) = \frac{1.781}{6EI_z} \quad (3.41)$$

$$\delta_{13} = \delta_{31} = \sum \int_0^l \frac{m_1 \cdot m_3}{EI_z} dx = \frac{0.508}{6EI_z} (0 \cdot 1 + 4 \cdot 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1) + \frac{0.6}{6EI_z} (0 \cdot 1 + 4 \cdot 1 \cdot (\frac{0.6}{2} \cdot 1) + (1 \cdot 0.6) \cdot 1) + \frac{0.508}{6EI_z} ((1 \cdot 0.6) \cdot 1 + 4 \cdot (1 \cdot 0.508) \cdot 1 + 1 \cdot (1 \cdot 0.6)) = \frac{5.03}{6EI_z} \quad (3.42)$$

$$\delta_{23} = \delta_{32} = \sum \int_0^l \frac{m_2 \cdot m_3}{EI_z} dx = \frac{0.508}{6EI_z} (0 \cdot 1 + 4 \cdot (1 \cdot \frac{0.508}{2}) \cdot 1 + (1 \cdot 0.508) \cdot 1) + \frac{0.6}{6EI_z} ((1 \cdot 0.508) \cdot 1 + 4 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 0.508) + (1 \cdot 0.508) \cdot 1) + \frac{0.508}{6EI_z} ((1 \cdot 0.508) \cdot 1 + 4 \cdot (1 \cdot \frac{0.508}{2}) \cdot 1 + 1 \cdot 0) = \frac{6.072}{6EI_z} \quad (3.43)$$

$$\Delta_{1p} = \sum \int_0^l \frac{m_1 \cdot M_p}{EI_z} dx = \frac{0.508}{6EI_z} (0 \cdot 0 + 4 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0) + \frac{0.6}{6EI_z} (0 \cdot 0 + 4 \cdot (1 \cdot \frac{0.6}{2}) \cdot 0 + (1 \cdot 0.6) \cdot 1) - \frac{0.508}{6EI_z} ((1 \cdot 0.6) \cdot 1 + 4 \cdot (1 \cdot 0.6) \cdot (2.6 \cdot \frac{0.508}{2}) + 2.6 \cdot 0.6 \cdot (1 \cdot 0.6)) = -\frac{2.52}{6EI_z} \quad (3.44)$$

$$\Delta_{2p} = \sum \int_0^l \frac{m_2 \cdot M_p}{EI_z} dx = \frac{0.508}{6EI_z} (0 \cdot 0 + 4 \cdot (1 \cdot \frac{0.508}{2}) \cdot 0 + (1 \cdot 0.508) \cdot 0) + \frac{0.6}{6EI_z} ((1 \cdot 0.508) \cdot 0 + 4 \cdot (1 \cdot 0.508) \cdot 0 + (1 \cdot 0.508) \cdot 0) - \frac{0.508}{6EI_z} ((1 \cdot 0.508) \cdot 0 + 4 \cdot (1 \cdot \frac{0.508}{2}) \cdot (2.6 \cdot \frac{0.508}{2}) + 2.6 \cdot 0.508 \cdot 0) = -\frac{0.67}{6EI_z} \quad (3.45)$$

$$\Delta_{3p} = \sum \int_0^l \frac{m_3 \cdot M_p}{EI_z} dx = \frac{0.508}{6EI_z} (0 \cdot 1 + 4 \cdot 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1) + \frac{0.6}{6EI_z} (0 \cdot 1 + 4 \cdot 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1) - \frac{0.508}{6EI_z} (1 \cdot 0 + 4 \cdot (2.6 \cdot \frac{0.508}{2}) \cdot 1 + 1 \cdot 2.6 \cdot 0.508) = \frac{3.96}{6EI_z} \quad (3.46)$$

Koostame võrrandi kolme tundmatuga ja leiame  $X_1; X_2; X_3$ .

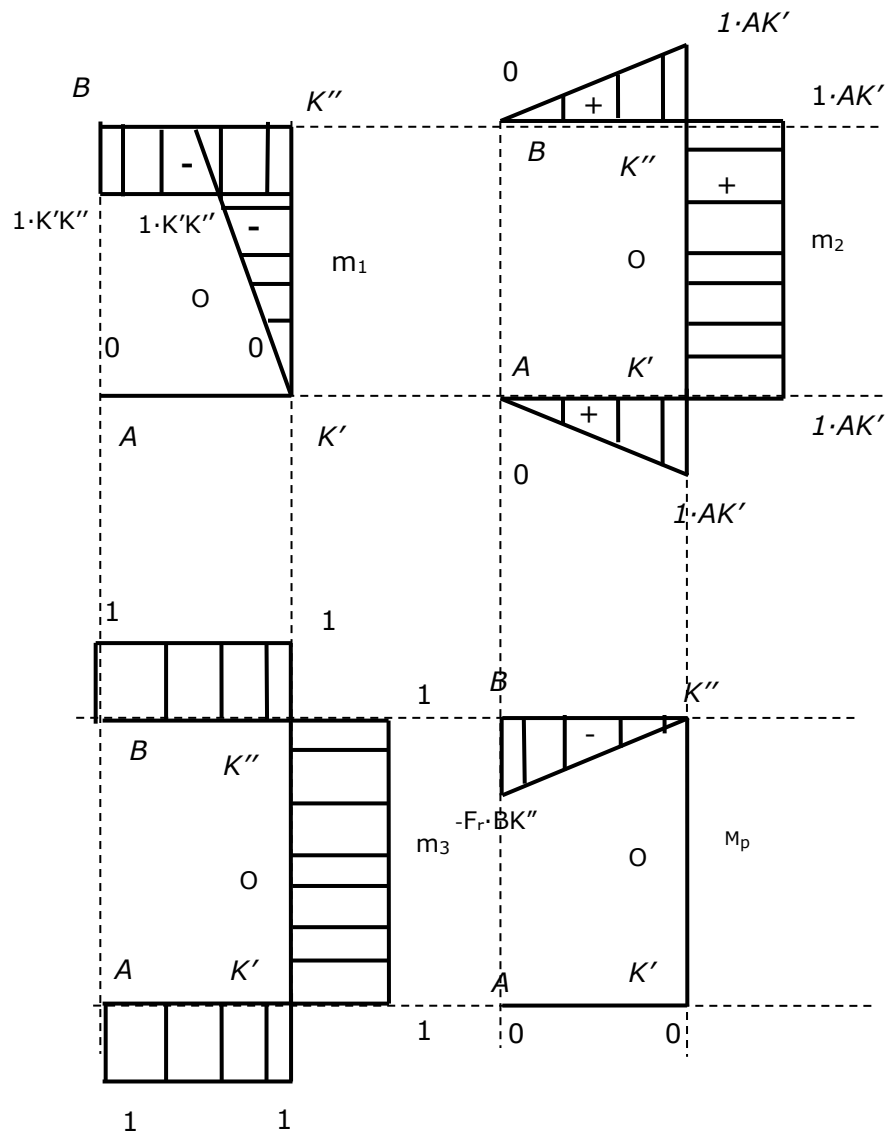
$$\begin{cases} \frac{0.27}{6EI_z} X_1 + \frac{1.781}{6EI_z} X_2 + \frac{5.03}{6EI_z} X_3 + \left(-\frac{2.52}{6EI_z}\right) = 0 \\ \frac{1.781}{6EI_z} X_1 + \frac{1.304}{6EI_z} X_2 + \frac{6.072}{6EI_z} X_3 + \left(-\frac{0.67}{6EI_z}\right) = 0 \\ \frac{5.03}{6EI_z} X_1 + \frac{6.072}{6EI_z} X_2 + \frac{9.68}{6EI_z} X_3 + \frac{3.96}{6EI_z} = 0 \end{cases} \quad (3.47)$$

$$X_1 = -0.917 \text{ kN};$$

$$X_2 = 1.227 \text{ kN};$$

$$X_3 = 0.116 \text{ kN}.$$

Parandatud epüüride ehitamine



Joonis 3.16  $AK'K''B$  raamiosa parandatud epüürid

Saadetud andmete järgi ehitame sumaarne epüür.

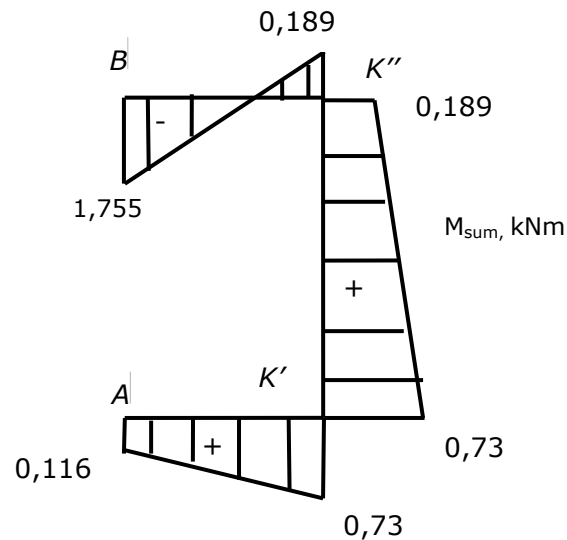
$$(\cdot)A; M = 0 + 0 + 1 \cdot X_3 + 0 = 1 \cdot 0,116 = 0,116 \text{ kN} \quad (3.48)$$

$$(\cdot)K'; M = 0 + (1 \cdot AK') \cdot X_2 + 1 \cdot X_3 + 0 = 0 + (1 \cdot 0,508) \cdot 1,227 + 1 \cdot 0,116 + 0 = 0,73 \text{ kN} \quad (3.49)$$

$$(\cdot)K''; M = (1 \cdot K'K'') \cdot X_1 + (1 \cdot AK') \cdot X_2 + 1 \cdot X_3 + 0 = (1 \cdot 0,6) \cdot (-0,917) + (1 \cdot 0,508) \cdot 1,227 + 1 \cdot 0,116 + 0 = 0,189 \text{ kN} \quad (3.50)$$

$$(\cdot)B; M = (1 \cdot K'K'') \cdot X_1 + 0 + 1 \cdot X_3 + (-Fr \cdot BK'') = (1 \cdot 0,6) \cdot (-0,917) + 0 + 1 \cdot 0,116 + (-2,6 \cdot 0,508) = -1,755 \text{ kN} \quad (3.51)$$

Olles leidnud põhipunktides kõik pinged, koostame lõplikui. AK'K''B(Vt Joonist 3.17).



Joonis 3.17 Raami sektsiooni AK'K''B summeeritud epüür

Kasutades saadud andmeid ning teadaolevat osa ja materjali, arvutage  $[\sigma]$ -Lubatud normaalpinge, selle tala jaoks.

### 3.2.2 Rattaraami tugevusearvutus

Määrame profiili ristlõike telgvastupannumomendi  $W_z$ , kui tema matrrial on teras S355JR.

Materjali S355JR mehaanilised karakteristikud [3]:

$R_{eH} = 355 \text{ MPa}$  – voolavuspiir;

$R_m = 630 \text{ MPa}$  – tugevuspiir.

Siis lubatud normaalpinge  $[\sigma]$  tuleb [1,2]

$$[\sigma] = \frac{R_{eH}}{S} = \frac{355}{2,5} = 142 \text{ MPa} \quad (3.52)$$

kus

$S = 2,5$  – varutegur.

Arvestades, et rattaraam töötab ainult paindele (Vt Joonist 3.13), määrame et ristlõike telgvastupannumomendi  $W_z$ , tugevustingimust paindele [1,2]

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|}{W_z} \leq [\sigma] = 142 \text{ MPa} \quad (3.53)$$

Antud juhul maksimaalne paindemoment on punktis  $B$ , kus

$$|M_z^{max}| = 1,755 \text{ kNm (Vt Joonist 3.17).}$$

Siis nõutav ristlõike telgvastupannumoment  $W_z$ , (Vt valemit 3.53) tuleb

$$W_z \geq \frac{|M_{max}|}{[\sigma]} \geq \frac{|1,755 * 10^3|}{142 * 10^6} \geq 12,4 * 10^{-6} \text{ m}^3 \geq 12,4 \text{ cm}^3$$

Valime katalogis vastava profiili [16]

Sobiv profiil:

Nelikantoru profiil 60x60x4 mm, kus telgvastupannumoment  $W_z^{tegelik} = 14,5 \text{ cm}^3$ .

Kontroll.

Määrame tegeliku normaalpinge  $\sigma$

Siis tegelik normaalpinge  $\sigma_{tegelik}$ , tuleb

$$\sigma_{tegelik} = \frac{|M_{max}|}{W_z^{tegelik}} = \frac{1,755 * 10^3}{14,5 * 10^{-6}} = 121 * 10^6 \text{ Pa} \approx 121 \text{ MPa} < [\sigma] = 142 \text{ MPa} \quad (3.54)$$

Tegelik varutegur  $S_{tegelik}$  tuleb

$$S_{tegelik} = \frac{R_{eH}}{\sigma_{tegelik}^{max}} = \frac{355}{121} \approx 2,9 \quad (3.55)$$

Järelikult antud põhiraam **vastab** tugevustungimusele.



## 4. MATERJALI UURING

Võrreldud materjalid: S355JR, S235JR, S460, 304SS

Eesmärk: Võrrelda materjalide omadusi ja teha kindlaks, milline neist sobib kõige paremini universaalse skateboard platvormi raami ja ratta välisraami konstruktsiooniks.

### 4.1 Materjalide Kirjeldus ja Omadused

S355JR [3,12]

- Tõmbetugevus: 470-630 MPa
- Elastsuspiir: 355 MPa
- Tihedus: 7850 kg/m<sup>3</sup>
- Keevisliidetavus: Hea
- Korrosioonikindlus: Vajab kaitset

S235JR [3,13]

- Tõmbetugevus: 360-510 MPa
- Elastsuspiir: 235 MPa
- Tihedus: 7850 kg/m<sup>3</sup>
- Keevisliidetavus: Hea
- Korrosioonikindlus: Vajab kaitset

S460 [[3,12]

- Tõmbetugevus: 550-720 MPa
- Elastsuspiir: 460 MPa
- Tihedus: 7850 kg/m<sup>3</sup>
- Keevisliidetavus: Keskmine
- Korrosioonikindlus: Vajab kaitset

304 Roostevaba Teras (SS) [3]

- Tõmbetugevus: 500-700 MPa
- Elastsuspiir: 215 MPa
- Tihedus: 8000 kg/m<sup>3</sup>
- Keevisliidetavus: Hea
- Korrosioonikindlus: Suurepärase

## 4.2 Materjalide analüüs

Võrdleme nelikanttoru tala pikkusega 500 mm kasutades erinevaid materjale.

### **S235JR**[13]

Väsimuskindlus: Keskmine, madalam elastsuspiir.

Vastupidavus: Vajab korrosioonikaitset, sobib kergematele koormustele.

Kaal (500 mm tala):

$$\text{Maht} = 60 \times 60 \times 500 - (48 \times 48 \times 500) = 180000 \text{ mm}^3 = 0,18 \text{ m}^3 \quad (4.1)$$

$$\text{Kaal} = 0,18 \times 7850 = 1413 \text{ kg} \quad (4.2)$$

### **304 Roostevaba Teras (SS)** [13]

Väsimuskindlus: Keskmine, kuid suurepärase korrosioonikindlus.

Vastupidavus: Ei vaja korrosioonikaitset, sobib hästi korrosiivsetes keskkondades.

Kaal (500 mm tala):

$$\text{Maht} = 60 \times 60 \times 500 - (48 \times 48 \times 500) = 180000 \text{ mm}^3 = 0,18 \text{ m}^3 \quad (4.3)$$

$$\text{Kaal} = 0,18 \times 8000 = 1440 \text{ kg} \quad (4.4)$$

Nüüd võrdleme materjalid

### **S355JR** [13]

Väsimuskindlus: Hea, kõrge tugevusega, talub korduvaid koormusi hästi.

Vastupidavus: Vajab korrosioonikaitset, kuid sobib raskete koormuste jaoks.

Kaal (500 mm tala):

$$\text{Maht} = 60 \times 60 \times 500 - (48 \times 48 \times 500) = 180000 \text{ mm}^3 = 0,18 \text{ m}^3 \quad (4.5)$$

$$\text{Kaal} = 0,18 \times 7850 = 1413 \text{ kg} \quad (4.6)$$

### **S235JR** [13]

Väsimuskindlus: Keskmine, madalam elastsuspiir.

Vastupidavus: Vajab korrosioonikaitset, sobib kergematele koormustele.

Kaal (500 mm tala):

$$\text{Maht} = 60 \times 60 \times 500 - (48 \times 48 \times 500) = 180000 \text{ mm}^3 = 0,18 \text{ m}^3 \quad (4.7)$$

$$\text{Kaal} = 0,18 \times 7850 = 1413 \text{ kg} \quad (4.8)$$

### **S460** [13]

Väsimuskindlus: Väga hea, kõrge elastsuspiir.

Vastupidavus: Vajab korrosioonikaitset, sobib rasketele koormustele ja keerukatele tingimustele.

Kaal (500 mm tala):

$$\text{Maht} = 60 \times 60 \times 500 - (48 \times 48 \times 500) = 180000 \text{ mm}^3 = 0,18 \text{ m}^3 \quad (4.9)$$

$$\text{Kaal} = 0,18 \times 7850 = 1413 \text{ kg} \quad (4.10)$$

### **304 Roostevaba Teras (SS) [13]**

Väsimuskindlus: Keskmine, kuid suurepärase korrosioonikindlus.

Vastupidavus: Ei vaja korrosioonikaitset, sobib hästi korrosiivsetes keskkondades.

Kaal (500 mm tala):

$$\text{Maht} = 60 \times 60 \times 500 - (48 \times 48 \times 500) = 180000 \text{ mm}^3 = 0,18 \text{ m}^3 \quad (4.11)$$

$$\text{Kaal} = 0,18 \times 8000 = 1440 \text{ kg} \quad (4.12)$$

Järeldus

S355JR on meie jaoks parim valik, sest:

- Sellel on kõrge elastsuspiir ja tõmbetugevus, mis tagavad vajaliku tugevuse ja vastupidavuse.
- Selle kaal on sobiv, pakkudes head tasakaalu tugevuse ja kerguse vahel.
- Hea keevitavus teeb selle töötlemise lihtsaks ja kulutõhusaks.
- Kuigi see vajab korrosioonikaitset, on see endiselt parem valik võrreldes kallimate materjalidega nagu 304 SS.

S355JR tagab meie universaalse skateboard platvormi konstruktsioonile optimaalse jõudluse ja usaldusväärsuse, olles samal ajal kuluefektivne ja praktiline valik.

## 5. TEHNOLOOGIAKAART

Operatsioonide järjekord:

1. Plaasmi või gaasiga detailide lõikamine;
2. Keevitustööd;
3. Toote visuaalne kontroll ja pindade puhastamine;
4. Toote täielik visuaalne kontroll.

Kokku: 4 operatsioonid.

### 5.1 Detailide lõikamine

Ristkülikukujuliste metalltorude lõikamiseks kasutatakse metallilõikemasinaid, millel on abrasiivketaste. Üks näide sellisest masinast on mudel, millel on järgmised omadused: mootori võimsus 2200 W (2,2 kW), abrasiivketta läbimõõt 355 mm, ketta pöörlemiskiirus 3800 p/min, lõikesügavus kuni 120 mm, toiteallikas 220 V võrgupinge ning masina kaal umbes 18 kg. [8]

#### Põhiraam

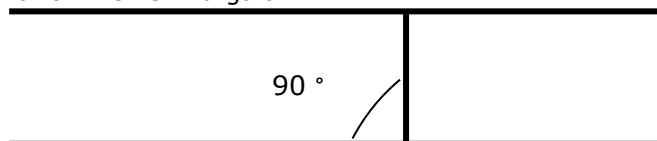
Eelnevalt lõigatud: S355JR nelikanttoru 60x60x6 mm, paigaldatakse tooriku etteandelauale ja lõigatakse plaasmi või gaasiga.

Lõikamise detailide hulk:

Põhiraam. 20 tk.



Joonis 5.1 Tooriku lõikamine 45° nurga all



Joonis 5.2 Tooriku lõikamine 90° nurga all

#### Rattaraam

Eelnevalt lõigatud: S355JR nelikanttoru 30x30x3 mm, paigaldatakse tooriku etteandelauale ja lõigatakse plaasmi või gaasiga.

Lõikamise detailide hulk:

Rattaraam 4x4 tk

## **5.2 Keevitustööd**

Keevitus operatsioonid kokku:

Põhiraam: 48

Rattaraam 4x4.

Keevitamine ja keevisliitete kvaliteedikontroll vastavalt EN 25817-C standartile. Märkimata piirhälbed EN 13920-B-F järgi. [9]

## **5.3 Toote visuaalne kontroll ja pindade puhastamine**

Iga toode peab läbima visuaalne kontroll. Ei tohi olla: keevituspritsmed, teravad servad ja muud defektid. Kui tekkivad selliseid defektid on vaja puhastada pinde. [9]

## **5.4 Toote täielik visuaalne kontroll**

Lõplik visuaalne kontroll, defekte ei tohiks olla. [9]

## 6. LIGIKAUDNE KONSTRUKTSIOONI HINNA ARVUTAMINE

### 6.1 Materjali kulu

#### 6.1.1 Põhiraami materjali kulu

Materjal – teras S355JR, ristlõikega 60x60x6 mm.

Põhiraami korpuse valmistamiseks vajame 23520 mm ostetud materjali mõõtudega, 60x60x6 mm S355JR.

Minimaalne S355 nelikanttoru mõõtmed: pikkus 12000 mm, antud pikkuse toru mass on 10 kg. Toru 60x60x6x23520 mm mass on umbes 19,6 kg. 12000 mm S355 lehe materjali kulu, kokku on km-ga: 264,25 €. [5]

$$K_{m1} = 264,25 \cdot 1,96 \approx 517,93\text{€} \quad (6.1)$$

kus,

$K_m$  – materialikulu, €.

#### 6.1.2 Rattaraami materjali kulu

Materjal – teras S355JR, ristlõikega 30x30x3 mm.

Nelja rattaraami korpuse valmistamiseks vajame 3174 \*4 = 12696 mm ostetud materjali mõõtudega, 30x30x3 mm S355JR.

Minimaalne S355 nelikanttoru mõõtmed: pikkus 12000 mm, antud pikkuse toru mass on 2,53 kg. Toru 30x30x3x12696 mm mass on umbes 2676g = 2,67 kg. Kokku umbes 2,67·4=10,7 kg. 12000 mm S355 lehe materjali kulu, kokku on km-ga: 66,89 €. [14]

$$K_{m1} = 66,89 \cdot 1,058 \approx 70,76\text{€} \quad (6.2)$$

#### 6.1.3 Kokku materiali kulud.

$$K_m = K_{m1} + K_{m2} \approx 517,93 + 70,76 = 588,69 \text{€} \quad [5,14](6.3)$$

kus,

$K_m$  – materialikulu, €.

### 6.2 Töö kulud

Töö operatsiooni kulud: gaasi lõigamine, keevisõmlused.

Keskmine tööjõukulu 2024 aastal 1 kvartalis oli 2651 € . Arvutame 1 tunni järgi. Võtame arvesse et kuus on 160 töötundi, kuus on 4 töönädalat. [15]

Arvutame tööjõukulud 1 tunni järgi:

$$K_{tj} = 2651/160 \approx 16,5 \text{ eur/t} \quad (6.4)$$

Materjalide lõikamine: Kokku on 36 detaili, 20 põhiraami ja 16 rattaraami jaoks. Detailid lõigatakse vastavalt ISO 9013-332 standardile sama täpsusega. 45-kraadise nurga all töödeldakse 8 detaili põhiraami ja 16 detaili rattaraami jaoks. 90-kraadise nurga all lõigatakse 12 detaili nii põhiraami kui ka rattaraami jaoks. Toorikute märgistamiseks ja edasiseks lõikamiseks kulub ligikaudu 50 minutit. Tuleb arvesse võtta, et masina töö maksumus on 0,5 eurot tunnis.

Arvutame summeritud masina operatsiooni kulud:

$$K_{os1} = 0,83 \cdot 0,5 \approx 0,42 \text{ €} \quad (6.5)$$

kus,

$K_{os}$  – summeritud masina operatsiooni kulu, €.

Arvutame summeritud tööjõu kulud:

$$K_{tjs1} = K_{tj} \cdot 0,42 \approx 16,5 \cdot 0,42 \approx 6,875 \text{ eur/t} \quad (6.6)$$

kus,

$K_{tjs}$  - summeritud tööjõu kulu, €.

Siis same arvutada summeritud töö ja operatsiooni kulud lõike operatsiooni jaoks.

$$K_{to1} = K_{tjs1} + K_{os1} = 6,875 + 0,42 \approx 7,295 \text{ eur/t} \quad (6.7)$$

kus,

$K_{to}$  - töö ja operatsiooni kulu, eur/t;

$K_{tjs}$  - summeritud tööjõu kulu, eur/t;

$K_{os}$  – summeritud masina operatsiooni kulu, eur/t.

Metallkonstruktsioon koos kaldservaga sisaldab kokku 64 keevisliidet, mille kvaliteeti kontrollitakse vastavalt EN 25817-C standardile. Põhiraami konstruktsioonil on 48 keevisliidet, mille laius on ligikaudu 1,5 korda õmmeldavate materjalide paksusest. Näiteks 6 mm paksuse materjali puhul oleks õmbluse laius umbes 9 mm. Õmbluse pikkus sõltub konstruktsiooni ja tugevusnõuetest ning on tavaliselt 4 kuni 6 korda laisusest, mis teeks ligikaudu 54 mm pikkuse õmbluse, arvestades 9 mm laiust. Arvestades, et 65% keevisliidete väärtusest tuleneb tööjõukuludest, on oluline teada ainult nende tegemiseks kuluv aeg. Näiteks terve raami koostamiseks on vaja umbes 1 tund keevisliidete tegemiseks.[5]

$$K_{klt} = K_{tj} \cdot 0,65 = 16,5 \cdot 0,65 \approx 10,7 \text{ eur/t} \quad (6.8)$$

kus,

$K_{klt}$  – keevisliitete tööjõukulu, eur/t;

$K_{tj}$  - tööjõukulu, €.

$$K_{kl} = 10,7 \cdot 1 \approx 10,7 \text{ €} \quad (6.9)$$

kus,

$K_{kl}$  – kokku keevisliitete tööjõukulu.

Töökulud kokku:

$$K_t = K_{to1} + K_{kl} = 7,295 + 10,7 \approx 17,9 \text{ €} \quad [5,9](6.10)$$

kus,

$K_t$  – töökulud kokku, €;

$K_{to}$  - töö ja operatsiooni kulu, eur/t;

$K_{kl}$  – kokku keevisliitete tööjõukulu.

### **6.3 Kulud kokku**

$$K_k = K_m + K_t = 588,69 + 17,9 \approx 606,59 \text{ €} \quad (6.11)$$

kus,

$K_k$  – kulud kokku, €;

$K_m$  – materialikulud kokku, €;

$K_t$  – töökulud kokku, €.



## **KOKKUVÕTE**

Käesoleva uurimistöö eesmärk oli arendada ja uurida universaalsele skateboard-sõiduk-platvormile mõeldud põhiraami ja rattavälisraami konstruktsiooni vastavalt projekti "Universal Vehicle Skateboard" nõuetele. See innovaatiline projekt taotleb platvormi loomist, mis võimaldab robotitel liikuda erinevatel pindadel, sealhulgas maanteedel, maastikul ja raudteedel. Uurimistöö käigus saavutati mitmeid olulisi tulemusi, sealhulgas patendi-uuring, mõjuvate koormuste analüüs raamile, põhjalikud tugevusarvutused ja tehnilised juhendid raami valmistamiseks. Samuti loodi tööjoonised, arvatati ligikaudne konstruktsioonihind ning pakuti välja olulisi teadmisi ja oskusi autonoomsete robotite ja universaalsete skateboard-sõiduk-platvormide valdkonnas. Kogu see panus aitab kaasa FRAAG TECHNOLOGY OÜ tulevaste tehnoloogiliste lahenduste arendamisele ja rakendamisele, pakkudes hindamatut lisaväärtust nii autori professionaalsele arengule kui ka ettevõtte järgmistele projektidele.

## **SUMMARY**

In today's world, autonomous robots are becoming increasingly crucial in various industries, offering efficient and adaptable solutions for tasks like logistics and traversing diverse terrains. The "Universal Vehicle Skateboard" project introduces an innovative platform intended to serve as a base for different kinds of robots, enabling them to navigate roads, terrains, and railways. This study is focused on developing and examining the primary frame and outer wheel frame construction for a universal skateboard vehicle platform tailored to the project's requirements. By emphasizing the platform's distinctive feature—the wheel mechanism—the goal is to create a frame that ensures optimal performance and reliability for robot couriers. The research encompasses various types of frames for universal skateboard vehicle platforms, outlines the fundamental frame requirements, and establishes a research methodology involving 3D modeling, material exploration, frame construction calculations, and the creation of a technological plan and production budget. The study has yielded noteworthy results:

- Reviewing existing patents and their application to identify unique features.
- Assessing the loads impacting the frame to ensure its strength and durability.
- Conducting thorough strength calculations to verify compliance with necessary standards.
- Developing detailed technological plans to guide the manufacturing process of the portal frame.
- Creating essential technical drawings for the construction.
- Estimating the approximate construction cost.

These findings contribute to the progress of autonomous robotics by offering innovative solutions for the goods delivery market and autonomous transportation. The knowledge and skills acquired during this study are invaluable for the author's professional growth and FRAAG TECHNOLOGY OÜ's future endeavors.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. P.Stepin. Tugevusõpetus. Tln., Valgus, 1987
2. I.Kleis. Rakendusmehaanika. Tallinn, Valgus, 1984. [Online] (25.02.24)
3. Materiali omadused. [Online] S355JR (ovako.com) (20.04.2024)
4. Г. М. Ицкович jt. Сборник задач и примеров расчета по курсу деталей машин. М., Машиностроение, 1965 ja hiljem. [Online] (15.04.24)
5. Keevisliitude liigikaudsed kulud. [Online] [Estimating Total Welding Costs | Fabricating and Metalworking](#) (16.02.2023)
6. Hamrock, Bernhard J. Fundamentals of Machine Elements. Boston, WCB McGraw-Hill, 1999. [Online] (21.01.24)
7. Keevisliitude arvutuse näide. [Online] <https://mehanic-ua.ru/zadachi/1818-raschet-svarnykh-soedinenij-zadacha.html> (20.04.2024)
8. Mehaanikainseneri käsiraamat. Mente et Manu (2022) 1, lk. 68: ill. [Online] (05.03.24)
9. Е.Г. Лещинер. Основы Технологии Машиностроения. Томского политехнического университета, 2015. [Online] (27.04.24)
10. CN109624607A. Espacenet. [Online] Available: [https://no.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=CN&NR=109624607A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20190416&DB=&locale=en\\_NO#](https://no.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=CN&NR=109624607A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20190416&DB=&locale=en_NO#) (19.01.24)
11. CN105966172A. Espacenet. [Online] Available: [https://no.espacenet.com/publicationDetails/mosaics?CC=CN&NR=105966172A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20160928&DB=&locale=en\\_NO](https://no.espacenet.com/publicationDetails/mosaics?CC=CN&NR=105966172A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20160928&DB=&locale=en_NO) (11.02.24)
12. S235 Materjali Omadused. Metal Place. [Online] Available: <https://metal.place/ru/wiki/s235/322186/> (19.03.24)
13. S235JR. Inkomet. [Online] Available: <https://inkomet.ru/spravochnik/en-10025-konstrukcionnyie-stali/en-10025-2/s235jr> (09.04.24)
14. Teras S355. Metall24. [Online] Available: <https://www.metall24.ee/tooted/teras-s355> (19.05.24)
15. Keskmise tööjõukulu eestis. [Online] Palk ja tööjõukulu | Statistikaamet (16.02.2023)
16. Frelok põhitoodangute kataloog. [Online] Available: [http://www.frelok.ee/products\\_est.pdf](http://www.frelok.ee/products_est.pdf) (16.05.2024)

## LISAD

Tabel 1. Tehnoloogiline kaart

Tehnoloogiline kaart				
Operatsioon	Kirjeldus	Detailid	Tööriistad ja seadmed	Kvaliteedikontroll
<b>1. Detailide lõikamine</b>	Plaasmi või gaasiga lõikamine	Põhiram: S355JR nelikanttoru 60x60x6 mm. Kogus: 20 tk; Rattaraam: S355JR nelikanttoru 30x30x3 mm; Kogus: 4*4 tk	Abrasiivketastega metallilõikemasin: Võimsus: 2200 W; Ketaste läbimõõt: 355 mm; Ketaste pöörlemiskiirus: 3800 p/min; Lõikesügavus: kuni 120 mm; Toitetüüp: 220 V; Masina kaal: 18 kg	Visuaalne kontroll peale lõikamist, mõõtude ja lõikekvaliteedi kontroll
<b>2. Keevitustööd</b>	Keevitustööd	Suur raam: 48 keevisliidet; Väike raam: 4*4 keevisliidet	Keevitusseadmed vastavalt standarditele EN 25817-C ja EN 13920-B-F	Keevisliidete kvaliteedikontroll vastavalt EN 25817-C standardile; Tolerantsid vastavalt EN 13920-B-F
<b>3. Toote visuaalne kontroll ja pindade puhastamine</b>	Visuaalne kontroll ja pindade puhastamine	Kõik keevitatud tooted	-	Keevituspritsmete, teravate servade ja muude defektide eemaldamine
<b>4. Toote täielik visuaalne kontroll</b>	Lõplik visuaalne kontroll	Kõik tooted	-	Defektide puudumise kontroll

Tabel 2. Materjalide omadused [3]

Materjal	Tõmbetugevus (MPa)	Elastsuspiir (MPa)	Tihedus (kg/m <sup>3</sup> )	Korrosioonikindlus	Keevisliidetavus	Hind
S355JR	470-630	355	7850	Madal	Hea	Keskmine
S235JR	360-510	235	7850	Madal	Hea	Madal
S460	550-720	460	7850	Madal	Keskmine	Kõrge
304 SS	500-700	215	8000	Suurepärane	Hea	Väga kõrge

Tabel 3. Ruutristlõikega õõnesprofiilide nominaalmõõtmed ja mehaanilised omadused [16]

B, mm	T, mm	M, kg/m	A, cm <sup>2</sup>	I, cm <sup>4</sup>	i, cm	W <sub>el</sub> , cm <sup>3</sup>	W <sub>pl</sub> , cm <sup>3</sup>	I <sub>t</sub> , cm <sup>4</sup>	C <sub>t</sub> , cm <sup>3</sup>	A <sub>s</sub> , m <sup>2</sup> /m
60	5,0	8,13	10,4	50,5	2,21	16,8	20,9	86,4	25,6	0,223
30	3,0	2,36	3,01	3,5	1,08	2,34	2,96	6,15	3,58	0,11



# LISA 3 PÕHIRAAMI JA RATTATAAMI KOOSTEJOONIS

