



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut
Tootearenduse õppetool

MES70LT

Margus Tagasaar

Automaatse teivashüppe stendi projekteerimine

Autor taotleb
tehnikateaduse magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn
2016

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Henrik Herraneni juhendamisel

“.....”201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”201... a.

..... allkiri

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2016 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Margus Tagasaar, 142159MATM (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava: Tootearendus ja tootmistehnika MATM02/11

Eriala: Mehaanika

Juhendaja: Teadur, Henrik Herranen (amet, nimi)

Konsultandid:-

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Automaatse teivashüppe stendi projekteerimine

(inglise keeles) Design of automated pole vault stand

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1	Ülesande püstitus, määruste ja nõuete väljaselgitamine, konkurentsianalüüs.	Märts 2016
2.	Eskiislahenduse koostamine, sõlmede valik.	Märts 2016
3.	Mehaanika sõlmede projekteerimine.	Aprill 2016
4.	Automaatika komponentide valik ja paigutus.	Mai 2016
5.	Töö ja jooniste vormistamine	Mai 2016

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

Projekteerida IAAFi nõuetele vastav teivashüppe stend, mida oleks hõlbus kasutada nii käsijuhtimisega kui ka automaatjuhtimisega. Tõstesüsteemi valik, eriprofiili väljatootamine, koostude ja detailide projekteerimine, automaatika juhtsüsteemi komponentide valimine, tootmise omahinna arvestus

Täiendavad märkused ja nõuded: Samm-mootorite maksimaalsed töökiirused saab välja selgitada katsenäidise valmimisel ning testimisel.

Töö keel: Eesti keel

Kaitsmistootlus esitada hiljemalt 16.05.2016 **Töö esitamise tähtaeg** 20.05.2016

Üliõpilane: Margus Tagasaar /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja: Henrik Herranen /allkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

SISUKORD	3
EESSÕNA	5
LÜHENDITE LOETELU	6
SISSEJUHATUS	7
1. TEHNILISED NÕUDED JA PARAMEETRID	12
1.1. IAAF NÕUDED	12
1.2. ETTEVÖTTE POOLT MÄÄRATUD NÕUDED JA PARAMEETRID	16
2. TEIVASHÜPPE STENDI M0302100 KONSTRUKTSIOONI PROJEKTEERIMINE 18	
2.1. PROJEKTEERIMISJÄRJEKORRA JA KASUTATAVATE METOODIKATE MÄÄRAMINE	18
2.1.1. <i>Projekteerimisjärjekord</i>	20
2.1.2. <i>Kasutatavate metoodikate kirjeldused</i>	20
2.2. LÄHTEPARAMEETRITE MÄÄRAMINE	22
2.3. ÜLEMISE POSTI PROJEKTEERIMINE	23
2.3.1. <i>Tõstemehhanismi projekteerimine</i>	23
2.3.2. <i>Korpuse projekteerimine</i>	26
2.3.3. <i>Liigendiga tugevduselemendi projekteerimine</i>	28
2.3.4. <i>Ülemise liigendiga posti konstruktsiooni kontrollarvutused</i>	34
2.3.5. <i>Latihoidja kelgu projekteerimine</i>	37
2.3.6. <i>Ülemise liigendiga posti komponentide loetelu ja paiknemise skeem</i>	38
2.4. ALUSPLATVORMI JA VANKRI PROJEKTEERIMINE	40
2.4.1. <i>Põhjakonstruktsiooni projekteerimine</i>	42
2.4.2. <i>Kelgu projekteerimine</i>	45
2.4.3. <i>Alumise platvormi kooste</i>	49
2.5. ALUMINE LIIGENDIGA TUGIPOST	51
2.6. MUUD KOMPONENDID JA SÕLMED.....	53
2.7. KOOSTATUD KÄSIJUHTIMISEL STEND JA TUULEJÕUD.....	54
3. TEIVASHÜPPE STENDI M0302100 JUHTIMISAUTOMAATIKA VALIMINE	58
3.1. MOOTORITE JA ANDURITE VALIK	58
3.2. KONTROLLERI, TOITEPLOKI JA JUHTPANEELI VALIK.....	60
3.3. KASUTAJALIIDES.....	64
3.4. STENDI JUHTIMISMOODUL NING AUTOMAATJUHTIMISEL STENDI VISUALISATSIOON.....	65
4. MAJANDUSLIK OSA	67
4.1. PROTOTÜÜBI EELARVESTUSLIK HIND	68
KOKKUVÕTE	71
SUMMARY	72
KASUTATUD KIRJANDUS	74

LISAD.....	75
LISA 1 – SENDI VISUALISATSIOONID	75
<i>Lisa 1.1. M0302100-000-AUT – Polevault stand set automatic (teivashüppe stand automaatjuhtimisel).....</i>	<i>75</i>
<i>Lisa 1.2. M0302100-000-MAN - Polevault stand set manual (teivashüppe stand käsijuhtimisel).....</i>	<i>76</i>
LISA 2 – TEHNILISED JOONISED.....	77
<i>Lisa 2.1. M0302100-010-000 – Top upright assembly (Ülemise posti koostejoonis).....</i>	<i>77</i>
<i>Lisa 2.2. M0302100-012-000 – End cap assembly (Posti korgi koostejoonis).....</i>	<i>78</i>
<i>Lisa 2.3. M0302100-013-000 – Slider assembly (Latihoidja kelgu koostejoonis).....</i>	<i>79</i>
<i>Lisa 2.4. M0302100-013-001 – Guide bushing (Juhtpuks).....</i>	<i>80</i>
<i>Lisa 2.5. M0302100-014-000 – Bevel gearbox (Reduktor).....</i>	<i>81</i>
<i>Lisa 2.6. M0302100-014-001 – Gearbox base (Reduktori põhi)</i>	<i>82</i>
<i>Lisa 2.7. M0302100-015-000 – Measuring unit assembly (Mõõteagregaadi koostejoonis)..</i>	<i>83</i>
<i>Lisa 2.8. M0302100-016-000 – Top upright support (Ülemise posti tugikonstruktsioon).....</i>	<i>84</i>
<i>Lisa 2.9. M0302100-016-007 – Joint shaft (Liigendi völli).....</i>	<i>85</i>
<i>Lisa 2.10. M0302100-020-000 – Bottom upright (Alumise posti koostejoonis).....</i>	<i>86</i>
<i>Lisa 2.11. M0302100-021-000 – Bottom upright support (Alumise posti tugikonstruktsioon)</i>	<i>87</i>
<i>Lisa 2.12. M0302100-030-000 – Base module assembly (Alusplatvormo koostejoonis).....</i>	<i>88</i>
<i>Lisa 2.13. M0302100-033-000 – Cart frame (Vankri raam).....</i>	<i>89</i>
<i>Lisa 2.14. M0302100-034-001 – Leg frame (Alusplatvormi raam)</i>	<i>90</i>
<i>Lisa 2.15. M0302100-050-00L – Crossbar holder left (Vasaku poole latihoidja).....</i>	<i>91</i>

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema „Automaatse teivashüppe stendi projekteerimine“ on üks osa Metziko Industries OÜ planeeritavast tootesarjast, mis keskendub uudsetele motoriseeritud ja automatiseeritud sporditarvetele ja spordiinventarile. Lõputöö autor on üks ettevõtte asutajatest ja eestvedajatest. Spordiinventari valdkond turuna on tohutu ning võtab innovaatilised ja hästi toimivad tooted kenasti vastu. Kuna maailm liigub aina enam nn tarkadel lahendustelbaseeruvate rakenduste suunas, siis näeb ettevõtte, et ka spordiinventari vallas on aeg läbimurdeks ning uudsete kontseptsioonide turule toomiseks.

Töö autor tänab juhendajat, teadur Henrik Herraneni mitmekülgse abi ja väärtuslike nõuannete eest seadme konstrueerimisel.

Samuti soovib autor tänada retsensent nooremteadur Maarjus Kirsi tema põhjaliku ja konstruktiivse retsensiooni eest.

LÜHENDITE LOETELU

IAAF – The International Association of Athletics Federation [Rahvusvaheline kergejõustiku föderatsioon]

MI – Metziko Industries OÜ

UI – User interface [kasutajaliides]

CE - Conformité Européenne [Euroopa vastavustunnistus]

CAD – Computed Aided Design [Raalprojekteerimine]

RMS – Resilient Modeling Strategy [Paindliku modelleerimise strateegia]

FEA – Finite Element Analysis [lõplike elementide analüüs]

PLC – Programmable Logic Controller [Programmeeritav loogikakontroller]

PSU – Power Supply Unit [Toiteplokk]

HMI – Human Machine Interface [Masina juhtpaneel]

CPU – Central Processing Unit [Protsessor]

FOS – Factor of Safety (varutegur)

SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on projekteerida teivashüppesend automaatse juhtimissüsteemi ja käsijuhtimiselementidega. Olulisel kohal on ühelt juhtimissüsteemilt üleminekul teisele selliselt, et komponentide vahetamine ja paigaldamine käiks võimalikult lihtsalt ning ei vajaks erikoolitusega spetsialisti.

Teema olulisus ettevõtte Metziko Industries OÜ aspektist on kõrge, kuna send on kavandatava tootesarja üks tähtsamatest osadest. Suuremas pildis on projekteeritava stendi funktsionaalsus samuti oluline, sest tänu lihtsasti kavandatavale juhtimissüsteemi vahetusele ei pea suurvõistluste korraldajad hoidma varustendina eraldi käsijuhtimisel töötavat stendi (Antud range soovitusena IAAFi poolt, kuna tänaseni esineb automaatselt juhitavate stendide töökindluses ja täpsuses palju probleeme), vaid saavad vajaduse või tõrke korral stendile lisada käsijuhtimis elemendid ning opereerida stendi läbi viimaste.

Samuti saab hinnalt soodsama käsijuhtimisel baseeruva stendi otnud klient suurvõistluste läbiviimiseks vajadusel rentida automaatjuhtimis mooduleid, mis võimaldab väiksema eelarvega võistluste korraldajatel raha kokku hoida ning annab Metzikole Industries Oüle võimaluse lisaks inventari müügile tegeleda ka äritegevuse automaatika moodulite rendi vallas.

Kahtlemata on turul toodete valik olemas, võib isegi öelda, et valik on päris hea kuid sellele vaatamata on paljudel toodetel tõsiseid puudusi nii kasutusmugavuse, kalibreeritavuse, kui ka integreeritavuse (käsitsi opereerimine või motoriseeritud juhtimine) osas. Kuna tootjaid on Hiinast USAni, siis otseste konkurentide võrdlus saab olla pigem regionaalne. Sellest lähtuvalt on analüüsitud Ida-Euroopa ja Põhjamaade konteksti. Antud regioonis levivaid, otseselt konkureerivad tooted saab välja selekteerida IAAF sertifikaatide loetelu järgi. Lähiriikide tootjatel on sertifitseeritud järgmistel tootjatel:

Tootja nimetus	Päritolu riik	Toote tähis	Toote nimetus	IAAF sertifikaat
Nordic Sport AB	Rootsi	3106200	Pole Vault Elite (manual and electrical)	E-12-0689
Kerko Sport OY	Soome	521400	Pole vault Champion	E-99-0201
Polanik	Poola	STT11-65E	Pole Vault Electric	E-11-0620
Polanik	Poola	STT15-65F	Pole Vault, Professional, Competition, Foldable	E-15-0843

Tabel 1 - Põhja- ja Idaeuroopa tootjate stendid, millel on IAAFi sertifikaat[1]

Tabelist 1 selgub, et kolme ettevõtte strateegia on erinev. Põhjamaade tootjad piirduvad ühe tootega, mille puhul Nordic Sport püüab ka elektrilist juhitavust pakkuda. Poolakad on loonud aga käsijuhtimise ja automaatjuhtimise tarbeks oma toote.

Kuna Polanik toodetega ei ole töö autor isiklikult kokku puutunud, erinevalt Nordic Spordi ja Kerko Spordi stendidest, siis järgneva on antud põhjalikum ülevaade viimaste toodetest ning teadmispõhiselt ka Polanik toodetest. Stendi osade parameetrid on toodud tabelis 2, stendide võrdlus tabelis 3. Illustratiivne materjal SELE 1 ja SELE 2.

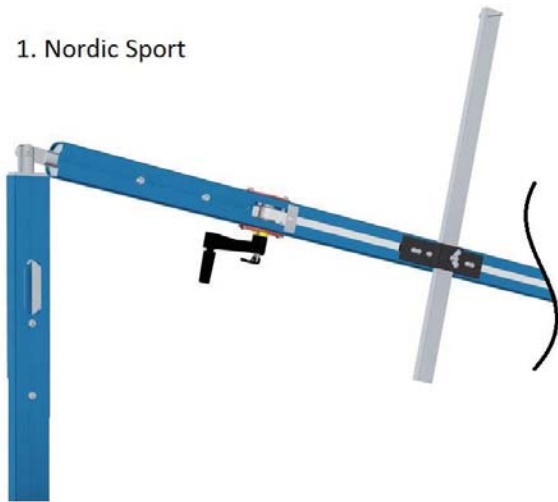
Alusplatvorm				
Tootja	Stendi tähis	Gabariit mõõtmed [mm]	Mass [kg]	Lisainfo
Nordic Sport AB	3106200	1520x650x105	53	Alus looditav tugijalgadest, lukusti platvormil, vankri küljes, ainult käsijuhtimine. Värvitud lehtterasest korpus. Ühel pool rattad liigutamiseks.
Kerko Sport OY	521400	1620x1010x600	67	Alus ei ole looditav, lukusti vankri ninas, ainult käsijuhtimine. Torukonstruktsioon, kuumsingitud. Ühel pool rattad liigutamiseks.
Polanik	STT11-65E	Andmed puuduvad		Mõlemal stendil sarnane alus. Ei ole looditav, käsi ja elektrimootoriga juhitud (hammasrihm). Ühel pool rattad liigutamiseks. Kerge lehtmetail konstruktsioon, värvitud. Lukustus postilt või mootoriga.
Polanik	STT15-65F			
Postid				
Tootja	Stendi tähis	Gabariit mõõtmed [mm]	Mass [kg]	Lisainfo
Nordic Sport AB	3106200	Kahe osaline: 80x80x5950 ja 80x80x800	35 ja 15	Latihoidja reguleeritav, tõstemehhanism hammasrihma baasil, post liigendiga, mõõtevahendiks on trükitud skaala hammasrihm, kalibreerimine läbi näidikuplaadi, käsijuhtimisega, võimalik lisada tavaline elektriagam.
Kerko Sport OY	521400	90x90x6500	48	Latihoidja ei ole reguleeritav, tõstemehhanism kettidel baseeruv, mõõtevahendiks terasmõõdulint, kalibreerida ei ole võimalik, ainult käsijuhtimine. Ilma liigendita.
Polanik	STT11-65E	Andmed puuduvad		Ilma liigendita, sammootoriga, ülekandemehhanism hammasrihm, mootoriga variandil eraldi kõrgusenäidikut ei ole.
Polanik	STT15-65F			Liigendiga, tõstemehhanism hammasrihm baseeruv, mõõtevahendik digitaalne lugeja, Liigendiga posti ei saa motoriseerida.

Tabel 2 - Konkureerivate toodete platvormide ja postide parameetrid



SELE 1 - Konkureerivate toodete platvormid. Vasakul Nordic Sport, keskel Polanik ja paremal Kerko Sport

1. Nordic Sport



2. Polanik



4. Polanik



3. Kerko Sport



Sele2 - Konkureerivate toodete postid

Tootja	Stendi tähis	Eelised	Puudused	Orienteeruv müügihind	Orienteeruv aastane müügiimaht
Nordic Sport AB	3106200	Konstruksioon on tugev ja võrdlemisi töökindel, post on liigendiga, lati teotuselement on piisavalt pikk, et sinna teleülekannete jaoks kaamera kinnitada, mehaanika toimib kergesti ja on mugav opereerida. Visuaalselt üks ilusamaid stende turul.	Hammasrihma purunemisel on seda keeruline vahetada, hammasrihmale trükitud mõõteskaala täpsus kõigub partiide kaupa, käsijuhitava toote hind on turul üks kõrgemaid, motoriseeritud toode ei ole konkurentsivõimelisel tasemel, stendi loodimine on väga ebamugav, kelgu fikseerimine on ebamugav, kui stendile on kattedatid peale pandud.	Käsijuhtimisega stend 4000 €/paar Elektrimootoriga stend 8500 €/paar	Käsijuhtimisega 12 paari, Elektrimootoriga 2 paari
Kerko Sport OY	521400	Tootmisel on vähe keerulisi komponente, konstruktsioon on väga tugev ja robustne, konkurentsivõimeline hind	Ketid vajavad pidevat õlitust ja puhastamist, mõõdulindid kipuvad purunema ning nende vahetus on ebamugav, tootel puudub kalibreerimisvõimalus, puudub võimalus automaatsuhtumiseks, kelgu liigutamine on kohmakas ja ebamugav, puudub loodimisvõimalus. Toode on esteetiliselt vananenud ning ei ole turul atraktiivne.	3000 €/paar	Orienteeruvalt 6 kuni 7 paari
Polanik	STT11-65E	Üks ostetumaid motoriseeritud stende, lihtne kasutada ja opereerida, piisavalt robustne konstruktsioon.	Mõlema posti jaoks oma juhtimismoodul ja juhtimispuult, on esinenud probleeme automaatika töökindlusega, ei ole liigendmehhanismiga, ei ole looditav. Liiga kerge alusplatvorm tähendab seda, et stend tuleb maasse ankurdata, mis omakorda on lisatöö ning rikub staadioni katet. Rihmad kipuvad purunema.	8500 €/paar	Orienteeruvalt 8-10 paari
Polanik	STT15-65F	Populaarne käsijuhtimisel stend, digitaalne mõõdulugemine, opereerimine ergonomilisem, kui Nordicu ja Kerko stendidel.	Kelgu lukusti kipub läbi libisema, stendi liigendid on ainult ühesuunalised, Liiga kerge alusplatvorm tähendab seda, et stend tuleb maasse ankurdata, mis omakorda on lisatöö ning rikub staadioni katet. Rihmad kipuvad purunema.	3700 €/paar	Orienteeruvalt 20 paari

Tabel 3 - Konkurentide hindamine ning müüginumbrid

Nagu selgub tabelist, on igal tootel puuduseid. Tehniliselt kõige paremal tasemel on Polanik tooted ning kõige nõrgemas seisus on Kerko Sport tooted. Vaatamata sellele on võimalik antud valdkonna tooteid edasi arendada ja luua uudsemal lahendusel toimiv stend.

Käesolev magistritöö on struktuurilt jaotatud neljaks põhiosaks:

- Tehnilised nõuded ja parameetrid
- Teviashüppe stendi ja käsijuhtimise komponentide projekteerimine
- Automaatjuhtumise projekteerimine
- Majanduslik ja tootmistehniline osa

Töö esimeses osas anakse ülevaade Rahvusvahelise Kergejõustikuliidu poolt kehtestatud nõuetest ja soovitud teivashüppestendi konstruktsioonile, parameetritele ja kasutamisele. Lisaks antakse ülevaade nõuetest ja soovidest, mille esitab stendidele Metziko Industries. Samuti vaadeldakse antud peatükis konkureerivaid tooteid ja analüüsitakse nende tugevusi ning nõrkusi.

Töö teine osa, ühtlasi ka mahukaim, keskendub teivashüppe stendi konstruktsiooni projekteerimisele. Peatükis antakse ülevaade seadme funktsioonidest, seadme osade omavahelisest seosest, selgitatakse välja projekteerimisjärjekord ning luuakse toote konstruktiivne lahendus koos vajalike insenertehniliste arvutustega.

Kolmandas peatükis valitakse projekteeritud stendile juhtimisautomaatika komponendid, selgitatakse kasutajaliidese kontseptsiooni ning luuakse konstruktiivne lahendus juhtimismooduli valmistamiseks.

Neljandas osas antakse ülevaade toote prototüübi eelarvestuslikust maksumusest.

Lisadena tuuakse välja olulisemate sõlmede ja konstruktsiooniosade koostejoonised ning mõningad keerukamad detailjoonised. Täiendavalt tuuakse lisas välja erinevate ostukomponentide spetsifikatsioonid ning olulisemad andmelehed. Töös ei avaldata kogu toote valmistamiseks vajaliku joonistepaketti, kuna see ületaks mahult magistritöö mõistlikkuse piiri.

Toote projekteerimiseks ning simulatsioonide tegemiseks on kasutatud tarkvarana Creo Parametric 3.0 (endise nimega Pro/Engineer) ja Creo Simulate 3.0 (Endise nimega Pro/Mechanica) CAD/CAE tarkvarade paketti. Lisaks on lõplike elementide simulatsiooniks kasutatud ANSYS Workbench 15 tarkvara.

1. TEHNILISED NÕUDED JA PARAMEETRID

Käesolev peatükk annab ülevaate nõuetest, mida esitab IAAF rahvusvaheliste võistluste läbiviimiseks sobilikule inventarile. Samuti antakse peatükis ülevaade masinadirektiivi järgi kohaldatavatest rakendustest, mis haakub stendi motoriseeritud juhtimissüsteemi ja käitamisega ning elektroonikat sisaldava toote jaoks vajalike kriteeriumite täitmisega, et toode oleks kooskõlas ka CE märgistuse nõuetega. Samuti on peatükis analüüsitud konkurentide toodete parameetreid ning hinnatud toodete tugevaid ja nõrkasid külgi. Peatüki eesmärk on andmete analüüs ning sellest tulenevalt luua lähteülesande parameetrilised ning kirjelduslikud juhised MI omatoote projekteerimiseks.

1.1. IAAF nõuded

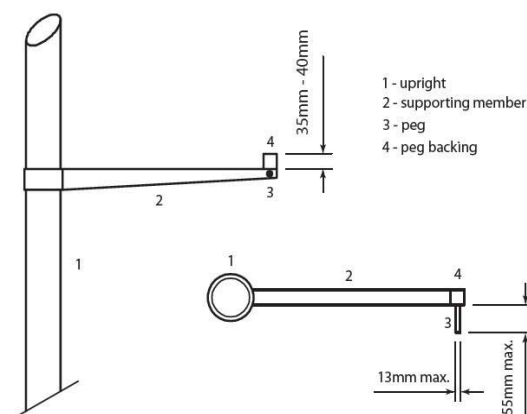
IAAF sätestab omapoolsed nõuded ja soovitused dokumentidega „RULES & REGULATIONS, IAAF Competition Rules 2016-2017, in force from 1 November 2015“, „IAAF Technical Delegates Guidelines“, kohtunike juhendmaterjalides „The Referee“ ning staadionite planeerimisjuhendis „IAAF TRACK AND FIELD FACILITIES MANUAL“.

Teivashüppe stendi kavandamisel tuleb arvestada lisaks stendile esitatavatele nõuetele ka teivashüppe võistluse olemust, antud alaga koos käivate teiste elementidega sobivust (nt. maadumisala) ja ka inventari kasutusmugavust. Olulisel kohal on ka sportlaste turvalisus ning vigastuste tekke ohtude ennetamine.

Tabelis 4 on välja toodud otsesed nõuded stendi parameetrite ja ehituse kohta. IAAF jätab tootjatele palju tõlgendamise ja disainivabaduse ruumi ning reglementeerib vaid kriitilise tähtsusega elemente.

Reegli nr.	Dokument	Reegli kirjeldus	Täpsustus
183.1	IAAF, „RULES & REGULATIONS, IAAF Competition Rules 2016-2017“	Sportlasele on õigus nõuda lati nihutamist „0“ punktist hüppeala poole kauguse vahemikus 0 kuni 80cm.	Stendi või stendi osa peab olema võimalik liigutada vahemikus 0-80cm, et tagada sportlasele nõutud tigemused.
183.9	IAAF, „RULES & REGULATIONS, IAAF Competition Rules 2016-2017“	Stendi postidena võib kasutada mistahes sobivat konstruktsiooni, eeldusel, et konstruktsioon on piisavalt jäik. Postide metallist jalused ja postide alumine pool peavad olema kaetud pehmendustega, et kaitsta sportlasi ja varustust.	Sele 3
183.10	IAAF, „RULES & REGULATIONS, IAAF Competition Rules 2016-2017“	Latt (millest sportlased üle hüppavad) peab asetsema horisontaalses asendis, toetuma piikidele/sõrmedele, selliselt, et kui sportlane latti puudutab, kukub latt kergesti maha suunaga maandumisala poole. Tõetussõrmed peavad olema siledad, ühtlase diameetriga maksimaalselt 13mm. Sõrmede tohib olla maksimaalselt 55mm tugiseinast. Sõrmede tugiseina kõrgus sõrme pinnast tohib olla vahemikus 35-40mm. Tugisõrmede omavaheline kaugus peab jääma vahemikku 4,3 kuni 4,37 meetrit. Vähendamaks riski sportlaste vigastuse tekkeks kokkupõrkel stendiga, võivad tõetussõrmed asetseda pikendusliigenditel, postist eemal.	Sele 3
181.4	IAAF, „The Referee (IAAF Centenary Edition)“	Teivashüppes tõstetakse lati kõrgus 5cm sammuga. Juhul kui on selgunud võitja võib võistluse võitnud sportlane rünnata rekordit, mis puhul tõstetakse latt olemasoleva rekordi + 1 cm kõrgusele.	Stendi täpsuskriteeriumiks loetakse 1 cm
181.5	IAAF, „The Referee (IAAF Centenary Edition)“	Kõik kõrguse mõõdud võetakse lati ülemise pinna ja maapinna suhtes risti täis sentimeetrites.	Mõõtepunktiks latil on lati madalaim koht (tavaliselt läbipaindest sõltuvalt lati keskel)

Tabel 4 - IAAF nõuded teivashüppe stendile[2][3]

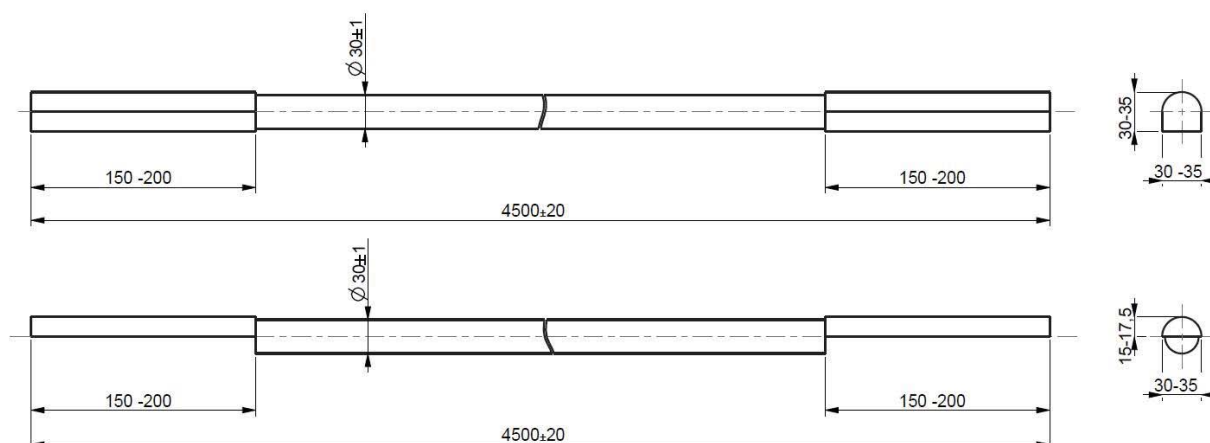


Sele3 - Stendi posti ja latihoidja eskiis (1-post, 2-eemaleulatuv tugi, 3-lati toetussõrm, 4-lati tugi)[2]

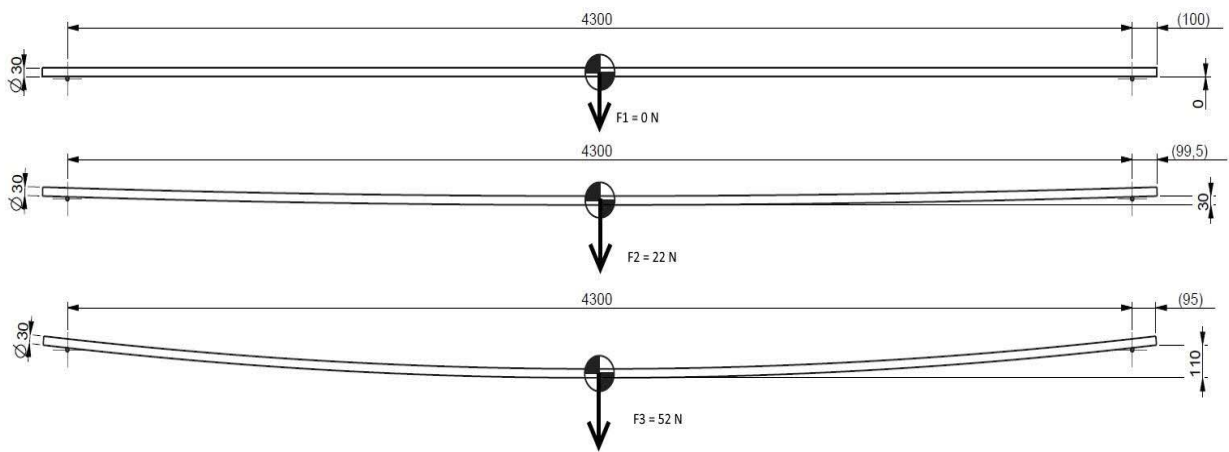
Lisaks otseselt stendi puudutavatele nõuetele on konstruktsiooniga otsesemalt või kaudsemalt seotud ka muu alaspetsiifilise inventar , mille põhinõuded on toodud tabelis 5.

Reegli nr.	Dokument	Reegli kirjeldus	Täpsustus
183.2	IAAF, „RULES & REGULATIONS, IAAF Competition Rules 2016-2017“	IAAF sätestab vastavalt rahvusvaheliste võistlusreeglitele 1.1(a), (b), (c), (e) ja (f) korraldatavatel võistlustel kasutatava varustuse (sh teivashüppe maandumisala) kohta järgnevad nõuded ja juhised: Maandumisala ei tohi olla lühem, kui 6m („0“ joonest tagapoole ning välja arvatud „0“ joonest eespoole jäävad lisamatid). Maandumisala ei tohi olla kitsam kui 6m ning madalam, kui 0,8m. „0“ joonest ettepoole jäävad lisamatid peavad olema vähemalt 2m pikad. Maandumisala servad suhtes teibakasti servadega peavad jääma kasti servadest 0,1-0,15m kaugusele ning tõusunurk peab olema	Sele6
181.7	IAAF, „The Referee (IAAF Centenary Edition)“	Reegel 181 punkt 7 – Latt (millest sportlased üle hüppavad) peab olema valmistatud klaaskiust või mõnest muust sobivast materjalist (välja arvatud metallsed materjalid). Lati pikkus peab olema 4500±20mm. Lati mass peab olema 2,25 kg. Lati läbimõõt peab olema 30±1mm. Latt peab koosnema kolmest komponendist – latt ja kaks otsadetaili. Otsadetailide maksimaalne lubatud laius on vahemikus 30-35mm ja lubatud pikkus 150-200mm (SELE 3). Latt ei tohi vabas olekus läbi painduda rohkem, kui 30mm. Lati elastsuse kontrolliks riputatakse lati keskele raskus 3kg ning selle mõjul võib läbipaine olla maksimaalselt 110 mm	Sele4 Sele 5
	IAAF „Technical Delegates Guidelines“	Tehnilistel telegaatidele on antud tugev soovitus võistluste läbiviimise eel katsetada põhjalikult just elektrooniliselt juhivat stendi, kuna läbi ajaloo on just elektrooniliste stendidega esinenud pidevaid probleeme. Samuti on telegaatidel tugev soovitus omandada ka manuaalselt opereeritavat varustendi juhul, kui võistluste käigus elektroonse stendiga peaks esinema probleeme.	Kuna paljudel võistlustel on elektroonse juhtimisega stendidel tekkinud probleeme, soovitab IAAF tungivalt staadionil hoida varupaarina käsijuhtimisel töötavat stendi.

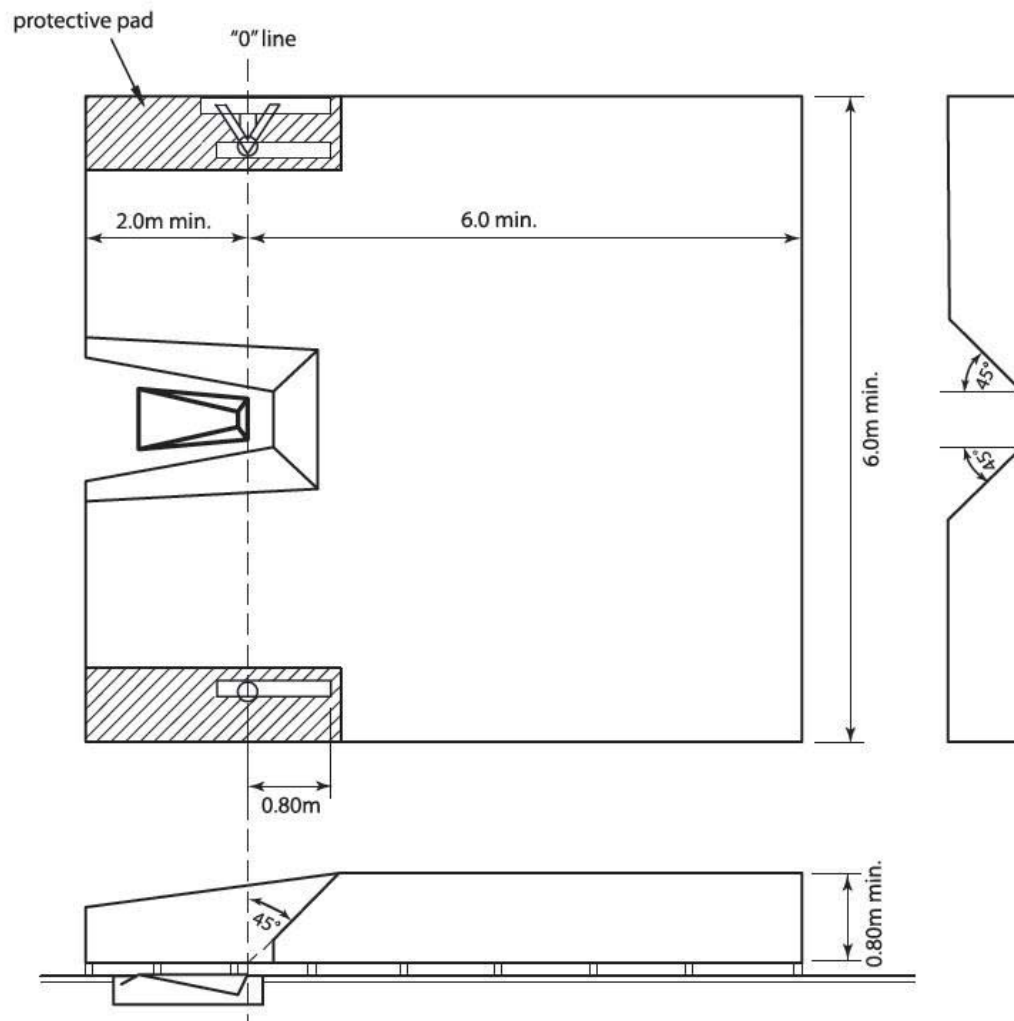
Tabel 5 - IAAF nõuded ja soovitused muu teivashüppe inventari tarbeks[2][3][4]



Sele4 - Sobilike lattide ekiis



Sele5- Lattide läbipaine erinevatel koormustel



Sele6 - Teivashüppe maandumisala

1.2. Ettevõtte poolt määratud nõuded ja parameetrid

Lisaks IAAFi poolt teivashüppe stendile esitatavatest nõuetest on tootjal vaja määrata enda nõuded. Siinkohal on vajalik arvestada tootmisvõimaluste, hinnapoliitika, toote võimaliku transpordi jms, mida IAAF ei reglementeerii.

Tabelis 5 on välja toodud MI poolt omatoodangu funktsionaalsed nõuded ning soovid. Nõuded on hinnatud viie palli skaalas, kus üks näitab ebaolulisust ja viis kohustusliku funktsiooni.

Nr.	Funktsioon	Kirjeldus	Olulisus
01	Teisaldatavad postid	Postid ja alusplaat peavad olema teineteise suhtes lahtivõetavad, et oleks võimalik stendi kulusaastlikumalt transportida ning vajadusel hooldada.	5
02	Post liigendatud	Post peab olema liigendiga kokkumurtav, et vajadusel oleks võimalik post mattide kõrguselt alla langetada ilma, et stendi põhja peaks liigutama. Seda selleks, et vajadusel (rahe, lumi, paduvihm) saaks stendi koos mattidega katusega kaitsta.	4
03	0-800 liikumine alusplatvormil	Vajaliku lati kauguse hüppepaiga „0“ joonest peab olema võimalik reguleerida alusplatvormi liikumisega	4
04	Alusplatvormi jalad reguleeritavad	Alusplatvormi jalgade kõrgus peab olema reguleeritav (et tagada postide ristseis maapinna suhtes, kui maapinnas esineb ebatasasusi)	4
05	Alusplatvormi lukustamine kõrgmelat, kui platvormi põhi.	Käsijuhtimisel on oluline võistluste korraldajate ning operaatorite seisukohalt, et stendi lukustamine ei toimuks keeruliselt ligipääsetavates kohtades.	3
06	Lati toetussõrmede kaugus reguleeritav	Oluline funktsioon on, et lati sõrmede kaugus postist oleks reguleeritav, see teeb stendi paigalduse lihtsamaks ja stend sobib rohkemate matitüüpidega.	5
07	Maksimaalne konstruktsioonelementi pikkus 5,95m	Konstruktsioonelementide pikkus ei tohiks ületada (koos pakkekastiga) 6m, et vältida tarbetult suure merekonteineri kasutamist.	5
08	Mõõteüsteem, mis tagaks lati positioneerimise 1mm täpsusega	Kuigi teivashüppe inkrementiks on 10mm, on vajalik, et süsteemi täpsus ületaks sammu kordades (nii käsi kui ka automaatjuhtimises)	4
09	Käsijuhtimise ergonoomilisus	Oluline, et vändad, kangid ja lukud ei asuks raskesti ligipääsetavates kohtades, ei asuks liialt kõrgel ega liialt madalal, mehhanismide töö peab olema kerge ja jõukohane igähele.	3
10	Automaatjuhtimise lihtne paigaldus	Oluline, et stendi ümberhäälestamine käsijuhtimisest automaatjuhtimisse oleks kiire, lihtne ning ei vajaks erikvalifikatsiooniga tehnikuid. Kahe süsteemi vahel vaheldumine peab olema jõukohane keskmisele staadioni inventari hooldajale	4
11	Automaatjuhtimise UI võimalikult ühemõtteline	Automatiseeritud juhtimise kasutajaliides peab olema intuiitiivne ja lihtne kasutada. Võimalikult vähe ebavajalikke funktsioone.	4
12	Ilmastikukindlus	Konstruktsioon koos automaatikaga peab vastama tingimustele, mis lubavad tootega opereerida nii väli kui ka sisetingimustes	5
13	Tootmiskeskne disain	Stendi peab olema võimalik valmistada Eestis levinud tehnoloogiliste eripärade ja tootmisvõimaluste juures.	3
14	Toote funktsionaalsed parameetrid peavad tagama tootele ca 10 aastase eluea	Stend peab omama maksimaalkõrgust selliselt, et lähema kümnendi jooksul maailmarekord seda kõrgust ei ületaks.	4
15	Muud mõõdud ja parameetrid	Gabariit mõõdud, ülekannete arvud jms täpsustuvad konstrueerimise käigus	

Tabel 6 - MI poolt esitatavad funktsionaalnõuded teivashüppe stendile

Lisaks konstruktsioonilistele nõuetele tuleb toote projekteerimisel arvestada ka Masinadirektiiv (2006/42/EÜ) sätetega.

Toote vastavus ohutusnõuetele ning tootjapoolse vastutuse CE tähistuse nõuetele.

Teivashüppe stendi puhul rakendatavad sätted oleksid:

- EVS-EN ISO 12100-1:2010 – Masina ohutus. Projekteerimise, riskide hindamise ja riskide vähendamise üldised põhimõtted
- EVS-EN 60204-1:2006 – Masinate ohutus. Masinate elektriseadmed.
- EVS-EN 1005-2:2003 – Masinate ohutus. Inimese füüsiline töö. Masinate ja masina komponentide manuaalne käsitlemine.
- EVS-EN 1005-4:2005+A1:2008 - Masinate ohutus. Inimese füüsiline töö. Tööasendite ja liigutuste hindamine.

2. Teivashüppe stendi M0302100 konstruktsiooni projekteerimine

Mehaanika osa projekteerimine on jagatud kuude põhietappi:

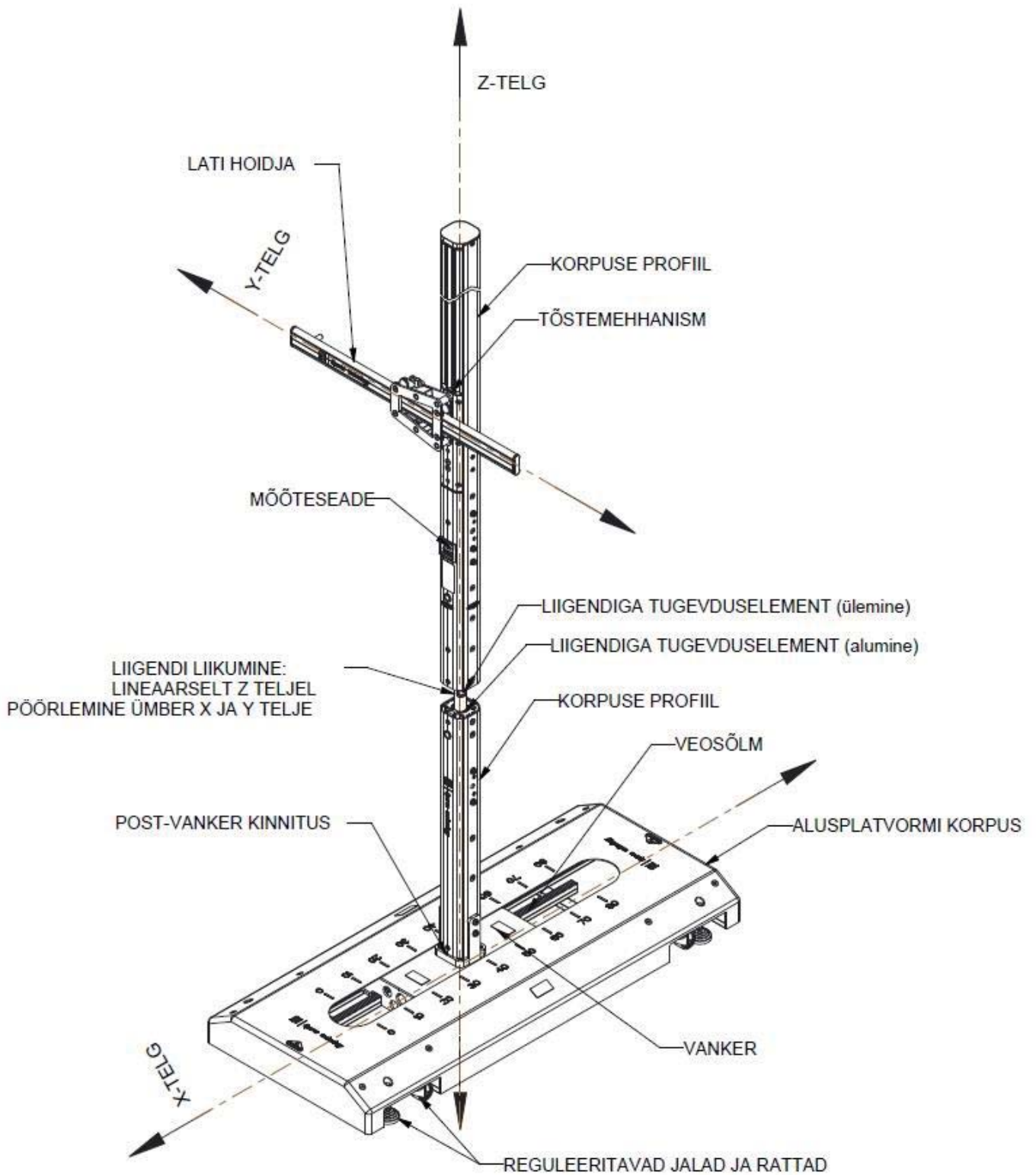
- 1) Projekteerimisjärjekorra ja metoodika määratlemine
- 2) Lähteparametrite analüüs ning andmete struktureerimine
- 3) Ülemise posti baaskonstruktsiooni projekteerimine
- 4) Alusplatvormi baaskonstruktsiooni projekteerimine
- 5) Alumise posti baaskonstruktsiooni projekteerimine
- 6) Mehaaniliste lisaelementide ja käsijuhtimis moodulite projekteerimine

2.1. Projekteerimisjärjekorra ja kasutatavate metoodikate määramine

Projekteerimise alustamiseks on vaja määrata elementide omavahelised seosed ja seoste mõjud. Kuna lähteülesandest Tabel 5 saab välja lugeda, et baaskonstruktsioonil on kolm põhielementi:

- Alusplatvorm koos vankriga
- Alumine liigendiga post
- Ülemine liigendiga post

Põhielementidel on omakorda erinevad funktsioonid, mis võivad aga ei pruugi mõjutada teiste põhielementide funktsioone. Sele 7 on välja toodud projekteeritava konstruktsiooni põhikooste elemendid, nende liikumisteljed ning üldnimetused. Lähtuvalt sellest on võimalik määratleda eeldatav projekteerimisjärjekord ja valida vastavalt sobilik ning asjakohane metoodiline lähenemine.



Sele7–Projekteeritava teivashüppe stendi liikumisteljed ja põhilised konstruktsiooni elemendid

2.1.1. Projekteerimisjärjekord

Vastavalt Sele7 elementidele ning nende omavahelistele seostele on koostatud projekteerimisetappide järjekorra maatriks Tabel 7. Samuti on määratud paralleelsed projekteerimisfaasid, maatriks on liigendatud kolme peakoostu järgi. Toodud tabeli alusel on projekteeritud teivashüpep stendi põhikonstruktsioon.

Peakoost : 1.0 Ülemine post		
Jrk. Nr.	Funktsiooni element	Paralleelne tegevus
01	1.1 Tõste mehhanism	
02	1.2 Korpuse profiil	
03	1.3Liigendiga tugevduselement	P1
04	1.4Mõõteseade	P1
05	1.5 Muud mehaanilised ning konstruktsioonilised komponendid	
Peakoost: 2.0 Alusplatvorm koos vankriga		
06	2.1 Vankri juhtmehhanism ja veosõlm	P2
07	2.2 Vanker	P2
08	2.3 Tugijalad ja rattad	
09	2.4 Muud mehaanilised ning konstruktsioonilised komponendid	
Peakoost : 3.0 Ülemine post		
10	3.1 Liigendiga tugevduselement	P3
11	3.2 Veomehhanism	P3
12	2.3 Korpus ning muud mehaanilised ning konstruktsioonilised komponendid	

Tabel 7 - Projekteerimisjärjekord

2.1.2. Kasutatavate meetodikate kirjeldused

Projekteerimine, kui loov tegevus, vajab meetodilist lähenemist, et saavutada parim resultaat. Ideede genereerimisest kuni CAD modelleerimiseni on igaele etapile võimalik läheneda väga erinevalt. Seetõttu on mõistlik teatud tegevuste standardiseerimiseks kasutada läbitöötatud meetodikaid. Antud töö käigus läheneti meetodiliselt funktsioonelementide rakenduslahenduste väljatöötamisele kasutades hindamismaatriksit. Hindamismaatriksi baastabel on toodud tabelis 8.

Funktsioonielement:							
Lahendus	Kirjeldus	A	B	C	D	E	Σ

Tabel 8 - Funktsioonielementide lahenduste hindamismaatriks

Tabelis antakse hinnangud kümne palli süsteemis, kus 1 on negatiivseim ja 10 positiivseim hinnang, järgmistele kriteeriumitele:

- A – lahenduse tootmiskeskus (mida tootmiskeskssem, seda kõrgeim hinnang)
- B – Lahenduse hind (mida soodsam, seda kõrgeim hinnang)
- C – Töökindlus (mida robustsem ja töökindlam lahendus, seda kõrgeim hinnang)
- D – Hooldusvajadus (mida väiksem hooldusvajadus, seda kõrgeim hinnang)
- E – Uudsus võrreldes konkurentidega
- $\Sigma = A+B+C+D+E$

Kahe kõrgeima punktisummaga lahenduse vahel tehakse põhjendatud valik.

Lisaks funktsionaalelementide lahenduse hinnangutele on töös lähtunud CAD keskkonnas projekteerimisel *Resilient modelling strategy* RMS printsiipidest: [5]

- CAD mudelite ülesehitus on kindlalt määratletud järjekorras
- Toote revisionide haldus on määratletud ühesuguse tähistusega
- CAD mudelite baaskonstruktsioonis ei tohi olla sidussuhteid mitteoluliste komponentidega
- Sarnased elemendid grupeeritakse, et vältida mudelipuu eksponentsiaalset kasvumist
- CAD mudeli funktsionaalsus peab olema täielikult läbi projekteeritud
- Mudelite funktsioonigrupid peavad olema nimetatud funktsioonikohaste nimetustega
- Kõikidel komponentidel peab olema määratud materjal, mass ja baasparameetrid
- Koostude kinemaatilised funktsioonid peavad olema läbi simuleeritud, et vältida takistuste olemasolu

2.2. Lähteparameetrite määramine

Lähteparameetrite määratlemine annab suunised konstruktsiooni gabariitide, massi ning telgede liikumisulatuse projekteerimiseks.

Konstruktsiooni gabariitide määratlemisel tuleb arvesse võtta stendi versiooni planeeritavat eluiga, mille MI on määranud olevat orienteeruvalt 10 aastat (tabel 6).

Stendi eluea põhiliseks piiranguks saab olema stendi kõrgus – see tähendab, et stend peab suutma latti tõsta piisavale kõrgusele, et eeldatavalt kümne aasta jooksul keegi nii kõrgele ei hüppa. Maailma rekordite progressi on võimatu täpselt ette ennustada, kuna pidevalt arendatakse paremaid teibaid, sportlaste tehnika ja füüsiline vorm on samuti pidevas progressis. Antud konteksti arvestades analüüsiti töös viimase 30 aasta jooksul sooritatud maailmarekordeid ning selgus, et aastatel vahemikus 1986 kuni 2016 on maailmarekordit parandatud kokku 13 korda ning rekord on tõusnud 6,01 m pealt kõrgusele 6,16 m. [6][7]

Arvestades, et viimase 30 aasta jooksul on rekordit nihutatud 15 cm, võib orienteeruva stendi töökäigu pikkuseks arvestada julgelt ca 630 cm.

Stendi baasplatvormi gabariitmõõtmed peaksid sõltuvalt liikumisulatusest 80 cm olema vastavalt pikemad.

Üldistusena saab määrata, et kogu konstruktsiooni gabariitide ja massi mõõtmed peaksid jääma samasse suurusjärku konkurentide omadega, arvestama maandumisala mattide jms inventari mõõtmetega.

Järgnevas tabelis on välja toodud soovituslikud parameetrid konstruktsiooni kolmele baaselemendile.

Baaselement	Gabariit mõõtmed PxLxK [mm]	Mass [kg]
Alusplatvorm koos vankriga	1400x600x150	60
Alumine liigendiga post	750x90x90	15
Ülemine liigendiga post	5600x90x90	30

Tabel 9–Peakoostudesoovituslikud mõõtmed

Konstruktsioonelementide varutegur on valitud vastavalt üldistele soovitustele, kui konstruktsiooni koormatus ei ole suur ning konstruktsiooni materjalideks levinud ning

teadaoleva käitumisega materjalid (näiteks konstruktsioonteras, 6082 seeria alumiinium jne..).
[8]

Arvutustel on aluseks võetud varutegur *Factor of safety*: FOS=2,0

2.3. Ülemise posti projekteerimine

Stendi ülemine post on konstruktsiooni oluluseim element. Postile kinnitatakse latihoidjad, mõõteagregaadid, käsijuhtimisel vändad ning automaatjuhtimisel mootorid. Posti kuju ning pikkus sõltuvad peamiselt tõstemehhanismist ning kinnitusmeetodist. Posti profiili keskmeks on siiski tõstemehhanism, mis mõjutab profiili geomeetriat kõige suuremal määral.

2.3.1. Tõstemehhanismi projekteerimine

Projekteerimise alustamiseks on vajalik välja selgitada millist tõstemehhanismi kasutama hakatakse. Tõstemehhanismi olemus määrab nii korpuse profiili kui ka juhtimiseks vajalike komponentide tehnilisel ahenduse. Tõstemehhanismi valiku analüüs on toodud tabelis 16.

Funktsioonelement: 1.1 Tõstemehhanism							
Lahendus	Kirjeldus	A	B	C	D	E	Σ
Rihm ja plokirattad	Posti ülemisse ja alumisse otsa kinnitatud plokirattad ühendatud hammasrihmaga, latihoidja kinnitatud hammasrihmale	8	7	8	9	6	38
Kettülekanne	Posti ülemisse ja alumisse otsa kinnitatud ketirattad ühendatud ketiga, latihoidja kinnitatud ketile	7	8	9	7	5	36
Kuulkruvivõll	Kuulkruvivõll koos juhtpuksidega, latihoidja kinnitatud puksidele	7	3	8	5	7	30
Trapetskeermevõll	Trapetskeermevõll koos juhtpuksidega, latihoidja kinnitatud puksidele	8	4	8	5	7	32
Määrdevaba alumiinium spiraalkruvi	Spiraalkruvi koos juhtpuksidega, latihoidja kinnitatud puksidele	7	4	8	9	10	38

Tabel 10 - Tõstemehhanismi valiku hindamine, kus A-tootmisekeskus, B-hind, C-töökindlus, D-hooldusvajadus, E-uudsus võrreldes konkurentidega

Eelhinnangu põhjal on rihmülekanne ning spiraalkruvi sama punktisumma peal. Kuigi spiraalkruvivõlli hind on hammasrihma omast kõrgem, on selle kasutamise uudsus teivashüppe stendidel ning praktiliselt hooldusvaba funktsionaalsus ning suur täpsus ja töökindlus kindlaks konkurentsieeliseks.



Sele8 - IGUS kõrgesammuline spiraalkruvi koos juhtpuksiga

Spiraalkruvi valiku kriteeriumiteks on pikkus ca 5000mm, samm 50mm ja läbimõõt mitte suurem, kui 20mm. Eelistatud materjaliks on alumiinium ja pinnatöötluks anodeerimine.

Vastavate parameetritega spiraalkruvisid pakuvad Eichenberger Gewinde AG aj IGUS.

Töö autor kohtus mõlema tootja esindajatega ka Saksamaal, Hannoveri tööstusmessil ning mõlemad tootjad kinnitasid, et suudavad antud parameetritega kruvisid tarnida.

5000mm pikkade kruvide minimaalne läbimõõt mõlema tootja puhul on 16mm.

Valitud kruvi parameetrid:

Materjal	Pinnakate	Spiraali kaldenurk	Pikkus [mm]	Samm [mm]	Otsade töötlus	Mass [kg]
EN AW 6082 T6	Anod, must, 15µm	30°	5000	50	Jah, vastavalt joonisele	2,49

Tabel 11 - Spiraalkruvi parameetrid

Järgnevalt on välja arvatud spiraalkruvi kasutegur, spiraalkruvile kinnitatud latihoidja paigalhoidmiseks vajalik moment ning latihoidja vertikaalsihil ülesse liigutamiseks vajalik minimaalne moment.

Spiraalkruvi kasuteguri saab arvutada velemiga:[9]

$$\mu_{LS} = \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\alpha + \arctan(f))} \quad (2.1)$$

kus μ_{LS} – kruvivõlli kasutegur

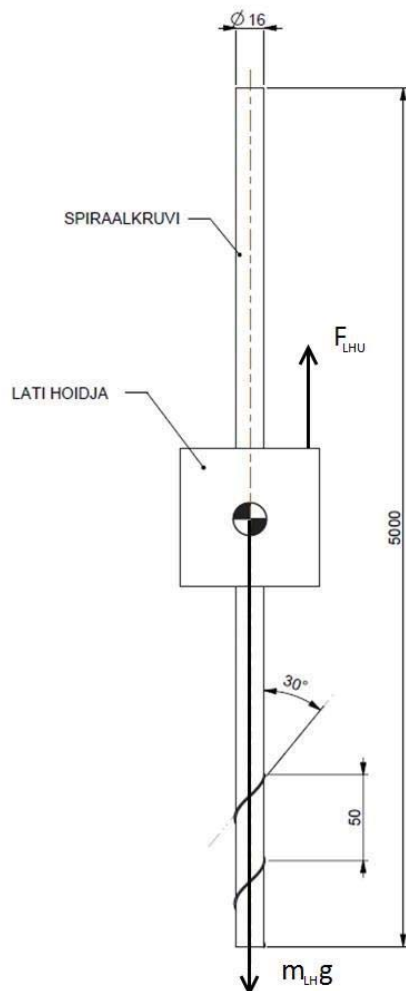
α – kaldenurga tõus [°]

f – hõõrdetegur (kuna täpseid lähteandmeid juhtpuksi kohta ei ole, võib hõõrdekoefitsendiks võtta 0,1)

Vastavalt valemile 2.1 on arvutatud kruvivõlli kasuteguri:

$$\mu_{LS} = \frac{\tan(30)}{\tan(30 + \arctan(0,1))} = \frac{0,577}{0,718} = 0,8$$

Järgnevalt on koostatud vabade kehade diagramm latihoidja liikumiseks kruvivõllil Sele 9.



Sele9 - Latihoidja kruvivõllil

Edasi arvutati välja latihoidja allalibisemise vältimiseks vajaliku minimaalse momendi kruvivõllile M_{LHA} ja minimaalse momendi latihoidja ülesse liigutamiseks M_{LHU} . [9] Allalibisemise moment on arvatav valemiga:

$$M_{LHA} = \frac{m_{LH} \cdot g \cdot p \cdot \mu_{LS}}{2\pi}, \quad (2.2)$$

Kus M_{LHA} – Latihoidja allavajumise takistamiseks vajalik minimaalne moment [Nm]

m_{LH} – Latihoidja eeldatav kogumass koos latiga [kg]

g – raskuskiirendus konstant [$9,81 \text{ m/s}^2$]

p – kaldenurgae samm [m]

Ülestõstmiseks vajamineva minimaalse momendi arvestamine toimub läbi valemi:

$$M_{LHU} = \frac{m_{LH} \cdot g \cdot p}{2\pi \cdot \mu_{LS}}, \quad (2.3)$$

Kus M_{LHU} – Latihoidja ülesse liigutamiseks vajalik minimaalne moment [Nm]

Arvutame latihoidja eeldatava massi,

$$m_{LH} = \frac{m_{LT}}{2} + m_{LHP} + m_{LTP} + m_{VM}, \quad (2.4)$$

Kus m_{LT} – lati mass [2,25 kg] (tabel 4)

m_{LHP} – latihoidja profiili mass [1,5 kg] (eeldatav mass)

m_{LTP} – lati tugiprofiili mass [2 kg] (eeldatav mass)

m_{VM} – arvutusvaru mass [2 kg]

$$m_{LH} = \frac{2,25}{2} + 1,5 + 2 + 2 = 6,625 \text{ kg}$$

Vastavalt valemitele 2.2 ja 2.3 teostame momendiarvutused:

$$M_{LHA} = \frac{6,625 \cdot 9,81 \cdot 0,05 \cdot 0,8}{2\pi} = 0,41 \text{ Nm}$$

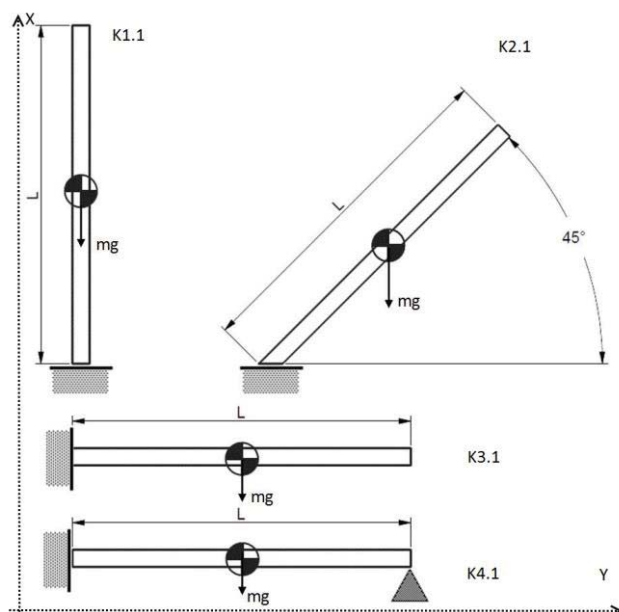
$$M_{LHU} = \frac{6,625 \cdot 9,81 \cdot 0,05}{2\pi \cdot 0,8} = 0,65 \text{ Nm}$$

Arvutustulemustest saab järeldada, et antud kruvivõlli omadused on igati sobivad konstruktsioonis kasutamiseks ning geomeetristest mõõtmetest ning arvutustulemustest saab edasi projekteerida järgmisi elemente.

2.3.2. Korpuse projekteerimine

Posti korpuse, ehk profiili geomeetiline ristlõige on otseses sõltuvuses projektis kasutatavast tõstemehhanismist.

Kuna proffiili pikkus on võrdlemisi suur ning vajab ka piisavat jäikust. Esmajärjekorras analüüsiti alumiinium ruutprofiil torude käitumist nelja erineva koormus-skeemi juures (Sele10), et välja selgitada tekkivate ekvivalentpingete maksimumid ning läbipainete maksimumid. Arvutused on teostatud joonelementidega.



Sele10 - Profilile rakendatavad koormusskeemid

Ruuttoru mõõtmed [mm]	Ruuttoru pikkus L [mm]	Materjal	Elastsusmoodul [GPa]	Poissoni tegur	Erikaal [kg/m ³]	Ristlõike inertsmoment [cm ⁴]
60x60x4	5600	EN AW 6063 T6	71	0,33	2770	47,06
80x80x4	5600	EN AW 6063 T6	71	0,33	2770	117,39

Tabel 12 - Alumiiniumtorude baasandmed

ANSYSe abil läbiviidud simulatsioonide tulemused on kantud tabelisse 13.

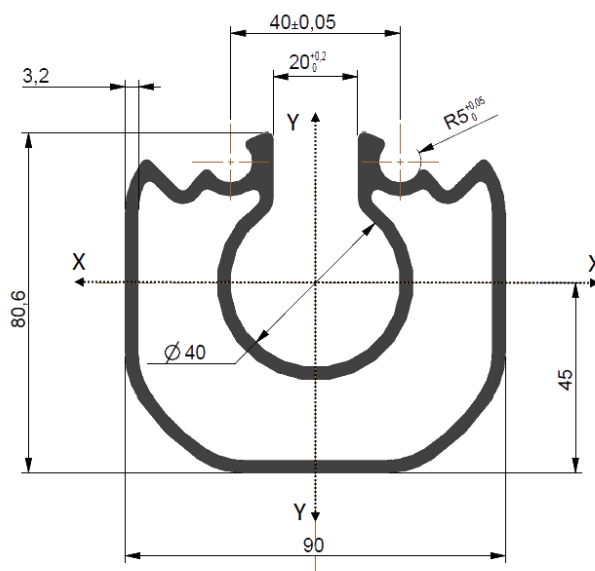
Ruuttoru mõõtmed [mm]	Koormus skeem	Suurim läbipaine [mm]	Suurimad ekvivalentpinged [MPa]
60x60x4	K1.1	Alla 0,01	0,1
60x60x4	K2.1	63,35	17,09
60x60x4	K3.1	89,61	24,32
60x60x4	K4.1	1,80	4,01
80x80x4	K1.1	34,49	12,38
80x80x4	K2.1	Alla 0,01	0,1
80x80x4	K3.1	48,76	17,65
80x80x4	K4.1	1,02	2,94

Tabel 13 - Ruuttorude pinged ja deformatsioonid

Analüüsist saab järeldada, et kuigi olukorrad, kus stendi ülemine post on ekstreemsete painete all, on reaalses elus ebatõenäolised ning toetuspunktile risti mõjuvad normaalolukorras ainult tuule jõud.

Lähtuvalt eelnenud arvutustest, võetakse eesmärgiks posti põhiprofiili x-x ja y-y suunaline inertsmoment saada suurusjärku 900000mm^4 .

Profiili väljatöötamiseks skitseeriti CAD keskkonnas erinevaid ristlõikeid ja analüüsiti ristlõigete inertsmomente ning pindala. Korduvate iteratsioonide tulemusena saadi profiil, mis on kujutatud Sele11.



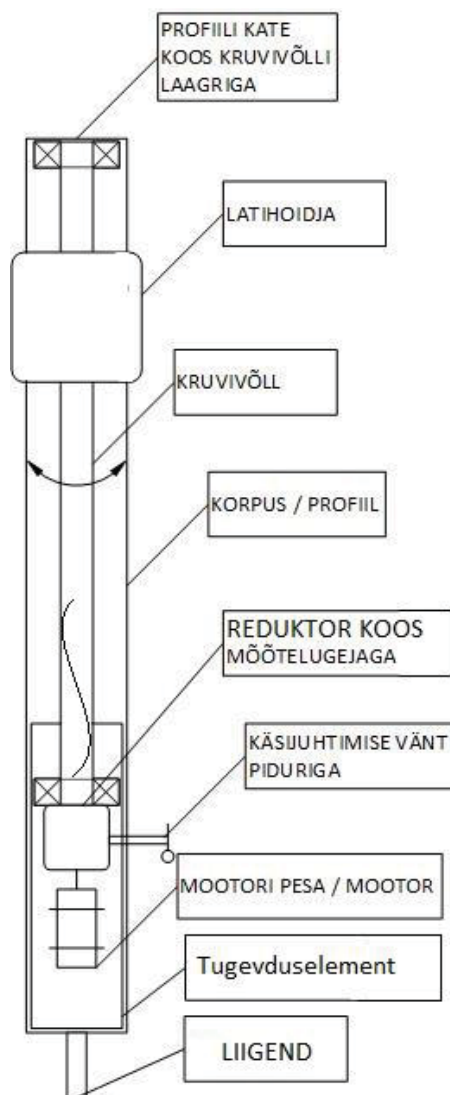
Sele11 - Põhiprofiil koos gabariitmõõtmega

Materjal	Pinnatöötlus	Gabariit mõõtmed [mm]	Seina paksus [mm]	Mass [kg/m]	Ristlõike inertsmoment telje X-X suhtes [mm ⁴]	Ristlõike inertsmoment telje Y-Y suhtes [mm ⁴]
EN AW 6063 T6	Anood, must, 25 µm	80,6x90	3,2	3,73	86,54	113,82

Tabel 14 - Põhiprofiili parameetrite kirjeldus

2.3.3. Liigendiga tugevduselemendi projekteerimine

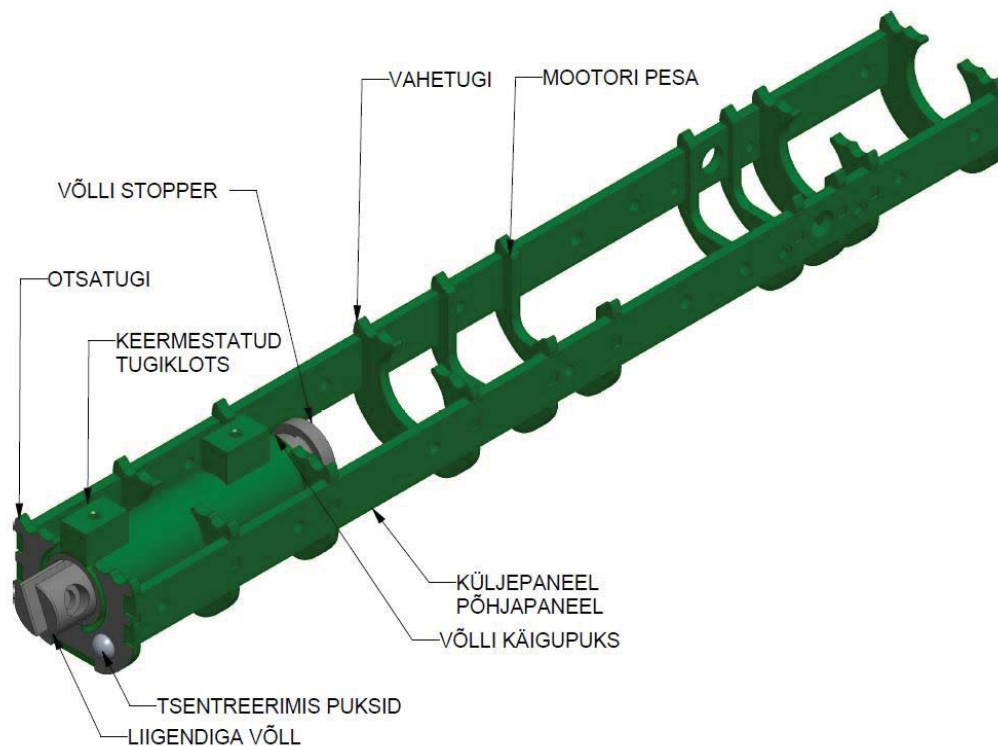
Tugevduselement on kogu konstruktsiooni kandev element, mille külge kinnituvad enamasti posti funktsiooni elementidest. Mõistmaks posti ehitust, on Sele12 välja toodud ülemise liigendiga posti funktsionaalelementide paigutus.



SELE 12 - ülemine posti skeem

Tugevduselement koos liigendvõlliga

Tugevduselemendi keeviskonstruktsioonile on käsikoostatud juurde liigendivõll. Keeviskonstruktsiooni on jäetud ruumi reduktori, kõrguselugeja ning mootori jaoks.



Sele13 - Projekteeritud tugevduselement koos liigendvõlliga

Pikkus [mm]	Laius [mm]	Kõrgus [mm]	Mass [kg]	Kasutatud materjalid	Koostemeetod	Pinnakate
657	83,6	79,6	5,33	S355J2H ning EN 1.4301	Keevitamine rakises, käsikoostamine	Epoksüidkrunt 60 µm + epoksüid pinnavärv 80 µm, toon RAL 6032

Tabel 15 - Tugielemendi parameetrid

Reduktor koos kõrguselugejaga

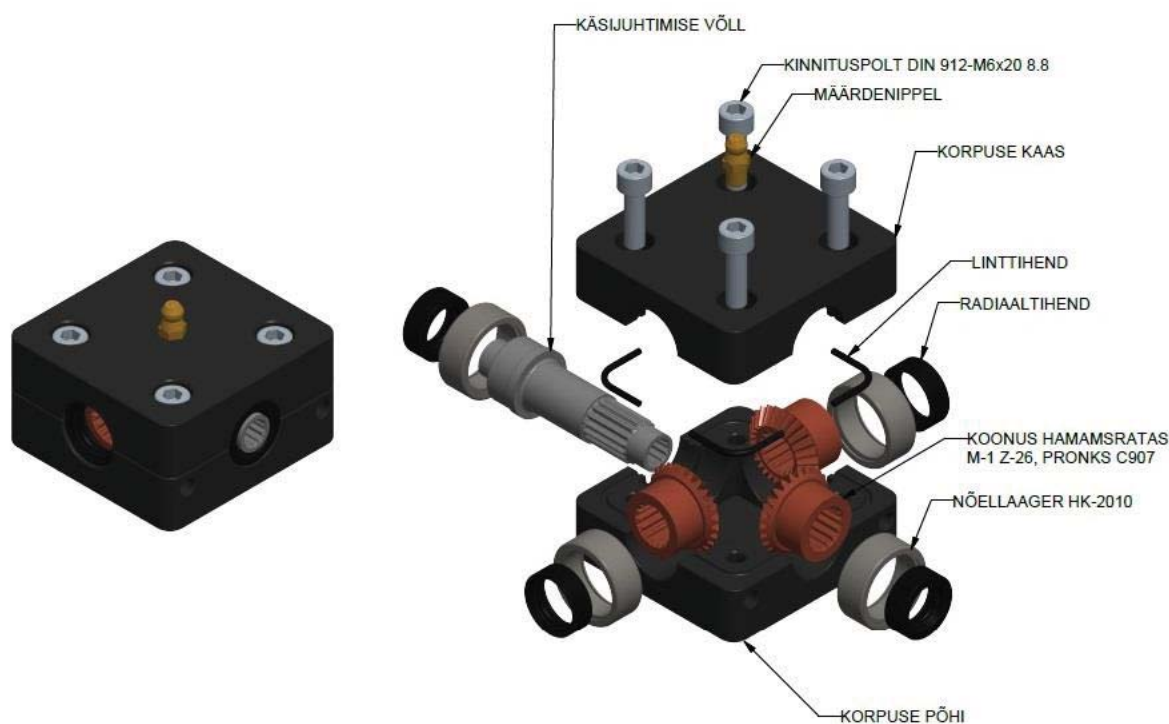
Ülekandemehhanismi funktsiooniks on suunata kruvivõlli pöördliikumine nii posti vasakusse kui ka paremasse serva. Seda selleks, et käsijuhtimisel oleks võimalik mõlema poole postidele vändad monteerida suunaga hüppemattidest väljapoole. Samuti peab ülekandekast võimaldama automaatjuhtimise tarbeks mootori kiiret ühendamist. Projekti kava järgi on plaani mootorid asetada tugiposti profiili sisse, see tähendab, et reduktor peab olema neljasuunaline.

Kahjuks ei ole õnnestunud mõõtudelt sobivat ostukomponenti leida, seega oli vajadus reduktor projekteerida.

Projekteerimissuunisteks oli:

- Võimalikult kerge ja kompaktne kast, mis peaks vastu momentidele kuni 5 Nm
- Ühilduvad komponendid peavad olema kergesti monteeritavad ja demonteeritavad ning ei tohiks sisaldada lahtiseid komponente, mis võivad kasutamise käigus ära kaduda
- Kasti mass peaks olema maksimaalselt 0,5 kg
- Kasutatavad materjalid peavad olema ilmastikukindlad (sobima kasutamiseks ka välitingimustes)

Lähtuvalt paika pandud kriteeriumitest projekteeriti reduktor Sele14.



Sele14 - Reduktor ülekandega 1:1

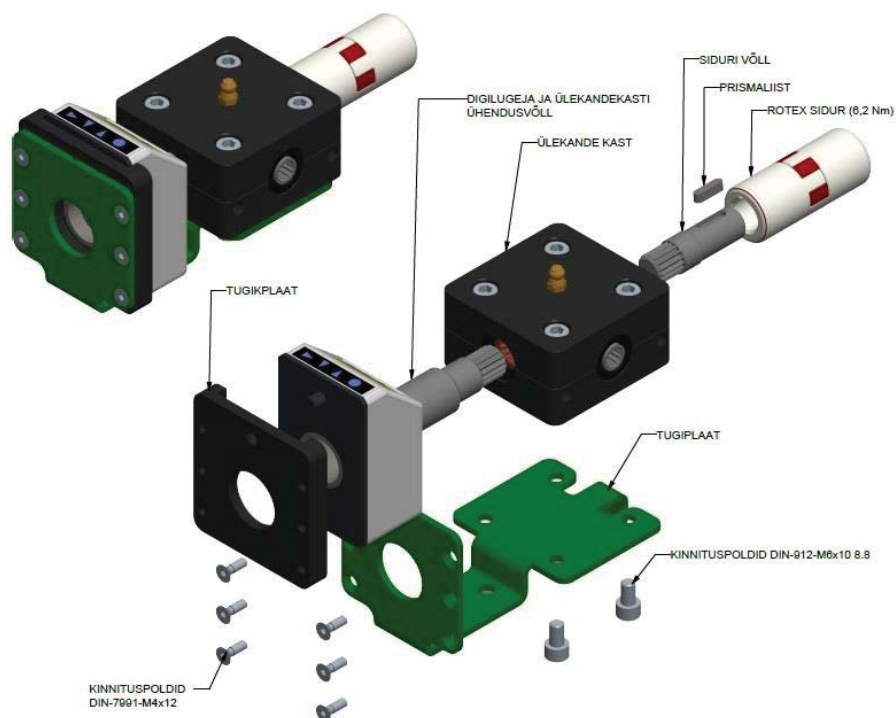
Gabariit mõõtmed [mm]	Mass [kg]	Võllide materjal	Koonus-hammasrataste materjal	Korpuse materjal	Tihendite materjal	Pinnatöötused	Kasti orienteeruv kasutegur
67x65x46	0,48 kg	EN 1.4301	Pronks, C907	EN AW 6082 T5	EPDM	Korpusele: Anood, must, 25 µm	0,92

Tabel 16 - Reduktori parameetrid

Reduktoriga koos töötab ELESA+Ganter tootevalikusse kuuluv digitaalne distantsilugeja RB52-12-SST-304, mis konverteerib pöördliikumise lineaarmõõduks.

Mõõteseadme funktsioonid:[10]

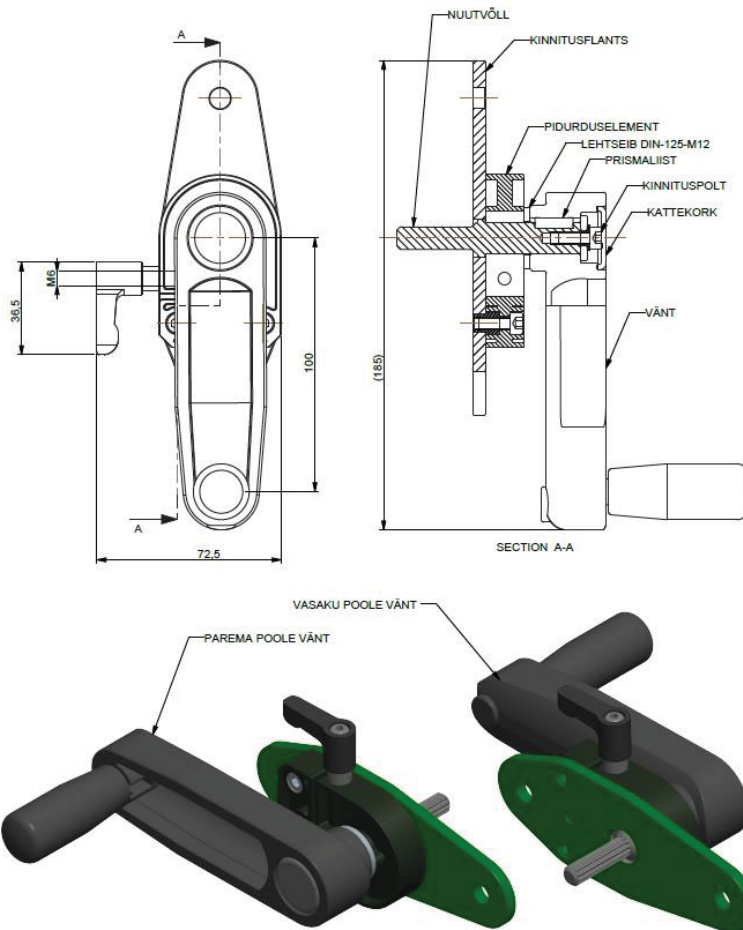
- IP 65 ilmastikukaitse
- 8 aastane patarei eluiga
- Töötemperatuur -20°C kuni 60°C
- 9 programmeeritavat kalibreerimispunkti
- Programmeeritav skaala
- Täpsus: 10000 impulsi pöördele



Sele15 - Reduktor koos kõrguselugejaga

Käsijuhtimisväänt koos piduriga

Stendi käsitsi opereerimiseks on vajalik vända mehhanismi kasutamine. Väänt on projekteeritud selliselt, et tema kaudu oleks võimalik pidurdada ka kruvivõlli pöörlemist.



Sele16 - Vändamehhanism

Järgnevalt arvutatakse välja piduri poolt tekitatav hõõrdejõud. Esmalt on vaja teada, millise jõuga suudab stendi opereerija pidurdusklotsi pingutada. Arvutamiseks on kasutatud kruvitõmmitsa tööpõhimõtte valemit ühe täispöörde kohta: [11]

$$F_1 \cdot 2\pi \cdot l = F_2 \cdot P, \quad (2.5)$$

Kus F_1 – Kangile rakendatav jõud [N]

l – Kangi õlg [mm]

F_2 – tekitatud jõud [N]

P – Keerme samm [mm]

F_1 väärtuseks määratakse 15N, keermesamm M6 normaalkeermel 1mm, kangi õlg vastavalt Sele16 on 36,5mm

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot 2\pi \cdot l}{P} = \frac{15 \cdot 2\pi \cdot 36,5}{1} = 3438,3 \text{ N}$$

Vastavalt seisu ja liugehõõrde valemile saab arvutada klambri poolt tekitatava hõõrdejõu [11]

$$F_f = \mu \cdot F_N, \quad (2.6)$$

Kus F_f – hõõrdejõud [N]

μ - Hõõrdetegur [Teras – teras puhul 0,2]

F_n – Normaalkõõrde [N] (ehk siinkohal F_2)

$$F_f = 0,2 \cdot 3438,3 = 687,7 \text{ N}$$

Mis hinnanguliselt on piisav, et stendi latihoidjat pidurdada.

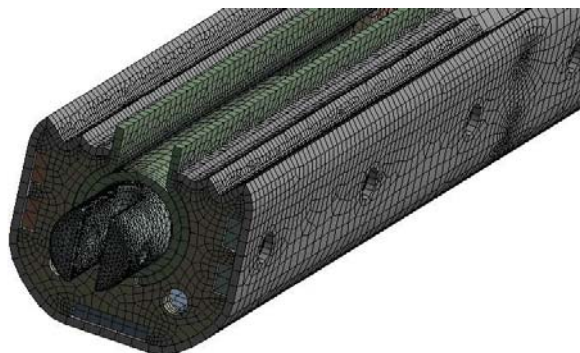
2.3.4. Ülemise liigendiga posti konstruktsiooni kontrollarvutused

Põhielementide projekteerimise järgselt on vajalik kindlaks teha, kas eelarvestatud jõud ja parameetrid on olnud piisavad posti lõpplahenduse seisukohalt. Järgnevalt on teostatud posti kahele asendile FEM analüüs, lähteandmed on toodud tabelis 17, mesh elementide fragment on toodud Sele 17 ning koormusskeemid ning arvutustulemused vastavalt Sele 18 ja Sele 19. Profiili on analüüsitud koorikelemendina, tugisstruktuuri solid elemendina.

Analüüsi lähteandmed :

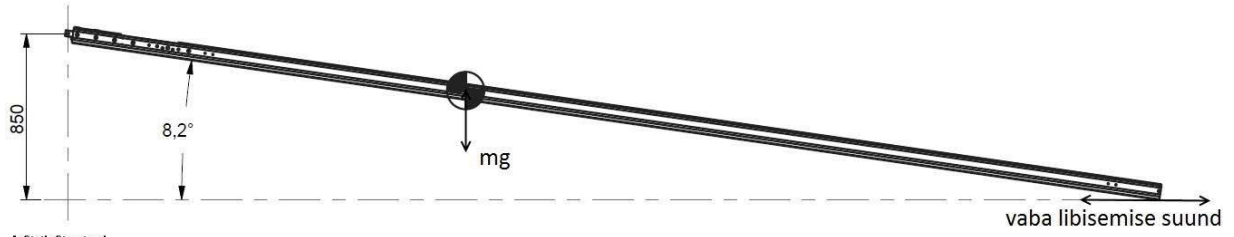
Materjal	Elastsusmoodul [GPa]	Poissoni tegur	Erikaal [kg/m ³]	Voolavuspiir Rp02 [MPa]
EN AW 6063 T6	71	0,33	2770	160
S355JRG2	210	0,30	7850	355

Tabel 17 - FEM materjalide lähteandmed

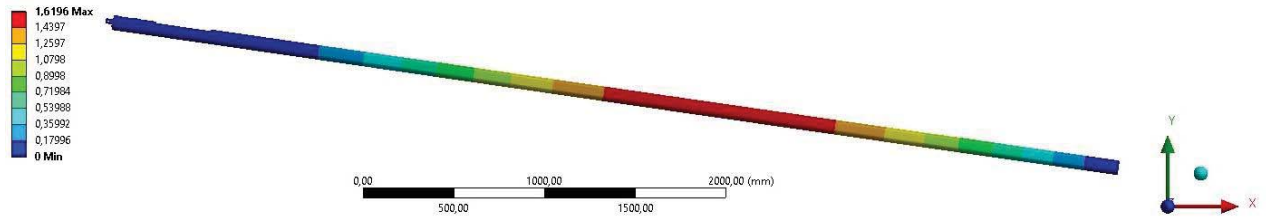


SELE 17 - Osa FEM analüüsi elementide jaotusest

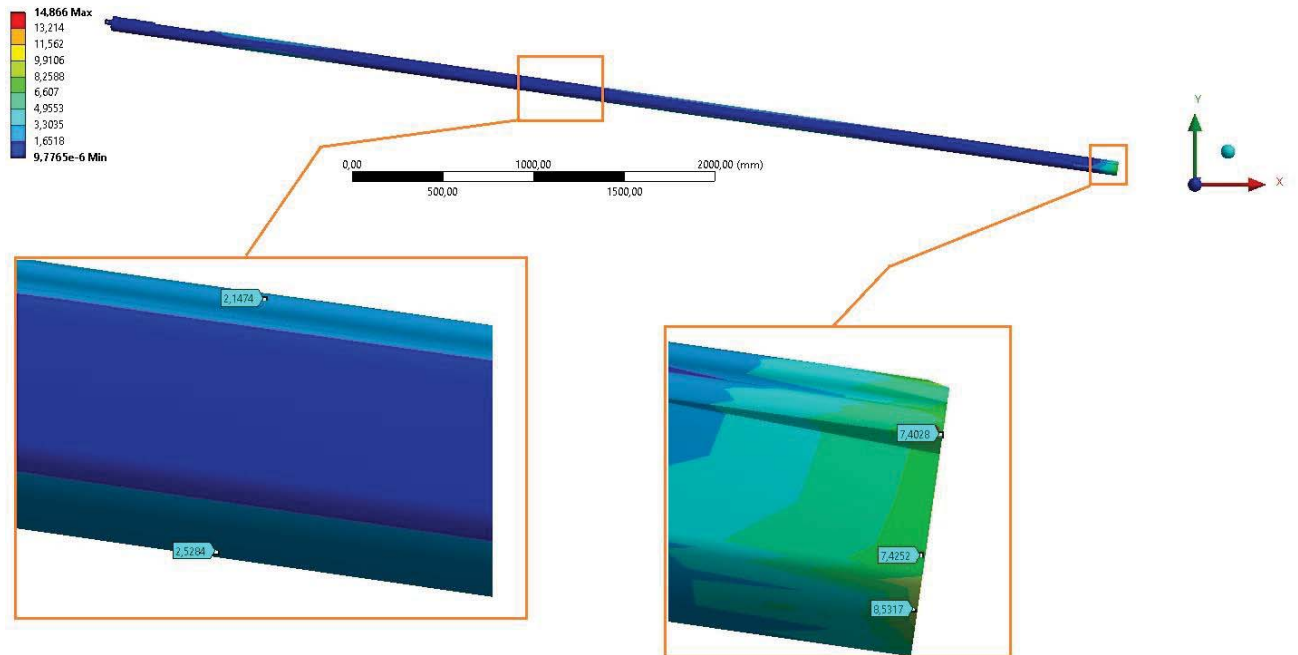
KOORMUSSKEEM 1 - POST LIIGENDIST ALLA LASTUD, TOETUB MAHA



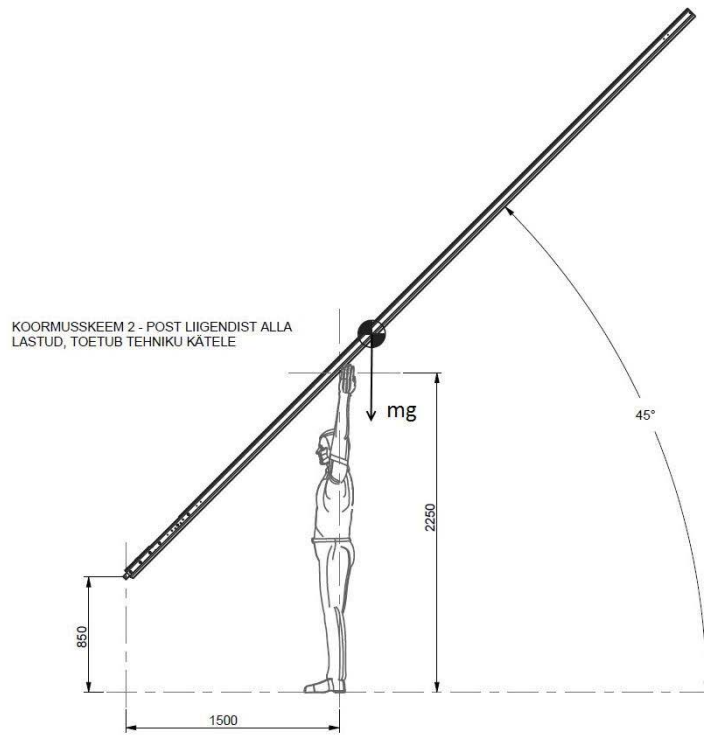
A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1



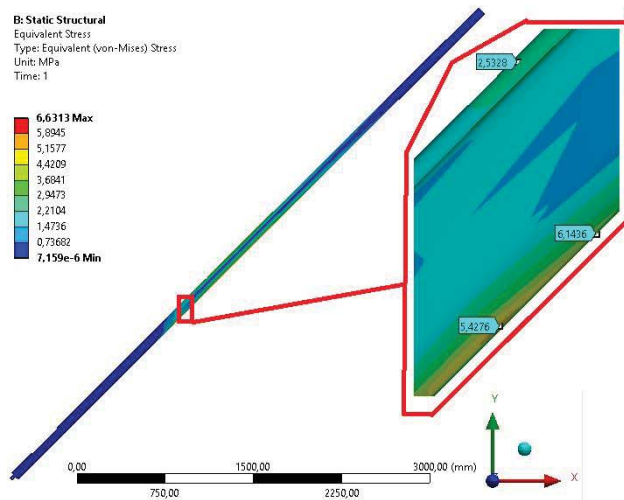
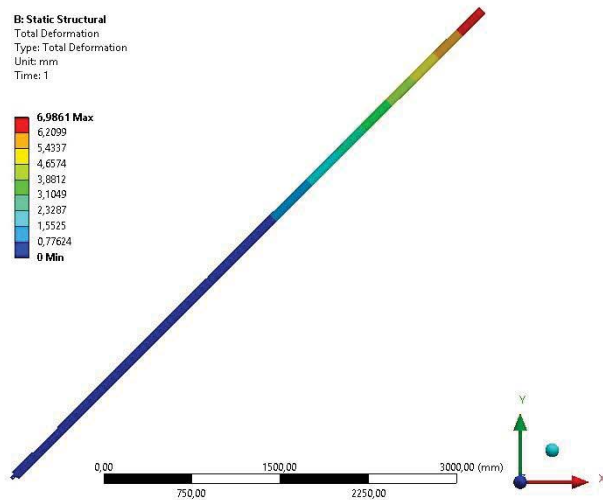
A: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1



Sele18 - Koormusskeem 1 ning selle arvutused



B: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1



Sele19 - Koormusskeem 2 ja selle arvutused

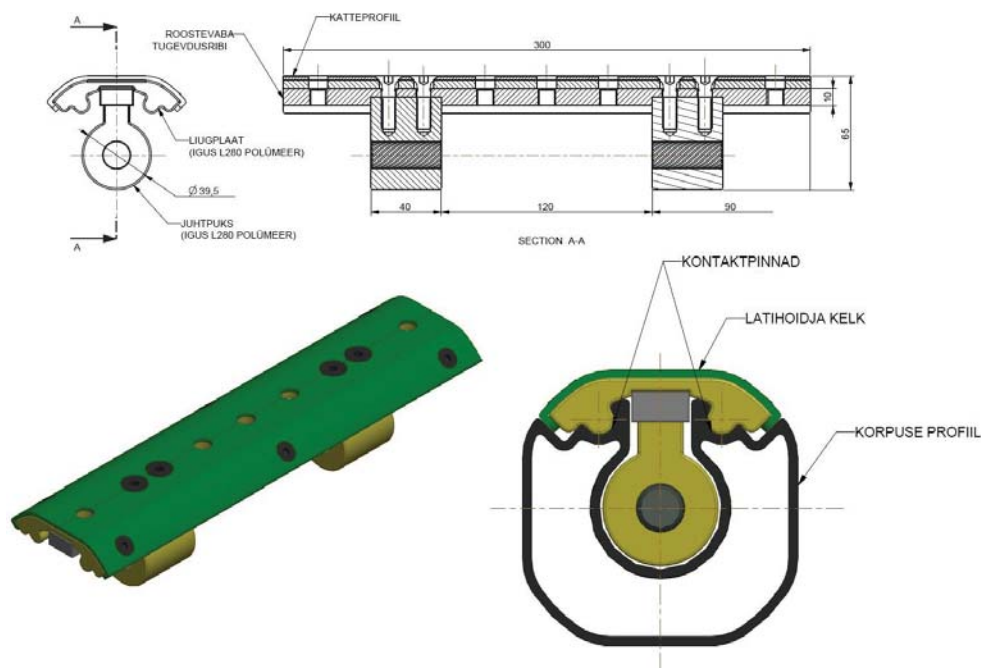
Analüüsid arvutustulemusi, saab väita, et antud koormuskeemide puhul ei ületa konstruktsioonis ükski element kasutatavate materjalide voolavuspiiri (S355J2H terased 355 MPa ja EN AW 6063 T6 alumiiniumil 160 MPa).

Kuna antud koormuskeemide juures on väksem varutegur alumiiniumprofiilil ligilähedaselt 10 kordne, võib väita, et tavatingimustes stendi post on piisavalt vastupidava konstruktsiooniga.

Deformatsioonide osas võib samuti rahule jääda. Seeläbi saab järeldada, et antud konstruktsiooniline lahendus sobib teivashüppe standina kasutamiseks.

2.3.5. Latiheidja kelgu projekteerimine

Latiheidja kelk on projekteeritud liuglema korpuse profiili 10mm läbimõõduga ümarsoontesse. Juhtpukside ja liugeplaadi materjaliks on IGUS L280 polümeer, mida on võimalik toota ka 3d printimise teel. Seetõttu ei ole detailide kuju geometria puhul oluline arvestada traditsiooniliste tootmismeetoditega. Kelgu katteplaadiks on alumiinium profiil, mis ühtlasi toimib muudes posti osades katteplaadina. Polümeerplaadi ja katteplaadi fikseerimiseks on projekteeritud EN 1.4301 materjalist tugevdusribi, millele on ühtlasi ka töödeldud keermestatud avad kinnituspoltide jaoks. Kelgu lõige, visualisatsioon ja asend profiilil on toodud Sele21.



Sele20 - Latiheidja kelk ja kelgu asend korpuse profiilil

2.3.6. Ülemise liigendiga posti komponentide loetelu ja paiknemise skeem

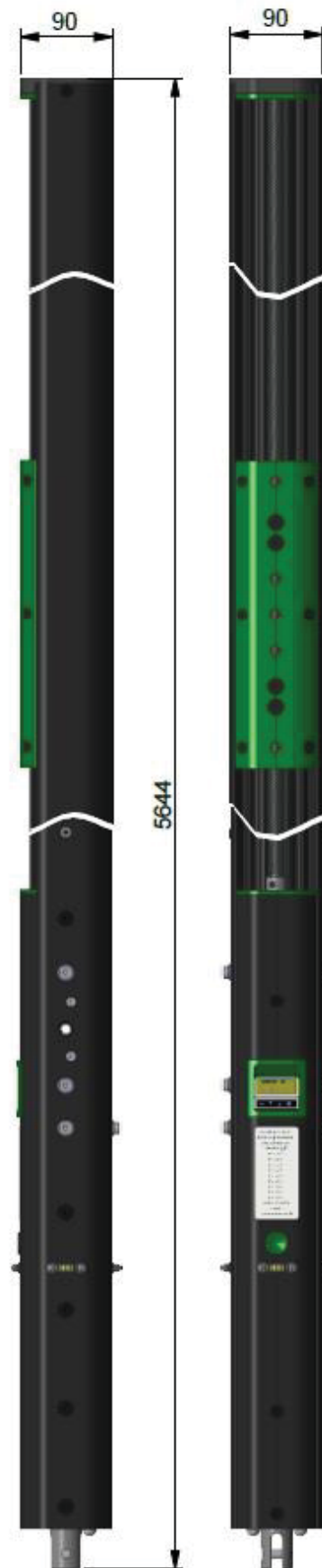
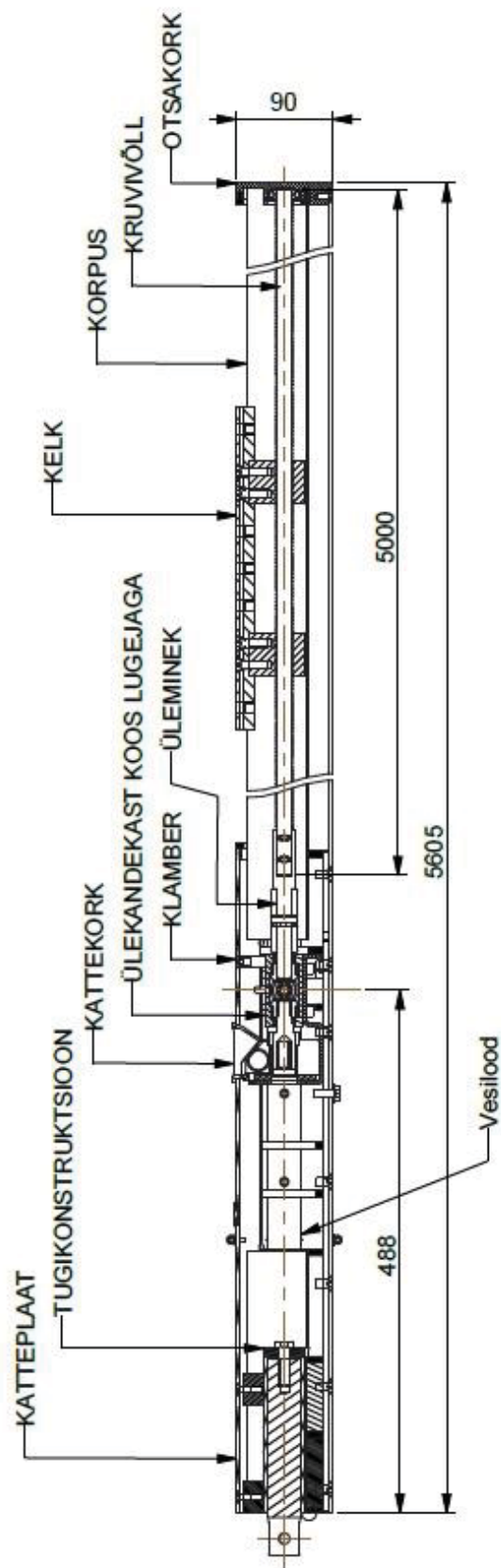
Järgneva antakse ülevaade posti koostamiseks vajalike komponentide loetelust, komponentide gabariitmõõtmetest, materjalidest, massidest, komponentide kogustest ning peamisest tootmistehnoloogiast. Loetelu on toodud tabelis 18 ja visualisatsioon Sele22.

Nimetus	Gabariit mõõtmed P x L x K [mm]	Mass [kg]	Osa liik	Materjal	Kogus koostus [tk]	Peamine tootmistehnoloogia
Korpus	5600x90x80,6	20,88	Detail	EN AW 6063 T6	1	Ekstrudeerimine, freesimine
Tugevduselement	657x83.6x80	5,33	Alamkoost	S355J2H ja EN 1.4301	1	Keevitus, käsikoostamine
Reduktor koos kõrguselugejaga	183x65x76	1,13	Alamkoost	DC01AM + EN AW 6082 T5 + EN 1.4301 + C907+EPDF	1	Hammaste lõikus treipingis jagamispeaga, freesimine, käsikoostamine
Katteplaat	620x78x21,5	0,41	Detail	EN AW 6063 T6	1	Ekstrudeerimine, freesimine
Kattekork	45x56x24	0,01	Detail	PLA	1	3d printimine
Otsakork	90x90x20	0,2	Alamkoost	EN AW 6082 T5 + PLA	1	Freesimine, 3d-printimine, käsikoostamine
Spiraalkuvi vööl	5000x16x16	2,49	Detail	EN AW 6082 T6	1	Ostukomponent
Üleminek	80x20x20	0,1	Detail	EN 1.4301	1	Treimine. stooksimine
Klamber	71x50x10	0,01	Detail	DC01AM	1	Laserlõikus, painutus
Kelk	300x78x65	0,9	Alamkoost	EN AW 6082 T6, IGUS L280, EN 1.4301	1	Ekstrudeerimine, freesimine, 3d printimine, käsikoostamine
Vesilood	40x10x10	-	Detail	-	4	Ostukomponent
DIN 7984	M10x24	-	Polt	8.8 + ZN	1	Ostukomponent
DIN 7991	M6x14	-	Polt	8.8 + ZN	6	Ostukomponent
DIN 6885	4x15	-	Prismaliist	-	1	Ostukomponent
DIN 1481	5x20	-	Vedrutihvt	-	2	Ostukomponent
DIN 7984	M6x20	-	Polt	8.8 + ZN	4	Ostukomponent
DIN 7991	M8x15	-	Polt	8.8 + ZN	17	Ostukomponent
DIN 125	M8	-	Lehtseib	-	7	Ostukomponent
DIN 7984	M8x20	-	Polt	8.8 + ZN	7	Ostukomponent
DIN 7337	3,2x17	-	Tõmbeneet	AL	8	Ostukomponent
DIN 448	M5x13	-	Tõmbemutter	AL	12	Ostukomponent

Tabel 18 - Ülemise liigendiga tugiposti komponendid

Valmis posti parameetrid:

- Pikkus – 5644 mm
- Laius – 90 mm
- Kõrgus – 90 mm
- Mass – 31,4 kg



Sele21 - Ülemise liigediga tugiposti komponendid ja posti visualisatsioon

2.4. Alusplatvormi ja vankri projekteerimine

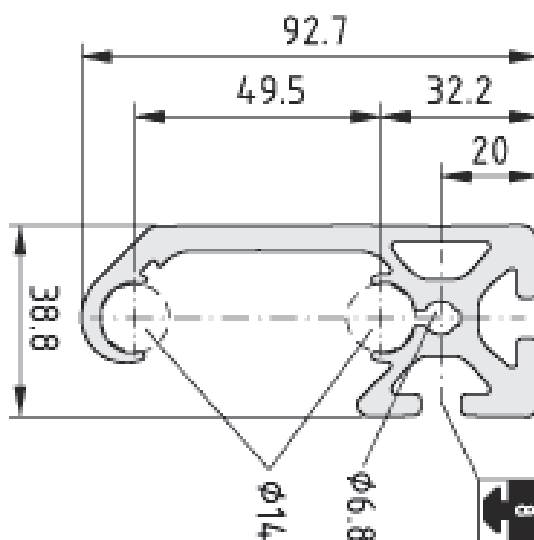
Alusplatvormi põhifunktsiooniks on posti püsti hoidmine ning kelgule toestuva posti liigutamine 800 mm ulatuses. Selleks, et kelgu liikumist võimaldada, peab kelk kas libisema või liikuma ratastel. Platvormi ja kelgu konstruktsiooni keskseks elemendiks on seetõttu juhttee elemendid ning automatiseeritud versioonil ka veoelemendid. Järgnevalt on välja toodud juhikelemendi ja veoelemendi valik ja põhjendused.

Funktsioonelement: 2.1 Vankri juhtmehhanismi osa(Juhikud)							
Lahendus	Kirjeldus	A	B	C	D	E	Σ
Liuglaagrid	Korpusele kinnitatud täpisyuhikud ning kelgule kinnitatud pukidel liugelaagrid	7	3	7	3	10	30
Terasrööpad	Ühe või kahepoolsed terasrööpad, vankril terasrattad	8	10	9	7	4	38
Kahepoolne alumiiniumreels	Standard alumiinium relsiprofiil, vankril alumiinium rattad	8	7	9	8	8	40

Tabel 19 - Juhikute valiku hindamine, kus A-tootmisekeskus, B-hind, C-töökindlus, D-hooldusvajadus, E-uudsus võrreldes konkurentidega

Hinnangumaatriksi järgi on kaks parimat varianti teras või alumiinium rööpad/relsid. Kuna alumiiniumi puhul ei pea muretsema korrosiooni pärast, on see määravaks valikutegemise kriteeriumiks.

Standard relsiprofiilidest valiti ITEM Industrietchnik GmbH poolt kataloogitoodangus olev C-relsiprofiil 0.0.462.01. Sele23.

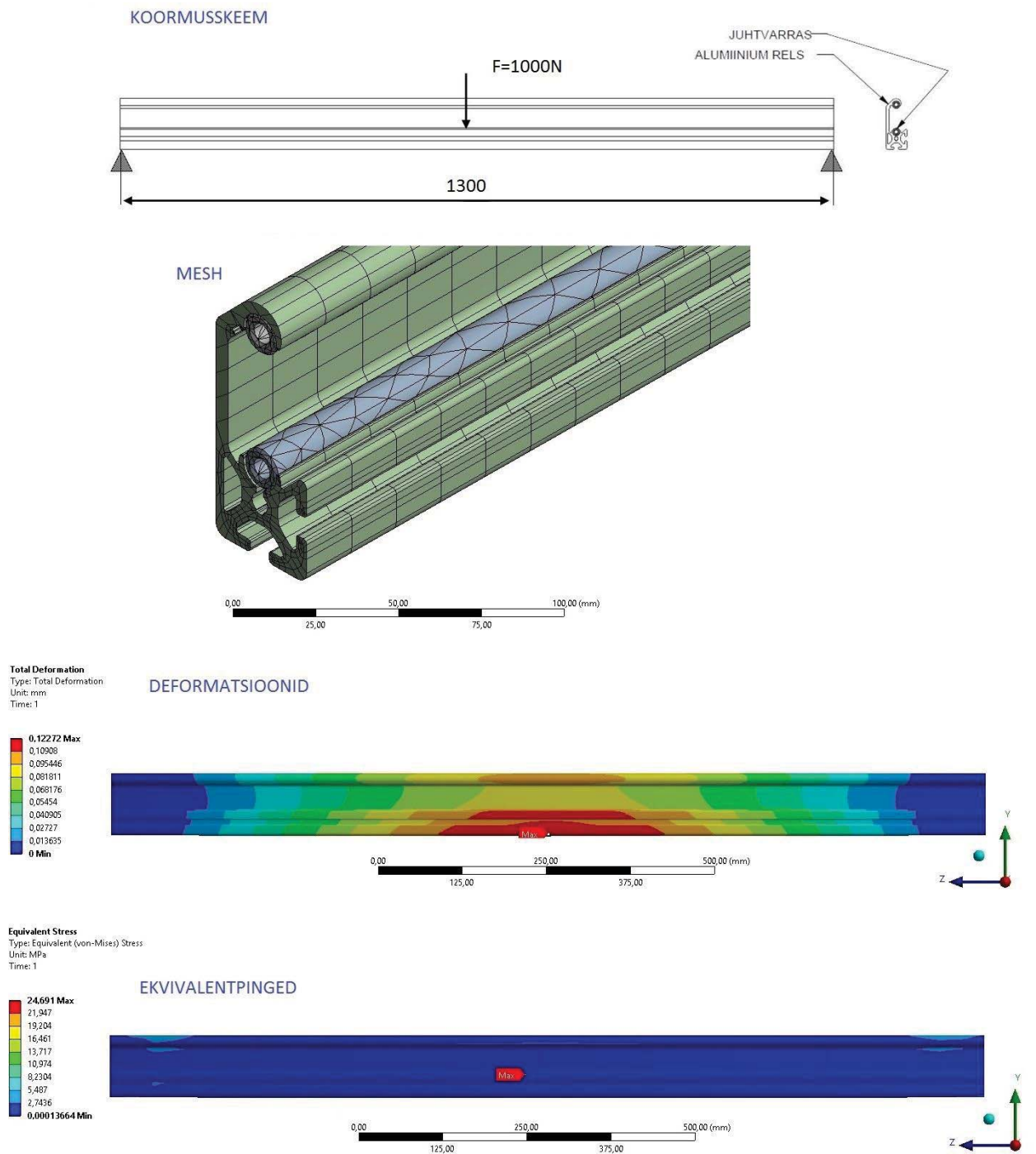


Sele22 – ITEM 0.0.462.01 profiil

Profili sobivuse hindamiseks teostati FEMsimulatsioon.

Materjal	Elastsusmoodul [GPa]	Poissoni tegur	Erikaal [kg/m ³]	Voolavuspiir Rp02 [MPa]
EN AW 6063 T6	71	0,33	2770	160
EN AW 6082 T6	71	0,33	2770	250

Tabel 20 - Lähtematerjali parameetrid



Sele23 - Relsi profiili FEM analüüs

FEM tulemuste põhjal on profiil koos juhtvarrastega sobilik kasutamaks stendi kelgu juhtsüsteemiks. Profiili varutegur analüüsi maksimaalse ekvivalentpinge 24,7 MPa ning materjali EN AW 6063 T6 voolavuspiirini R_{p02} on ligikaudu 6,5 kordne, mis rahuldab peatükis 2.2 määratud minimaalse varuteguri 2,0 kriteeriumit.

Teise etapina tehti valik veosüsteemi osas. Arvestama peab eeldust, et planeeritult oleks veomootori paigutus alumise liigendiga tugiposti külge, mis tähendab, et pöördliikumine kantakse kelgule läbi tugipostis oleva võlli.

Sisuliselt saab siinkohal välistada kruvi ja rihmülekaned, mis oleksid liialt keerukad antud kontekstis projekteerida ja tõenäoliselt ei oleks need ka hinnalt konkurentsivõimelised lahendused.

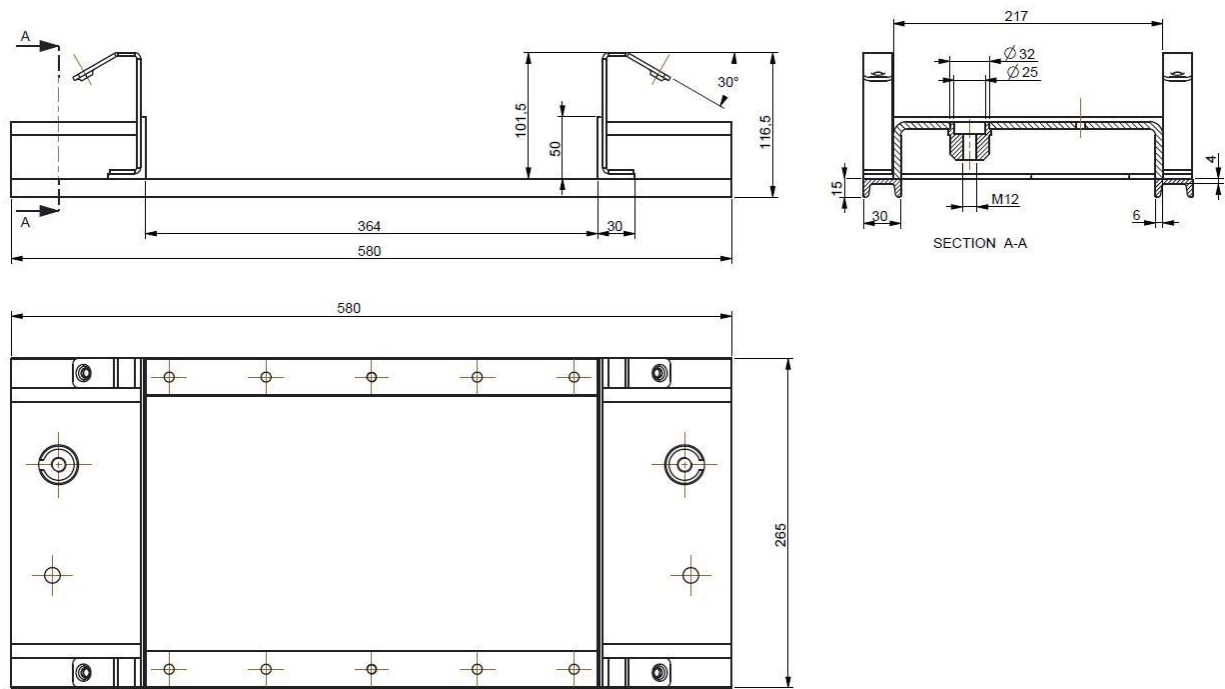
Kelgu liigutamise mehhanismiks valiti hammaslattülekanne. Antud olukorras on hammaslatt jäigalt alusplatvormil ning kelgul olevat hammasratast käitatakse läbi tugipostil oleva mootori. Hammaslati valiku kasuks rääkis lisaks lihtsale projekteerimise võimalusele ka ülekanne vähene mõjutatud tolmu, niiskuse jms väliste tegurite osas.

2.4.1. Põhjakonstruktsiooni projekteerimine

Põhjakonstruktsioon on terve alusplatvormi keskne kandev element. Põhjakonstruktsiooni hulka kuuluvad:

- Juhtreelsid
- Tugijalad
- Tugirattad
- Põhja korpuse kinnitusklambrid
- Hammaslatid

Põhjakonstruktsiooni projekteerimisel on lähtunud koostamis ja valmistuskesksusest. Relside ja hammaslattice monteeritavuse ja demonteeritavuse aspektist lähtudes loodi põhjaplatvormile rataste ja tugijalgade kinnitamiseks kandvad otsamoodulid. Läbiva materjalina on kasutatud S355J2R konstruktsiooniterast.



SELE 24- Otsamoodul

Pikkus [mm]	Laius [mm]	Kõrgus [mm]	Mass [kg]	Kasutatud materjalid	Koostemeetod	Pinnakate
580	265	116,5	6,61	S355J2H ja DC01AM	Keevitamine rakises,	Kuumtsinkimine 80 µm

Tabel 21 - Otsamooduli parameetrid

Otsamoodulitele monteeritakse tugijalad, rattad, relsid ja hammaslatid.

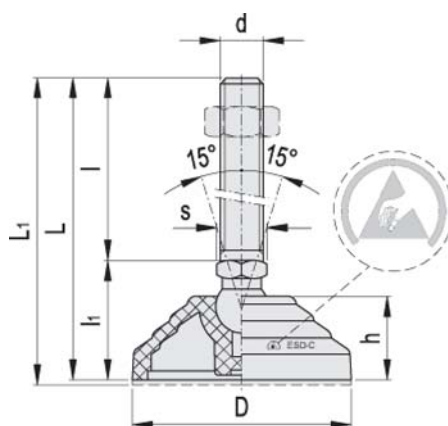
Rataste valiku olulisteks kriteeriumiteks määrati rataelemendi kompaktsus, piisav kandevõime ning võimalikul lai kontaktpind maapinnan suhtes. Valitud rattaks osutus valunailonist raskeveo rullik Blickle JUH. Rulliku peamised parameetrid:

Kogukõrgus [mm]	Rulliku läbimõõt [mm]	Rulliku laius [mm]	Mass [kg]	Kandevõime [kg]	Veerepinna kõvadus
70	50	32	0,45	150	80 Shore D

Tabel 22 - rataelemendi parameetrid

Tugijalgade valiku kriteeriumiteks oli roostevabast terases keermepulk ning mittestaatiline põhi.

Valitud tugijalaks sai Eles+Ganter 323331-ESD M12 keermega jalg, kandevõimega risti maapinna suhtes 1400kg ning massiga 0,12 kg.



SELE 25 - Tugijalg 323331-ESD



Sele26 - Põhjakonstruktsioon

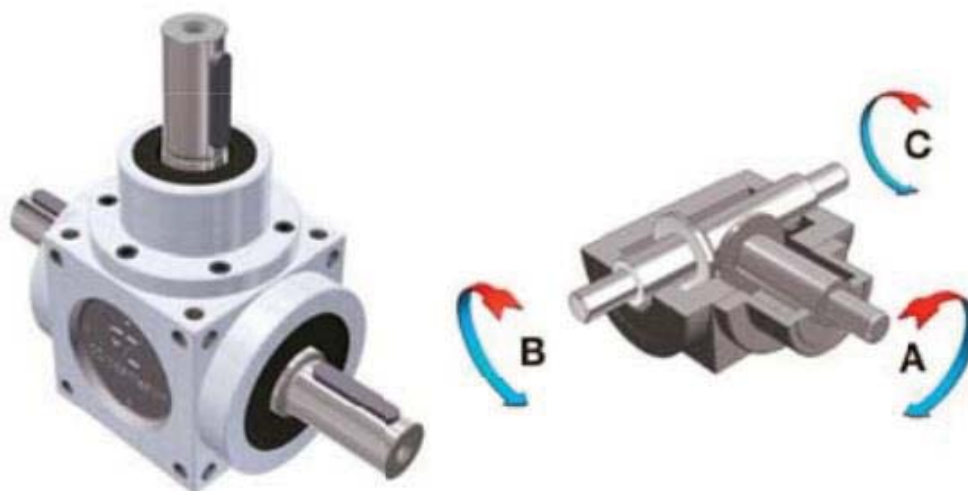
Pikkus [mm]	Laius [mm]	Kõrgus [mm]	Mass [kg]	Kasutatud materjalid	Koostemeetod	Pinnakate
1310	580	120 kuni 140	31,8	S355J2H, EN AW 6063 T6, EN AW 6082 T6 C907,	Käsikoostamine (poltiited)	Konstruktsiooniterasest detailidele kuumtsinkimine 80 µm

Tabel 23 - Põhjakonstruktsiooni parameetrid

2.4.2. Kelgu projekteerimine

Kelgu funktsiooniks on tagada posti liikumine seadme X-teljel 800 mm ulatuses. Kelgu peamisteks elementideks on kelgu korpus, ülekandekast ja kelgu rattad. Konstruktsiooniliselt kelgu väljatöötamise piiranguteks on relside tsentrite vahe 326 mm ja soovituslik mass ca 20 kuni 25 kg.

Reduktiori valikul on lähtunud standardse ostukomponendi hakimise kriteeriumist, kuna kelgu puhul on dimensioonidega võimalik rohkem manipuleerida, kui tugipostidesse paigutatud ülekandekastil. Valitud kastiks tootjaks osutus Itaalia ettevõtte DZ Trasmissioni. Tüüptoote sortiment DZ-86-1:4 kast.

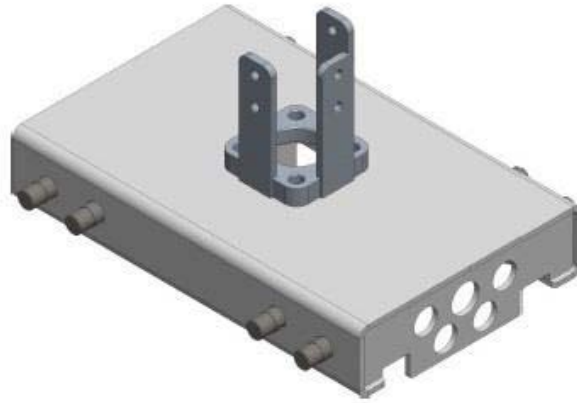


Sele27 - DZ-86-1:4 ülekandekast

Lähtuvalt kasti parameetritest ning relside omavahelisest kaugusest projekteeriti kelgu baaskonstruktsioon parameetritega:

Pikkus [mm]	Laius [mm]	Kõrgus [mm]	Mass [kg]	Kasutatud materjalid	Koostemeetod	Pinnakate
440	338	232	19,1	S355J2H. EN	Keevitus rakises, Täpistöötlus sisetreipingis	Elektrotsinkimine 30 µm, Epoksüidkrunt 30 µm + epoksüid pinnavärv 50 µm, toon RAL 6032

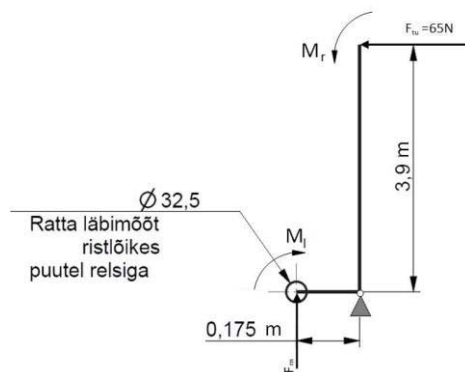
Tabel 24 - Kelgu korpuse parameetrid



Sele28 - Kelgu korpus

2.4.2.1. Kelgu rataste projekteerimine

Kelgu oluliseks elemendiks on rattad, mis peavad istuma valitud relsidele ning olema piisavalt jäigad, et koormuse all mitte deformeerida ning põhjustada seeläbi tugipostide liigset kõikumist. Ühe võimalusena deformatsioonid viia miinimumini on kasutada teras või alumiinium rattaid otsekontaktis alumiinium relsiga. Kuigi deformatsioonide osas on see lahendus hea, on miinuspooleks kontaktpindadele sattuvate abrasiivosakeste takistus. Liivatera sattumisel rattale võib kelgu liigutamiseks vajaminev jõud kasvada kordades. Selle vältimiseks on võimalus alumiiniumrattad kummeerida näiteks polüuretaan kattega. Järgnevalt on välja selgitatud sobiva Shore A kõvadusega polüuretaan katte valik ning analüüsitud sellest lähtuvalt postide maksimaalset kõikumisamplituuti Δl_{pt} . Rattale mõjuva reaktsionijõu arvutamiseks on kasutatud tuule kiirusel 14 m/s puhul ülemisele tugipostile mõjuvat ühtlaselt jaotunud jõudu 65N. Ülesande lihtsustamiseks ja arvutuse konservatiivsemaks muutmise eesmärgil on ühtlaselt mõjuv jõud 65 N muudetud koormusskeemi Y telje suunas 20% kõrguste keskpunktist kõrgemale mõjuvaks üksikuks jõuvektoriks suurusega 65 N.



SELE 29 - Rattale mõjuva tuulejõu skeem

Vastavalt kangi reeglile on arvatud mõjuv jõud rattapaarile

$$\Sigma M_l = \Sigma M_r, \text{ mistõttu } 0,175F_{rn} = 3,9F_{tu}, \quad (2.7)$$

Kus F_m – Rattapaarile mõjuv jõud [N]

$$F_{rn} = \frac{3,9 \cdot 65}{0,175} = 1448,5 \text{ N}$$

Seega ühele rattale mõjuv jõud oleks $\frac{F_{rn}}{2} = 724,25 \text{ N}$

Vastavalt tabelis 9 toodud eelarvestatud postide kogumassile 45 kg ja kelgu massile 19,1 kg, on arvestatud lisaks rattale mõjuvalks radiaalkoormuseks 157,2 N

Summeerides radiaalkoormused komponentide massist ja tuulepoolt tekitatavast jõust, saadakse maksimaalseks radiaalkoormuseks $F_{Rradmax} = 881,45 \text{ N}$

Kuna metall vastu metalli on väga tundlik teele sattuvate abrasiivsete osade suhtes, siis on rattad plaanis katta polüuretaan kihiga paksusega 2 mm, kõvadusega Shore A 80.

Lähtuvalt rattatüübist arvutatakse järgnevaga välja kelgu veeretakistus ja selle ületamiseks vajalik jõud, teostatakse hammaslatile ülekandeks sobiliku hammasratta valik ning arvutatakse kelgu käitamiseks vajalik minimaalne moment.

Veerehõõrdejõu ületamiseks vajaliku jõu saab arvutada valemiga:

$$F_f = \frac{f \cdot F_n}{r}, \quad (2.8)$$

Kus, F_f – hõõrdejõud [N]

f – veerehõõrdetegur [mm] (polüuretaan vastu alumiiniumrelssi ca 4,5)

F_n – Normaaljõud [N]

r – ratta raadius [mm]

Normaaljõud ühe ratta kohal on arvatav:

$$F_n = \frac{(m_{kelk} + m_{\text{üp}} + m_{ap})g}{4} \quad (2.9)$$

Kus, m_{kelk} – kelgu mass [kg]

$m_{\text{üp}}$ – ülemise posti mass [kg]

m_{ap} – alumise posti mass [kg]

$$\text{Arvutatud normaaljõud } F_n = \frac{(19,1+15+30) \cdot 9,81}{4} = 157,2 \text{ N}$$

$$\text{Arvutatud hõõrdejõud rattale } F_{fr} = \frac{f \cdot F_n}{r} = \frac{4,5 \cdot 157,2}{32,5} = 21,8 \text{ N}$$

Kuna kelgul on toetuspunktis neli ratast, tuleb saadud hõõrdejõud korrutada neljaga

$$F_f = 4F_{fr} = 87,2 \text{ N}$$

Hammaslatile liidetavaks hammasrattaks valiti mõttudelt sobivaim mooduliga 2 ja 18 hambaga ning jaotusringjoone läbimõõduga $d_j = 36 \text{ mm}$, pronksist hammasrattas.

Lähtuvalt sellest saab arvestada minimaalse veomomendi, mida on vaja hammasrattale rakendada, et ületada kelgu hõõrdejõud.

$$M_{kmin} = F_f \cdot d_j, \quad (2.10)$$

Kus, M_{kmin} – Minimaalne moment, et ületada kelgu hõõrdejõud [Nmm]

$$M_{kmin} = F_f \cdot d_j = 87,2 \cdot 36_j = 3139,2 \text{ Nmm} = 3,14 \text{ Nm}$$

Kuna kelgule on valitud ülekandekast suhtega 1:4, saab vajalikuks minimaalseks momendiks peale ülekannet:

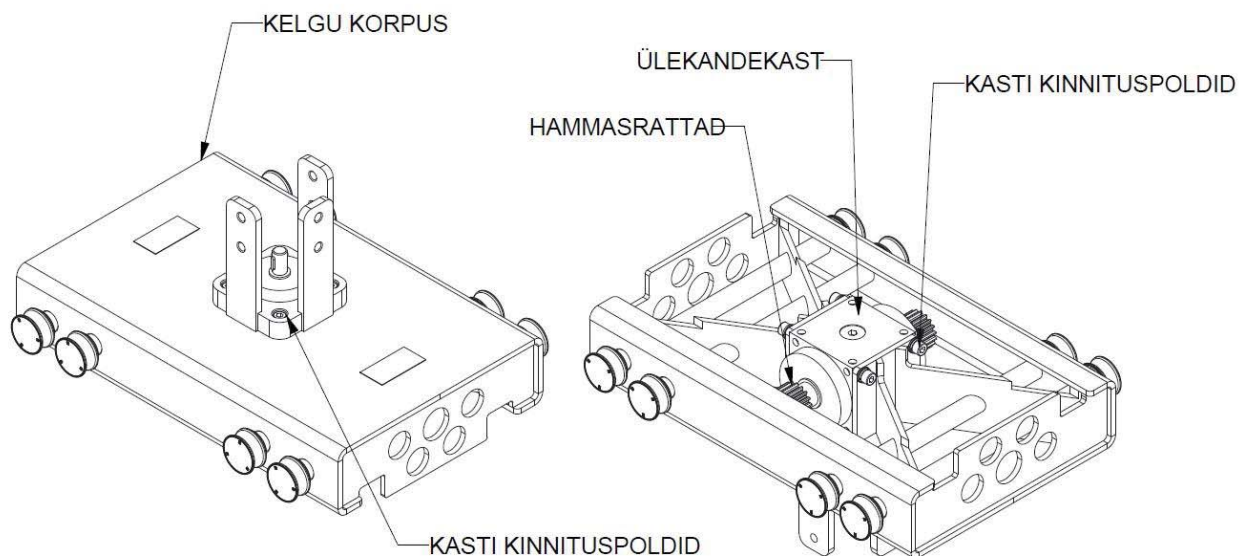
$$M_{ktm} = \frac{M_{kmin}}{4 \cdot \eta_k}, \quad (2.11)$$

Kus, M_{ktm} – Tegelik minimaalne vajalik moment kelgu liigutamiseks ülekandekastil [Nm]

η_k – Ülekandekasti kasutegur (0,95)

$$M_{ktm} = \frac{3,14}{4 \cdot 0,95} = 0,83 \text{ Nm}$$

Mis on sobilik tulemus, kuna jääb ligilähedale latihoidja tõstmiseks vajalikule minimaalsele momendile ja annab võimaluse mootorite valikul kasutada samade parameetritega mootoreid.



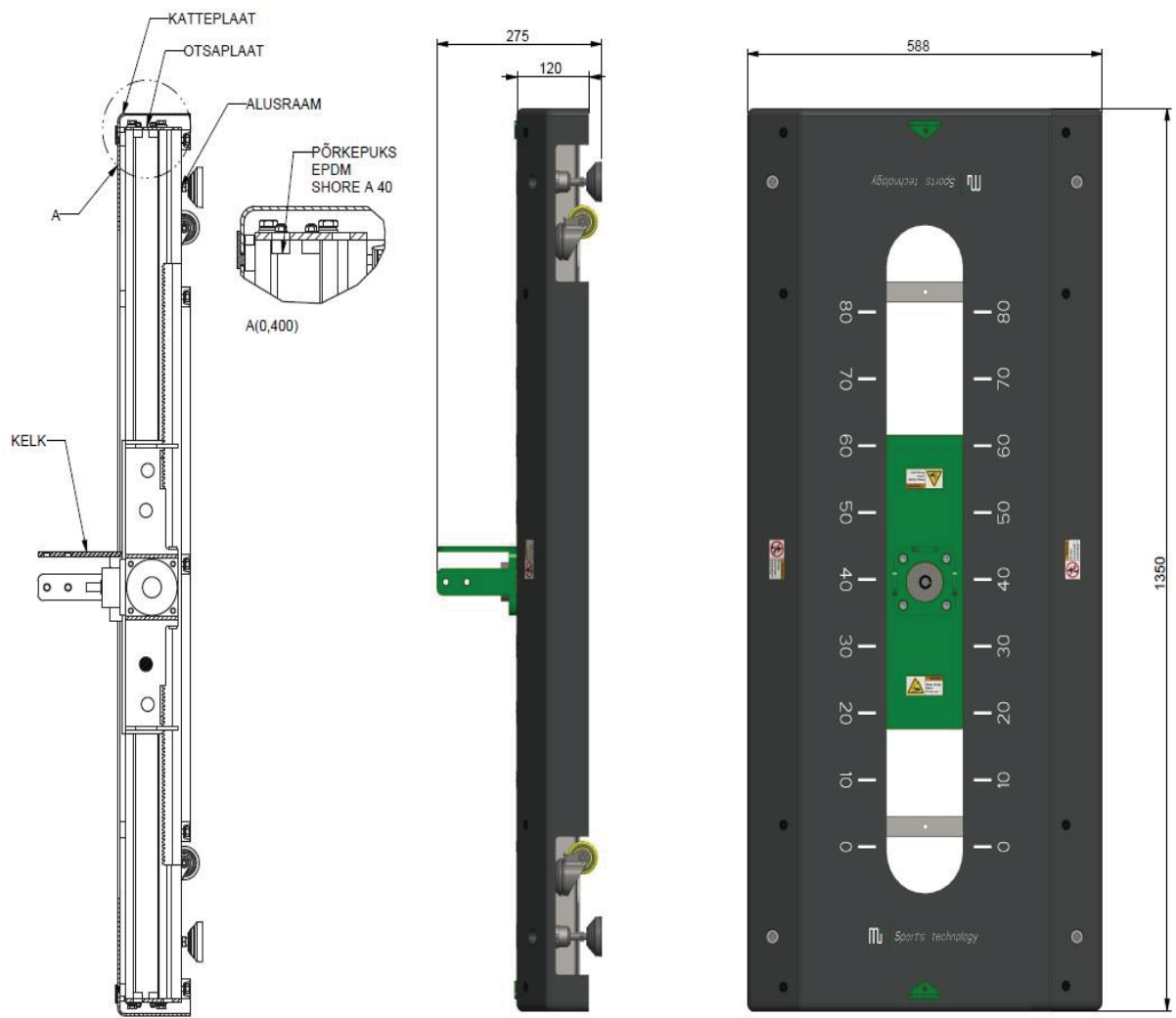
Sele30 - Koostatud kelk

2.4.3. Alumise platvormi kooste

Alusraam ja kelk moodustavad alusplatvormi põhilise funktsiooni, on sellega suurem projekteerimistöo tehtud. Viimaste elementidena töötati välja konstruktiivsed lahendused otsakinnituste ja katteplaadi tarbeks. Alusplatvormi kogumassiks saadi 61 kg.

Komponent	Pikkus [mm]	Laius [mm]	Kõrgus [mm]	Mass [kg]	Kasutatud materjalid	Tootmismeetod	Pinnakate
Katteplaat	1350	588	120	5,2	Klaaskiud-polümeer	Vaakum-vormimine	epoksüüd pinnavärv 50 µm, toon RAL 7024
Otsaplaadid	363	92,5	5	0,9	S355J2H	Laserlõikus	Epoksüüdkrunt 60 µm + epoksüüd pinnavärv 80 µm, toon RAL 6032

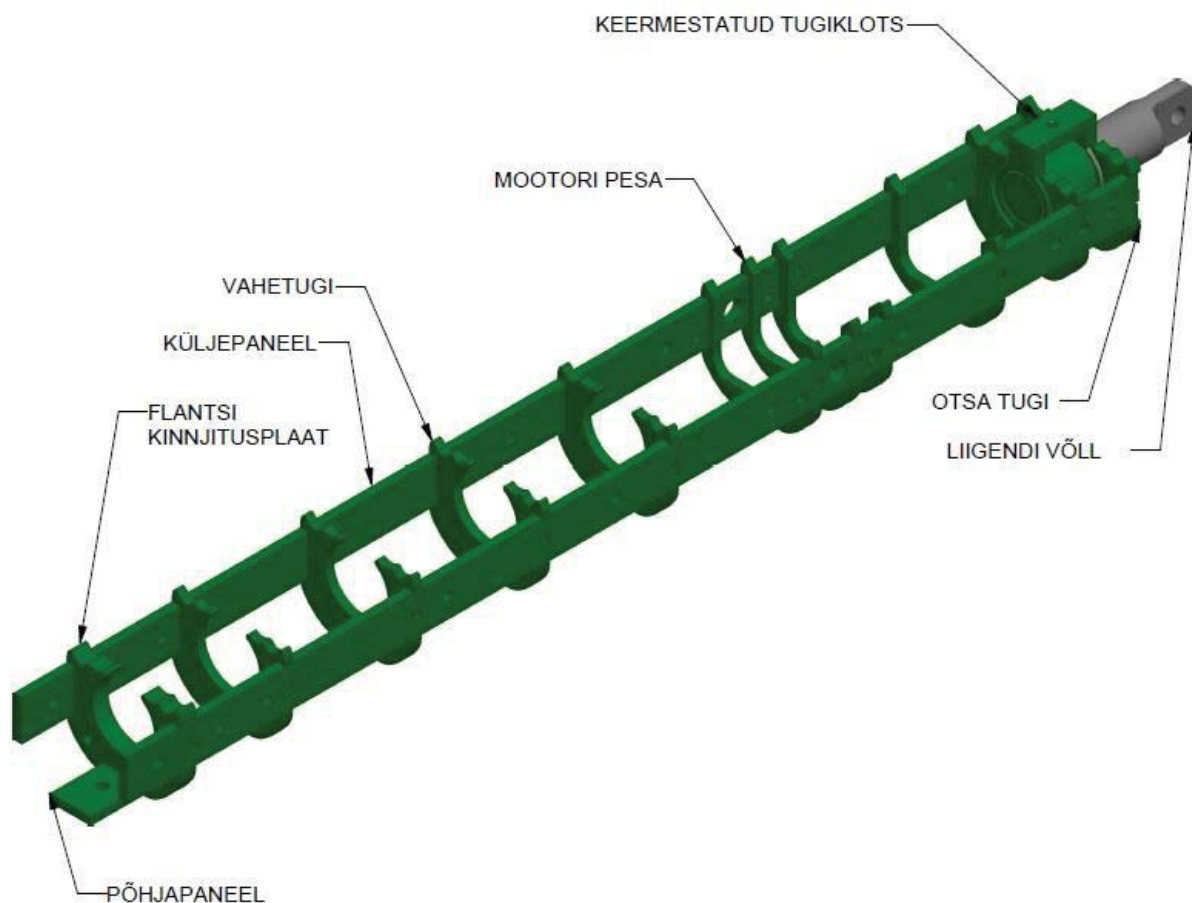
Tabel 25 - Alusplatvormi komponendid



Sele31- Alusplatvorm

2.5. Alumine liigendiga tugipost

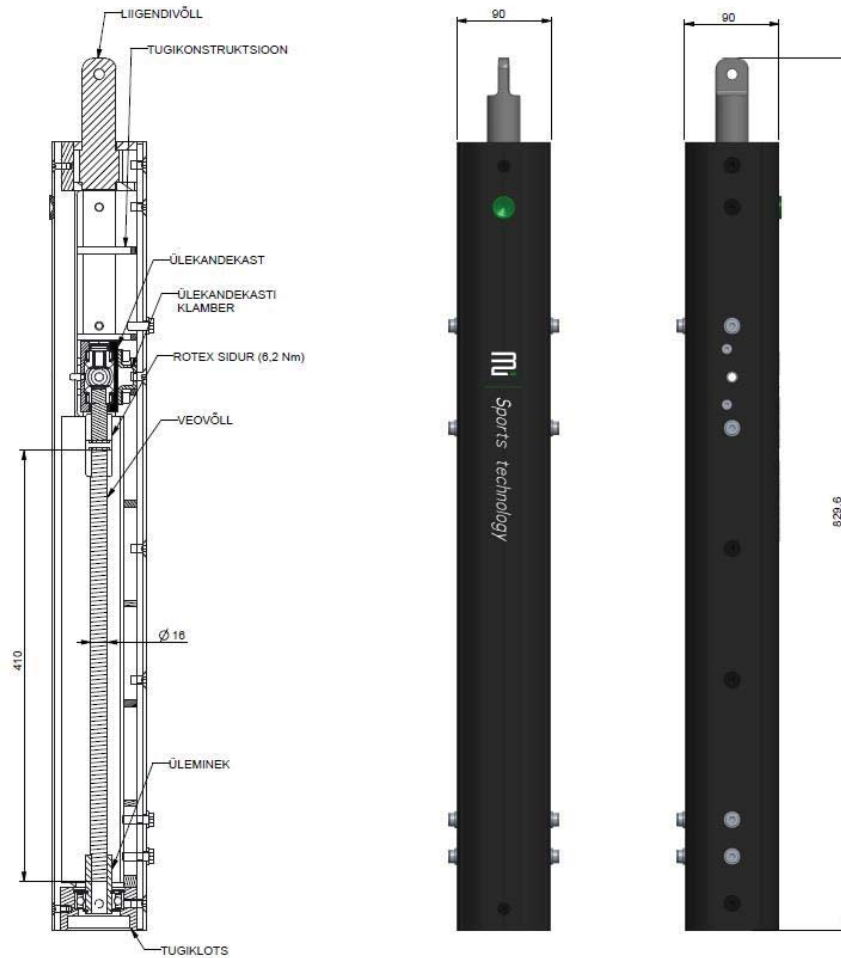
Alumise liigendiga tugiposti ehitus sarnaneb paljuski ülemise liigendiga tugiposti ehitusele. Kasutusel on sama korpuse profiil, sama katteprofiil ja sama ülekandekast. Põhiline erinevus on sisemises tugevduselemendis SELE 33 ja selles, et post on märkimisväärselt lühem.



Sele32 - Alumine tugevduselement

Pikkus [mm]	Laius [mm]	Kõrgus [mm]	Mass [kg]	Kasutatud materjalid	Koostameetod	Pinnakate
828,6	83,6	78,1	5,18	S355J2H ning EN 1.4301	Keevitamine rakises, käsikoostamine	Epoksüüdkrunt 60 µm + epoksüüd pinnavärv 80 µm, toon RAL 6032

Tabel 26 - Alumise posti tugikonstruktsioon



Sele33 - Alumine liigendiga tugipost

Nimetus	Gabariit mõõtmed PxLxK [mm]	Mass [kg]	Osa liik	Materjal	Kogus koostus [tk]	Peamine tootmistehnoloogia
Korpus	750x90x80,6	2,28	Detail	EN AW 6063 T6	1	Ekstrudeerimine, freesimine
Tugevduselement	828,6x83.6x78	5,18	Alamkoost	S355J2H ja EN 1.4301	1	Keevitus, käsikoostamine
Reduktor	40x65x76	0,48	Alamkoost	DC01AM + EN AW 6082 T5 + EN 1.4301 + C907+EPDF	1	Hammaste lõikus treipingis jagamispeaga, freesimine, käsikoostamine
Tugiklots	83,6x78x40	1,04	Alamkoost	EN 1.4301	1	EDM lõikus, freesimine ja käsikoostamine
Reduktori klamber	50x50x17	0,07	Detail	DC01AM	1	Laserlõikus ja painutus
Üleminek	25x25x56	0,13	Detail	EN 1.4301	1	Treimine ja stoosimine
DIN 125	M6	-	Lehtseib	-	4	Ostukomponent
DIN 912	M6x20	-	Polt	8.8 + ZN	4	Ostukomponent
DIN 7991	M8x15	-	Polt	8.8 + ZN	16	Ostukomponent
DIN 7991	M6x14	-	Polt	8.8 + ZN	2	Ostukomponent
DIN 6885	4x15	-	Prismaliist	-	2	Ostukomponent
ROTEX Sidur	SHA 14 14	-	Sidur 6,2 Nm	-	1	Ostukomponent

Tabel 27 - Alumise liigendiga posti komponendid

2.6. Muud komponendid ja sõlmed

Muude komponentide ja sõlmedena on seadme mehaanika osale juurde projekteeritud veel latihoidja ja käsijuhtimisel kasutatav kelgu lukustus sõrm.

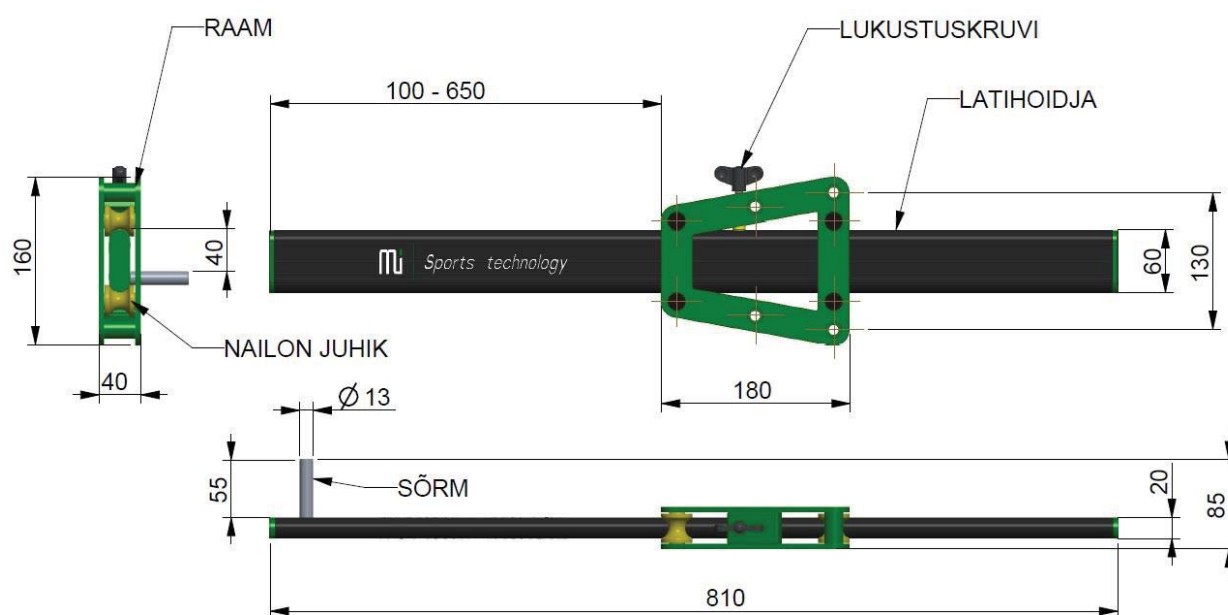
Latihoidja projekteerumisel lähtuti, et selle liikumisulatus stendi Y teljel oleks orienteeruvalt 650 mm. Kuna võistluste käigus pannakse latihoidjate vahekaugus paika ühekordselt ja see sõltub otseselt kasutatavast latist, siis antud sõlme puhul ei ole otstarbekas hakata vahekauguse muutmist automaatjuhtimisele projekteerima. Seda põhjustel, et valmistatava sõlme hind oleks ebaratsionaalselt kallis ning protsessis ühekordselt kasutatava seadistuse teeb kiiremini käsitsi, kui juhtpaneelilt seda juhtides.

Latihoidja koosneb kahest põhielemendist:

- Rullidele toetuv alumiiniumist ovaalтору
- Raamist, rullide ja konstruktsiooni kinnitamiseks postile

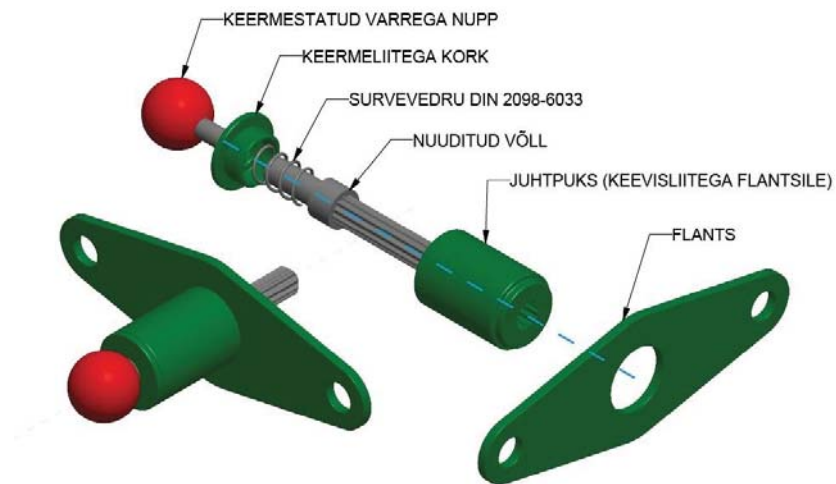
Rullidele toetuv alumiiniumтору on valitud lähtuvalt latitoetussõrme kohale jääva minimaalse toetusena kõrgusest, mis on sätestatud IAAF nõuetes (Sele 3).

Raam on samuti valmistatud alumiiniumplaatidest ning rullikud nailonist (PA6.6).



Sele34 - Latihoidja

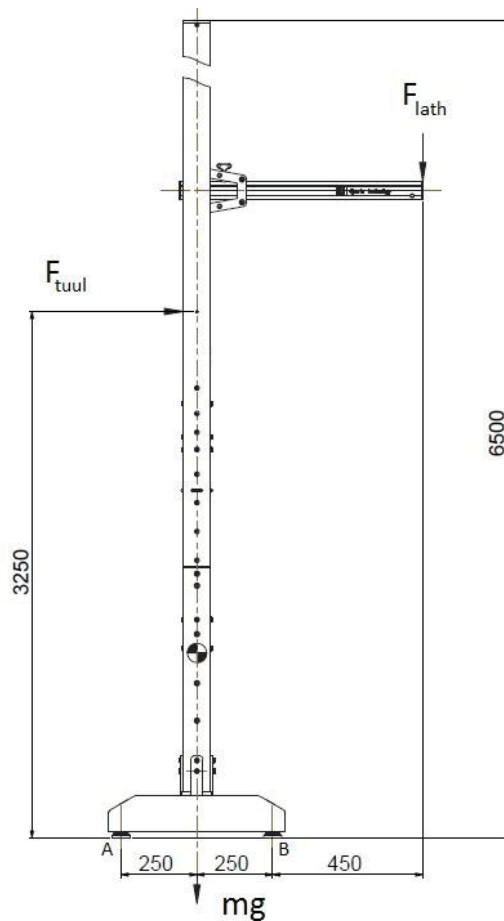
Kelgu lukustussõrme ehitus on võrdlemisi lihtne. Flantsiplaadile on keevitatud sõrme juhtpuks, mille ava on sama nuudi profiiliga, kui sõrmel, mis ei lase sõrmel pöördliikumisse minna. Flants kinnitatakse poltliitega alumisele tugipostile selliselt, et sõrm liitub reduktoris oleva võlli nuuditud avaga. Kelgu liigutamiseks tuleb sõrm nupust tõmmates reduktorist vabastada, misjärel kasutaja saab käsijuhtimisel kelgu soovitud asendisse lükata. Nupu vabastamisel surub vedru sõrme lukustusasendisse tagasi.



Sele35 - Lukustussõrm

2.7. Koostatud käsijuhtimisel stend ja tuulejõud

Järgnevalt on arvestatud teoreetilised maksimaalsed tuulejõu ning latihoodjale mõjuva jõu ekstreemumid stendi ümberkukkumiseks. Tuulejõud staatikas saab käsitleda purjepinnale ühtlaselt jaotuva jõuna, lihtsustamiseks arvutame tuulejõudu ühe suunatud vektorina stendi perpendikulaarse kõrguse keskpunkti. Ohtlikuimaks asendiks on Y telje suunas puhuv tuul, kuna selles suunas on stendi tugijalgade vaheline kaugus kordades väiksem, kui X teljel. Lisaks tuulejõule saab samas suunas arvutada ka maksimaalse lubatava koormuse latihoodjale maksimaalselt väljasirutatud asendis.



Sele36 - Mõjuvate jõudude skeem

Esimesena on arvutatud maksimaalne tuulejõud F_{tuul} . Selle jaoks on koostatud stendile tasakaaluvõrrand:

$$\Sigma M_0 = 0,$$

mistõttu saab väita Sele 37 põhjal, et

$$mg \cdot 0,25 - F_{tuul} \cdot 3,25 = 0, \quad (2.12)$$

Kus, m – stendi mass [kg] (CAD mudeli järgi 102 kg)

$$\text{Arvutame } F_{tuul} = \frac{mg \cdot 0,25}{3,25} = \frac{102 \cdot 9,81 \cdot 0,25}{3,25} = 76,9 \text{ N}$$

Kuna postile tuulesuunas mõjuva purjepinna pindala on $A = 0,48 \text{ m}^2$, saame välja arvutada teoreetilise maksimaalse tuulekiiruse, mille korral stend veel püsti seisab.

Lähtuvalt tuule poolt avaldatava rõhu valemile [12]

$$p = \frac{\rho_0 \cdot v^2}{2}, \quad (2.13)$$

Kus p – tuule poolt avaldatav rõhk [Pa]

ρ_0 – õhu tihedus [kg/m³]

v – õhu liikumise kiirus [m/s]

Kuna on teada, et rõhk $p = \frac{f}{A}$, saab arvutada, et $p = \frac{79,6}{0,48} = 165,83$ Pa

saame tuletada, et $v = \sqrt{\frac{2p}{\rho_0}}$ arvutame, et $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 165,83}{1,25}} = 16,3$ m/s

Kuna tegemist on vabalt seisva konstruktsiooniga ning teivashüppe võistlusi nii tugeva tuulega ei korraldata, õigustab stendide liigend ennast selles osas, et mittekasutatav stend on võimalik inventari kaitseks alla lasta.

Teise ekstreemumina on välja arvatud teoreetiline maksimaalne koormus väljasirutatud latihoidjale F_{lath} . Selle tarbeks saab koostada reakstioonivõrrandi vastavalt Sele 37.

Reakstioonijõud $F_a = 0$ ja moment ümber tugijala B $\sum M_b = 0$, siis

$$0,25mg - 0,45F_{lath} = 0 \quad (2.14)$$

Saame avaldada, et $F_{lath} = \frac{0,25mg}{0,45} = \frac{0,25 \cdot 102 \cdot 9,81}{0,45} = 556N$

Mis on küllaltki ebatõenäoline situatsioon.



Sele37 - Käsijuhtimise seadega stand

3. Teivashüppe stendi M0302100 juhtimisautomaatika valimine

Käesolevas peatükis on vaadeldud eelnevate peatükkide käigus konstrueeritud teivashüppe stendi konstruktsiooni osale automaatjuhtimise kavandamine ning komponentide ja nende omavahelise töö korraldus.

Eesmärgiks on luua juhtimissüsteem, mis võimaldaks ühe paneeli kaudu juhtida samaaegselt stendi mõlemat posti ja mõlemat vankrit.

Peatükis antakse ülevaade mootorite valikust, mootorite juurde käivate andurite ja kontrollrite valikust ning antakse ülevaade töö ja toiteskeemidest. Samuti kirjeldatakse kasutajaliidese töö põhimõtet ja funktsioone. Antud osas ei projekteerita lõpuni välja juhtimiskilpi ja koostata kontrollritele programme, kuna antud maht ületaks magistritöös mehaanika insenerile ettenähtud mahu.

3.1. Mootorite ja andurite valik

Mootorite valikul on tänu täpsele positsioneerimisele võimalik otsustada sisuliselt kahe variandi vahel:

- Samm-mootorid
- Servomootorid

Järgnevas tabelis on välja toodud mootorite plussid ja miinused[12]

Ajami tüüp	Eelised	Puudused
Samm-mootor	Võimalik suhteliselt täpselt positsioneerida, suur valik, pikk eluiga, positsioneerimisvead ei ole kumulatiivsed, soodsa hinnaga, lihtne kasutada	Keeruline opereerida kiiretel kiirustel, madalam pöördemoment, kui servomootoril, läbilibisemise oht, madalam efektiivsus võrreldes servomootoriga,
Servomootor	Kompaktne, kõrge pöördemoment, võimaldab väga täpset juhtimist, kõrge kasutegur, positsiooni tagasiside	Kõrge maksumus, keeruline seadistus, tihe hooldusvälp, keerulisem juhtimissüsteem.

Tabel 28 - Mootorite kirjeldus

Kuna teivashüppe stendi puhul piisab positsioneerimistäpsusest ca 0,5 mm, töökiirused on võrdlemisi aeglased ja väändemomendid väikesed, siis tohib stendi käitamiseks ideaalselt samm-mootoril baseeruv lahendus.

Samm mootori valiku osas paneb piirid gabariitmõõtmed ja ilmastikukindlus vähemalt IP 65.

Konstruksiooni osas projekteeriti posti tugeledele mootoripesad arvestusega, et mootori maksimaalne flantsi suurus saab olla 60x60mm. Lähtuvalt flantsi gabariitidest ja välja arvatud minimaalsetest vajalikest väändemomentidest $M_{LHU} = 0,65 \text{ Nm}$ ja $M_{ktm} = 0,83 \text{ Nm}$, valiti mootoriks B&R Automationi poolt pakutav samm-mootor 80MPF5.250S000.

Mootori karakteristikud on toodud tabelis 29.[13]

Parameeter	Väärtus
Mootori mark	80MPF5.250S000
Flantsi mõõt	60x60 [mm]
Mootori pikkus	93,3 [mm]
Voolutugevus paralleel ühenduse korral	5 A
Väändemoment	2,5 Nm
Seisumoment	3,5 Nm
Sammu nurk	1,8°
Impulssi pöördede	200
Töötemperatuuride vahemik	-20°C kuni 40°C
Maksimaalne radiaalkoormus	75 N
Mass	1,4 kg
Ilmastikukindlus	IP 65 võimalus

Tabel 29 - Samm-mootori karakteristikud

Kuna valitud mootor on ilma enkooderita, on täpse positsioneerimise ja kontrolliga mootori juhtimiseks kindlasti vajalik ka võimendi. Üldiselt on levinud praktika valida võimendi ja mootor samalt tootjalt, et vältida soovimatuid ühilduvuse probleeme. Kuna ühe stendi kohta on käigus kaks mootorit (üks juhib latihoidjat ja teine kelku), on mõistlik valida võimendi, mis suudab juhtida kahte mootorit teineteisest sõltumatult. BR Automationil on selle jaoks välja pakkuda *Stepper Driver 80SD100XD.C011-01*. Tabelis 30 on toodud võimendi olulised karakteristikud.

Parameeter	Väärtus
Võimendi mark	80SD100XD.C011-01
Steperi moodul	HIPERFACE bipolaarne enkooder kahe mootori juhtimiseks
Maksimaalne voolutugevus	10 A
Diagnostika	Käigu veatuvastus, temperatuuri kontroll, mootori oleku diagnostika, ühenduse diagnostika

Tabel 30 - Võimendi parameetrid



Sele38 - Valitud samm mootor ja võimendi

Andurite osatähtsust ei saa alahinnata. Lineaarse töökäigu algus ja lõpp peavad olema varustatud teekonna lõpplülititega, et vältida konstruktsioonis tekkida võivaid kokkupõrkeid. Käesoleva projekti raames on teekonna lõpp ja algus lülititeks valitud Norelem PNP induktiivandurid 20910-020, millel on tunnetusdistsants kuni 2 mm ning samuti ilmastikukindluse klass IP 67. PNP tüüpi induktiivandurite eeliseks on see, et nad ei ole tunnetatava metallse materjali suhtes kapriissed.



Sele39 - Induktiivandurid

3.2. Kontrolleri, toiteploki ja juhtpaneeli valik.

Andurite ja täiturite omavahelise töö sünkroniseerimiseks on ajalik mõlema stendi puhul induktiivandurite ja samm mootori võimendi signaale kontrollida läbi PLC. Kuna antud valdkonnas on valik tohutult lai ja võrdlemisi lihtsa juhtimissüsteemi puhul on praktiliselt kõik enamlevinud kontrollid piisava arvu I/O pesadega, võib valiku teha põhinedes personaalsetel eelistustel.

PLC kontrolleriiks valiti autori eelistusel Siemens LOGO 8.

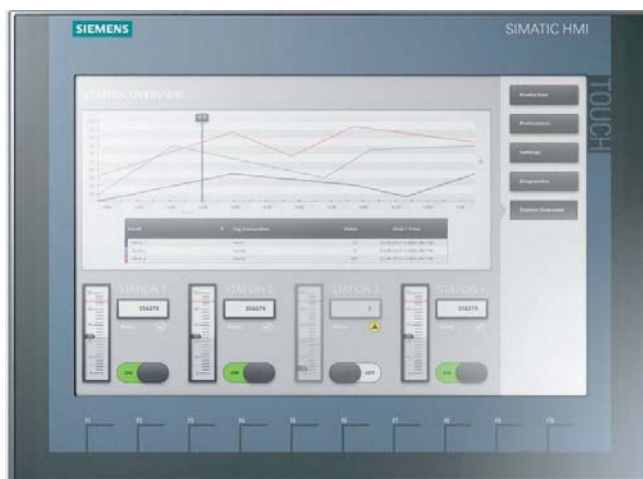
Parameeter	Väärtus
Kontrolleri tähis	LOGO! 12/24RC
Toitepinge	12/24 V
Digitaal inute	8
Digitaal outpute	4
Kommunikatsioon	IP/TCP, Ethernet, Serial Port(RS485, RS232), USB

Tabel 31 - Kontrolleri parameetrid



Sele40 - LOGO kontrolleri

Kasutajaliidese ehk HMI puhul on valiku kriteeriumiks piisavalt suur ekraan, piisav reolutsioon ja soovitatavalt ethernet ühilduvus kontrolleritega. Valikutest jäi sõelale Siemensi KTP1200 Basic 12 tolline puutetundlik paneel. HMI ülesanne on masina juhtimine teha kasutajale mugavaks ja lihtsasti arusaadavaks. Paneel on puutetundliku ekraaniga ja UI on võimalik ise kujundada. Projekti raames on paneelile planeeritud kolm UI keskkonda, millest ühes on võimalik masinat kalibreerida ja teha telgedele referentsid, teises ekraanipildis toimub masina X ja Z telje juhtimine ning kolmandas keskkonnas saab sisestada sportlaste nimed, nende kelgu kauguse eelistused ning hüppejärjekorra.



Sele41 - Siemens KTP1200 HMI

Parameeter	Väärtus
HMI tähis	6AV2123-2MA03-0AX0
Ekraani diagonaal	12 tolli
Mälumaht	128 MB flash, 64MB DDR
Pordid	Ethernet, COM1-3(RS485,RS232), USB H ja C,
Toide	24V DC
Paneeli ilmastikukindlus	IP 65
Voolutugevus	0,6 A

Tabel 32 - Juhtpaneeli parameetrid

Toiteploki ehk PSU valikul tuleb lähtuda terve süsteemi kasutatavast pingest ja voolutugevusest. Kuna sisendvool on 220-240VAC, kuid komponendid töötavad kõik 24VDC, tuleb kasutada toiteploki. Toiteploki valikul peab arvestama süsteemi maksimaalset voolutugevust, mille saame arvutada

$$\Sigma I_{sys} = (4 \cdot I_{step}) + (2 \cdot I_{plc}) + I_{hmi} , \quad (3.1)$$

Kus, ΣI_{sys} – On süsteemi summaarne voolutugevus [A]

I_{step} – Stepper mootori maksimaalne voolutugevus

I_{plc} – Kontrolleri maksimaalne voolutugevus

I_{hmi} – HMI maksimaalne voolutugevus

Arvutan vajaliku voolutugevuse $\Sigma I_{sys} = (4 \cdot 5) + (2 \cdot 1,5) + 0,6 = 24,4A$

Valin sobilikuks toiteploki Mean Well toiteploki RSP-750-24, mille väljundpinge on 24VDC, võimsus 750W ja maksimaalne voolutugevus 31,3A.

Järgnevalt on välja toodud juhtimissüsteemi toite ja funktsiooniskeemid:

3.3. Kasutajaliides

Kasutajaliidestest ehk ekraanipiltidest on planeeritud kolm põhilist töökeskkonda:

- Seadme häälestus ja kalibreerimine
- Hüppajate andmebaas koos eelistatud parameetritega
- Stendi juhtimine

Esimesel ekraanipildil saab kasutaja stendile teha ära referents liikumise, mille käigus mootorid selgitavad välja oma töösuuna vastavalt sellele, milliselt induktiivandurilt nad esimesena signaali saavad. Järgmisena saab kasutaja täpishäälestada stendi lati kõrguse vastavalt võistlusteks kasutatava lati läbipaindele. Selleks saab kasutaja tõsta lati enda määratud kõrgusele, teha stendil füüsilised mõõtmised ja viia süsteemi sisse parandusarvu, mida arvestades kuvatakse edaspidi reaalsed kõrgused. (Näiteks: Stend tõstetakse 300 cm kõrgusele, latt paindub keskelt läbi 1 cm, kasutaja sisestab kalibreerimise keskkonnas, et reaalkõrgus on hetkel 299 cm, süsteem võtab selle arvesse ja kirjutab kuvatava mõõte vastavalt parandustegurit arvestades.

Teine ekraanipilt on mõeldud hüppajate andmete sisestamiseks. Keskkonnas saab paika panna hüppaja eelistatud posti kauguse null joonest, mis läbi stendi operaator ei pea igakord stendi ise ümber liigutama. Samuti seatakse antud keskkonnas ülesse hüppajate järjekord ning algkõrgus.

Kolmandas ekraanipildis toimub stendi juhtimine. Kui hüppajate järjekord ning algkõrgused ning iga hüppaja personaalne postide kaugus 0-joonest on sisestatud, jääb stendi operaatoril ainsaks ülesandeks märkida iga hüppaja juures, kas katse sai sooritatud või ei. Katse mittesooritamise korral tuuakse lathoidjad alla, et oleks võimalik latt uuesti üles seada. Sooritatud katse korral salvestab süsteem soorituse ning liidab määrab hüppajale järgmise kõrguse (+5 cm kaupa). Antud keskkonnas saab operaator ka ette programmeeritud stsenaariumitest sõltumata ka iseseisvalt otsuseid teha (Näiteks kui sportlane sooritab katse, kuid riivab latti) saab operaator kutsuda lati alla, selle uuesti paika seada ja järgmise hüppaja kõrgusele tagasi saata. Samuti kui sportlase eelistus võistluse käigus lati asendist muutub, on võimalik uus eelistus nii andmebaasi sisestada kui ka jooksvalt seda seadistada. Samuti on võimalik maailmarekordi üritus, kus latti tõstetakse 1 cm kaupa.

3.4. Stendi juhtimismoodul ning automaatjuhtimisel stendi visualisatsioon

Stendi juhtimiskeskuseks on juhult koos kasutajaliidese ja automaatika komponentidega Sele 44.

Juhtpuldi korpus on valmistatud klaasplastist, korpuse sisse on paigutatud IP 67 ilmastikukindlusega automaatika kilp, millesse on paigutatud kaks samm-mootori võimendit, kaks loogikakontrollerit, toiteplokk, sulavkaitse, kasutajaliidese paneel, stopp nupp ning kiirkinnitus pesad stendist tulevate mootorite ja andurite juhtmestiku kiireks ühendamiseks. Stendi kõrgus on projekteeritud selliselt, et inimene saaks sellega istudes opereerida.

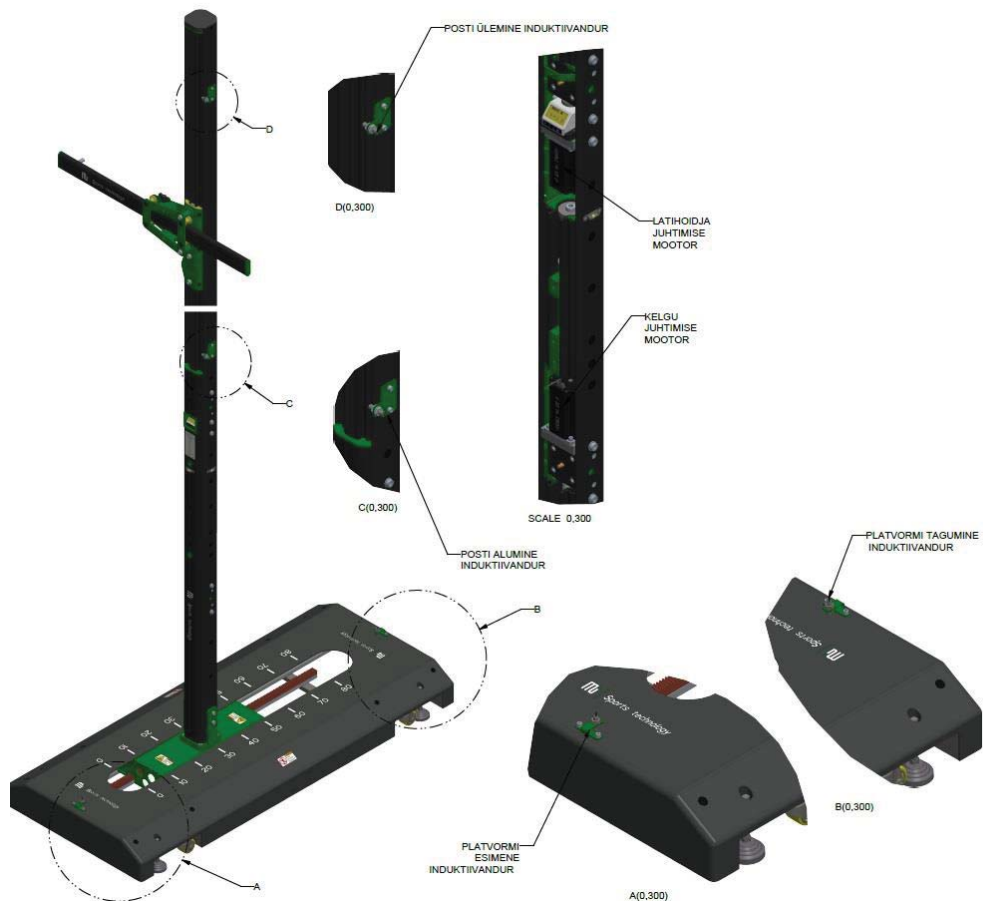
Stendi põhiosa, ehk postid ja alusplatvorm, on eelnevalt projekteeritud selliselt, et sinna oleks hõlpsasti võimalik kinnitada samm-mootorid ja induktiivandurid. Alusplatvormile paigutatakse kaks induktiivandurit mõlemale platvormile, mis asetsevad kelgu teekonna lõppudes (vastavalt 0 ja 800mm).

Samuti on kaks induktiivandurit ülemisel postil, mis asetsevad maapinnast 2000mm ja 6400mm kõrgusel.

Induktiivandurid toimivad teekonna lõpplülititena. Mootorid on peidetud postide alumiinium profiilide sisse, et stendi väljanägemine oleks sihvakam ning sportlastel oleks väiksem oht end vigastada. Stendi posti ja alusplatvormi visualisatsioon Sele 45.



SELE 44 - Juhtimispuul



SELE 45 - Automaatjuhtimisel stand

4. MAJANDUSLIK OSA

Antud peatükis on antud põgus ülevaade stendi tootmiseks vajalikest toormistehnoloogiatest, eelarvestatud on prototüübi ehituse eeldatav maksumus ja eelarvestatud väikeseeria tootmise eeldatav maksumus.

Stendi komponentide tootmiseks vajalikud tehnoloogiad on:

- Alumiiniumi ekstrudeerimine
- Treimine
- Freesimine
- Traaterosioon lõikus
- Laserlõikus
- Lehtmetalli painutamine

Stendi koostamisel on kasutusel põhiliselt kaks peamist tootmistehnoloogiat: keevitamine ja käsikoostamine.

Komponendid on projekteeritud selliselt, et neid oleks võimalik toota Eesti erinevates masinaehitus ja metalli töötlemisega tegelevates ettevõtetes allhanke korras. Keevituse ja koostamise on planeerinud MI ise teostada.

Lisaks detailide ja koostude valmistamiseks on allhanketöona planeeritud võtta ka alumiiniumdetailide anodeerimine, terasdetailide epo-värvimine ning kuumtsinkimine.

Planeeritavate allhanketöödega saab Eestis tegutsevate ettevõtetega koostöös kõik asjad peale alumiiniumi ekstrudeerimise kohapeal valmistada. Alumiiniumi ekstrudeerimisel saab koostöös SAPA või Alumecoga ekstrudeerida profiilid kas Poolas või Rootsis.

4.1. Prototüübi eelarvestuslik hind

Katsenäidise eelarvestusliku hinna juures on lähtutud alamkoostude orienteeritava maksumuse eelarvestamisest. Koostude kogus on arvestatud stendi paari katsenäidise tootmiseks.

Esimese etapina on eelarvestatud ülemiste tugipostide katsenäidiseks vajalike alamkoostude ja komponentide hinnad. Tabel 33.

Tähis	Nimetus	Liik	Mass [kg]	Kogus komplektis [tk]	Eelarvestuslik komplekti hind [Eur]	Märkused
M0302100-010-001	Ülemise posti profiil	Detail	20,21	2	262,7	Alumiiniumi ekstrusioon + anodeerimine
M0302100-016-000	Ülemise posti tugi	Alamkoost	5,33	2	166,3	Laserlõikus, lõiketöötus, keevitus, värvimine
M0302100-015-000	Mõõtelugeja + reduktor	Alamkoost	1,13	2	420	Mõõtelugeja + reduktor, koostamine ja detailide valmistus
M0302100-010-002	Ülemise posti kaas	Detail	0,41	2	5,33	Alumiiniumi ekstrusioon + anodeerimine
M0302100-010-004	Mõõtelugeja kaas	Detail	0,01	2	6	3D printimine
M0302100-012-000	Profiili kork	Alamkoost	0,24	2	78	Lõiketöötus + ostukomponendid + koostamine
M0302100-014-005	Kruvivõlli puks	Detail	0,13	2	18,9	Treimine
M0302100-011-001	Kruvivõll	Detail	2,49	2	257,4	Ostutoode
M0302100-010-003	Klamber	Detail	0,04	2	8,56	Laserlõikus + painutus
M0302100-013-000	Latihoidja kelk	Alamkoost	0,98	2	94	3D printimine, lõiketöötus, käsikoostamine
M0302100-X00-001	Juhtmekork	Detail	0,01	2	7	3D printimine
GN-2282-00	Vesilood	Detail	0,01	8	28	Ostukomponent
M0302100-050-00R+L	Latihoidja vasak ja parem	Alamkoost	1,54	2	127	Laserlõikus, keevitus, käsikoostamine, värvimine
Kleebised ja logod	Komplekt	Detail	-	2	20	Trükkimisteenus
Kinnitusvahendid	Komplekt	Detailid	-	2	50	Ostutooted
M0302100-010-000 – Ülemise tugiposti paari eelarvestuslik katsenäidise maksumus:					Σ = 1549,2	

Tabel 33 - Ülemise tugiposti katsenäidise eelarvestuslik maksumus

Teise etapina on eelarvestatud alumise tugipostide katsenäidiseks vajalike alamkoostude ja komponentide hinnad, tabel 34.

Tähis	Nimetus	Liik	Mass [kg]	Kogus komplektis [tk]	Eelarvestuslik komplekti hind [Eur]	Märkused
M0302100-020-001	Alumise posti profiil	Detail	2,3	2	29,9	Alumiiniumi ekstrusioon + anodeerimine
M0302100-021-000	Alumise posti tugi	Alamkoost	5,18	2	153,6	Laserlõikus, lõiketöötus, keevitus, värvimine
M0302100-025-000	Alumine tugiklots	Alamkoost	1,01	2	135,8	traaterosioonlõikus, freesimine, käsikoostamine + ostukomponendid
M0302100-014-000	Reduktor	Alamkoost	0,48	2	258	Lõiketöötus + koostamine
M0302100-021-010	Reduktori klamber	Detail	0,07	2	6	Laserlõikus + painutus
M0302100-020-002	Alumise posti kaas	Detail	0,52	2	6,76	Alumiiniumi ekstrusioon + anodeerimine
M0302100-022-003	Reduktori ülemineku võll	Detail	0,06	2	8,5	Treimine
M0302100-022-001	Võll	Detail	0,62	2	27,8	treimine
M0302100-022-004	Puks	Detail	0,14	2	14,3	Treimine ja stooimine
M0302100-X00-001	Juhtmekork	Detail	0,01	2	7	3D printimine
Kleebised ja logod	Komplekt	Detail	-	2	20	Trükkimisteenus
Kinnitusvahendid	Komplekt	Detailid	-	2	32	Ostutooted
M0302100-020-000 – Alumise tugiposti paari eelarvestuslik katsenäidise maksumus:					Σ = 699,66	

Tabel 34 - Alumise tugiposti katsenäidise eelarvestuslik maksumus

Kolmanda etapina on eelarvestatud alusplatvormide katsenäidiseks vajalike alamkoostude ja komponentide hinnad, tabel 35.

Tähis	Nimetus	Liik	Mass [kg]	Kogus komplektis [tk]	Eelarvestuslik komplekti hind [Eur]	Märkused
M0302100-034-001	Alusplatvormi raam	Alamkoost	31,8	2	604,2	Keevitus, käsikoostamine, ostukomponendid, terasdetailidele kuumtsinkimine
M0302100-031-000	Vanker	Alamkoost	21,8	2	370,6	Keevitus, lõiketöötus, käsikoostamine, ostukomponendid ja värvimine
M0302100-031-002	Otsaplaadid	Detail	0,9	4	17,28	Laserlõikus + värvimine
M0302100-036-000	Katteplaat	Detail	5,2	2	150	Klaaskiud vaakumvormimine + värvimine
Jalad ja rattad	Komplekt	Detailid	-	2	176	Ostukomponendid, jalgade ja rataste komplektid
Kleebised ja logod	Komplekt	Detail	-	2	35	Trükkimisteenus
Kinnitusvahendid	Komplekt	Detailid	-	2	74	Ostutooted
M0302100-030-000 – Alusplatvormi paari eelarvestuslik katsenäidise maksumus:					Σ = 1427,08	

Tabel 35 - Alusplatvormi katsenäidise eelarvestuslik maksumus

Eelarvestuslikul on saadud stendi mehaanika osa katsenäidise maksumuseks 3675,96 Eur.

Sinna lisandub veel orienteeruvalt 3000 Eur. Alumiinium ekstrusiooni vormide ja klaasplasti vormide valmistamise kulu, mis on ühekordne investeering.

Arvestades, et väikeseeria tootmisel on võimalik orienteeruvalt 40% hinnavõit võrreldes katsenäidisega (eeskätt seadistusaegade ja partii suhte ning suuremate ostukoguste puhul transpordi ning koguselise soodustuse saamine). Sellest lähtuvalt saab oletuslikult ennustada, et väikepartii oleks käsijuhtimisel baastoote hinnaks ligikaudu 2200 Eur. See võimaldaks toodet müüa orienteeruvalt 3500 euroga komplekt.

Automaatika osa katsenäidise eelarvestus on toodud tabelis 36.

Tähis	Nimetus	Liik	Kogus komplektis [tk]	Eelarvestuslik komplekti hind [Eur]	Märkused
ELA-4030135-IP65-67	Automaatika kapp	Komponent	1	185	Valmis ostutoode
80SD100XD-C011-01	Samm-mootori võimendi	Komponent	2	564	Valmis ostutoode
Logo 8 PLC	Kontroller	Komponent	2	156	Valmis ostutoode
RSP-750-24	Toiteplokk	Komponent	1	86	Valmis ostutoode
KTP1200-Basic	HMI kasutajaliides	Komponent	1	980	Valmis ostutoode
Klaasplast korpus	-	Alamkoost	1	350	Allhanke toodang
Samm mootorid	Mootorid	Komponendid	4	412	Valmis ostutoode
Tarvikud	-	Komponendid	1	500	Juhtmed, induktiivandurid, nupud ja muud komponendid
M0302100-080-000 – Automaatika mooduli eelarvestuslik katsenäidise maksumus:				Σ = 3233	

Tabel 36 - Automaatika mooduli eelarvestuslik katsenäidise maksumus

Automaatika osa hind on esialgu päris kõrge, kuid tõenäoliselt õnnestub suuremate koguste puhul ka seda hinda 20-30% ulatuses alla saada.

Üldjoontes saab öelda, et toote seeriatoodangu puhul on turule minekuks hinnanguliselt kõik eeldused olemas. Kindlasti tuleb pärast katsenäidise testimist teha mõningad muudatused ning optimeerimised, mistõttu ei ole hetkel täpset seeriatoodangu hinda võimalik arvestada.

KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli projekteerida Eestis väljaarendatud ja tuleviksu toodetav teivashüppe stend. Töö käigus projekteeriti konstruktiivne lahendus teivashüppe stendile nii käsi- kui ka automaatjuhtimiseks. Antud töö peatükid kajastavad peamiselt mehaanika osa projekteerimist ja mehaanika lahenduste väljapakkumist, kuid samas tutvustatakse põgusalt ka juhtimissüsteemi ülesehitust ja automaatika komponentide valikut.

Stendi töökäik käsijuhtimisel on vahemikus 1,95 kuni 6,45 meetrit, automaatjuhtimisel 2 kuni 6,40 meetrit.

Stendi kogumass on 105 kilogrammi käsijuhtimisel ja 107 kilogrammi automaatjuhtimisel.

Automaatjuhtimise tarbeks sai eskiislahendusena loodud juhtimismoodul koos puutetundliku ekraaniga. Stendi projekteerimise käigus loodi võrreldes konkurentidega uudne tõstemehhanism kruvivõlli näol. Usutavasti peaks alumiiniumist kruvivõll parandama stendi töökindlust ja tagama täpsema ja hooldusvabama töö. Samuti projekteeriti stendi alusplatvorm, mille juhtimine käib läbi tugiposti (nii käsi kui ka automaatjuhtimine). Töö käigus loodi samm-mootoritele posti profiili sisse pesad, et automaatrežiimil töötava stendi puhul ei oleks tarbetult väljaulatuvaid detaile ja osasid, millega kokkupõrkel võib sportlane ennast vigastada või inventari lõhkuda.

Automaatjuhtimise jaoks loodi kolme kasutajaliidese ekraanipildi kontseptsiooni kirjeldus.

Tulevikku silmas pidades, saab esimesed järeldused ja parandused teha katsenäidise valmistamise järel. Hetkeseisuga on näiteks mootorite maksimaalseid töörežiime keeruline ette ennustada, kuna täpselt ei ole teada kruvivõlli maksimaalse pöörlemissageduse karakteristikuid.

Projekteeritud lahendused erinevad konkurentide omast ja toovad stendide ehitusse nii mõnedki uuendused. Järgmise etapina jätkatakse prototüübi ehitusega ning seeriatoodangusse jõuab stend loodetavasti lähema kahe aasta jooksul.

SUMMARY

The aim of this Master's thesis is to design a solution for automated pole vault stand, that meets all requirements given by IAAF and also brings some innovative and new ideas into this range of products. Pole vault stand is divided into three major parts:

- Upper foldable upright
- Bottom foldable upright
- Base

Upper foldable upright holds major part in this product design. On this upright, crossbar holders, manual crank, digital measuring unit and stepper motor is attached. Main design criteria is lifting element that rises and lowers crossbar holders. In order to achieve that, new solution compared to main competitors was introduced. Designed solution is maintainance free leadscrew with selflubricating polymer guide bushings. Advantages of this kind of mechanism is to reduce belt wear, reduce weight compared to chain drive and to guarantee better accuracy of the whole system. Due to leadscrew mechanism also custom aluminum profile was developed to house all the necessary parts.

For bottom upright, key design criteria was that base cart should be locked and driven through bottom profile. Reason for this is to save pole vault operators time and give them more ergonomical position when locking and unlocking manually driven pole vault stand. For motor driven stand, the same module can be used to operate with stepper motor.

For base, design idea was to make legs adjustment more ergonomical, so operators who set up stand, can adjust legs level on top of base, instead rotating legs underneath the base. Reason for this is that when base is set to correct position and uprights are mounted, operators can adjust legs without moving heavy base and therefore can see water levelers attached to post to get guidance on what legs should be adjusted to get perfect perpendicularity of posts relative to ground.

Automated operating was designed to be done by one human via specially designed operation stand, where controllers and stepper drivers are located. Stand control is done via human machine interface touch screen, where user can calibrate stand, enter jumpers and their preferred upright positions from 0 line and also to operate height.

Chapters covered mechanical design, electrical and automation concept design and user interface descriptions. Also precalculation of prototype price was made.

In conclusion, this Master's thesis was successful on tackling problems that were set up and outcome is constructive design of new automated and also manually operatable polevault stand.

Author of this thesis hopes that this stand will go into serial production in a couple of years.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] IAAF, „List of Certified Competition Track Equipment,“ 01 April 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.iaaf.org/about-iaaf/documents/technical>.
- [2] IAAF, „RULES & REGULATIONS, IAAF Competition Rules 2016-2017, in force from 1 November 2015,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.iaaf.org/about-iaaf/documents/rules-regulations>.
- [3] IAAF, „The Referee (IAAF Centenary Edition),“ June 2012. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.iaaf.org/about-iaaf/documents/technical>.
- [4] IAAF, „IAAF Technical Delegates Guidelines,“ December 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.iaaf.org/about-iaaf/documents/technical>.
- [5] „RMS,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://resilientmodeling.com/Pg01-12B_TOC.html.
- [6] „Wikipedia,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Men%27s_pole_vault_world_record_progression.
- [7] IAAF, „Pole Vault records,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.iaaf.org/records/by-discipline/jumps/pole-vault/outdoor/men>.
- [8] „Engineering Toolbox,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/factors-safety-fos-d_1624.html.
- [9] „Thomson NEFF Lead Screws,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.thomsonlinear.com/downloads/screws/Neff_LeadScrews_bruk.pdf.
- [10] „RB52-12-SST-304,“ Eles+Ganter, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.elesa-ganter.com/en/2/sp/9826/4/84/direct-drive-electronic-position-indicators-with-battery-power-supply/dd52r-e/eg/>.
- [11] j. Enn Hendre, Mehaanikainseneri Käsiraamat, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2013.
- [12] I. Talvik, „Tuulekoormus hoonetele,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.ttu.ee/public/e/ehitusteaduskond/Instituudid/Ehitiste_projekteerimise_instituut/Oppematerjalid/Projekteerimise_alused/Tuulekoormus_2010.pdf.
- [13] E. P. H. H. V. B. Eduard Brindfeldt, Täiturid tööstusautomaatikas, Tallinn, 2011.
- [14] B. Automation. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.br-automation.com>.
- [15] S. I. T. N. Zvezditsa Nenova, „Andurid Tööstusautomaatikas,“ 2011.
- [16] S. J. Aldeniz Rashidov, „Tööstuslikud võrgud ja liidesed automatiseerimissüsteemis,“ 2011.
- [17] M. Purde, Tolerantsid ja istud, 2005.

LISAD

Lisa 1 – Sendi visualisatsioonid

Lisa 1.1. M0302100-000-AUT – Polevault stand set automatic (teivashüppe stand automaatjuhtimisel)

Lisa 1.2. M0302100-000-MAN - Polevault stand set manual (teivashüppe stand käsijuhtimisel)

Lisa 2 – Tehnilised joonised

Lisa 2.1. M0302100-010-000 – Top upright assembly (Ülemise posti koostejoonis)

Lisa 2.2. M0302100-012-000 – End cap assembly (Posti korgi koostejoonis)

Lisa 2.3. M0302100-013-000 – Slider assembly (Latiheidja kelgu koostejoonis)

Lisa 2.4. M0302100-013-001 – Guide bushing (Juhtpuks)

Lisa 2.5. M0302100-014-000 – Bevel gearbox (Reduktor)

Lisa 2.6. M0302100-014-001 – Gearbox base (Reduktori põhi)

Lisa 2.7. M0302100-015-000 – Measuring unit assembly (Mõõteagregaadi koostejoonis)

Lisa 2.8. M0302100-016-000 – Top upright support (Ülemise posti tugikonstruktsioon)

Lisa 2.9. M0302100-016-007 – Joint shaft (Liigendi võll)

Lisa 2.10. M0302100-020-000 – Bottom upright (Alumise posti koostejoonis)

Lisa 2.11. M0302100-021-000 – Bottom upright support (Alumise posti tugikonstruktsioon)

Lisa 2.12. M0302100-030-000 – Base module assembly (Alusplatvormo koostejoonis)

Lisa 2.13. M0302100-033-000 – Cart frame (Vankri raam)

Lisa 2.14. M0302100-034-001 – Leg frame (Alusplatvormi raam)

Lisa 2.15. M0302100-050-00L – Crossbar holder left (Vasaku poole latiheidja)