



Jaak Kortel

LAULUVÄLJAKU DIRIGENDIPULDI REKONSTRUEERIMINE

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Masinaehitus

Juhendaja: Tavo Kangru, PhD

Tallinn 2024

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Jaak Kortel

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

LAULUVÄLJAKU DIRIGENDIPULDI REKONSTRUEERIMINE

- 1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
- 2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autorideklaratsioon

Mina, Jaak Kortel

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja Tavo Kangru

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäevad digiallkirjades)

SISUKORD

SISUKORD.....	3
SISSEJUHATUS	4
1. OLUKORRA ANALÜÜS	5
1.1. Taust	5
1.2. Hetkeolukord	7
1.2.1. Puitosad	7
1.2.2. Metallosad	8
1.3. Käideldavus	10
2. DIRIGENDIPULDI REKONSTRUEERIMINE	12
2.1. Lähteülesanne	12
2.2. Eeltingimused	12
2.3. Arvutuskäik	13
2.4. Projekteerimine	16
3. TRANSPORDIALUS	20
3.1. Lähteülesanne	20
3.2. Eeltingimused	20
3.3. Arvutuskäik	21
3.4. Projekteerimine	25
4. MAJANDUSLIK OSA	29
KOKKUVÕTE	31
SUMMARY	32
VIIDATUD ALLIKAD.....	34
LISA 1 TELESKOOPMEHCHANISM	
LISA 2 TRANSPORDIALUS	

SISSEJUHATUS

Käesolev lõputöö analüüsib 2019.a. juubeli Üldlaulu- ja Tantsupeo tarbeks valminud uue dirigendipuldiga seonduvaid probleeme ja pakub välja vastavad rekonstruktsiooni ning parenduse lahendused.

Lõputöö teema on ajendatud Eesti Laulu- ja Tantsupidu SA (ELTSA) poolt autorile tehtud problemlahenduse leidmise soovist, kuna autor on ka varasemalt olnud ELTSA'ga seotud erinevate projektlahenduste väljatöötamisel ja realiseerimisel. Näiteks 2009. a Tantsupeole staadioni dekoratsiooniks valminud "Puri", 2019. a peotule transpordiks mõeldud sümbolsete tõrvikute rekonstruktsioon, klaaskupliga gaasilaternate valmistus ning sümbolse Laulu- ja Tantsupeo tule tehniline transpordilahendus, samuti 2023. a uue dirigendipuldi amortiseerunud puitosade alternatiivlahendus.

Lõputöö eesmärgiks on töötada välja dirigendipuldi ülemist platvormi tõstvate lineaarlaagritel ja V-relssidel teleskoopmehhanismile alternatiivne lahendus, mis oleks lihtsam ning töö- ja ilmastikukindlam.

Samuti on eesmärk välja töötada paindlik ratastel transpordilahendus, millega saaks üpris rasket ja ebasümmeetrilise raskuskeskmega dirigendipulti liigutada ilma kraanatõste abita ning mis annaks võimaluse paigutada dirigendipulti edaspidi laulukaares esisel alal mujale kui vaid algselt asfaltkatte alla projekteeritud betoonplaadile.

1. OLUKORRA ANALÜÜS

1.1. Taust

Eelmiseks 2019.a. juubeli Üldlaulu- ja Tantsupeoks valmis uus dirigendipult [1]. See vahetas välja varasema, 1960. aastal valminud puldi, mis oli juba oma vanuse kohta üpris amortiseerunud [2].

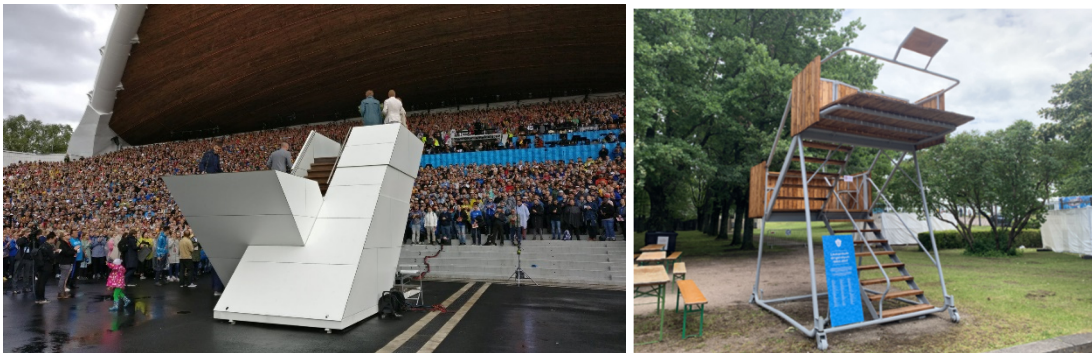


Foto 1. Uus dirigendipult [3] vs vana dirigendipult [2]

Uue dirigendipuldi valmistuseks kuulutasid Eesti Laulu- ja Tantsupeo SA koos Eesti Arhitektuurikeskus MTÜ'ga 2018.a. välja ideekonkursi [4], kus lähteülesandes oli märgitud:

„Dirigendipuldi kavandamisel tuleks lähtuda järgmistest märksõnadest:

- Esinduslik väljanägemine kõigilt külgedelt
- Sümbolväärtus
- Kompaktsus
- Funktsionaalsus
- Turvalisus
- Vandalismikindlus
- Ilmastikukindlus
- Teisaldatavus
- Stabiilsus

.... „ [4, p. 3]

Samuti oli lahenduse väljatöötamise nõudeks, et: "Dirigendipuldi asukoht on platsil Tallinna Lauluväljaku laulukaares. Pidude vahelisel ajal hoiustatakse ja eksponeeritakse dirigendipulti Lauluväljaku avalikul alal varikatuse all, täpsem asukoht leitakse koostöös SA'ga ELT ja SA'ga Tallinna Lauluväljak. Pult ei pea olema demonteeritav ega transporditav Lauluväljaku territooriumilt väljaspoole." [4, p. 3]

Selle konkursi võitis töö nimega "Risttee", mille autoriks oli disainer Andres Truus [5].

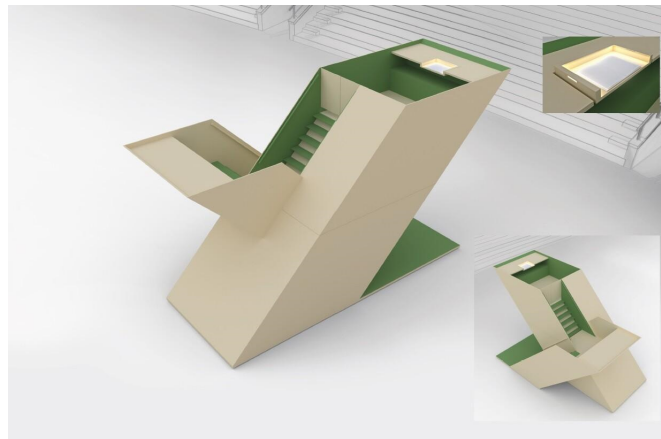
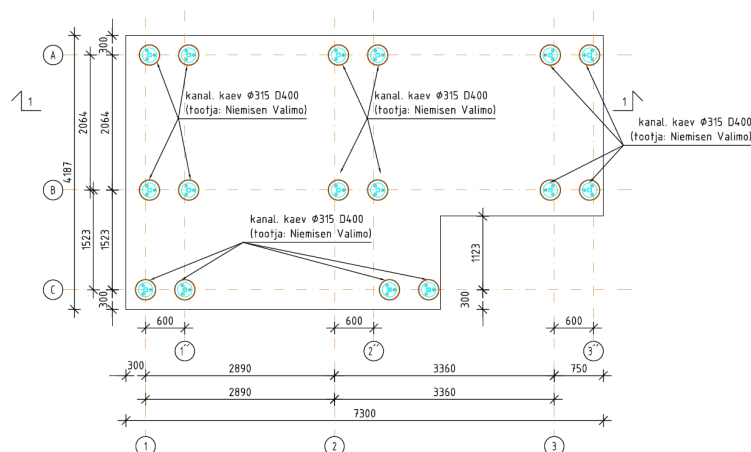


Foto 2. Ideekonkursi võidutöö [5]

Dirigendipulti iseloomustati selle väliselt minimalistliku välimuse taga peituva funktsionaalsusega: võimalusega pulti teleskoopmehhanismi abil pikendada. Samas vajas see aga laulukaare ette paigaldamisel asfaltkatte alla rajatud betoonvundamendi külge ankurdust, et dirigendipult oma pika väljaulatuva osaga üle tasakaalupunkti ei kalduks ning puldist juhatavale dirigendile või ka kaare ees seisvatele lauljatele ohtlikuks ei muutuks. Selleks projekteeris Est Inseneribüroo OÜ [6] eraldi betoonplaadi, mis valati asfaltkatte alla ja mis võimaldas dirigendipulti paigaldada kahele erinevale kaugusele (0,6m vahega) laulukaarest.



Joonis 1. Vundamendi joonis [6]

Peale esmast kasutust teisaldati dirigendipult lauluväljaku teenindustsooni, kus see siis ilma katteta seisis üle kolme aasta välitingimustes kuni järgmise kasutuse korrani Noorte Laulu- ja Tantsupeol 2023.a.

1.2. Hetkeolukord

1.2.1. Puitosad

Ilmastikuoludega arvestamine (või siis mitteamarvestamine) sai olemasolevale lahendusele saatuslikuks, sest valmistusprotsessi käigus kas ei märgatud või ei peetud vajalikuks tingimust "Ilmastikukindlus" jälgida, igatahes peale 3 aastat väitingimuste käes seismist hävines dirigendipuldi puitosa pea täielikult. Probleem seisnes selles, et puitmaterjalina kasutati liimpuitkilpe, mis kaeti vaid õhukese toonitud lakiga (arvamus pärineb autori poolsest tulemuse vaatlusel), mis ei hoidnud ära puitosade läbimärgumist ega külmaga liimitud ühenduskohtadest lahti rebenemist.

Sellega seoses sai 2023.a. Noorte Laulu- ja Tantsupeoks vahetatud välja kogu puitkate. Seda siis nii dirigendipuldi alumise terrassi, keskmise kui ka ülemise platvormi puitpõrandad, samuti keskmise ja ülemise platvormi lauapaadid ning kõige mastaapsem osa – treppide laudis. Lõputöö autor koostas eraldi projekti "Astmetoe läbipaine" [7], kus arvutas välja trepiastmete asendamisel ilmastikukindla plastprussidega nende vajalike teraslehtedest tugevate kujud, materjali paksused ning koormustaluvused.

Ka teostas lõputöö autor muude amortiseerunud puitdetailide asendamise plastprussidega, mille parameetrid ja kogused kooskõlastati ettevõtmist materjaliga toetanud firmaga Neular OÜ.

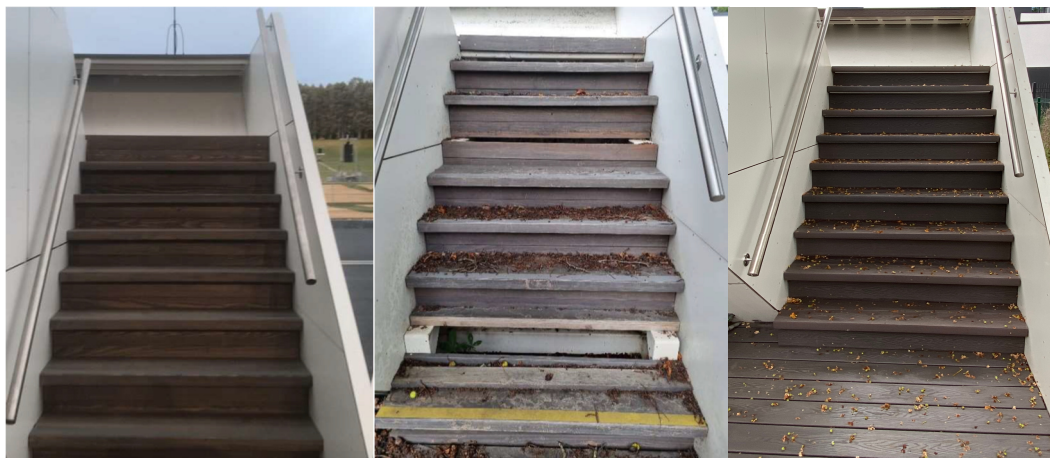


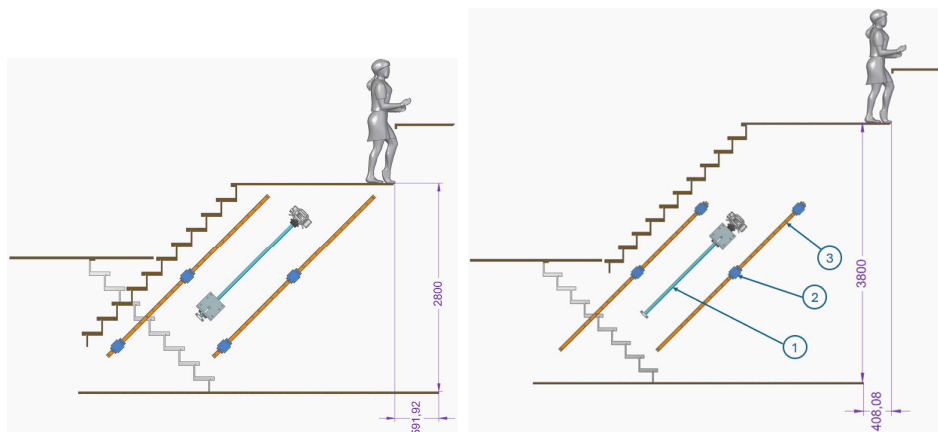
Foto 3. Trepp valmimisaastal 2019, 2023 enne ja peale rekonstruktsiooni (autori erakogu)

1.2.2. Metallosad

2019.a. juubeli Laulu- ja Tantsupeoks valminud dirigendipult oli projekteeritud vastamaks tingimusele "ilmastikukindlus", ehk selle metallosad vastasid keskkonnaklassile C3 [8].

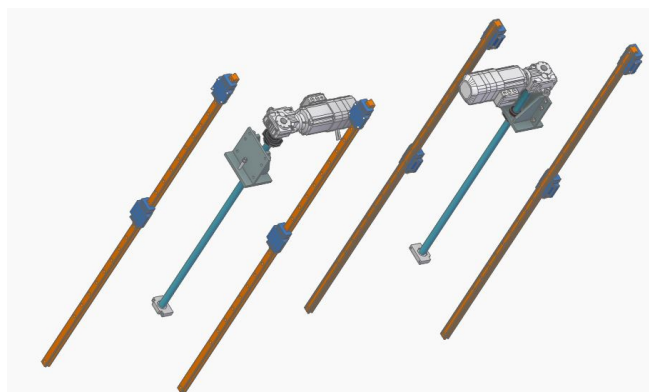
See tingimus oli ka puldi juures suuremas osas täidetud väljaarvatud dirigendipuldi teleskooptõstemehhanism (ja juba eelpool mainitud puitosad).

Tõstemehhanism (Joonis 2) kujutab endast kahe trapetskeere-kruviga (Joonis 2. märk 1) liigutatavat ja lineaarlaagritel (Joonis 2. märk 2) ning täppis V-relssidel (Joonis 2. märk 3) liikuvat mehhanismi, millega saab dirigendipuldi ülemist konsoolset platvormiosa liigutada aluse suhtes 1m jagu väljapoole, tõstes sellega ülemise osa kõrgust maapinnast ning muutes sellega ülemisel platvormil seisja kaugemalt nähtavaks.



Joonis 2. Platvormi tõstemehhanismi asendid [9]

Algses projektis oli , et suurte liikuvate osade täpseks suunatud liikumiseks kasutatakse üldiselt üht põhilist jäika laagritele toetatud pinda (mis jätab vaid 2 vabadusastet), ülejäänud laagripinnad on vaid koormuse vähendamiseks. Olemasolev mehhanism oli üles ehitatud aga (nelja vabadusastet piiravale) V-relssidele (Joonis 3).



Joonis 3. Tiguaajamid ja V-relsid [9]

Kuigi relsid olid paigaldatud paralleelselt, siis nii suure keeviskonstruktsiooni puhul sellist täpsusklassi, nagu konkreetselt ettenähtud V-relsside puhul oli nõutud (paralleelsus kahe relsi vahel *max* 0,7mm [10, p. 46]), saavutatud ei olnud. Seda oli näha juba esimesel kasutusel, kui tõstemehhanism kippus kinni kiiluma ja üks tiguajami mootoritest väändus oma reduktori tugijalast igakordsel käitamisel ohtlikult viltu (Foto 4).



Foto 4. Tõstemootorid (autori erakogu)

Kuna peale metallraami pidanuks ka muud komponendid vastama keskkonnaklassile C3, siis nii kruvimehhanism kui lineaarlaagrid koos V-relssidega oleksid pidanud olema kas kaitstud vee ja niiskuse eest või olema valmistatud ilmastikukindlast materjalist nagu roostevaba teras või plast.

Seda aga kahjuks järgitud ei olnud, seega 3 aastaga olid kõik V-relsid kattunud paksu roostekihiga, samuti lineaarlaagritesse sisse voolanud vesi oli laagrid kinni roostetanud. Lisaks veel pealt lahtisele asendile, oli laagritesse sattunud ka relssidele pudenenud laagreid rikkuvat prahti (Foto 5).



Foto 5. Riknenud lineaarlaagrid ja V-relsid (autori erakogu)

1.3. Käideldavus

1960.a. valminud minimalistliku dirigendipuldi asemele projekteeritud ja valmistatud uus pult kaalub umbes 25 korda rohkem (u. 300kg vs 7500kg) ning selle transport ei toimu mitte mööda maad veeretades, vaid dirigendipult tuleb ladustusplatsilt kraanaga tõsta platvormveokile ning transportida laulukaare ette, kus see siis taas kraanaga paika tõstetakse.

Ebasümmeetrilise raskuskeskme tõttu on selle transport aga ohtlik, sest esiteks vajab dirigendipulti tõstev kraana horisontaalset lisapoomi, sest ainult nii saab kahele poole pulti vigastamata vertikaalselt piki külgi tõstekette kinnitada, teiseks on ühel neljast ketist oluliselt suurem koormus, mis ikkagi viib dirigendipuldi ohtlikult kreeni. Esmastel tõstetel oli vastukaaluks valmistaja paigaldusmeeskond, kuid juba siis oli selge, et sellisel viisil transport on kõike muud kui ohutu nii paigaldajatele kui puldile (Foto 6).



Foto 6. Dirigendipuldi transport koos „vastukaaluga“ [11]

Kuna oma massi tõttu ei saanud seda pulti otse asfaldile asetada, siis projekteeriti dirigendipuldile vastav vundament, mis siis koosneb asfaltkatte alla valatud paksust betoonplaadist ning millest ulatuvad läbi asfaldi terasprofiilist looditud toed, millele omakorda dirigendipult igakordse peo eel asetatakse. See betoonplaat on ka dirigendipuldile vastukaaluks ja turvaelemendiks, et puldi väljaulatuv platvorm koos piisava arvu inimestega sellel üle oma raskuspunkti ei kalduks ega lauljate poole ümber ei kukuks (Joonis 2). Tegelikult aga oli tegemist optilise illusiooniga, kus väljaulatuv osa (puldi raam koos lauaga) jätab mulje, nagu oleks raskuskese üle alusraami esiserva.

Esimese kasutuskorra ajal sai ka selgeks, et see asfaltkatte alla valatud betoonplaat oli projekteeritud vastavalt vanale dirigendipuldi asukohale ning osutus astmetele liiga ligidal olevaks. Lisaks muutis puldist välja sõitev dirigentide platvorm asja halvemuse suunas, sest kõrgemaks tõstetud tasapind polnud enam mitte ainult kõrgemal, vaid ka väga ebamugavalt lähemal.



Foto 7. 2019.a. Üldlaulupeo ühendkoor (autori erakogu)

Fotolt (Foto 7) võib näha, et rohkema arvu lauljatega jääb uus dirigenditult üpris lauljate keskele, samuti jääb väljatõstetud platvormiga lava ette tühi ala, sest sealt pole üleval seisjat võimalik näha. Mida kaugemal asetseks dirigendipult laululavast, seda rohkem mahuks ette keskele seisma, ka ei peaks lava otstes seisvad lauljad olema küljega publiku poole, vaid saaks otsemini (näoga kuulajate poole) seista.

2. DIRIGENDIPULDI REKONSTRUEERIMINE

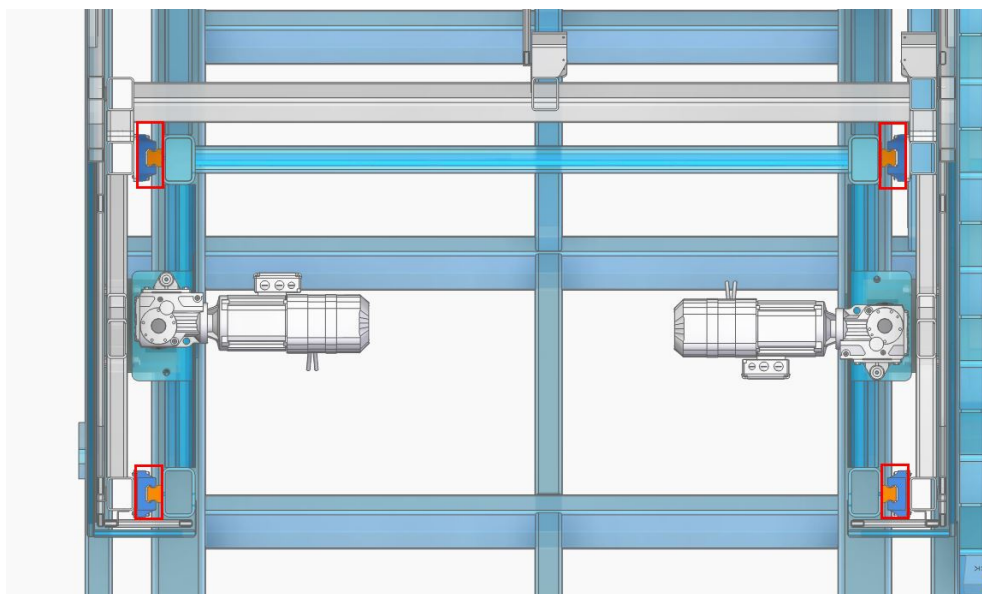
2.1. Lähteülesanne

Vastavalt taustainfole ja hetkeolukorrale projekteerida lahendus, mis asendaks dirigendipuldi amortiseerunud teleskoopmehhanismi.

2.2. Eeltingimused

Alternatiivse lahenduse väljatöötamisel on hulk kitsendusi, mis teevad lahenduse leidmise keeruliseks:

1. vajadus püsida vana lahenduse kubatuuris, sest olemasolev amortiseerunud laagrikoost on üpris väiksesse ruumi ära mahutatud (Joonis 4, punane tähistus);



Joonis 4. Mehhanismi paigutus [9]

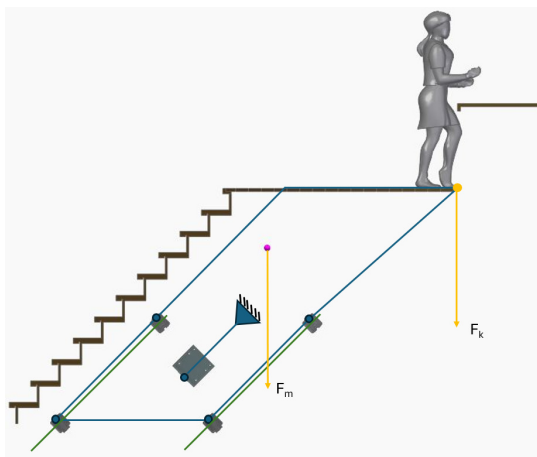
2. soov ära kasutada olemasolevaid avasid, kinnitamaks uut mehhanismi vanadest ühenduspunktidest. Teisisõnu võiks seda nimetada „retrofittimiseks”, kus uus lahendus peab sobituma täpselt vana asemele;
3. kasutatava materjali valik – see peab olema ilmastikukindel.

2.3. Arvutuskäik

Teadad olevad parameetrid:

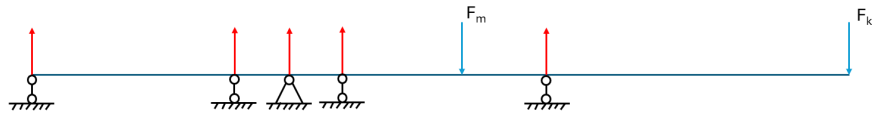
1. ülemise liikuva koostu ligilähedane mass 2367,3kg ja massikeskme asukoht ehk $F_m=23,22\text{kN}$ (algsest dirigendipuldi projektist) [8](Joonis 5).
2. ülemise platvormi kasuskoormus vastavalt EVS ehitusstandardile, lähtudes tingimusest, et dirigendipuldi ülemine platvorm liigitub gruppi C5: Rahvakogunemisteks ette nähtud ruumid (kontserdisaalid, tribüünidega spordisaalid, katuseterrassid, ühendusteel jne); kasuskoormustaluvusega $q_k=5\text{kN/m}^2$ [12].

Kuna ülemise platvormi pindala $S=5,5\text{m}^2$, peab projekteerimisel arvestama platvormile rakenduvat maksimaalset kasuskoormusega $F_k=27,5\text{kN}$.



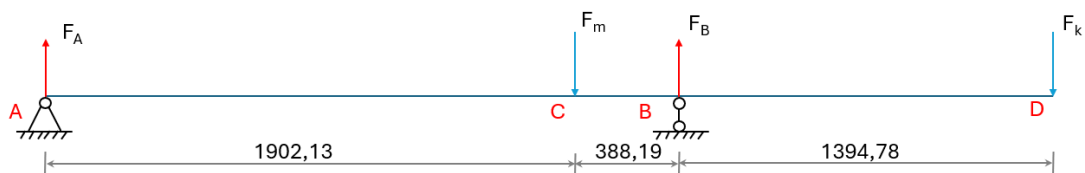
Joonis 5. Platvormile mõjuvad koormused [13]

Selgitamiseks välja, kui suure koormusega tuleb arvestada projekteeritavatele laagritele, sai projitseeritud erinevad laagrite toetuspunktid ja neile mõjuvad jõud horisontaalsele nõ lihttalale (Joonis 6).



Joonis 6. Lihttala koos toetuspunktidega

Kuna liikuva platvormi puhul on tegemist mitmele punktile toetuva asümmeetrilise raskuskeskmega konstruktsiooniga, siis on tegemist staatikaga määramatu konstruktsiooniga, mille igale laagrile mõjuva jõu väljaarvutamine eeldaks omaette uurimistööd. Samas mida rohkem on toetuspunkte, seda väiksemaks muutub igale üksikule laagrile jagunev koormus. Seega sai sobilikele laagritele langeva koormuse arvutusel võetud arvesse halvim koormuse jaotus laagrite suhtes ehk siis valitud said kõige äärmised laagrid (Joonis 7).



Joonis 7. Lihttalale mõjuvad jõud

Lähteandmed:

$$AC = 1902,13 \approx 1902 \text{ mm}$$

$$CB = 388,19 \approx 388 \text{ mm}$$

$$BD = 1394,78 \approx 1395 \text{ mm}$$

$$F_m = 23,22 \text{ kN}$$

$$F_k = 27,5 \text{ kN}$$

Vastavalt toereksioonide tasakaaluvõrrandile (1) [14, p. 30]

$$\Sigma F = 0 \Rightarrow F_A + F_B - F_m - F_k = 0, \quad (1)$$

kus F_A – Vasakpoolsele laagrile mõjuv jõud
 F_B – Parempoolsele laagrile mõjuv jõud,

saab arvutada laagritele mõjuva jõu paindemomendi M kaudu.

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow F_m * AC - F_B * AB + F_k * AD = 0$$

$$F_B = F_m \frac{AC}{AB} + F_k \frac{AD}{AB} = 19,29 + 44,25 = \mathbf{63,54kN}$$

$$F_A = F_m + F_k - F_B = 23,22 + 27,5 - 63,54 = \mathbf{-12,82kN}$$

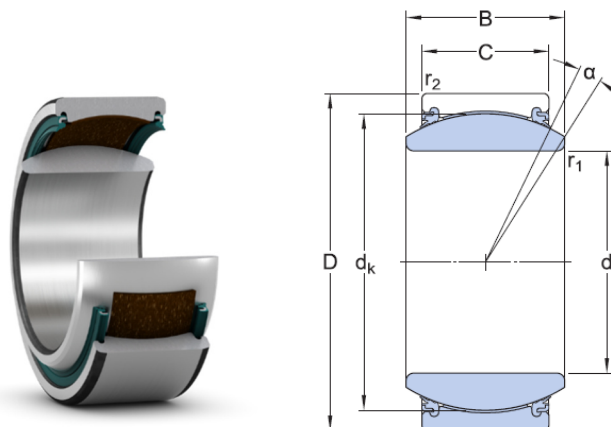
Tulemus näitab, et parempoolne laager (Joonis 7, punkt B) on kõige suurema koormusega (63,54kN). Samas kõige vasakpoolsemale laagrile (Joonis 7, punkt A) tekib täiskoormuse korral kerge tõstejõud (12,82kN). Ehk siis nn. tagumise laagripuki projekteerimisel tuleb arvestada lisaks ka tõstejõuga.

Nende arvutuste tulemused on kahekordse varuga, sest tegelik koormus ei lange vaid ühele platvormi poolele vaid jaotub võrdselt kahel pool paiknevatele laagritele. Lisaks on veel topelt arv vahepealses osa asetsevaid laagreid, millele samuti koormused ära jagunevad, seega välja arvutatud tulemusi võib edaspidi juba korraliku varuteguriga tulemusteks lugeda. Samuti ei ole platvormile langev standardi järgne kasuskoormus punktikoormus vaid jaguneb kogu platvormi peale ühtlaselt laiali, see toob aga arvutusliku punktikoormuse laagritele lähemale ja vähendab nii laagritele mõjuvat jõudu.

Kuna laagrid peavad taluma koormust, olema hooldusvabad ja ilmastikukindlad, sai valitud roostevabast terasest hooldevaba sfääriline radiaalliuglaager GE 45 TXG3E-2LS [15]:

Staatiline koormus=600kN

Dünaamiline koormus=360kN



Joonis 8. Liuglaager GE 45 TXG3E-2LS [15]

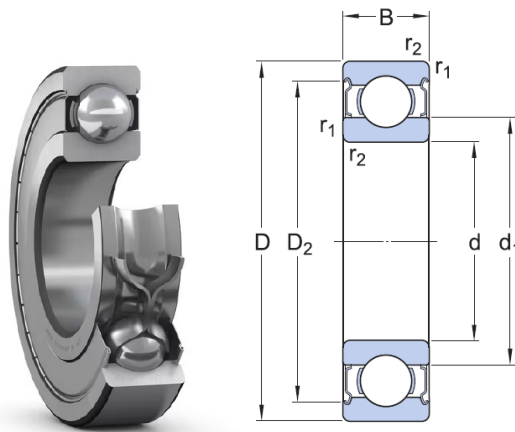
Selle laager sai valitud ka põhjusel, et tema väline laagriliug annab 7° radiaalsuunal pöörduma. See on hea omadus, kuna dirigendipuldi aluskoostu tala, kuhu hakkab kinnituma laagri alune relss, ei pruugi olla ideaalselt sirgeks töödeldud terasprofiil. Seega mõne kraadine laagriliua „ujumine“ tagab selle täpse kontakti vastaspinnaga igal juhul.

Vastavalt tõstejõule, sai valitud alumine nõ vastusurve laager. Lisatingimus oli ka, et see peab mahtuma relsi ja vastaskonstruktsiooni vahele ära.

Sobilikuks osutus kuullaager W 6306-2Z [16]:

Staatiline koormus=15kN

Dünaamiline koormus=22,9kN

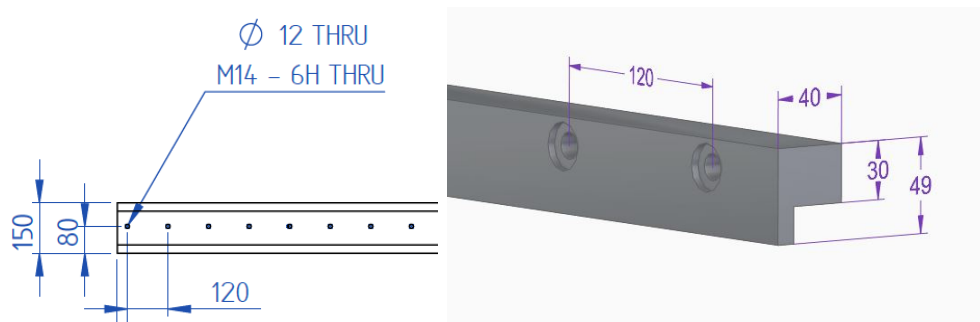


Joonis 9. Kuullaager W 6306-2Z [16]

2.4. Projekteerimine

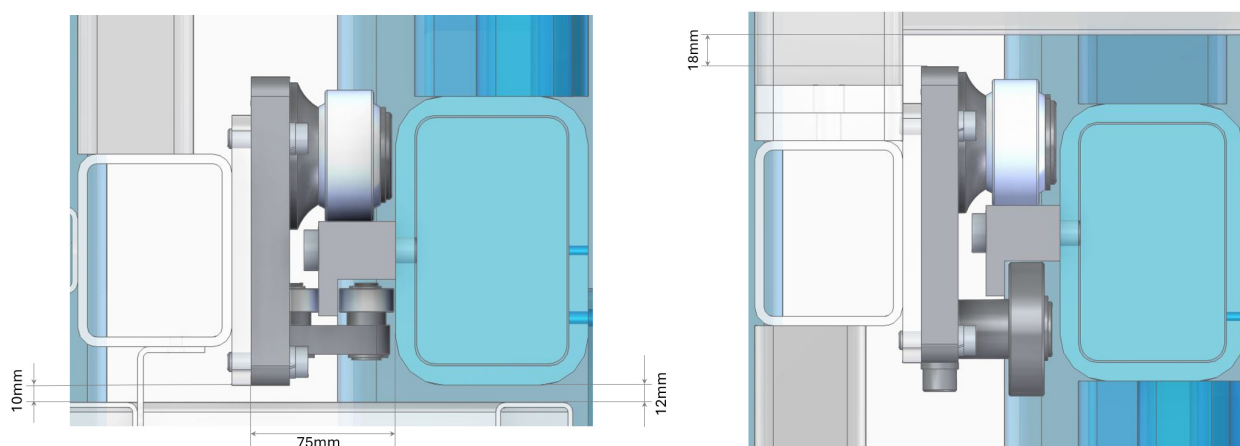
Kuna üheks tingimuseks on mahtuda olemasolevatesse mõõtmetesse ja kasutada ära olemasolevaid kinnitusavasid, siis tuleb riknenud relsside asemele projekteerida täpselt samadesse avadesse sobituvad uued relsid.

Selleks sobib 50x50 roostevabast (EN 1.4404) ruutvardast profiil, mille vastavalt alusraamis olemas olevatele avadele, M14 keermestatud ja 120mm sammuga [17] [18], avad puurib ja külgsuunalist liikumist piiravate laagrite jaoks väljalõike teeb (Joonis 10).



Joonis 10. Fragment dirigendipuldi alusraami joonisest [17] ja uus projekteeritav relss

Kasutades eelpool väljaarvutatud ja mõõdetud komponente, sai valmis projekteeritud sellised laagripukid, mis mahtusid etteantud tingimustesse ära ning olid kinnitatud olemasolevatest avadest (Joonis 11).

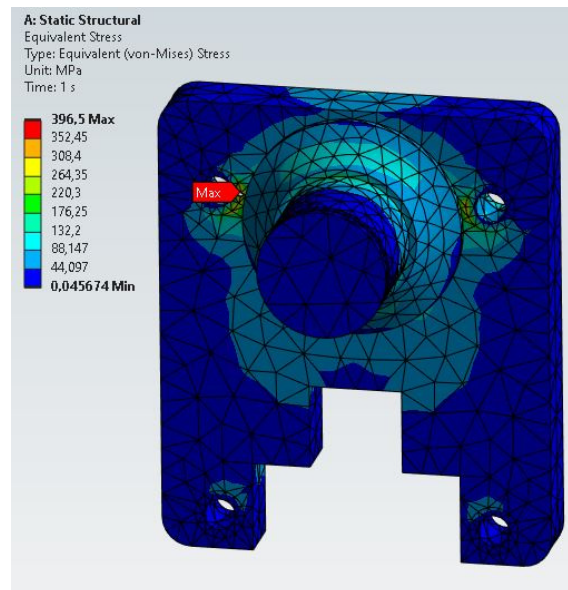


Joonis 11. Projekteeritavad laagripukid suhtes olemasoleva ruumiga (all ja üleval)

Et tagada komponentide vastupidavus, sai kontrollitud ka valminud koostude laagrivõllide vastupidavust arvutuslikele koormustele. Liuglaagri võllile mõjuvat 63,54kN suurust arvutuslikku koormust sai kontrollitud koos laagrivõlli alusplaadiga, et välistada ka nt keevisõmbluse või alusplaadis tekkida võivaid fataalseid pingeid.

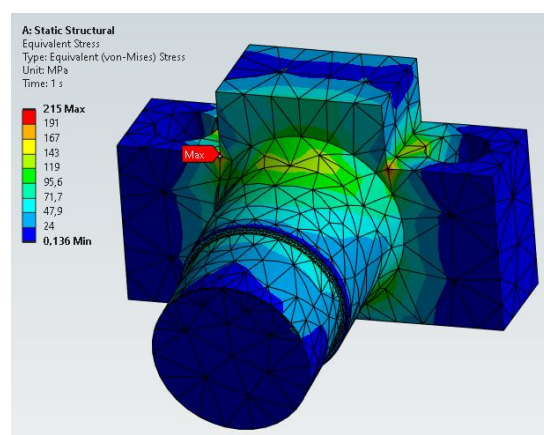
Tulemuseks on alusplaadi poldiava servas tekkinud pingekontsentratsioon (Joonis 12) 396MPa, mis ületab kasutatava materjali (roostevaba teras EN 1.4404) voolepiiri. See kontsentratsioonipunkt on tingitud ANSYS [18] programmi poolt genereeritud arvutuslikust „võrgust“. Samas jaguneb tegelik koormus vähemalt 2 laagri vahel ära, seega kinnitusava servadele jääv koormus on võimaliku kõige halvema tingimusliku olukorra puhul ikka allpool

materjali voolepiiri. Arvutuslik virtuaalne simulatsioon näitas ära laagrivõlli materjali ja geomeetria sobilikkuse.



Joonis 12. Laagrivõlli ja alusplaadi koormustesti tulemus

Vastutoe võlli sai kontrollitud koos laagrivõlli toeplaadiga koormamisel arvutusliku tõstejõuga 12,82kN. Tulemuseks tekkis laagrivõlli toe sisenurkadesse pingekontsentratsioon 215MPa, mis ei ületanud materjali (roostevaba teras EN 1.4404) voolepiiri. Kuid nagu ka liuglaagri võlli puhul, on tegemist arvutusliku „võrguga“, mis on nurgapunktis ega mõjuta võlli vastupidavust (Joonis 13). Lisaks jaguneb ka tõstejõud kahe poole tagumiste ning topelt lisalaagrite vahel ära, seega selliselt projekteeritud laagrivõll koos toega on sobilik.



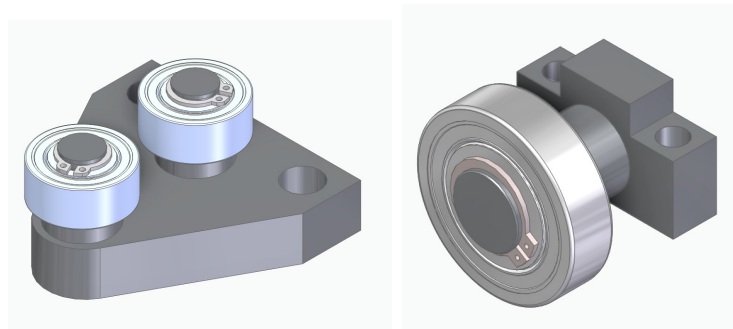
Joonis 13. Alumise laagrivõlli ja tugiplaadi koormustesti tulemus

Vastavalt arvutustele ja kontrollile sai koostatud roostevabast terasest (EN 1.4404) 2 erinevat laagripukki, üks külgsuunavate laagritega ehk „ülemine“ ja teine tõstejõudu maandav ehk alumine laagripukk (Joonis 14).



Joonis 14. Ülemine ja alumine laagripukk

Eesmärk oli projekteerida võimalikult identsed laagripukid, et neil oleks vaid funktsioonist lähtuv erinevus ja vajadusel saaks iga üksiku laagripuki funktsiooni (kas külgsuunav või vertikaaltugi) kergelt muuta. Ehk neil on kummalgi alt külge polditav kas ülemine külgmiselt suunav või alumine vastusurvet leevendav laagrivõlli tugi.



Joonis 15. Alumised toed

Selline polditav lahendus võimaldab omakorda laagripukkide paigaldust ilma dirigendipuldi liikuvat platvormi osastamata.

3. TRANSPORDIALUS

3.1. Lähteülesanne

Vastavalt taustainfole ja hetkeolukorale projekteerida lahendus, mis võimaldaks dirigendipulti transportida ilma kraanatõsteta ja asetada seda laululavast kaugemale kui see praegu võimalik on.

3.2. Eeltingimused

Transpordialuse valmistuses sai lähtutud põhimõtetest, et see alus:

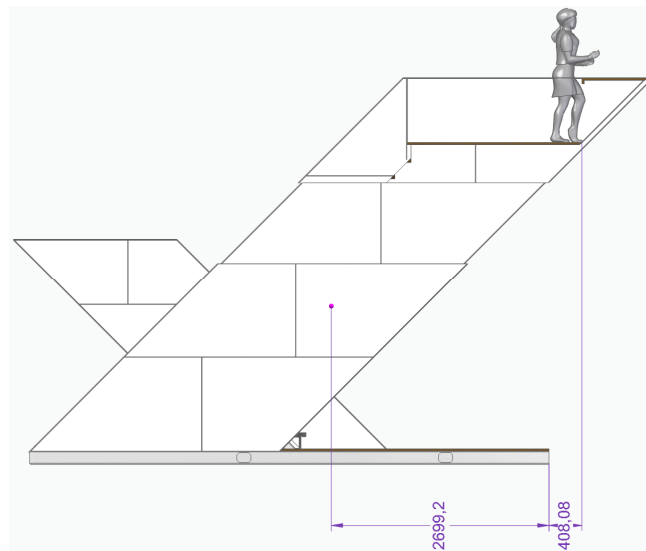
1. jääb püsivalt kinnitatuna dirigendipuldi alla ehk siis on edaspidi nähtavalt eksponeeritud;
2. selle kinnitamine puldi külge ei tohi olemasolevat konstruktsiooni kuidagi vigastada;
3. dirigendipulti peab saama suvalisele siledale pinnale paigaldada (väike kalle on lubatud).

Algsele dirigendipuldile oli nii turvakaalutlusel kui ka laululava esise asfaltkatte säästmise eesmärgil paigaldatud asfalti alla betoonvundament, mille külge pult ankurdati ja mis pidi siis toimima dirigendipuldile vastukaaluna, kui puldi liikuv platvorm on väljasirutatud asendis ja seal platvormil viibib samaaegselt palju inimesi.

Seega uus dirigendipuldi alus peab puldi konstruktsioonile andma juurde lisaraskust, mis hoiaks puldi raskuskeskme alusraami servast eemal, vähendades sellega puldi ümberkaldumise võimalikkust.

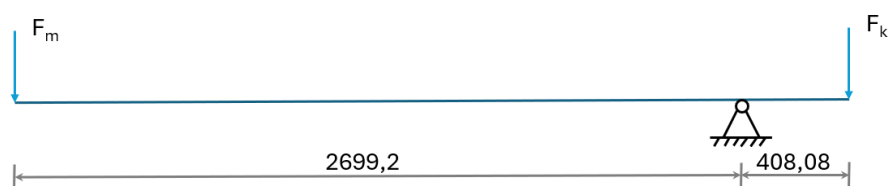
3.3. Arvutuskäik

Teadagi on algsest projektist kogu dirigendipuldi ligikaudne mass 7000kg ehk tsentrile mõjuv jõud on ~68,65kN. Ka on teada dirigendipuldi raskuskeskme, samuti kasuskoormuse 27,5kN kaugused platvormi väljasirutunud asendis alumise platvormi esiservast – vastavalt siis 2669,2mm ja 408,08mm [9].



Joonis 16. Raskuskeskme ja kasuskoormuse kaugused esiservast [9]

Arvutamaks välja, kas või kui palju ületab esiservast ehk konstruktsiooni raamist väljaspool mõjuv kasuskoormus dirigendipuldi tasakaalupunkti, tuli kasutada jõu õla ehk nn kangireeglit [19, p. 35](2), kus siis mõlemale poole mõjuvad jõud peavad olema tasakaalus.



Joonis 17. Masskeskme ja kasuskoormuse kauguste suhe tasakaalupunktist.

Lähteandmed:

$$F_m = 68,65 \text{ kN}$$

$$F_k = 27,5 \text{ kN}$$

$$l_1 = 2699,2 \sim 2699 \text{ mm}$$

$$l_2 = 408,08 \sim 408 \text{ mm}$$

Süsteem on tasakaalus kui

$$F_m * l_1 = F_k * l_2, \quad (2)$$

kus l_1 - raskuskeskme kaugus servast

l_2 - kasuskoormuse kaugus servast

$$F_m * l_1 = 68,65 * 2699 = 185286,4 \neq 11220 = 27,5 * 408 = F_k * l_k$$

$$\frac{185286,4}{11220} = 16,5$$

Siit järeldub, et dirigendipuldi mass ületab kasuskoormuse mõju 16,5 kordselt. Seega otsest vajadust lisaraskust poleks juba algusest peale vaja olnud kasutada.

Koormus asfaldile hakkab sõltuma uue projekteeritava aluse toetusjalgade arvust ja nende jalgade pindalast. Teadmaks, kui suurt survet asfaldile avaldada tohib, peab esiteks teadma asfaltkate koormustaluvust.

Kuna asfaltkate on oma ehituselt elastne katend, siis otsest koormustaluvust pole sellele võimalik määrata. Siiski on Transpordiameti poolt kehtestatud normkoormuste karakteristikud, mille järgi peab asfaltkate vastu pidama sõidukite teljekoormustele [20, p. 9].

	Koormus- grupp	Max. koormus staatil,kN		Max. dün koormus paarisrattale, kN	Keskm arvutus- erisurve teepinnale p, Mpa	Ratta jälje arvutusdiameeter d, cm	
		Üksik teljele	Paaris rattale			staat	dün
						koormamisel	
Veoauto	A	100	50	65	0,6	33	37
	B	60	30	39	0,5	28	32
Buss	A	110	55	72	0,6	34	39
	B	70	35	46	0,5	30	34

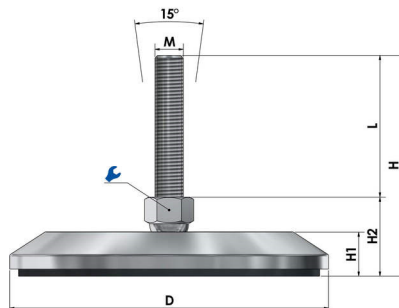
Joonis 18. Transpordiameti normkoormuse koormuskarakteristikute tabel [20, p. 9]

Transpordiameti tabelit (Joonis 18) järgides tuleks arvesse võtta dirigendipuldi koormuse arvutusel halvimat võimalikku koormust ehk koormusgruppi A kuuluvat bussi, mille *max* staatiline koormus ühele teljele on 110kN. Sõiduki teljel on aga 2 ratast, seega *max* staatiline koormus ühe ratta kohta on 55kN. Arvestuslik rattajälje diameeter on võetud Ø34cm, mis teeb arvestuslikuks erisurveks 0,6MPa [20, p. 9].

Dirigendipuldi kogu koormus (masskese ja kasuskoormus) on kokku $68,65 + 27,5 = 96,15\text{kN}$. Seega see koormus mahub Transpordiameti tabeli järgi A koormusgruppi ja toetub pinnale, diameetriga kuni $2 \times \text{Ø}34\text{cm}$. Pindalalt teeb see $0,18\text{m}^2$ suuruse ala, mida võiks võrrelda 3 A4 paberilehe pindalaga.

Seega asfaldile asetatud dirigendipuldi toejalgade pindala peab olema kokku suurem kui $0,18\text{m}^2$.

Toejalad sai valitud kõige suurema kandevõimega, mida hetkel pakkumises oli. Nimelt leidis firma Schwaderer tootevalikus M30 seadekeermega ja 4000kg kandevõimega seadmete jalad, millel talla läbimõõt Ø180mm [21].



Joonis 19. Toejalg [21]

Toejalal on oma diameetrist lähtuvalt pindala $0,025\text{m}^2$. Saavutamaks aga nõutavat pindala tugijalgadele ($0,18\text{m}^2$), tuleks kasutada vähemalt 4 tugijalga. Sellega oleks nende tugijalgade kandevõime kokku 12000kg, mis on rohkem kui nõutav dirigendipuldi ja kasuskoormuse mass kokku ehk $7000 + 2804 = 9804\text{kg}$.

Samas aga oli soov leevendada toejalgade kaudu asfaldile avalduvat survet ja välistada esimestele tugijalgadele langevat liigset koormust, sai tugijalgu esiserva alla projekteeritud 4, pluss veel pikkadele külgedele ka veel 2 lisatugijalga.

Kuna dirigendipuldi mass on u. 7000kg ja on mõõtetelt nii pikk kui lai (P-6,4m; L-3,9m), siis transpordirattad peavad olema mitte vaid suure kandevõimega vaid ka läbimõõdult suured, et transpordi ajaks ratastele paigutatud pult ei puutuks transportimisel mõnes nõgusamas teosas või väikesel kallutusel otsaga vastu maad.

Selleks sai leitud erisugustele ratastele spetsialiseerunud tootja Räder- und Rollenfabrik GmbH [22] tootekataloogist sobiliku kandevõime varuga rattad (tootekoodiga VULKOLLAN® 171/600/200/550/5/80) [22, p. 51], mis on valmis lahendus st. need on juba valmis laagritega rattad, millele eraldi peale laagrivõllide pole muud vaja projekteerida ega valmistada.

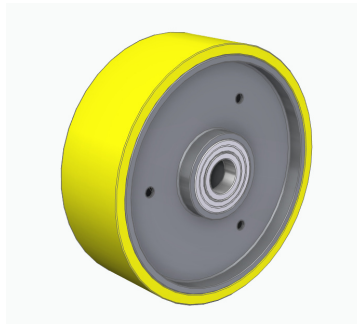
Parameetrid:

Läbimõõt-Ø600mm

Laius -200mm

Võlli läbimõõt-Ø80mm

Kandevõime-10000kg



Joonis 20. VULKOLLAN® ratas [22]

Transpordiks ei piisa vaid ratastest, vaid vaja on ka seadet, mis suudaks seda konstruktsiooni liigutada. Põhimõtteliselt on kõige universaalsem erinevate seadmete transpordivahend kahveltõstukiga teleskooplaadur. Samas kuna kahveltõstuk pole otseselt ettenähtud eraldi veerevaid objekte liigutama, sai leitud lahendus kahveltõstuki külge käiva tõstekonksu mooduli läbi. Selleks osutus Forklift OÜ poolt müüdav kahveltõstukile kinnitatav pöörleva peaga tõstekonks [23].

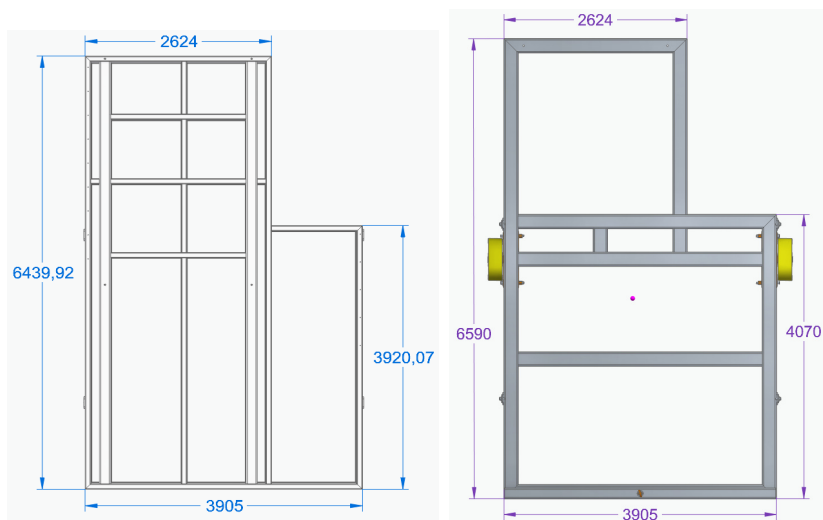


Foto 8. Kahveltõstuki tõstekonks [23]

Kuna tõstekonks fikseeritakse kahveltõstuki kahvlite külge jäigalt, on sellega võimalik dirigendipulti nii lükata kui ka kergelt tõmmata.

3.4. Projekteerimine

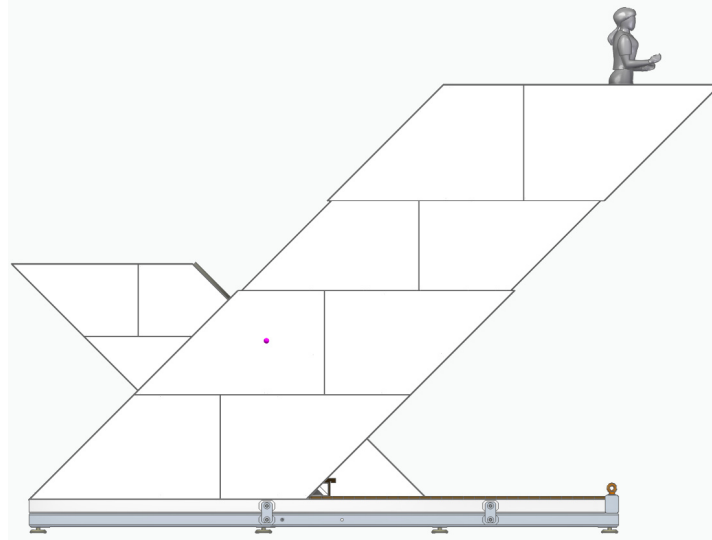
Vastavalt originaaljoonistele [24] sai koostatud 150x200 terasprofiilist peaaegu sama kuju ja mõõtmetega raam, mis peab sobima täpselt olemasoleva dirigendipuldi raami alla (*Joonis 21*).



Joonis 21. Algne ja uus projekteeritav raam [24]

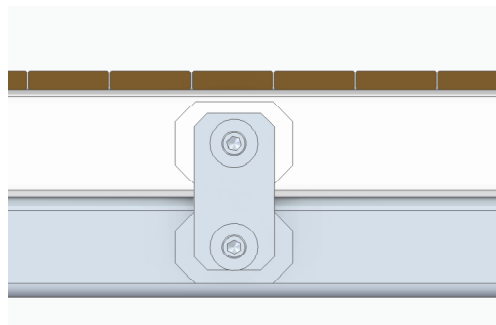
Uuele alusraamile sai projekteeritud pöiktoed selleks, et leevendada dirigendipuldi raami pikitalade läbipaindeid, lisaks toimivad 2 lähestikku paiknevat pöiktala ka transpordiratastele risti tugevana.

Pikkuse järgi sai lisaalus projekteeritud dirigendipuldist pikem. Selle üks funktsioon on tuua aluse toejalad rohkem ettepoole, vähendades nii ülemise platvormi eendumist üle esiserva, teiseks saab sellele kinnitada transpordi ajaks tõstesilmuse, mille külge omakorda kinnitatakse kahveltõstuki küljes olev tõstekonks (Joonis 22).



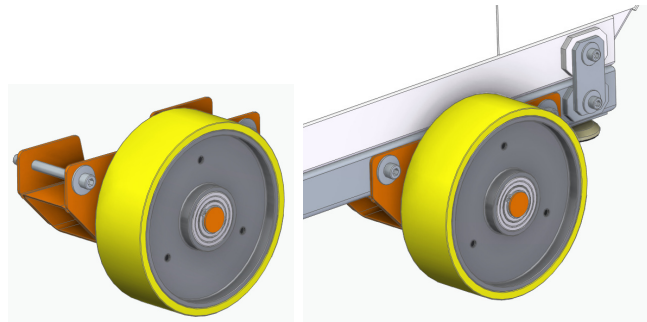
Joonis 22. Väljasirutatud platvormiga dirigendipult koos alusraamiga

Alusraami kinnitus dirigendipuldi külge toimub olemasolevatest tõsteasade jaoks keermestatud avadest ühendusplaatide abil (Joonis 23).



Joonis 23. Raamide ühendusplaat

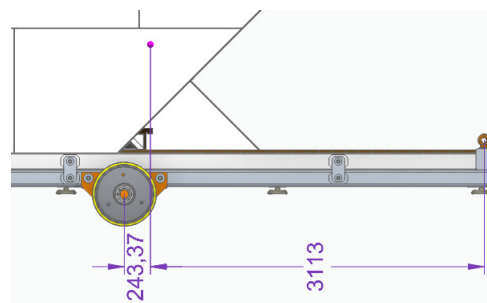
Transpordiks sai projekteeritud raamid külge lihtsasti polditavad tugevdeg rattad (Joonis 24).



Joonis 24. transpordiratta koost ja paigaldatuna alusraami külge

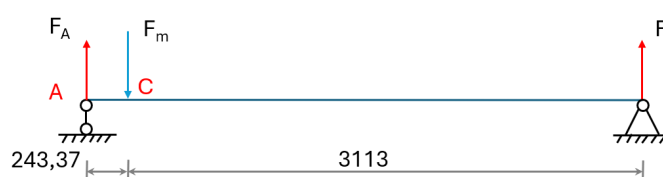
Rattatelgede viimine raamist allapoole oli vajalik ka selleks, et oma pikkusest tingituna jääks alusraami ja maapinna vahele piisavalt ruumi, et kui emb-kumb ottest veidi tõuseb siis teine raami osa maad ei puudutaks.

Oma asendilt on transpordirattad üpris lähedal dirigendipuldi tasakaalupunktile. Et tõstesilmusele liiga suurt koormust ei jääks, siis sai välja arvutatud alusraami paigalduse ja rataste kinnituse järel surve tõstesilmusaasale.



Joonis 25. Tõstesilmusaasa ja transpordirataste kaugus masskeskmest.

Kuna uue alusraami mass on $\sim 1830,1\text{kg}$, see on samuti nihutatud raskuskeskmega, lisaks asetseb tõstesilmuse ja esitugede jaoks projekteeritav põiktala väljaspool vana raami, muutus esiteks raskuskese, lisaks samuti kogu dirigendipuldi mass. Uus mass on $\sim 8095,5\text{kg}$. See teeb uueks punktkoormuseks $79,39\text{kN}$.



Joonis 26. Masskeskme suhe toetuspunktidele.

Lähteandmed:

$$F_m = 79,39 \text{ kN}$$

$$l_1 = 243,37 \sim 243 \text{ mm}$$

$$l_2 = 3113 \text{ mm}$$

Vastavalt toereksioonide tasakaaluvõrrandile (1) [14, p. 30]

$$\Sigma F = 0 \Rightarrow F_A + F_B - F_m = 0,$$

saab arvutada laagritele mõjuva jõu paindemomendi M kaudu.

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow F_m * l_1 - F_B * (l_1 + l_2) = 0$$

$$F_B = F_m \frac{l_1}{(l_1 + l_2)} = 5,75 \text{ kN}$$

$$F_A = F_m - F_B = 79,39 - 5,75 = 73,64 \text{ kN}$$

Seega tõstesilmusele rakenduv jõud on 5,75 kN ehk ~586,3 kg ning ratastele jääv koormus on 73,64 kN ehk ~7509 kg. See koormus jaguneb omakorda kahe ratta vahel, seega ühele rattale jääv koormus on ~3755 kg, mis on alla poole ratta kandevõimest. Ehk kandevõime varu on nii tõstekonksul kui ratastel piisavalt.

4. MAJANDUSLIK OSA

Majanduslikult on tegemist kahest komponendist koosneva nõ. ühekordse projektiga, mille suurem osa kulust sõltub erinevate allhankijate poolt teostatavatest töödest (Tabel 1).

Tabel 1. Toodete ja teenuste kulu koondtabel

projekt	kuluartikkel	summa
Rekonstrueerimine	projekteerimine	3 500 €
	ostutooted	3 246 €
	teleskoopmehhanismi valmistus	4 560 €
	vahetustöö	2 000 €
		13 306 €
Parendus	projekteerimine	3 500 €
	ostutooted	4 831 €
	ratastega alusraami valmistus	5 400 €
	paigaldus	1 500 €
		15 231 €
kokku		28 537 €

Kuna tegemist pole müügiartikliga vaid ühekordse kuluga, siis võib seda kulu nimetada ka remondikuluks või ka investeeringuks paremasse töövahendisse ja turvalisemasse tootesse.

Kuigi rekonstruktsioon on vältimatult vajalik, sest sellega taastub dirigendipuldi funktsionaalsus, võib esmapilgul parenduse hind tunduda kulukas. Ilma selle parenduseta oleks aga iga järgmise Laulupeo toimumisel dirigendipuldi ekspluatatsioonikulud suurusjärgus 800€ (Tabel 2).

Tabel 2. Kulud

kulu artikkel	iga pidu	20 pidu (50a)
tõstetransport lava ette ja tagasi	600€	12 000€
tõstekindlustus	200€	4 000€
	kokku	16 000€

Tabelist on näha, et kuigi esmapilgul ei tundu tõstetranspordi kulu iga peo kohta suur, on tegu väga olulise kuluga seadme ekspluatatsiooniea jooksul. Kusjuures antud transpordikuludes pole arvestatud inflatsiooniga, kuid kui see juurde arvestada, oleks nt 2% aastase inflatsiooni puhul kogukulu 50a. jooksul ~27300€, mis ületab valmistuskulu umbes 1,8 korda.

Kuna dirigendipulti tuleb vastavalt laulupidude graafikule keskmiselt 2,5 aastase intervalliga (2 Noorte- ja 2 Üldlaulupidu 10 aasta jooksul) transportida nii laululava ette kui tagasi Lauluväljaku majandushoovi, teeb see 4 riskantset tõstet (tõste veokile, lava ees maha, tagasi veokile, laoplatsil maha) iga peo kohta. Arvestades dirigendipuldi elueaks 50 aastat (umbes nagu vanal puldil), teeb see kokku 80 ohtlikku tõstet (iga 2,5 aasta tagant 4 tõstet), millest mitte ükski kord ei tohi midagi juhtuda.

Tõstekindlustus on suhteliselt väike komponent transpordi kulu juures ja kuigi see peaks kompenseerima tõstel või transpordil toimunud kahjud, võivad tõsteprotsessi käigus konstruktsiooni kaalust tulenevad kahjud olla siiski piisavalt mastaapsed, et neid pole võimalik mõne päevaga kõrvaldada. Ehk siis vahetult enne laulupeo üritust juhtuv õnnetus võib rikkuda kogu suure ürituse ja sellist kahju pole rahaliselt võimalik mõõta.

Seega tulenevalt eelpool tehtud kuluarvutustest ja võrdlusest riskidega on igati mõistlik investeerida transpordialusesse.

Tulu ei ole võimalik küll otseselt arvutada, kuid kui arvestada lauljate paremast nähtavusest tulevat paremat sooritust ning lisaks ka visuaalset poolt, millest saavad osa kümned tuhanded lauljad ning pealtvaatajad, ja seda igal järgneval laulupeol, võiks öelda, et töökorras ja paremas asukohas olevast dirigendipuldist saadav kasu on hindamatu väärtusega.

KOKKUVÕTE

Antud lõputöö eesmärgiks oli leida rekonstruktsiooni lahendus Laulupeo dirigendipuldi amortiseerunud teleskoopmehhanismile samuti projekteerida puldi käideldavust parendav lahendus.

Töö alguses vaadeldi olemasoleva dirigendipuldi algset kontseptsiooni ja toimimispõhimõtteid ning toodi välja selle nõrgad kohad, millele siis töö käigus asuti lahendusi välja töötama.

Kõigile kriitilistele sõlmedele tehti tugevusarvutused ning simuleeriti mõjuvaid jõude ning koostati kõigi elementide kohta joonised.

Samuti võeti kokku mõlema lahenduse maksumus ning võrreldi seda dirigendipuldi oletatava eluaega ning võimalike riskidega.

Lõputöö tulemuseks saadi 2 lahendust - üks, mis sobitub täielikult olemasolevate kinnitustega, on ilmastikukindel ning asendab amortiseerunud teleskoospmehhanismi ja teine, mis annab vabaduse transportida dirigendipulti turvalisemalt ning paigaldada seda vabalt valitud kaugusele laululavast.

SUMMARY

Reconstruction of the Conductor's Console of the Song Festival Grounds.

The current thesis analyses the condition of the conductor's console completed for the 2019 jubilee General Song and Dance Festival, and in the course of the work finds a reconstruction and improvement solution for the conductor's console.

The author of the thesis has also previously collaborated with the Estonian Song and Dance Celebration Foundation, e.g. in year 2009, the work of the project was used by inventing of the decorations "Puri" and reconstruction of the symbolic torches in year 2019. This project mentioned above is the fourth in a row.

At the beginning of the thesis, the background of the conductor's stand is described and the current situation is analysed, problems and shortcomings are highlighted. These are the deteriorated wooden parts, which have now been replaced, the obsolete telescopic lifting mechanism and the handling problems due to the weight and the large volume of the console, which limit its use and are dangerous for both console and transportation crew when moving it.

The first baseline task, the reconstruction of the telescopic mechanism of the conductor's console, is then formulated. The aim is to replace the depreciated bearing system with stainless steel bearings and relays. The conditions and criteria to be met by the reconstruction are then formulated. These are the need to maintain the given cubic capacity, to exploit the available openings and to make sure the materials are weather resistant. Thereafter the necessary load calculations are carried out, the appropriate components are identified and strength analysis are carried out to test critical components in extreme conditions after which the final drawings are produced.

Then the second baseline, the transport platform, is formulated. The aim is to make the conductor's console more transportable without the need for crane lifts and to find a way of installing the conductor's console in front of the acoustic arch, further away from the current location. It then formulates the prerequisites and criteria that the design solution must take

into account and be met. These are: the permanent attachment to the console; the attachment must not damage the console and it must be possible to place the console on any smooth surface.

As the conductor's platform originally had a concrete foundation in front of the bandstand, one of the functions of which was to act as a counterweight, the new projected transport platform must be massive enough to have the same functionality. The necessary load calculations will then be carried out, and the appropriate components identified. One of the problems is the load carrying capacity of the asphalt pavement, which is found through the normal load characteristic of the Estonian Transport Administration directive. The frame of the finished transport platform, which will be fixed under the console and fixed to the existing lifting holes, will then be designed, together with transport wheels to be fitted during transport, which will enable the conductor console to be rolled along the ground in the future.

In the final section of the thesis, the cost of the project will be calculated. While this cost may seem expensive, it should rather be seen as an investment in the repair and improvement of the equipment. The downside is the cost, but the improved performance of the singers guaranteed by a working console and better positioning is invaluable.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] „Uus dirigendipult jõuab Tallinnasse järgmisel nädalal,” Eesti Laulu- ja Tantsupeo SA, 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://2019.laulupidu.ee/uudiskirjad/18-uudiskiri/uus-dirigendipult-jouab-tallinnasse-jargmisel-nadalal/>. [Kasutatud 02. 2024].
- [2] „Vana dirigendipult sai peale dirigentide nimed,” Eesti Laulu- ja Tantsupeo SA, 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://2019.laulupidu.ee/uudised/vana-dirigendipult-sai-peale-dirigentide-nimed/>. [Kasutatud 03. 2024].
- [3] „Lauluväljak rõõmustab koos laulupeo, kõikide lauljate ning peolistega,” Tallinna Lauluväljak, 01. 07. 2019. [Võrgumaterjal]. Available: https://scontent.ftll3-2.fna.fbcdn.net/v/t1.6435-9/65984825_2876511659028962_7531945320767291392_n.jpg?_nc_cat=109&ccb=1-7&_nc_sid=5f2048&_nc_ohc=KV_MWTWTAdsQ7kNvgErfv7V&_nc_ht=scontent.ftll3-2.fna&oh=00_AYAgM3-EKHT07EMP5TqBpVPnsEtITV0ZJcAJrOK2W4JeRA&oe=6. [Kasutatud 02. 2024].
- [4] Eesti Laulu- ja Tantsupeo SA; Eesti Arhitektuurikeskus MTÜ, „Laulupeo uue dirigendipuldi avaliku ideevõistluse lähteülesanne,” 2018. [Võrgumaterjal]. Available: https://2019.laulupidu.ee/wp-content/uploads/Uudised/Voistlustingimused_dirigendipult_180305_F.pdf. [Kasutatud 02. 2024].
- [5] „Laulupeo dirigendipuldi ideekonkursi võitis "Risttee”,” Eesti Rahvusringhääling, 11. 06. 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://kultuur.err.ee/838558/vaata-kavandeid-laulupeo-dirigendipuldi-ideekonkursi-voitis-risttee>. [Kasutatud 02. 2024].
- [6] „Laululava dirigendipuldi vundament Töö nr.0319-1,” Est Inseneribüroo OÜ, Tallinn, 2019.
- [7] J. Kortel, „Astmetoe Läbipaine,” Tallinna Tehnikakõrgkool, Tallinn, 2023.

- [8] E. Suurküla, „18019-510-00 liikuva osa raam,” eMech Engineering, Laagri alevik, 2019.
- [9] E. Suurküla, „18019-000-00 peakoost-peidetud-mõõdud,” eMech Engineering, Laagri alevik, 2019.
- [10] „Linear Guideways Accessories,” 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hiwin.de/medias/GW-10-6-EN-1907-K.PDF?context=bWFzdGVyfGhpd2luRG9jdW1lbnRNZWRpYXw3NzUyNTM4fGFwcGxpY2F0aW9uL3BkZnxoaXdpbkRvY3VtZW50TWVkaWEvaDRkL2gwZi8xMjk2NjkwMTAyMjc1MC5wZGZ8NzlhNDVmNDU0ZDQ1MjM5MjEzOWUzZGZiMzQ0ZWVmZDE1MWI5ZjEzOGY5ZjI0MDc1NTNkM.> [Kasutatud 02. 2024].
- [11] P. Mürk, „Laulupeo uus dirigendipult,” Eesti Rahvusringhääling, 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://kultuur.err.ee/957563/galerii-uus-dirigendipult-joudis-tallinna-lauluvaljakule#lg=1&slide=14>. [Kasutatud 02. 2024].
- [12] „Eurokoodeks 1: Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused,” Eesti Standardikeskus, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1991-1-1-2002>. [Kasutatud 03. 01. 2023].
- [13] E. Suurküla, „18019-500-00 Liikuva osa koost_0,” eMech Engineering, Laagri alevik, 2019.
- [14] A. Klauson, J. Metsaveer, P. Põdra ja U. Raukas, Tugevusõpetus, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2017, p. 639.
- [15] „GE 45 TXG3E-2LS,” AB SKF, 03. 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.skf.com/ee/productinfo/productid-GE%2045%20TXG3E-2LS>. [Kasutatud 04. 2024].
- [16] „W 6306-2Z,” AB SKF, 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-W%206306-2Z>. [Kasutatud 04. 2024].
- [17] E. Suurküla, „18019-210.2-00 Alusraam - külg,” eMech Engineering, Laagri alevik, 2019.
- [18] „Ansys Workbench,” ANSYS, Inc, 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ansys.com/products/ansys-workbench>. [Kasutatud 04. 2024].

- [19] R. Gormeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, V. Menges, S. Oesterle, T. Rapp, C. Scholer, A. Stenzel, A. Stephan ja F. Wieneke, Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2022, p. 482.
- [20] „Juhend - Elastsete teekatendite projekteerimine. Transpordiamet,“ 27. 11. 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://transpordiamet.ee/media/19533/download>. [Kasutatud 04. 2024].
- [21] „Adjustable foot JCMP 170 S,“ Schwaderer GmbH, 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.schwaderer.com/en/products/levelling-mount-adjustable-foot-jcmp170s-with-damping-plate>. [Kasutatud 03. 2024].
- [22] „Räder-Vogel Catalogue,“ RÄDER- UND ROLLENFABRIK GMBH & CO. KG, 2024. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.raedervogel.de/fileadmin/download/en/Catalogue_Brochure/Main_Catalogue_EN.pdf. [Kasutatud 04. 2024].
- [23] „Tõstekonks 5t pöörlev,“ Forklift OÜ, 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.forklift.ee/toode/tostetehnika-muuk-lisaseadmed-tostekonksud-1221046044-29789/>. [Kasutatud 04. 2024].
- [24] E. Suurküla, „18019-210.1-00 Alusraam,“ eMech Engineering, Laagri alevik, 2019.