



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Instituudi nimetus

**KERGHAAAGISE RAAMI KEEVITUSRAKIS
ETTEVÕTTELE BRENTEX OÜ**

**WELDING JIG FOR LIGHTWEIGHT TRAILER FRAME FOR
BRENTX LTD**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Rauno Peet

Üliõpilaskood 192492MATM

Juhendaja: Martinš Sarkans, Vanemteadur

Tallinn 2021

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

31 detsember 2021

Autor:

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

3 jaanuar 2022

Juhendaja:

Kaitsmisele lubatud

"....."jaanuar 2022

Kaitsmiskomisjoni esimees Martin Eerme, professor

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Rauno Peet

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose **Kerghaagise raami keevitusrakis ettevõttele Brentex OÜ**, mille juhendaja on Martinš Sarkans,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ 31.12.2021

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

TalTech Instituudi nimetus

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Rauno Peet, 192492MATM
Õppekava, peeriala: MATM, Tootarendus
Juhendaja(d): Martinš Sarkans, vanemteadur, 5020251
Konsultant: Sander Kallaste, Insener
Brentex OÜ, 56158892, sander@brentex.ee

Lõputöö teema:

Kerghaagise raami keevitusrakis ettevõttele Brentex OÜ
Welding jig for lightweight trailer frame for Brentex Ltd

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Keevitusrakis projekterimine tooteperele
2. Rakis peab võimaldama keevitada tooteperes olevate kastihaagiste mudelid
3. Hinnata rakaise majanduslikku tasuvust

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Parameetrilise mudeli konstrueerimine	07.2021
2.	Rakise esialgse idee ja nõuete kirjeldus	08.2021
3.	Esimese rakise lahenduse demonstreerimine	09.2021
4.	Rakise detailne konstrueerimine	10.2021
5.	Väljatöötatud lahenduse demonstreerimine	11.2021
6.	Lõputöö lõplik vormistamine	12.2021

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: 03.01.2022

Üliõpilane: Rauno Peet 01.07.2021

Juhendaja: Martinš Sarkans 01.07.2021

Konsultant: Sander Kallaste 01.07.2021

Programmijuht: Martin Eerme 01.07.2021

SISUKORD

EESSÕNA	7
1. SISSEJUHATUS.....	8
2. Tehnilise ülesande püstitus.....	9
2.1 Tehnilised tingimused rakisele	10
3. Rakise vajalikkuse põhjendus	12
3.1 Kasutusel olev rakise lahendus	12
3.2 Statistika tootmise kohta	13
3.3 Ajakulu hinnang	14
3.4 Konkurentide lahendused.....	16
3.4.1 Respo Haagised AS.....	16
3.4.2 Tiki trailer BESTNET AS	17
3.5 Eksperimenteerimine.....	18
4. Rakise lahendussuunad	19
5. Alusraami konstruktsioon.....	21
5.1 Raamidele mõjuvad jõud	21
5.1.1 Vana toote keevitamisel tekkiv raami soojenemine	22
5.1.2 Lineaarjuhikutele mõjuva jõu leidmine	26
6. Laius raami konstrueerimine	27
6.1 Lineaarliikurite valik	27
6.1.1 Lineaarsüsteemi valik	28
6.2 Laiusraami lukustamine	29
6.3 Ülemine porte tala rakises	29
7. Pneumaatilise raami konstrueerimine	31
7.1 Hõõrdeteguri ja silindri jõu leidmine	31
7.2 Ülemise porte tala fikseerimine.....	35
7.3 Alumise peatala fikseerimine	36
8. Horisontaalselt liikuvad rakise osad	38
8.1 Pneumaatilised klambrid	38
8.2 Lineaarliikur süsteem	39
8.3 Fikseerimine	40
8.4 Detailide sobitamine ja kinnitamine.....	40
8.4.1 Otsapostid ja vahetalad	40
8.4.2 Esipaneel ja tagapaneel	41
9. Lehtvedru ja amortisaatorite rakise osad	43
9.1 Lehtvedru kinnituskohad rakises	43

9.1.1 Üheteljelise ja kaheteljelise lehtvedru eesmise kinnituskoha fiksaator	43
9.1.2 Lehtvedru tagumine fiksaator	44
9.2 Amortisaatorite kinnituskohad rakises	45
9.2.1 Üheteljelise haagise amordi kinnitus	45
9.2.2 Kaheteljelise haagise tagumise amordi kinnitus.....	45
10. Pneumaatika juhtimine	47
11. Rakise kasutamine	50
12. Majandusliku tasuvuse hinnang	53
13. Tuleviku võimalused	55
KOKKUVÕTE	57
Summary	58
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	59
LISAD	60
GRAAFILINE OSA.....	62

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö eesmärk oli projekteerida Brentex OÜ tootmisele universaalne kerghaagise raami keevitamiseks mõeldud rakis. Rakisel peab olema võimalik kokku keevitada kõiki kastihaagiste raame. Idee sai alguse, kui tekkis vajadus uute rakiste järele Brentex OÜ tootmises, ning lõputöö autori ideel algatati uut tüüpi rakise projekteerimist, mis võiks koondada suure hulga rakiseid ühte kokku.

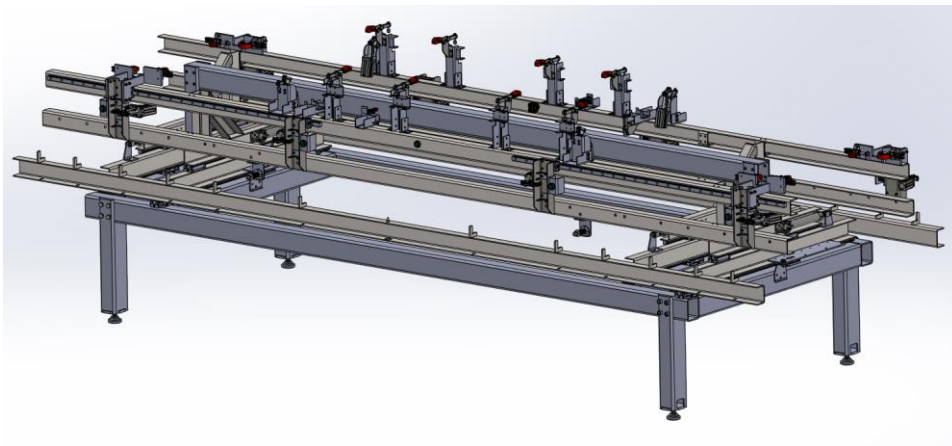
Soovin tänada vanemteadur Martinš Sarkansi ning vanemteadur Toivo Tähemaad heade ideede, abi ja nõuannete eest. Lisaks soovin tänada ka oma kolleegi Sander Kallastet, kes aitas oma kogemustega projekti suunata.

Võtmesõnad: rakis, keevitus, haagis, tootearendus, magistritöö

1. SISSEJUHATUS

Brentex OÜ tegeleb kerghaagiste ja paadihaagiste tootmise ning müümisega. Ettevõtte tulevikuplaan on kasvatada oma tootmistahte. Hetkel on ettevõttes olukord kus ostjate ja soovijate hulk on suurem kui tootmisvõimekus. Hetkel on tootmine võimeline tootma ligikaudu 2500 haagist aastas, millest ligikaudu 350 on paadihaagised. Järgmise kahe aasta jooksul soovib ettevõtte viia tootmiskoguse 4000 peale. Olukorra teeb ka raskemaks see, et Eestis eksisteerib kaks otsest konkurenti, kes toodavad ligikaudu viis korda rohkem samu või sarnaseid tooteid. Pudelikaelu on tootmises palju ning nende eemaldamiseks on alustatud palju väiksemaid projekte, et liikuda suuremate tootmistahtude poole. Näiteks on tehtud investeeringuid uute ja keerukamate tootmisseadmete jaoks. Need kiirendavad oluliselt lihtsamaid töid ning annab võimalusi ettevõttes tööd suunata aeganõudvamate tööde peale. Kasutusele on võetud ka tootmise juhtimise tarkvarad. On palgatud uusi spetsialiste ja investeeritud ka uude tootmishoonesse, mis võetakse kasutusele lähiajal.

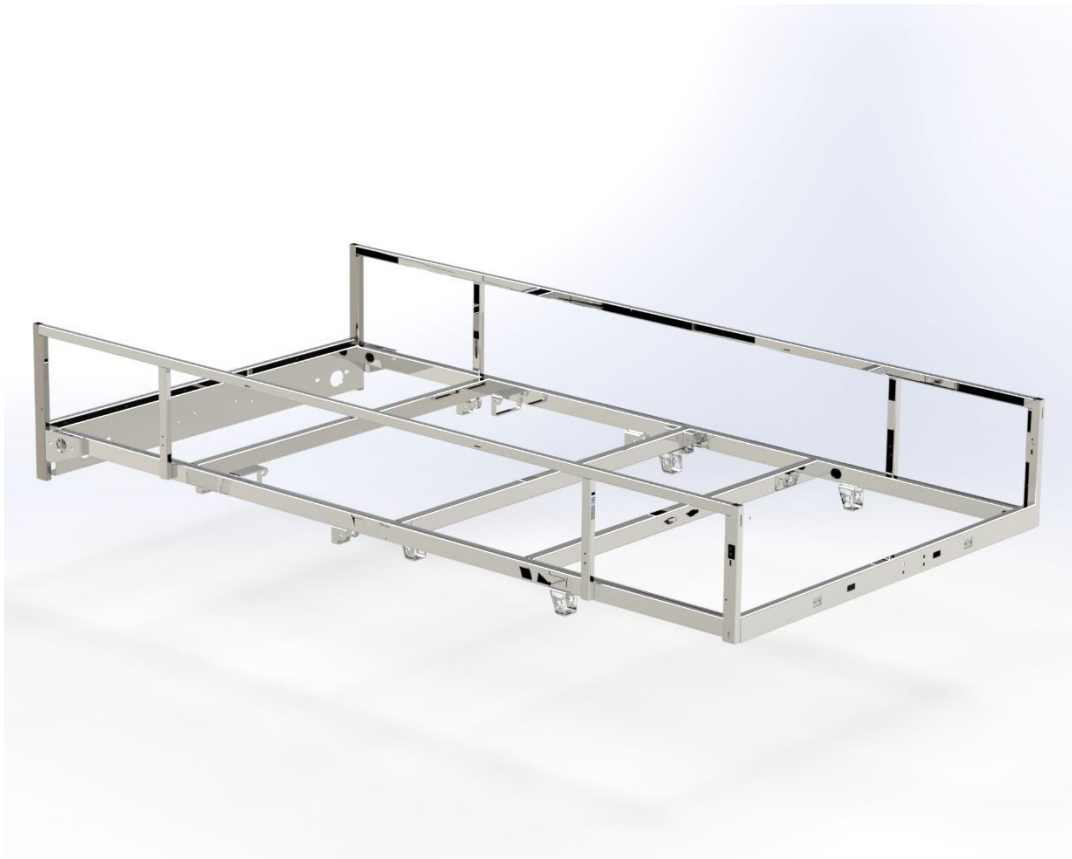
See lõputöö käsitleb ühte neist pudelikaeladest milleks on kerghaagiste raamide rakised. Rakis on tööriist, mis aitab keevitamisel hoida toodet stabiilsena kuumuse, liikumise ja jõudude eest. Toodetavat toodet üldiselt hoitakse rakises täpsete pindade ning klambrite abil. Rakises keevitamisel koostatakse terviklik haagise raam. Raam kuumtsingitakse ning raami külge kinnituvad kõik teised haagise elemendid. Kuna tootmisesse on ostetud uued seadmed, mis võimaldavad kiiremini ning täpsemalt toota raami detaile, on raami algne konstruktsioon muutumas. See tähendab, et hetkel kasutuses rakised on vaja välja vahetada uute vastu. Lõputöös on kirjeldatud erinevaid ideid, mis uute rakiste planeerimise juures läbi käisid ning millise lahenduseni lõpuks jõuti. Lõpliku lahenduse konstruktsiooni osad ning otstarbekus on üksikasjalikult välja selgitatud ning milleks neid vaja on.



Pilt 1-1 Rakise lahenduse näide

2. Tehnilise ülesande püstitus

Tootmises on suurenenud tellimuste arv ning üheks pudelikaelaks on jäänud rakised ja neil töötamisel kuluv aeg. Kasutusel olemasolevad rakised on konstrueeritud nii, et igale haagise mudelile on eraldi kasti keevitusrakis. Rakised on iganenud, nendega töötamisel esineb probleeme keevitatud kasti kättesaamisega ning detailide positsioneerimine võtab liiga palju aega. Lisaks võtab erinevate rakiste liigutamine ning ladustamine liiga palju aega. Vaja on tootmisesse lisada universaalsemaid rakiseid mille peal oleks võimalik koostada ja keevitada rohkem kui ühte kindlat haagise mudelit. Võimalusel tuleks arvestada ka tulevikus keevitusroboti lisamisega, kuid see ei ole nõutud. Rakise projekteerimise lihtsustamiseks on eelnevalt koostatud toote parameetiline mudel. Sellega on võimalik genereerida jooksvalt rakise projekteerimisel kõiki standardmõõtu haagiseid ilma uusi mudeleid avamata.



Pilt 2-1 Toote keevisraami mudeli vaade CAD programmis Solidworks

2.1 Tehnilised tingimused rakisele

Haagise kastid varieeruvad mõõtmetelt 2 m x 1,2 m kuni 4 m x 2 m. Erinevat mõõtu haagistel detailide materjali läbimõõdud ja profiili dimensioonid ei muutu. Muutuvad ainult pikkused. Pikkuse kasvades võib muutuda vahetalade arv ning lisanduda lisapostid. Lisaks tuleb arvestada ka kaheteljelise ning üheteljelise haagise kinnituskohadega.

Ettevõttesiseselt kokkulepitud punktid, mida rakis täitma peab.

- Kõik rakise elemendid peavad jääma kõige suurema raami ligikaudsete mõõtmete sisse, ehk 4 meetrit korda 2 meetrit ala sisse
- Rakisel peab olema võimalik toota kõiki tabelis 2.1 välja toodud haagise raami mudelid.
- Rakise elemendid peavad liikuma raami küljest lahti või mingil muul moel vabastama raami nii, et seda oleks võimalikult lihtne rakisest välja tõsta.
- Raami on võimalikult lihtne konfigureerida vastavalt vajadusele. Uus töötaja peab aru saama rakise tööst vähem kui päevase koolitusega.
- Keevitusjärjekord ei tohi olla väga piirav tegur. Töötaja peab saama alustada keevitamist mistahes punktist.
- Rakise tootmisel tuleb kasutada võimalikult palju tootmises kasutuses olevaid materjale ja Eesti tarnijatelt tellitavaid tooteid, et tulevikus oleks rakist võimalik hooldada.
- Rakis peab olema majanduslikult mõistlik toota. Toomismaht ühe sellise rakisega peab olema vähemalt 1500 haagise raami aastas.
- Rakise mudel peab olema seotud uue parameetrilise mudeliga.

Tabelis 2.1 on toodud raami tootepere iseloomustavad suurused (mõõtmed, toomiskogused, telgede arv) Tootmiskogused on märgitud 2021 aasta tootmiskoguste järgi. Haagiste 2012 ja 3515-2 koguseid ei ole märgitud, kuna neid raame hetkel ei toodeta ega müüda.

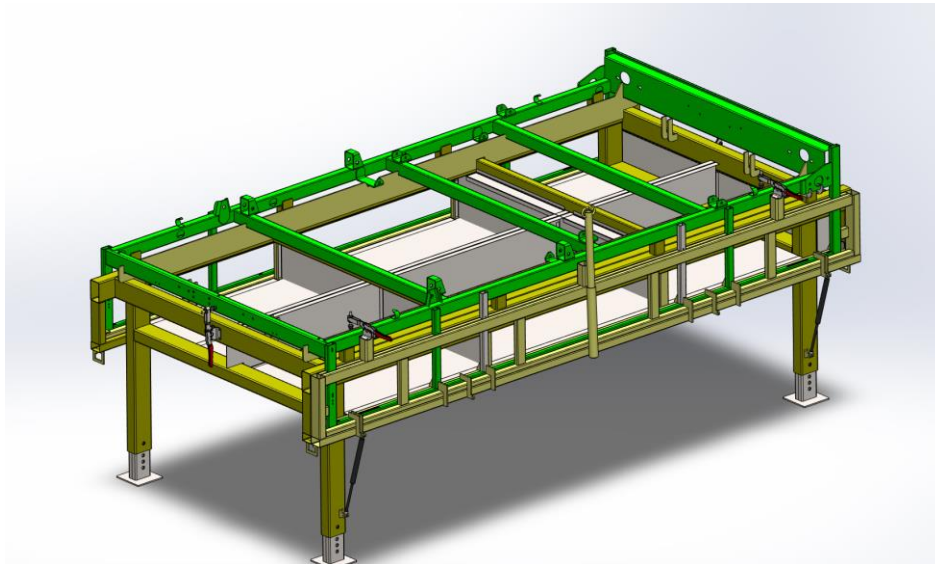
Tabel 2.1 Kõik raami mudelid mida rakis peab olema võimeline tootma

Toote nimetus	Pikkus (mm)	Laius (mm)	Telgede arv	Tootmiskogus (tk/aastas)
2012	2000	1200	1	-
2515	2500	1500	1	110
2612	2600	1200	1	110
2715	2700	1500	1	250
3015	3000	1500	1	550
3315	3300	1500	1	310
3515	3500	1500	1	160
3715	3700	1500	1	35
3718	3700	1800	1	90
2515-2	2500	1500	2	15
3015-2	3000	1500	2	290
3315-2	3300	1500	2	30
3515-2	3500	1500	2	-
3615-2	3600	1500	2	15
3618-2	3600	1800	2	10
4015-2	4000	1500	2	210
4020-2	4000	2000	2	5
			Kokku:	2190

3. Rakise vajalikkuse põhjendus

Selles peatükis käsitletakse mõningaid punkte miks selline uut tüüpi rakis oleks kasulik tuleviku tootmises. Lisaks käsitletakse konkurentide lahendusi ja hetkelist statistikat.

3.1 Kasutusel olev rakise lahendus



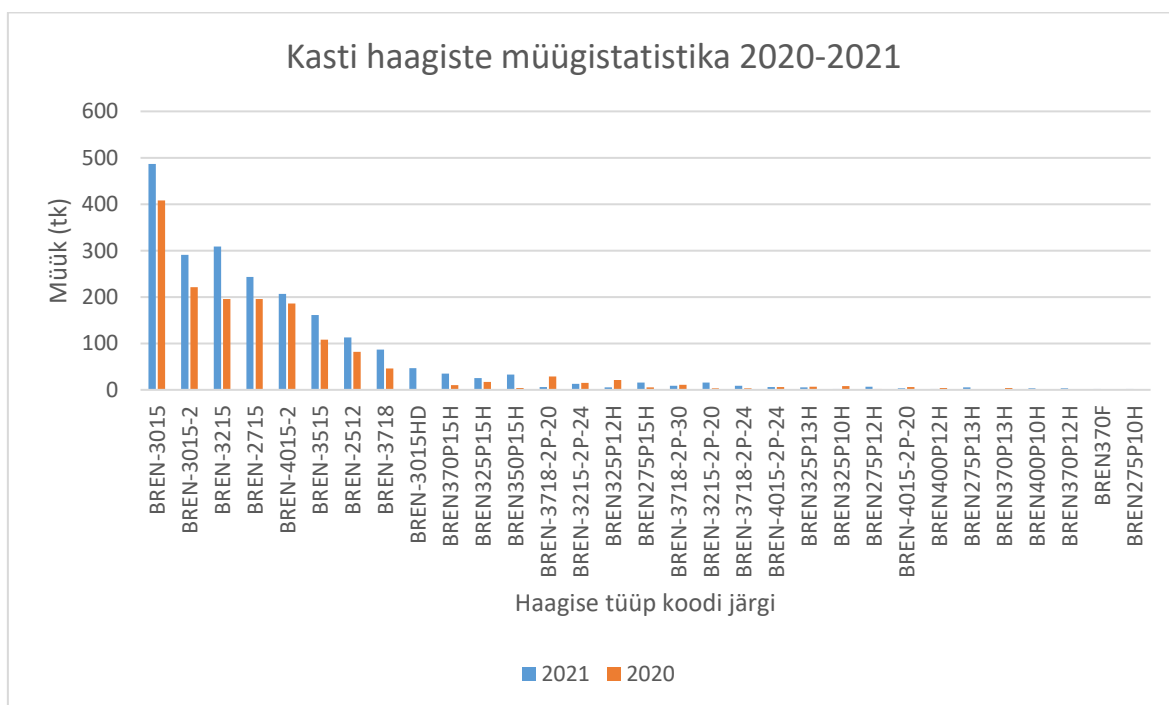
Pilt 3-1 Kolmemeetrise haagise hetkel tootmises kasutusel olev rakis

Kasutusel olev rakis on toodetud nelikant profiilidest ning valmistatud käsitsi. Profiilid on lõigatud käsitsi ja enamuse liiteid on tehtud keevitustega. Rakise puudusteks on suur ebatäpsus ning see, et toode jääb pidevalt rakisesse kinni. Kuna rakisel on palju pindasid kuhu paisumise ja deformeerumisega on raamil võimalik kinni jääda on tihti probleeme raamil rakisest välja tulemisega. See tähendab aga seda, et rakist pidevalt allutatakse suurtele jõududele, et toodet kätte saada. 10 aasta jooksul kui rakised on kasutuses olnud, on sellele tehtud palju parandusi ning pindade korrektsioone käepäraste vahenditega viies ebatäpsused veel suuremaks. Rakiseid on ka palju, ehk muudatuste sisse viimine uutele raamidele on liiga kulukas olnud, et neid pole isegi tehtud.

Vana lahendus töötab järgnevalt. Rakisesse asetatakse kõik eelnevalt koostatud pooltooted (peatala, vahetala, tagapaneel ja esipaneel) ja detailid. Rakise küljed sulgetakse, et lukustada kõik lahti olevad detailid. Peale keevitust küljed lastakse jälle alla, et rakisest raam vabastada. Headeks omadusteks sellise rakise puhul on lihtsus. Rakis ei vaja pneumaatilisi- ega muid juhtimissüsteeme. Raami mudeleid on praegu kasutusel 11 millest 8 on olemas oma rakis ning pooltoote rakiseid on 12. Ülejäänud kooste koostatakse individuaalselt keevituslaual.

3.2 Statistika tootmise kohta

Brentex OÜ toodab aastas ligikaudu 2500 haagist. Viieendik sellest on paadihaagised ning ülejäänud 2000 on kastahaagised. Kõik haagised on ehitatud 11 erinevale keevisraamile. Uue seeria sisseviimisega peab lisanduma viis uut raami varianti, ehk kokku 16 erinevat keevisraami möötu. Kuna enamus tööd tehakse tellimustööna on hetkel juba raskusi 11 erineva rakise liigutamise ja keevitustöökohalt rakiste lattu. Olukorda on optimeeritud nii, et proovitakse ennustada, milliseid tooteid võivad kliendid tellida ning vastavalt sellele toota ette rohkem müüdavaid raame. See vähendab rakiste pidevalt ümbervahetamisele kuluvat aega ja suurendab aega, mida saab kasutada toodete valmistamiseks. Viie uue rakise puhul võib vahetamiste kordade arv päevas suurened. Seda saab teha ainult toote ülejäänud valmistamise ajast.



Pilt 3-2 Haagiste müügistatistika aastatel 2020 - 2021

Modulaarse muudetava rakise abil oleks võimalik esialgse idee korral võimalik toota kõiki standard- ja ka eritellimushaagiseid, mis jääksid mõõtmadesse 2 x 1,2 meetrit kuni 4 x 1,2 meetrit. Sellise rakise puhul on võimalik kiiresti tuua sisse uusi rakise mööte mis jäävad etteantud mõõtmete piiresse ilma uusi rakiseid tootmata.

Tootmisstatistika järgi on järjest kõige enam toodetud haagised 3015, 3015-2, 3215, 2715, 4015-2, 3515, 2512 ning 3718 (vt pilt 3-2). Kõiki neid haagiseid toodetakse ligikaudu 100 või enam aastas. Kuigi esimesed kuus haagise varianti erinevad üksteisest

vaid pikkuse poolest, on vaja tihti tuua siis ka muidu, väiksema mahuga mõõte. Kindlasti oleks lihtsam toota rakiseid ainult kindlalt ühele mõõdule, kuid samas, kui see nõuab eraldi lao pinda ning konstantselt teisi tellimusi sisse viia, kaotab mõtte eraldi rakiste loomine isegi kui see katab suure osa kogu tellimustest ära.

Kuna kõikidele raamidele viiakse sisse muudatusi, tähendab see seda, et vanu rakiseid ei ole võimalik enam kasutada. Uus haagiste seeria on projekteeritud nii, et need oleksid võimalikult üksteisele sarnased. Paljud osad raamil nagu otsapostid, küljepostid ja sillakinnitused on kõikidel kasti haagistel identsed. Esipaneel, tagapaneel, vahetalad ning porte talad on detailid, mis muudavad vaid oma pikkust. Profiili mõõtmeid loetud detailidel ei muudeta. Sarnasused on sisse viidud, et lihtsustada uue seeria raame konstruktsiooni ja võimalusel toota võimalikult vähe rakiseid.

3.3 Ajakulu hinnang

Üks suuremaid eeliseid muudetava rakise puhul on selle teoreetiline võime vähendada tööle kuluvat aega. Tööle kuluv aeg koosneb kahest komponendist: Seadistamisele kuluvast ajast ja reaalsest keevitamise ajast [1].

$$T = t_s + t_p \quad (3.1)$$

T - tööle kuluv aeg

t_s - seadistamise aeg

t_p - keevitamise aeg

Seadistamise aeg koosneb omakorda: põhiseadistamisest, seadistamisest taastumisest ja ebaproduktiivsest seadistamise ajast veel omakorda. Tootmise aeg on veel omalt poolt mõjutatud tegevusajast, ooteajast, materjali kvaliteedist ja personaliga seotud aspektidest. Töö lihtsustamise mõttes on need komponendid lihtsustatud ainult seadistamise ja tootmise aja peale.

Hetkel kasutusolev raami rakis on küll lihtne, kuid vajab 4 alamrakist enne kui tervet raami saab kokku keevitada hakata. Kõigepealt keevitatakse eraldi rakistes: esitala, parem küljetala, vasak küljetala, lukuvastused ja tagapaneel. Iga samm vajab eraldi rakist, eraldi ladustamist, eraldi seadistamist. Kõike see suurendab valemi (3.1) seadistamise komponenti. Ühe rakise kasutuselevõtt, kus saab ka kõik pooltooted sisse viia, viiks seadistamise aja kindlasti alla.

Järgnevad arvutused on hinnangulised ning sõltuvalt suurelt rakisega töötaja kiirusest ning tuleks arvestada vähemalt tolerantsiga +/- 3 minutit lõplike hinnangute juures. Keevitusjoone kogupikkus kolmemeetrise kahe teljega standard haagisel on ligikaudu 2900 mm. Võttes arvesse ligikaudu keskmise keevituskiiruse 500 mm/min saame, et ainult keevitamise peale võib kuluda $2900/500 \sim 6 \text{ min} = t_p$. Keevituskohti on kolmemeetrise haagisel 66 õmblust. Kui arvutada, et iga õmbluse juurde liikumine võtab 20 sekundit saame, et õmbluste vahel liikumine võtab aega 22 minutit = t_{s1} . Kogu raami keevitamine kolmemeetrise haagisel uuel rakisel võtaks aega ligikaudu 28 minutit. Kui võtta oletuslik aeg detailide rakisesse laadimiseks 5 minutit ja raami rakisest väljatõstmiseks 4 minutit ($t_{s2} = 9 \text{ min}$) saame kogu raami toomisajaks ligikaudu $t_{s1} + t_{s2} = 37 \text{ minutit}$. Hetkel võtab kogu raami keevitus protsess aega kuni $T_1 = 60$ minutit kolmemeetrise kaheteljelise haagisel. See tähendab juba keevitusajalt vähemalt 20 minutit võitu. Suurem osa võidetud 20 minutist on detailide ladustamise aeg. Praegu toodetakse nelja erinevat alamkoostu, mida peab alamkoostu rakistest välja võtma ja ladustama peale igat keevitust. Kuna keevituspikkused oluliselt ei muutu, tähendab see seda, et suurem osa vähenevast ajakulust peab see ladustamiselt ehk seadeajast tulenema.

Lisaks lüheneb ka rakise vahetamise aeg, uue konstruktsiooniga ei pea rakist enam hoidma välitingimustes. Hetkel, kui on vaja teist mõõtu raami toota on vaja laoplatsti pealt tuua õiges mõõdus raami rakis. See võtab aega ligikaudu 15 minutit ning vajab tihti eraldi töömeest, kes viiks esialgu vana rakise eest ära ja tooks uue asemele. Rakise liigutamisel võib juhtuda ka, et rakist kahjustatakse mingil moel. Kui juhtub olema talvine periood võib olla olukordi, kus väljast toodud rakisel on peal kas lumi või jää. See tähendab lisaega, mis läheb rakise puhastamise peale. Uue rakisega ümberseadistamine võtaks esialgsel hinnagul aega kuni 10 minutit. See on küll 5 minutiline võit, kuid võttes arvesse, kui keevitaja ei ole hetkel sama inimene, kes raami ette toob, tähendab see seda, et ajavõit tuleb kahe inimese pealt ehk ligi 20 minutiline ajavõit. Lihtsam ümberseadistamine tähendab ka seda, et uue tootmisplaani järgi hakatakse ka seda rohkem kasutada. See võib viia hetkel kuus kuluvale rakise ümbervahetamise aja hoopis suuremaks.

Kui võtta keskmise töötaja palgaks 1000 eurot kuus ja tööandja kuluks sel juhul 1560 eurot saame välja arvutada palju võiks selline lahendus rahaliselt säästa kuus ettevõttes raha. Hetkel tehakse keevitustöid tootmises 8 tundi päevas 5 päeva nädalas ehk 160 tundi kuus. Keskmiselt vahetatakse rakist kord kahe päeva jooksul. Hetkel keevitatakse kokku ligikaudu 10 raami päevas. Kuna alati ei toodeta kaheteljelisi kolmemeetriseid

haagiseid, nagu eelnevalt arvatud sai, on hinnangulised ajakulu numbrid vähendatud. 10 raami keevitamise pealt oleks võimalik säästa kokku $10 * 15 \text{ min} \sim 150 \text{ min}$ päevas ehk $20 * 150 \text{ min} \sim 3000 \text{ min} = 50 \text{ tundi}$ ning rakise vahetuste pealt kuu jooksul, mida on ligikaudu 10 korda $10 * 20 \text{ min} = 200 \text{ min} \sim 3 \text{ tundi}$. Praeguste töö liikumiste juures oleks võimalik kokku hoida hinnanguliselt ligi 50 tundi tööaega ehk ligikaudu 500 eurot kuus. Ajaline võit tähendaks veel seda, et on võimalik toota rohkem raame ning kasvatada sellega ettevõtte kasumlikkust.



Pilt 3-3 Ladustatud rakised laoplatsil talvistes tingimustes

3.4 Konkurentide lahendused

Järgnevas osas on toodud konkurentide poolt kasutatavad rakise lahendused.

3.4.1 Respo Haagised AS

Respo lahendus haagiste keevitamisel on robot keevitus rakis. Rakisel on hinnanguliselt võimalik keevitada ainult ühte kindla laiusega haagist ning pikkus on ainult muudetav. Võimalik, et haagise laiust on võimalik muuta eemaldades või vahetades haagise küljelt küljele ulatuvad plaadid, kuhu külge on kinnitatud vahepostide ja otsapostide hoidjad. See tähendab, et kui haagise laiust või pikkust soovitakse peab käsitsi elemente lahti poltima ning liigutama.



Pilt 3-4 Kuvatõmmis Eesti Messid videost [2]



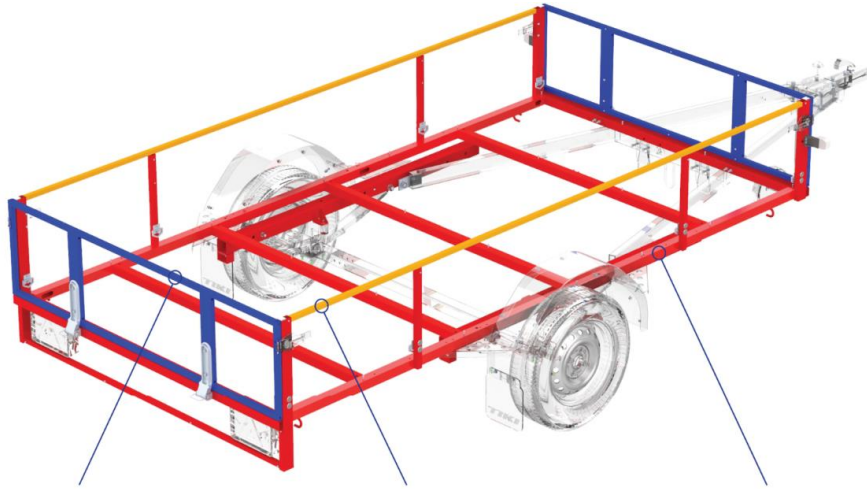
Pilt 3-5 Kuvatõmmis Eesti Messid videost [2]

Respo rakise teeb lihtsamaks asjaolu, et neil ei ole vaja rakises keevitada ülemist porte tala. See annab võimaluse neile konstrueerida elemente ümber otsa ja vahepostide, ning muudab lihtsamaks raami valmimisel selle välja tõstmise rakisest.

3.4.2 Tiki trailer BESTNET AS

Tiki rakise kohta informatsioon puudub. Võimalik on hinnaguliselt visuaalselt vaadata raami, selle pealt on näha et Tiki trailer koostab osa oma raame kahes osas. Raami põhikoost ning raami telje kinnituskohad asuvad eraldi alamraami küljes. Alamraam on keevitatud põhiraami külge. See võib eemaldada vajaduse keevitada erinevas mõõdus haagistele lehtvedru ja amortisaatorite kinnitusi, saab kasutada ühte standardlahendust. Lisaks saab nii toota raame lattu ning vastavalt vajadusele teha neid kahe- või üheteljelisteks haagisteks. Miinusteks sellise lahenduse juures on suurem

materjalikulu ning vaja on kasutada suuremas koguses rakiseid. Lisaks muudab selline lahendus haagised oluliselt raskemaks kaalu poolest.



Pilt 3-6 kolmemeetrise standard kerghaagise pilt Tiki trailer kodulehelt [3]

3.5 Eksperimenteerimine

Üheks eesmärgiks on eksperimenteerimine ja uute suundade katsetamine. Kuna praegune rakiste kasutamine on tootmises väga kaua ühtemoodi olnud, võetakse väike finantsiline risk, et proovida uusi lahendusi, mis võivad välja tulla väga kasumlikud. Kindlasti on võimalus, et projekteerimisel võib tähele panemata jääda mõni detail, mis võib muuta projekteeritava rakise kasutamise ebamõistlikult ajakulukaks või täitsa kasutuskõlbmatuks. Kindel on see, et kui uusi asju ei katsetada ei toimu ettevõttes ka arengut.

4. Rakise lahendussuunad

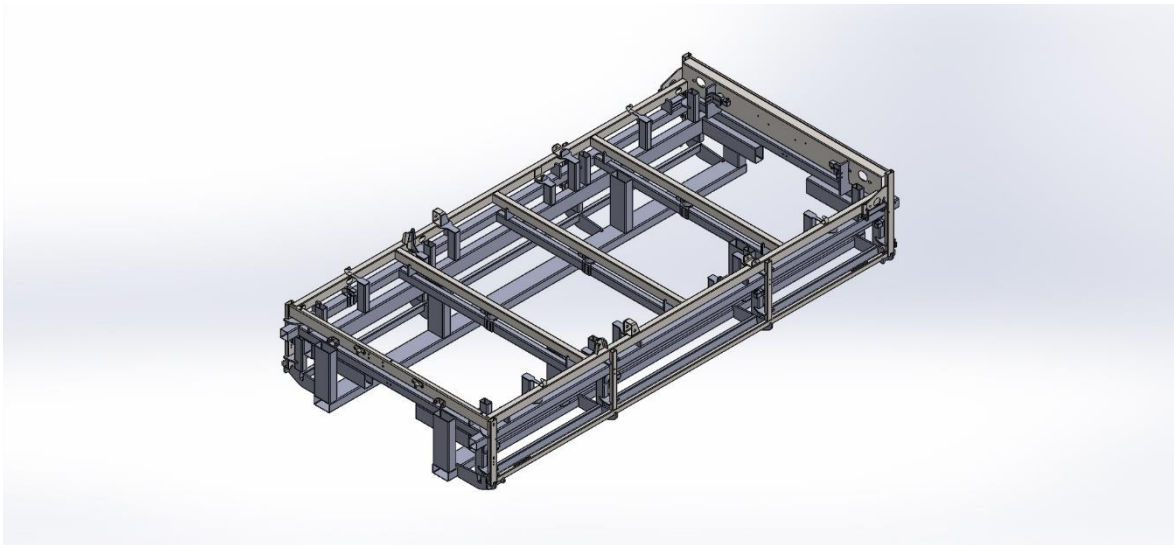
Esimene idee oli alguses toota igale raamile eraldi rakis, kuid kohe oli võimalik lihtsamate arvustuskäikude abil jõuda järelduseni, et see on liiga kallis ning aeganõudev protsess.



Pilt 4-1 Stokker.ee kataloogi modulaarne keevituslaud pilt [4]

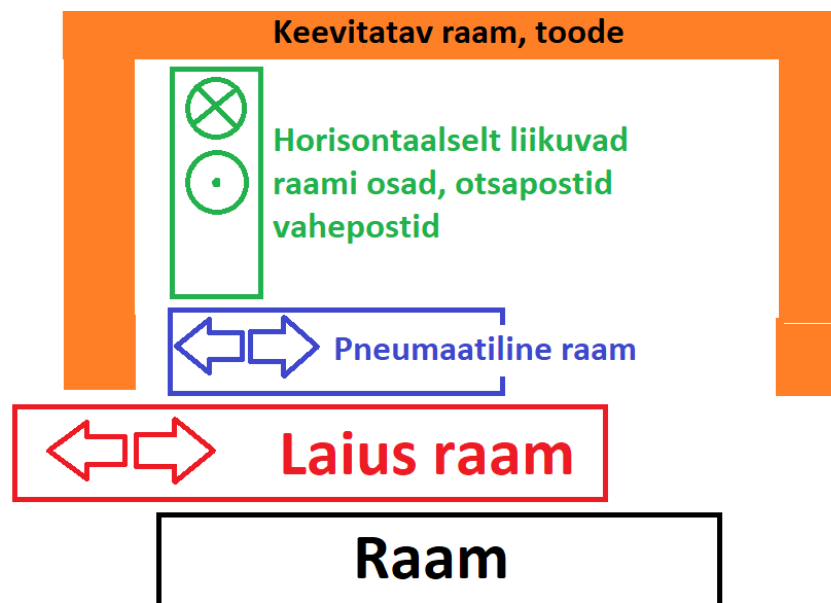
Järgnev idee oli kasutada modulaarseid keevituslaudu. Keevituslaudu, kus on erinevate tööriistade kinnitamiseks kas avad või sooned, kuhu tööriistu saab vastavalt kinnitada. Selliseid laudu vahendavad mitmed Eesti ettevõtted. Laud sobiks sellise probleemi lahendamisel kuid vajaks suurt investeringut laua, tööriistade ja eri tüüpi kinnituste tootmise jaoks. Üheks suurimaks miinuseks sellise laua juures on ka ajaline kulu. Laua ümber konfigureerimine võtaks liialt kaua aega. Lisaks oleks vaja soetada mitmeid selliseid laudu, kuna väiksemaid haagise raame oleks suurte laudade peal kõikide külgede pealt keevitada võimatu.

Kolmas idee oli väga lähedal lõpliku lahenduse ideele. See kasutas lineaarliikureid, mis olid juhitud elektriliste ajamite abil. Klambrite asemel aga olid projekteeritud magnetid. Sellise rakise miinuseks oli, et kõikide mudelite jaoks oli vaja vähemalt nelja rakist. Varurakiste ehitamise korral oleks vaja leida kõikidele rakistele ladustamispunkt ning uute erinevate mudelite tegemisel oleks vaja hakata pidevalt jälle rakiseid liigutama töökohale. Magnetid koguvad ka ajapikku metallitööga samas ruumis olles erinevat väiksemaid metalliosakesi, muutes rakist ebatäpseks ning vähendades magnetite töövõimekust. Lisaks oli projekteeritud lahendus liiga keeruline.



Pilt 4-2 Elektriliste ajamitega ja magnetitega raam

Valitud lahenduseks sai kolmel lineaarliikuri tasandil toimiv rakise lahendus, algne skitseeritud pilt 4-3. Esimene tasand aitab muuta haagise kasti laiust. Järgmine pneumaatiline tasand aitab fikseerida ja vabastada rakisesse asetatud detaile automaatselt. Kolmas horisontaalne tasandi abil on võimalik muuta keevitatava haagise pikkust. Haagise raam on komplekteerimise ja keevitamise ajal rakises tagurpidi nagu eelmisel lahendusel.



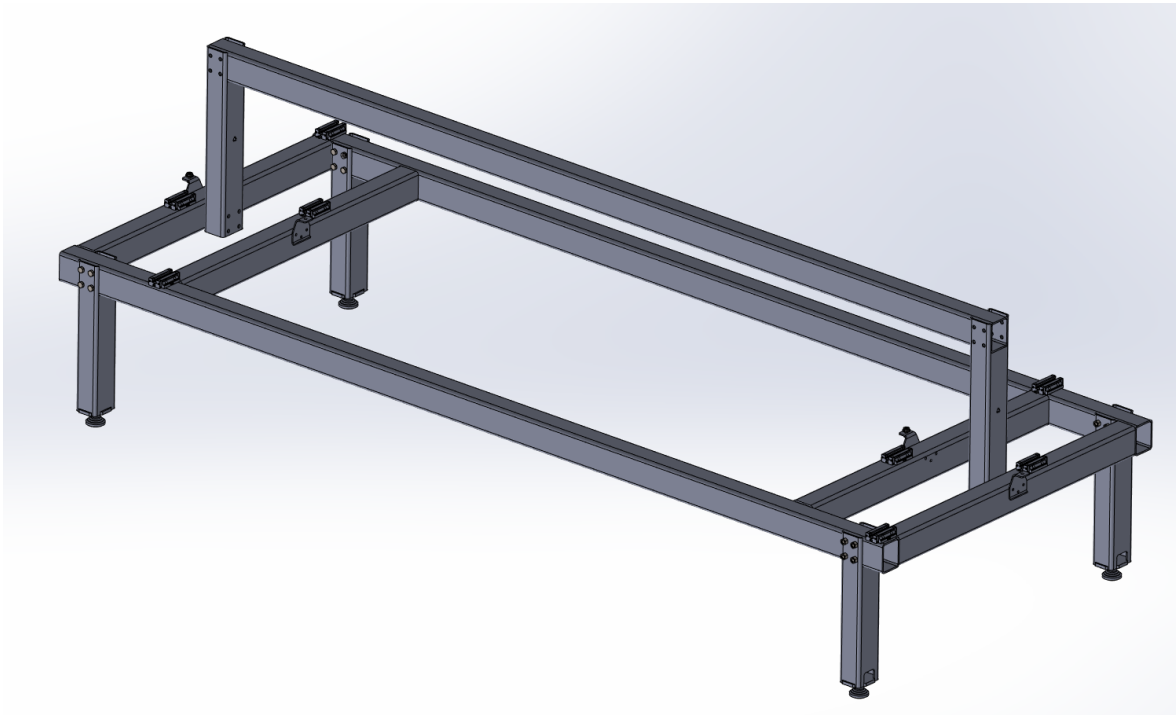
Pilt 4-3 Lahenduse algne skits

5. Alusraami konstruktsioon

Alusraami tööks on kõikide teiste detailide raskuse ning jõudude kandmine ilma deformeerumata. Alusraami külge kinnituvad kõik vajalikud automaatika elemendid, pneumaatika ettevalmistusplokid, jalad ja rakise tõstmiseks vajaminevad kinnituspunktid. Alusraam ei tohi piirata rakisega töötava inimese tööalas liikumist või raskendada ligipääsu keevitatavate kohtade juurde.

5.1 Raamidele mõjuvad jõud

Põhilised jõud mis rakisele mõjuma hakkavad: raskusjõud, kineetilised jõud ja temperatuurist tingitud paisumised ning kahanemised metallides. Raskusjõud on lihtsasti välja arvutatavad erinevatest detailidest. Projekteerimisel oli keerulisem osa kogu süsteemi koormuste hindamine enne, kui süsteemi projekteerimisega on alustatud. Alusraami pinnale toetuvad ja kinnituvad kõik teised rakise osad. Kui rakisele peaks kunagi integreerima keevitus pukid, siis alusraamile peaksid tulema ka vajaminevad kinnituspunktid.



Pilt 5-1 Alusraami CAD mudel tarkvaras Solidworks 2022

Alusraam on koostatud 80 x 100 x 4 mm nelinurkse profiiliga torust. Raami pikkus 3320 mm, laius 1280 mm, pikkuse mõõt on võetud vastavalt lineaarliikurite maksimaalsele paigutusele ning laiusmõõt on võetud väikseima keevishaagise mõõtude

järgi. Kui laius oleks suurem kui väikseim keevitatav raam tähendaks see seda, et töö tegemisel peaks rakisel töötav tööline seisma kaugemal keevituspunktist. See võib tuua endaga kaasa ebamugava tööasendi ning keevitus võib selle võrra halvema kvaliteediga tulla.

Alusraami projekteerimist tuli alustada kahest kohast: kuhu toetuvad laiusraami lineaarliikurite kelgud ning kuhu saab tulevikus lisada keevituspuki kinnituskohad. Esiolgsel hinnagul võib öelda, et alusraamile toetuvad laiusraamid võivad kaaluda kokku kuni 150 kg. Selliseid raskuseid taluvad pea kõikide kataloogide standartsed juhikud. Keerulisem on arvestada lineaarjuhikutele mõjuvate momentidega, mis tekivad koormuse paigutamisel lineaarjuhikutest eemale ning rakises keevitatava tootega, mis avaldab survet temperatuurist sõltuvatel paisumistel rakisele.

Alusraami jalad on lõigatud samast 100x80x5 profiilist mis ülejäänud alusraam. Teiste osade külge kinnituvad jalad M12 poltidega. Jala postidele on lõigatud torulaseriga pesad kuhu pealmised torud ära upuvad, et saaks poltidega neid kinnitada. Selline lahendus eemaldab vajaduse lisaplaatidele või keevitustele, mida muidu võib vaja minna jalgade kinnitamisel. Jala otsa on Alas-Kuul kataloogist valitud reguleeritavad M16 keermega jalad, millega on võimalik raam hiljem ebatasasel pinnal tasa saada.

Raamile on kinnitatud ka poom mis ulatub alusraami tasapinnast olulisemalt kõrgemale. Poomil on kaks otstarvet. Üks on transpordi eesmärgil, poomi külge on lihtne kinnitada telfri troppe millega on võimalik rakist tootmishoones ümber tõsta. Teiseks on vahetalade toetamine rakise koostamisel. Nelja meetrise haagise mudelil on olemas 2 meetrine laiuse variant, mille üks vahetala kaalub 7 kg. Sellise vahetala oma pesasse sihtimine 2 meetri kauguselt ühel töölisel on väga ebamugav ja raske. Selle jaoks on tõstetud poom sellisele kõrgusele, et rakisega töötaja saab vahetala toetada poomi peale, et lihtsustada vahetalade panemist rakisesse.

5.1.1 Vana toote keevitamisel tekkiv raami soojenemine

Lisaks raskusjõule tekib temperatuuri tõusmisel peatalale ka suur temperatuuriga kaasnev paisumisest tingitud jõud. Selle jaoks on käidi praegu tootmises olevaid rakistel keevitamisest tekkivaid temperatuure mõõtnud.

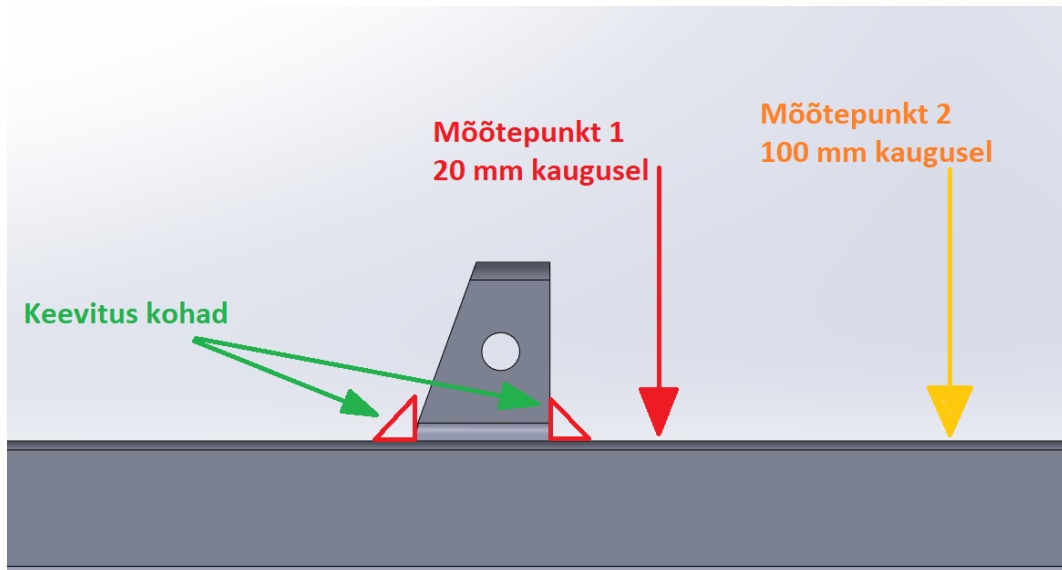
Mõõtmistulemused on välja toodud tabelis 5.1. Ruumi temperatuur kus detaile keevitati oli konstantselt 4 °C. Detailid mida keevitati olid kõik samuti 4 °C ning keevituse lõpuks oli detaili keskmine temperatuur vähemalt 150 mm keevituskohtadest 15 °C. Ehk võib arvestada et peatala temperatuur tõusis 10 °C ning lokaalsed kohad on toodud välja mõõtmiste tabelis.

Tabel 5.1 Kohapeal teostatud mõõtmised

Keevitus	Mõõtmise number	Temperatuur peale keevituse lõpetamist		Keevitus	Mõõtmise number	Temperatuur peale keevituse lõpetamist	
		20 mm kaugusel	100 mm kaugusel			20 mm kaugusel	100 mm kaugusel
Rihma kinnitus aas	1	211	27	Tagumine Lehtvedru kinnitus	1	267	28
	2	207	31		2	291	25
	3	230	30		3	278	30
	4	216	22		4	279	25
	5	198	30		5	268	29
	6	223	28		6	298	32
	7	221	27		7	272	32
	8	217	24		8	251	25
	9	223	26		9	268	32
	10	209	28		10	269	27
	Keskmine	215,5	27,3		Keskmine	274,1	28,5
Eesmine lehtvedru kinnitus	1	274	28	Vahetala	1	258	32
	2	300	26		2	288	28
	3	295	29		3	276	26
	4	253	29		4	298	28
	5	254	29		5	266	31
	6	271	26		6	268	31
	7	264	30		7	292	27
	8	279	30		8	256	27
	9	268	29		9	289	26
	10	269	30		10	253	30
	Keskmine	272,7	28,6		Keskmine	274,4	28,6

Mõõtmistel ei ole mõõdetud amortisaatori, esipaneeli, tagapaneeli ja vahepostide temperatuure. Kuid need on võimalik tuletada mõõdetud, tulemustes võttes arvesse keevituse pikkuseid. Keevitusi ei mõõdetud kuna need sõlmed muutuvad piisavalt palju, et neid ei ole võimalik välja tuua uue haagise toomisel uuel rakisel.

Kõige rohkem võib paisuda keevitusest tingitud temperatuuri kasvust haagised, millel on kõige rohkem detaile keevitada raami alumistele peataladele. Ehk 4 meetrine kaheteljeline haagise raamil, on kõige rohkem vahetalasid ning kinnituskohi mis vajavad raamile keevitamist. Täpsemalt on 4 meetrisel haagisel neli vahetala keevitust, mõlemad paneelid, amordi kinnitused, lehtvedru kinnituskohad ja koorma rihma kinnitusaasad.



Pilt 5-2 Mõõtepunktide asukohad detailist

Joonpaisumist saab leida valemiga (5.1).

$$\Delta l_k = \alpha * l_1 * \Delta t \quad (5.1)$$

Δl_k - pikkuse muutus

α - lineaar paisumistegur

l_n - algpikkus detaili osal mida temperatuur kasvatab

Δt - lõpp ja algse temperatuuri vahe

Kuna kõigil detailidel on määratud kaks ala, kus temperatuur tõuseb saab iga detaili kohta kirjutada valemi järgmiselt:

$$\Delta l_k = \alpha(l_1 * \Delta t_1 + l_2 * \Delta t_2) \quad (5.2)$$

Nüüd on võimalik kõikide keevitatavate elementide mõjud välja arvutada vastavalt:

Eesmine lehe kinnitus raamil:

$$\begin{aligned} \Delta l_{k1} &= 12 * 10^{-6} (C^0)^{-1}((0,1 m * (273 ^\circ C - 4 ^\circ C) + 0,16 m * (29 ^\circ C - 4 ^\circ C)) = 0,00037 m \\ &= 0,37 mm \end{aligned}$$

Tagumine lehe kinnitus raamil:

$$\begin{aligned} \Delta l_{k2} &= 12 * 10^{-6} (C^0)^{-1}((0,105 m * (274 ^\circ C - 4 ^\circ C) + 0,16 m * (29 ^\circ C - 4 ^\circ C) ^\circ C) = 0,00039 m \\ &= 0,39 mm \end{aligned}$$

Vahetala:

$$\Delta l_{k3} = 12 * 10^{-6} (C^0)^{-1}((0,08 m * (274 ^\circ C - 4 ^\circ C) + 0,16 m * (28 ^\circ C - 4 ^\circ C)) = 0,0003 m = 0,3 mm$$

Vahepost:

$$\begin{aligned} \Delta l_{k4} &= 12 * 10^{-6} (C^0)^{-1}((0,075 m * (274 ^\circ C - 4 ^\circ C) + 0,16 m * (29 ^\circ C - 4 ^\circ C)) = 0,00029 m \\ &= 0,29 mm \end{aligned}$$

Esipaneel ja tagapaneel kokku:

$$\begin{aligned}\Delta l_{k5} &= 12 * 10^{-6} (C^0)^{-1} ((0,04 m * (274 ^\circ C - 4 ^\circ C) + 0,16 m * (29 ^\circ C - 4 ^\circ C))) = 0,00018 m \\ &= 0,18 mm\end{aligned}$$

Lisaks tuleb arvutada ka ülejäänud detaili materjali soojenemisega, mis oli meil eelnevalt arvestatud 10 °C. Kasutada saab valemite (5.1) lahutades sealt maha kõik eelnevalt arvestatud pikkused 4 meetrisest peatalast.

$$\Delta l_{k6} = 12 * 10^{-6} (C^0)^{-1} * (4 m - 2,2 m) * 10 ^\circ C = 0,0002 m = 0,2 mm$$

Kõik paisumised kokku arvutades tuleb paisumised läbi korrutada ka detailide kogusega peatalal.

$$\begin{aligned}\Delta l_{KOKKU} &= \Delta l_{k1} + \Delta l_{k2} + 4 * \Delta l_{k3} + 2 * \Delta l_{k4} + \Delta l_{k5} \\ &= 0,37 mm + 0,39 mm + 4 * 0,3 mm + 2 * 0,29 mm + 0,18 mm + 0,2 mm = 2,92 mm\end{aligned}$$

Temperatuuri muutusest, pikenemisest tuleneva jõu saab leida valemiga (5.3).

$$F = YA \left(\frac{\Delta L}{L_0} \right) \quad (5.3)$$

Y-Youngi moodul

A-tala ristlõike pindala

ΔL -tala pikkuste vahe

L_0 -tala algne pikkus

F-jõud, millega tala surub rakist laiali

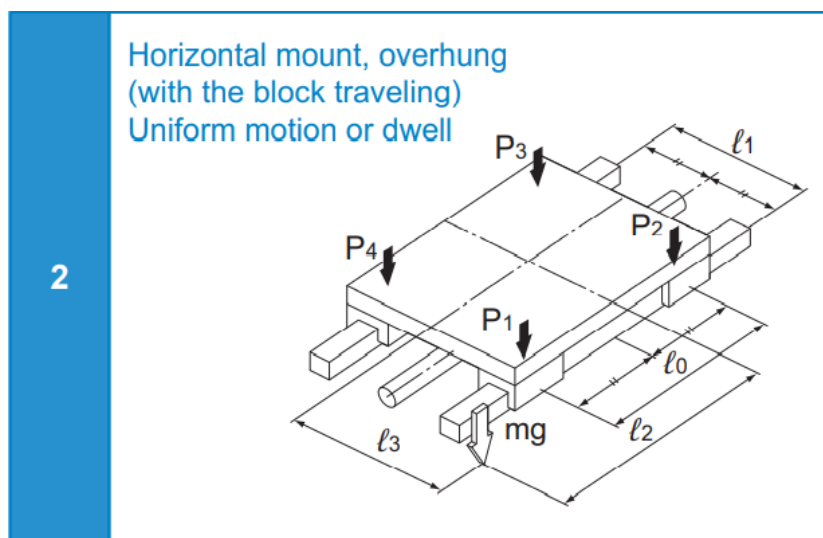
Tala pikkuse muutumise saab välja arvutada valemiga (5.1).

$$F = 21 * 10^{10} \frac{N}{m^2} * 0,00037 m^2 * \left(\frac{0,0029 m}{4 m} \right) = 56300 N = 56,3 kN$$

56,3 kN on piisavalt suur jõud, et deformeerida kõiki rakise detaile, kui detail on rakisesse asetatud ilma, et seda jõudu arvestataks. Selle jaoks on vaja teha peatala otstesse kindlasti rakisele kohad, kus detail saaks pikeneda vähemalt arvutatud 3 mm. Arvestades lisaks, et arvutused ja mõõtmised võivad ebakorrektsed olla siis tuleb kindlasti lisada arvutustele varutegur, juhul kui temperatuur peaks reaalses tootmistingimustes kõrgemale kasvama.

5.1.2 Lineaarjuhikutele mõjuva jõu leidmine

Lineaar liikurite juhikutele mõjuvad eri nurkades eri suuruses jõud.



Pilt 5-3 Valemit 5.4 seletav joonis [5]

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{mg}{4} + \frac{mg * l_2}{2 * l_0} - \frac{mg * l_3}{2 * l_2} \\
 P_2 &= \frac{mg}{4} + \frac{mg * l_2}{2 * l_0} - \frac{mg * l_3}{2 * l_2} \\
 P_3 &= \frac{mg}{4} + \frac{mg * l_2}{2 * l_0} - \frac{mg * l_3}{2 * l_2} \\
 P_4 &= \frac{mg}{4} + \frac{mg * l_2}{2 * l_0} - \frac{mg * l_3}{2 * l_2}
 \end{aligned}
 \tag{5.4}$$

m - mass [kg]

l_n - Raskuse kaugus kelgust [m]

P_n - Lineaarile mõjuv normaljõud [N]

g - gravitatsiooni kiirendus

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{250 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2}{4} + \frac{250 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1 \text{ m}}{2 * 1,2 \text{ m}} - \frac{250 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0 \text{ m}}{2 * 1,55} = 1633 \text{ N} \\
 P_2 &= \frac{250 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2}{4} - \frac{250 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1 \text{ m}}{2 * 1,2 \text{ m}} - \frac{250 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0 \text{ m}}{2 * 1,55} = -408 \text{ N} \\
 P_3 &= \frac{250 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2}{4} - \frac{250 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1 \text{ m}}{2 * 1,2 \text{ m}} + \frac{250 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0 \text{ m}}{2 * 1,55} = -408 \text{ N} \\
 P_4 &= \frac{250 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2}{4} + \frac{250 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1 \text{ m}}{2 * 1,2 \text{ m}} + \frac{250 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0 \text{ m}}{2 * 1,55} = 1633 \text{ N}
 \end{aligned}$$

6. Laiusraami konstrueerimine

Laiusraami põhiliseks tööks saab olema pneumaatilise raami toetamine ning ülemise porte tala fikseerimine keevitamise ajal. Laiusraam peab olema rakisega töötajal manuaalselt käsitsi liigutatav ja lukustatav. Laiusraam on projekteeritud 80x50x4 mm U-profiilidest mis on töödeldud torulaser pingis. Detailid on omavahel liidetud poldidega või keevitatud.

6.1 Lineaarliikurite valik

Lineaarliikurid on paremad, kuna see lihtsustab oluliselt rakisega töötajal elementide liigutamist. Kui kasutada lihtsat „tala vastu tala“ lähenemist oleks hõõrdetegurid suuremad ja täpsused oluliselt madalamad. Lisaks oleks vaja ise projekteerida oluliselt rohkem lahendusi, lineaarliikureid on võimalik osta kohe paljudest erinevatest kataloogidest. Kasutati oluliselt täpsemaid lineaarliikureid kui oleks vaja olnud. Kuid kuna vähemtäpsed lineaarsüsteemid on samas hinnaklassis, pole mõjuvat põhjust, milleks investeerida vähemtäpsematesse süsteemidesse, kui sama investeeringu eest saab ka täpsemaid.

Laiusraamile toetub kogu rakise liikuvate osade raskus. Selleks peavad lineaarliikurid olema võimelised kompenseerima pea igas suunas jõude. Olulisemad neist on staatiline ja dünaamiliselt rakendatav koormus ning kuna koormus rakendub toetuspunktist eemale peab kindlasti arvestama momentjõududega. Edaspidi tähistab neid jõude:

C – Jõud, mis rakendub lineaarjuhiku talla pinnale normaalis

M_{ro} – X suunaline moment, mis mõjub lineaarjuhikule

M_{yo} – Y suunaline moment, mis mõjub lineaarjuhikule

M_{zo} – Z suunaline moment, mis mõjub lineaarjuhikule

Rakise projekteerimise alguses arvestati, et laiusraam võib kaaluma minna kuni 150 kg koos kõikide detailide ning rakisesse asetatavate toote osadega. Arvestada tuleks ka olukorraga, kui mingil põhjusel keegi rakise peale astub, siis võib lisanduda ligikaudu 100 kg lisaks raamile veel juurde. Peatükis 5.1.2 leidsime, et suurim, koormus mida üks lineaarliikur kandma hakkab on ligikaudu 1600 N. Osade rakise konfiguratsioonide juures asetseb raskus x telje suunas kuni 0,4 meetri kaugusel ning y telje suunas 2 meetri kaugusel. See tähendab, et suurim moment, mis võiks teoreetiliselt tekkida

lihtsate raskusjõudude korral x suunal on $M_{ro} = 150 \text{ Nm}$ ja y suunal on $M_{yo} = 750 \text{ Nm}$. Tuleb arvestada, et hinnanguline jõud mõjub 4 liikurile korraga.

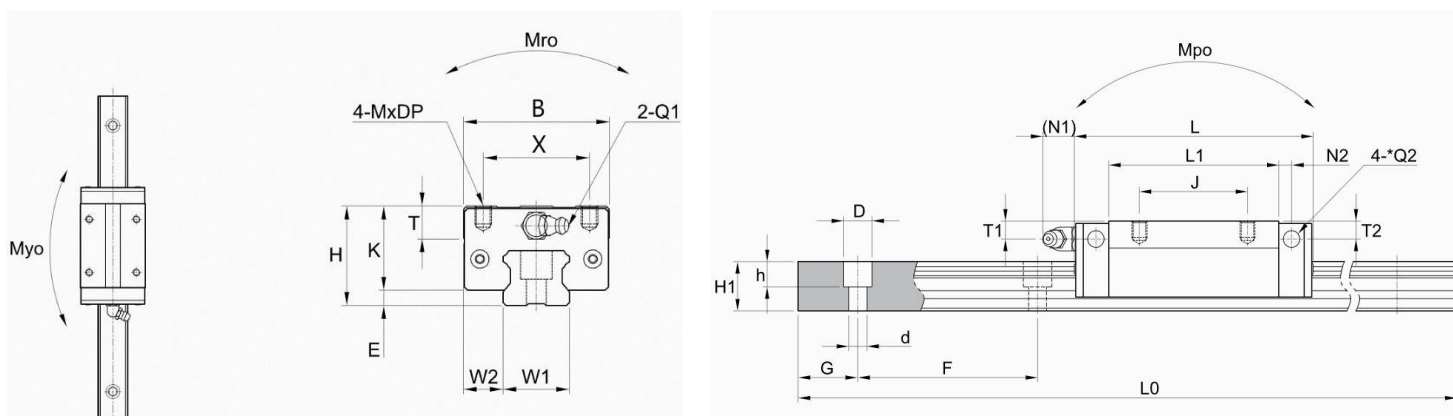
6.1.1 Lineaarsüsteemi valik

Lineaarliikuri valimisel on kõige olulisemad omadused: hind rööpal meetri kohta, hind kelgul, kandevõime staatilise ja dünaamilise koormusega ning jõu momendid. Ebamõistlikult kallite lineaarsüsteemide valimisel tuleb kokku hoida teiste ostukomponentide arvelt ning jõududega mitte arvestamine võib pärssida juhikute liikumist või ekstreemses olukorras deformeeruda.

Parema otsuse tegemiseks seati kataloogidest leitud arvutustele sobivad lineaarliikur süsteemid tabelisse 6.1.

Tabel 6.1 Kõik lineaarliikurid mida kaaluti projektis kasutada

Lineaarjuhiku tootja	Mudel	Max staatiline (kN)	Max dünaamiline (kN)	M _{ro} (Nm)	M _{yo} (Nm)	M _{po} (Nm)	H kõrgus (mm)	B laius (mm)	L pikkus (mm)	Kaal (kg)	Hind juhikul (€)	Kaal meetri kohta (kg/m)	Hind rööpal (€)
Schaeffler	KWVE20-B-L	36,5	16,2	452	430	430	30	63	88,9	0,63	106,7	0,626	116,6
Schaeffler	KWVE30-B-H	55	27,5	970	700	700	45	60	99	1,09	90,2	1,09	123,7
Schaeffler	KWVE35-WL	100	47,5	5550	1890	1890	50	162	140,2	2,59	144	2,59	219,2
SBC Linear	SBI15 FL	24,1	14,1	160	170	170	24	47	63,8	0,24	41,7	1,3	81,7
SBC Linear	SBI20 FLL	50	27,9	560	470	560	30	63	96,4	0,6	50	2,2	85
SBC Linear	SBI20 CLL	50	27,9	470	560	560	28	44	96,4	0,41	48	2,2	85
SBC Linear	SBI20 SL	38,2	22,2	360	330	330	30	44	78,8	0,36	41,8	2,2	85
SBC Linear	SBI25 FL	52,1	31,5	560	560	560	36	70	92	0,75	60,8	3	88,8
HIWIN	HGH15CA	23,47	14,7	120	100	100	28	34	39,4	0,18	49,8	1,45	86,5
HIWIN	HGH20HA	48	32,7	350	350	350	30	44	65,2	0,39	84,5	2,21	100,1
HIWIN	HGH25HA	52,82	34,9	560	570	570	40	48	78,6	0,69	76,8	3,21	116,4



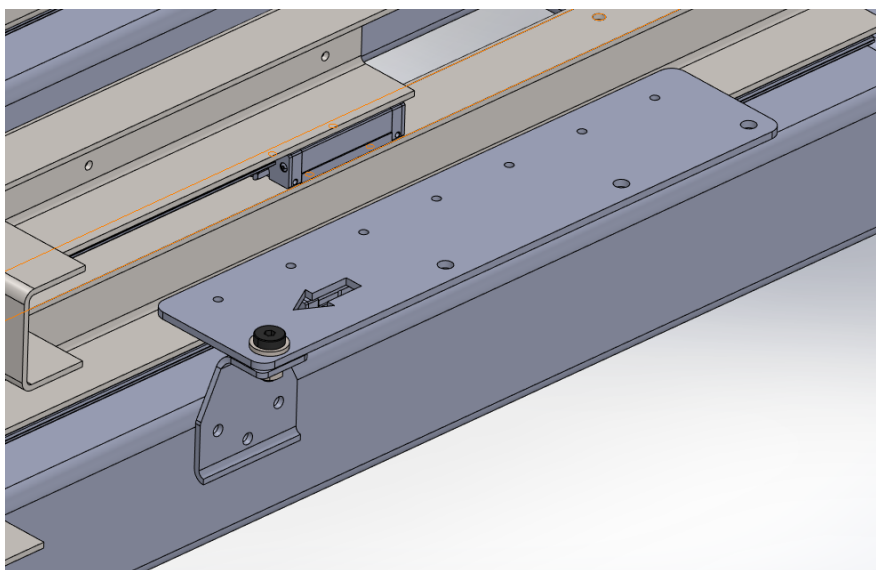
Pilt 6-1 Tabelit 6.1 selgitavad joonised [6]

Kõik tabelisse kantud lineaarliikurid on eesti ettevõtete kataloogidest leitavad ja tellitavad. Lisaks on nendele lineaarjuhikutele võimalus lisada koorijaid ning tihendeid vastavalt vajadusel. Valitud liikurid on SBI20 FLL ja CLL. FLL on laiema tallaga ning sobib

paremini alumistele kandvatele raami osadele. CLL on kitsam sama tüübi liikur mis sobib ülemistele kitsamatele raami osadele. Mõlemad kasutavad sama 20 mm laiusega rööbast.

6.2 Laiusraami lukustamine

Laiusraami lukustamiseks kasutatakse GN 732.1 standardile vastavaid sisekuuskantpolte. Poldidel on täpne krae mida saab kasutada positsioneerimiseks raami kinnitamisel. Valitud poldid on keermega M10 ning täppis kraega, mille läbimõõt on 12 mm.



Pilt 6-2 Laiusraami lukustamise plaat CAD mudelina tarkvaras Solidworks

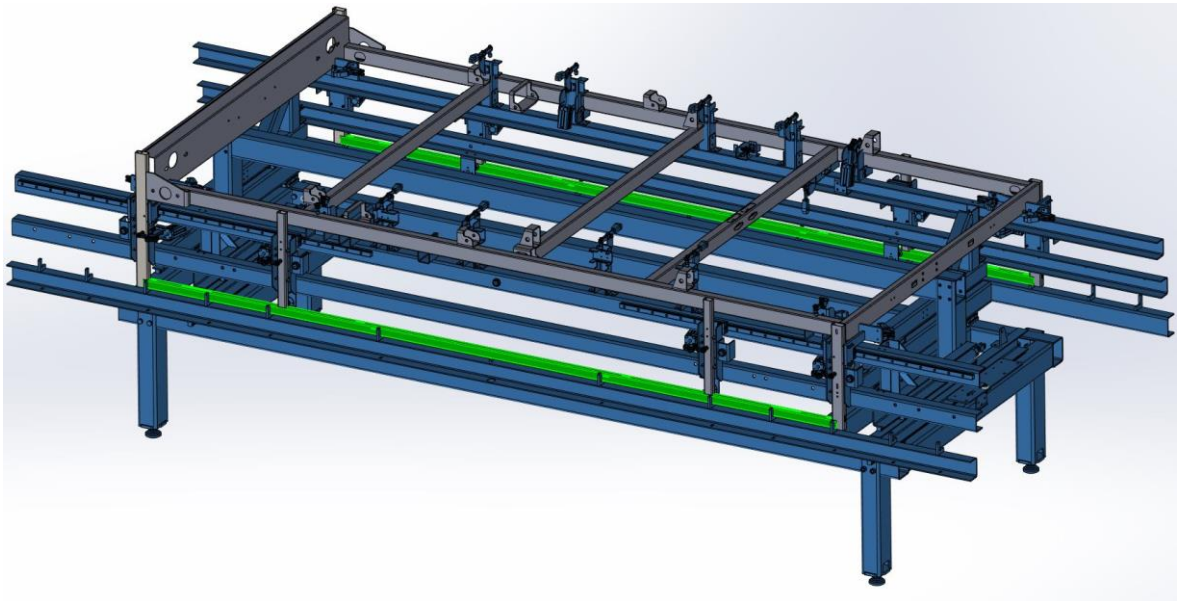
Poldi täpseks asetuseks on laserlõikusest lõigatud positsioneerimisplaat. Sinna on täpselt mõõtude 1,2 m, 1,5 m, 1,8 ja 2 m laiuste haagiste jaoks avad lõigatud. Plaat ise kinnitub laiusraami U-profiili sisse. Kinni on polditud plaat kasutades ära lineaarliikuri kinnitamisel kasutatavaid avasid ja polte.

Positsioneerimisplaadi vastuseks on põhiraami külge kinnitatud kronstein. Kronstein on lõigatud torulaser pingis 70 x 50 x 4 mm U-profiilist.

6.3 Ülemine porte tala rakises

Kuna ülemine porte tala määrab haagise laiuse, on see toetatud laiusraami peale. Laiusraamile toetub porte ülemine tala lehest lõigatud L toetuspunktide peale, mis on omakorda keevitatud laiusraami raami külge. Et vältida tala liikumist, kui see on esimesena rakisesse pandud, on laiusraamile kinnitatud ka tala tsentreerimiseks polt.

Poldi jaoks on kõigile ülemistele porte taladele tehtud vastuseks ava kuhu polt enam vähem ennast tsentreerib.



Pilt 6-3 Ülemised porte talad roheliselt kujutatud rakises

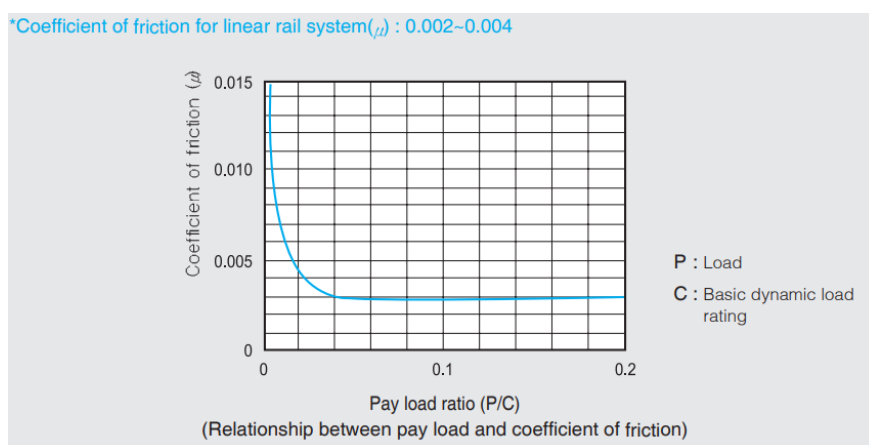
Porte tala on toetatud väliselt küljelt ning alumiselt küljelt lehest lõigatud L kujuliste toetuspindadega. Edasi tagasi liikumist takistab esialgu ainult tsentreerimispolt. Kui rakisesse asetatakse otsapostid siis hakkab tala edasi tagasi liikumist ära hoidma otsaposti pinnad. Sisemiselt küljelt on tala toetatud sõrmedega (peatükk 7.2), mida on võimalik lukustada pneumaatilise raami silindritega.

7. Pneumaatilise raami konstrueerimine

Pneumaatilise raami tööks on olla kinnituskohaks horisontaalselt liikuvatele lineaarliikuritele, mis hoiavad kinni haagise raami otsaposte ja vaheposte. Pneumaatiline raam peab olema võimeline ära liikuma haagise raami osade juurest, et haagise raami oleks võimalik ära tõsta rakisest peale keevituse tööde lõppu. Pneumaatilisele raamile kinnituvad ka erinevad lehe, amortisaatorite ja tiisli kinnituskohade rakise osad.

Pneumaatilised silindrid peavad olema võimelised rakendama piisavalt jõudu, et liigutada raami sujuva kiirusega edasi tagasi. Samas ei tohi need olla liiga võimsad, kuna sellisel juhul oleks vaja projekteerida eraldi aeglustussüsteem raamile. Liiga nõrkade silindrite valimisel muutuks raami liikumine aeglaseks ja pikendaks tootmise aega ebamõistlikult.

7.1 Hõõrdeteguri ja silindri jõu leidmine



Pilt 7-1 Hõõrdeteguri graafik, mille on tootja SBC andnud oma tootekataloogis

Tootja SBC on oma tootekataloogis andnud seisvale lineaarliikurile eraldi hõõrdeteguri graafiku, kus hõõrdeteguri suurus sõltub, milline koormus on asetatud kelgule ning milline on tootja kataloogis antud dünaamilise jõu suhe. Liikuvate juhikute on tootja andnud hõõrdeteguriks kõikidele oma lineaarliikuritele $\mu = 0,2$. Ehk vajamineva jõu saab leida Hõõrdejõu valemi abil:

$$F_h = \frac{P}{C} * a_g * m_{mass}$$

P - raskusjõud mida lineaarliikurile avaldatakse

C –Tootja poolt antud maksimaalne dünaamiline koormus

Kuna lineaarliikureid on ühel pneumaatilisel poolel 4 tuleb kõigi nelja kelguga arvestada.

P raskusjõud saab välja arvutada peatükis 6.1.2 kasutatud valemit.

$$P_1 = \frac{200 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2}{4} + \frac{200 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1 \text{ m}}{2 * 1,2 \text{ m}} - \frac{200 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0 \text{ m}}{2 * 1,55} = 1308 \text{ N}$$

$$P_2 = \frac{200 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2}{4} - \frac{200 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1 \text{ m}}{2 * 1,2 \text{ m}} - \frac{200 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0 \text{ m}}{2 * 1,55} = -326 \text{ N}$$

$$P_3 = \frac{200 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2}{4} - \frac{200 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1 \text{ m}}{2 * 1,2 \text{ m}} + \frac{200 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0 \text{ m}}{2 * 1,55} = -326 \text{ N}$$

$$P_4 = \frac{200 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2}{4} + \frac{200 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1 \text{ m}}{2 * 1,2 \text{ m}} + \frac{200 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0 \text{ m}}{2 * 1,55} = 1308 \text{ N}$$

$$F_{h1} = \frac{P}{C} * a_g * m_{mass} = \frac{1308 \text{ N}}{22000 \text{ N}} * \frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} * 130 \text{ kg} = 76 \text{ N}$$

$$F_{h1} = \frac{P}{C} * a_g * m_{mass} = \frac{326 \text{ N}}{22000 \text{ N}} * \frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} * 32,6 \text{ kg} = 5 \text{ N}$$

$$F_{h1} = \frac{P}{C} * a_g * m_{mass} = \frac{326 \text{ N}}{22000 \text{ N}} * \frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} * 32,6 \text{ kg} = 5 \text{ N}$$

$$F_{h1} = \frac{P}{C} * a_g * m_{mass} = \frac{1308 \text{ N}}{22000 \text{ N}} * \frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} * 130 \text{ kg} = 76 \text{ N}$$

$$F_h = F_{h1} + F_{h2} + F_{h3} + F_{h4} = 76 + 5 + 5 + 76 = 162 \text{ N}$$

Lisaks lineaarliikur süsteemide hõõrdumisele tuleb arvestada ka pindadega mis toetuvad rakise osadele mis hakkavad liikuma kui soovitakse vabastada valmis raami rakisest. Kõige raskem keevisraami mass on ligikaudu 130 kg. Kuna kogu haagise mass toetub terasest lõigatud detailide peale saame võtta hõõrdeteguriks S235 teras vastu S235 terast staatiline hõõrdeteguri mis on 0,7 [1]. Hõõrdeteguri saame arvutada hõõrdeteguri valemiga.

$$F_r = \mu * m_{mass} * a_g = 0,7 * 130 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 891 \text{ N} \quad (7.1)$$

Arvutatud hõõrdetegur on mõlema pneumaatilise raami peale kokku. Ehk ühel pneumaatilisel poolel on vaja ületada sellest vähemalt pool.

Silindrit on kõige lihtsam valida järgneva valemi järgi:

$$F = p * S \quad (7.2)$$

F – Jõud, mida silinder avaldab [N]

p – Töörõhk, mis silindri tööpinnale avaldub [bar]

S - Silindri kolvi tööpindala [m²]

Jõud, mida kõik neli silindrit kahe raami liigutamiseks peavad rakendama kokku on:

$$F_k = 2F_h + F_r = 2 * 162 \text{ N} + 891 \text{ N} = 1215 \text{ N}$$

Ühe silindri jõud peab sellisel juhul olema vähemalt neljandik kogu jõust:

$$F_{k1} = \frac{F_k}{4} = \frac{1215 \text{ N}}{4} = 303 \text{ N}$$

Kuna arvutustes pole võimalik ennustada kõiki võimalusi kuidas raam võib igal keevitusel deformeeruda, tuleks silindritele lisada varutegur. Varuteguri lisamine aitab tagada raamide liikumise isegi siis, kui materjal peaks ootamatult survestama mõnda kontaktpinda, mis tekitab omakorda hõõrdejõud millega arvutustes ei arvestatud. Võetud varuteguriks on 1,5 mis viib ühe silindri nõutud jõu 450 N peale.

Silindri vajamineva ligikaudse kolvi suuruse saame tootja kataloogi soovitusliku valemi (7.3) järgi leida [7].

$$S = \frac{F}{p} = \frac{450 \text{ N}}{0,6 \text{ N/mm}^2} = 750 \text{ mm}^2 \quad (7.3)$$

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{750 \text{ mm}^2}{\pi}} = 15,45 \text{ mm}$$

Selle järgi saame teada, et ühe pneumaatilise raami liigutamiseks on meil vaja kahte silindrit, mille kolvi läbimõõt oleks vähemalt 30,9 mm, ehk kahekordne leitud raadius. Valitud silinder töö jaoks on SMC kataloogist CG1DN32-150Z-W silinder. Silindri kolvi tööpindala läbimõõt on 32 mm.

Lisaks jõule on vaja muuta õhuvoolu niipalju, et raamid liiguksid sujuva kiirusega. See on vajalik selleks, et kui peaks juhtuma õnnetus rakisega töötamisel oleks töötajal võimalik reageerida vastavalt muutuvale olukorrale. Pneumaatilise silindri liikumiskiiruse saab arvutada järgneva valemi järgi [7]:

$$v = q/S \quad (7.4)$$

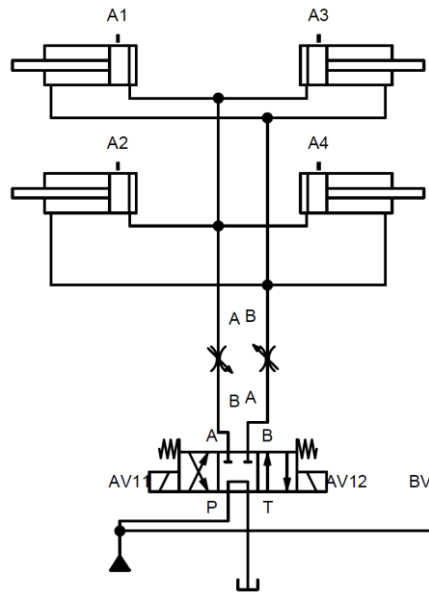
v - Silindri liikumiskiirus [mm/s]

q - õhuvool [mm³/s]

S - Silindri kolvi tööpindala [mm²]

Pneumaatilise raami liikumise ulatus on projekteeritud lineaarliikurile 150 mm. Ohutu töötamise ning töökiiruse kõrgel hoidmiseks sobib sellise vahemaa liikumiseks 3 sekundit. Eelneva valemi järgi saame arvutada õhuvoolu mida on vaja ühel silindril, et raam liiguks eelnevalt valitud silindri dimensioonide juures 3 sekundiga 150 mm.

$$q = v * S = \frac{150 \text{ mm}}{3 \text{ s}} * \pi * (16 \text{ mm})^2 = \frac{40200 \text{ mm}^3}{\text{s}} = 4,02 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$



Pilt 7-2 Laiusraamide pneumaatilise süsteemi skeem

Pneumaatilise raami liigutamiseks on vaja luua pneumaatika juhtimise süsteem nagu joonisel 7-2 on näidatud. Kuna mõlema poole raami liigutatakse kahe lineaar liikuri peal, on mõistlik lükata raame iga lineaari otsa pealt, et vähendada tekkivaid jõu momente mis kanduksid üle raami teise poole lineaarjuhikutesse. Juhikutesse rakenduv momendi saame välja arvutada väände jõu leidmise valemiga.

$$F_m = l * F = 0,05 \text{ m} * 450 \text{ N} = 22,5 \text{ Nm}$$

22,5 Nm on piisavalt väike väände jõud lubatud 330 Nm kõrval, et mitte mõjutada lineaarliikureid mille peal pneumaatiline raam liigub edasi tagasi.

Süsteemi juhitakse ühe ventiili abil. Ventiili teise asendisse solenoidiga lükkamisel silindrid suruvad mõlemad pneumaatilised raamid 150 mm edasi. Raami liikumise eesmärgiks on fikseerida ülemine porte tala ning viia otsapostide horisontaalselt liigutatavad rakised töö tegemise kohale. Silindrid peavad hoidma konstantset jõudu rakendatuna terve aja. Vastasel juhul liiguvad toote elemendid oma kohtadelt, ning võivad tekkida praaktooted. Kui toode on valmis keevitatud rakisel, siis järgnevalt liiguvad horisontaalsed rakise osad ventiili keeramisel oma kohtadelt ning ülemine porte tala vabastatakse surve alt. Juhul, kui rakisel peaks toitepinge kaduma või rakis välja lülitatakse voluringist välja, läheb solenoid ventiil lukustatud asendisse, kus silindrid ei liigu edasi ega tagasi. See välistab võimaluse, et rikke või õnnetuse korral silindrid edasi või tagasi liiguksid.

Silinder on paigutatud pneumaatilise raami U-profili sisse. Miinuseks sellisel paigutusel on see, et silindrit toitvad voolikud hakkavad raamiga pidevalt liikuma, mis võib tulevikus kulumist ning lekkeid tekitada. Plussiks sellise lahenduse juures on ruumi kokkuhoid ja kiirem konstruktsiooni lahendus. Silindri mujale paigutamine nõuaks rohkemate detailide konstrueerimist ning keerukamate sõlmede väljatöötamist, mis kõik kokku on suurem ajakulu.

7.2 Ülemise porte tala fikseerimine

Kuna üks külgedest porte talal peab olema vabastatav, siis kõige lihtsam oleks kasutada siin pneumaatilise raami liikumist. Pneumaatilise raami liikumine on täpselt risti porte talaga. Teise külje saab jätta statsionaarseks või vähesel määral reguleeritavaks. Pneumaatilise raamiga on lihtsaim lahendus kasutada klambritele mõeldud kummist otsi, et suruda see fikseeritud külgede vastu. Kummist otsad saab asetada nii, et lühematel alla 3 m haagistel suruks vähemalt kaks kummist otsa vastu porte ülemisele talale, ning üle 3 m haagistel neli kummist otsa. Detaili kinni hoidva hõõrdejõu saame välja arvutada valemiga [1]:

$$F_F = \mu * F_N \quad (7.5)$$

F_F - hõõrdejõud [N]

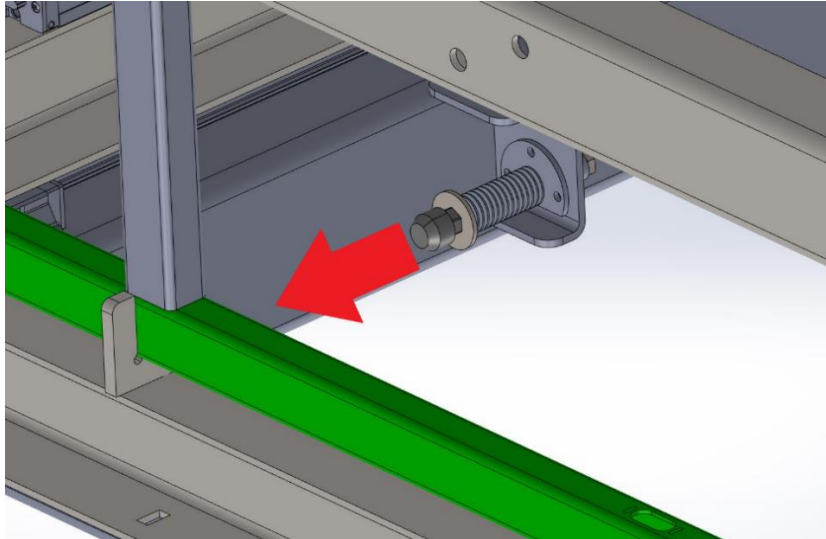
μ – hõõrdetegur

F_N - detailile mõjuv normaaljõud [N]

Kummist ots on toodetud neopreenist. Neopreeni ja terase vaheline hõõrdetegur on ligikaudu 2,2. Lisa 1 [8]. Eelnevalt arvatud ühe silindri jõu järgi saame leida hõõrdejõu. Arvestada tuleb ka seda, et ühele pneumaatilisele raamile tuleb asetada kaks tööd tegevat silindrit, et vähendada jõu momente lineaarliikurites.

$$F_F = 2,2 * (450 \text{ N} * 2) = 1980 \text{ N}$$

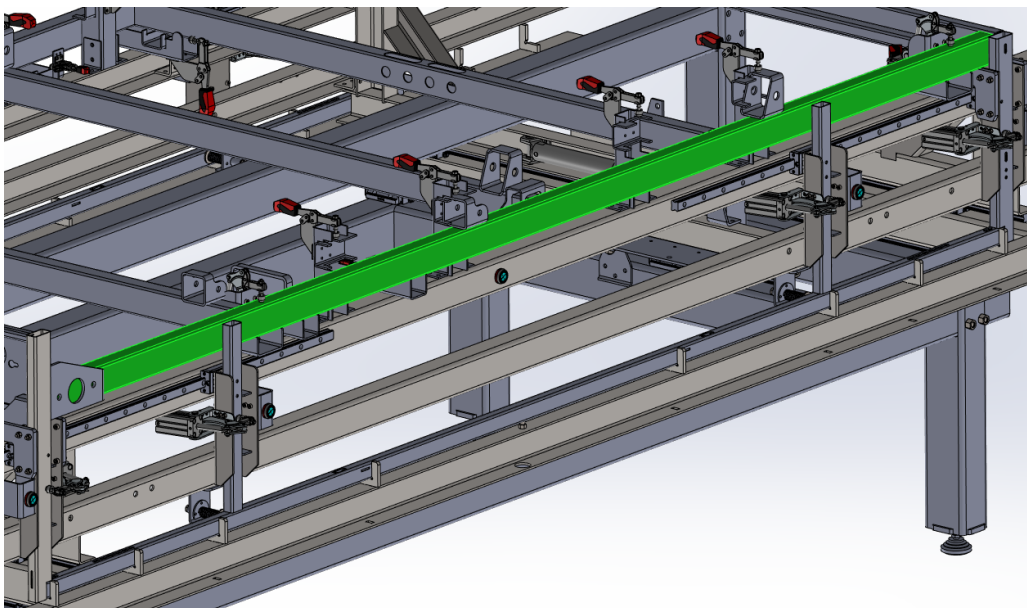
1980 N on piisavalt suur jõud, et rakisega töötaja ei liigutaks juhuslikult detaili rakisel valesse asendisse või sellest välja.



Pilt 7-3 Porte tala (rohelistelt) fikseerimiseks mõeldud sõrm ja selle liikumissuund

7.3 Alumise peatala fikseerimine

Alumine peatala fikseerimise väljatöötamiseks kulus kõige rohkem aega. Kuna peatalade külge kinnituvad kõik teised detailid on need ka kõige tähtsamad detailid rakises. Talad on toetatud rakise abil kahest suunast, küljest mis jääb rakise sisse poole ning rakise altpoolt. Pealt hoitakse tala kinni klambritega. Otstest ning väljapoolt on peatala toetatud teiste rakisesse asetatavate detailide poolt. Eest on toetatud esipaneeli talaga, tagant on toetatud tagapaneeliga. Välimiselt küljelt on peatala toetatud otsapostidega või üle kolme meetriste haagiste puhul ka vahepostidega.

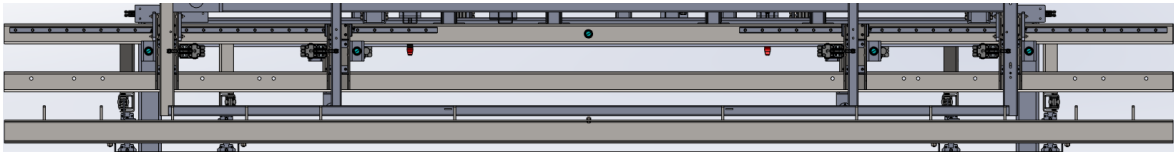


Pilt 7-4 Alumise peatala paiknemine rakisel

Mõlemat peatala hoiab kinni kaks pneumaatilist klambrit. Klambreid saab kontrollida nuppudega, mis on asetatud rakise keskele nii, et see jääks peatalade keskele mõlemale poole. Mõlemad klambrid on asetatud tala kinni hoidma rakise keskpunktist 1 meetri kaugusele. Kui peatala detailil elemente keevitatakse tekib tala sisse soojuspaisumise teel pinged. Kui detail hakkab maha jahtuma, hakkab metall kokku tõmbama. Tavaliselt ei võta jahtudes ükski detail oma algset kuju tagasi. Moonutusi ja deformatsioone on võimalik ära hoida klambrite abil detaili kinni hoidmisega rakises. Jääkpinge on see jõud, mis paneb detaili moonutama. Lukustades pindade ja klambrite abil õigetest kohtadest detaili on võimalik suunata jõude meile sobivates suundades, sellisel juhul pikkusesse. Kuna konstrueeritud rakise peatalal toimub enamuse keevituse raami alumisel küljel, tahavad peatala otsad jahtudes ülespoole tõusta. Selle jaoks oleks vaja klambrid asetada nii, et tekiks paindumisele vastu võimalikult suur jõuõlg. Konstrueeritud rakisel ei liigu peatala kinnitamiseks mõeldud klambrid oma kohalt, ehk klambrid on asetatud kõige väiksema haagise pikkuse järgi mis on 2 meetrit.

8. Horisontaalselt liikuvad rakise osad

Horisontaalselt liikuvad rakised osad on mõeldud kõikide vahetalade ning otsapostide kinnihoidmiseks. Lisaks määratakse nendega kui pikka haagist soovitakse rakises keevitada. Liigutades otsapostide asukohta rakise keskkohast kaugemale muutub ka haagise laius. Otsapostide ja vahetala rakised on manuaalselt liigutatavad lineaarjuhkute peal. Tänu nendele ei pea rakisega töötaja eemaldama rakise küljest kooste ning tõstma neid vajaminevate kohtade peale, vaid saab ilma raskeid osasid tõstmata libistada need vajaminevate kohtade peale.



Pilt 8-1 Tagumise poole horisontaalselt liikuvad rakise osad ja eesmised horisontaalselt liikuvad rakise osad kahel eraldi lineaar süsteemil

8.1 Pneumaatilised klambrid

Vahetalade ja otsapostide kinnihoidmiseks rakises kasutatakse pneumaatilisi klambreid, mis suruvad talad täpsetesse pesadesse. Pneumaatilised klambrid on siinjuhul vajalikud, et suurendada tootmiskiirust, lisaks ei pea inimene ise klambreid kinni lahti suruma/tõmbama ning eemaldatakse võimalus, et rakisega töötaja unustab juhuslikult mõne klambri lahti tegemata.

Valitud klamber on AMF kataloogist tellimusnumbriga 555066 klamber. Klamber on üledimensioneeritud arvestades millist detaili see kinni peab hoidma, kuid samas kõik nõrgemat survet avaldavad klambrid on kas tunduvalt kallimad või ei sobi dimensioonide poolest kasutusse. Lisaks AMFi klambritele kaaluti ka SMC MK2T seeria pöörleva otsaga klambreid. SMC pakutud tooted olid aga kallimad ning vajaksid keerulisemat kinnitamise süsteemi alamrakise külge.



A



B

Pilt 8-2 A) AMF kataloogi pneumaatiline klamber [10] B) SMC kataloogi pneumaatiline klamber [7]

Pneumaatiline süsteem peab töötama vastavalt: rakisega töötaja paneb vahetala või otsaposti rakisesse, nupule vajutades peab klamber sulgema, uuesti nupule vajutades peab klamber vabanema. Kui rakise pneumaatiline raam liigub, siis enne seda peavad klambrid ise vabanema või olema avatud asendis. See välistaks võimaluse, et klamber oleks suletud asendis kui raam liigub.

8.2 Lineaarliikur süsteem

Kuna igale kinnituspunktile toetub oluliselt vähem raskust lineaarjuhikutele, siis saab kasutada väiksemaid ja odavamaid lineaarsüsteemi osasid. Lisaks ei ole lineaarkelgud ainuke kinnituspunkt, kuhu raskus saab toetuda ehk jõud on suuremas osas jaotatud. Valitud juhik on eelnevalt lineaarjuhikute tabelis märgitud SBI20 CLL.

Rööpa valimisel oli kaks võimalust, kas panna terves pikkuses vahetalade ja otsapostide kinnituskohad liikuma või ainult esimeses ja tagumises tsoonis, sest keskele ühtegi vahetala ei ole toote olemuselt juba võimalik panna. Keskel olev tsoon kuhu vahetalasid ei saa panna on 956 mm lai, ehk ligikaudu valitud rööpa pealt oleks võimalik kokku hoida 170 €. See lihtsustab ja ka teeb odavamaks tulevikus võimalikud remonttööd. Kui juhiku rööbas on vaja välja vahetada, siis ei pea tervet 4 meetrist rööbast välja vahetama vaid vajamineva 1,5 meetrise poole.

8.3 Fikseerimine

Horisontaalselt liikuvad alamrakise koostud on võimalik fikseerida lineaari rööpaga paralleelselt asetatud raami tala külge. Raami talale on standardhaagiste positsioneerimise jaoks lõigatud avad kuhu splinti saab kinnitada. Splint ise on täppis GN 732.1 kruvi, et minimeerida tolerantside tekkimist. Iga ava juurde märgitakse toote valmistamisel hiljem ka splindi avadele täpselt haagise mõõdud, mille jaoks avad on tehtud, et lihtsustada rakisega töötaja tööd.

8.4 Detailide sobitamine ja kinnitamine

Järgnevas osas on kirjeldatud, kuidas hoitakse rakises kinni otsaposte, vahetalasid ning otsapaneele.

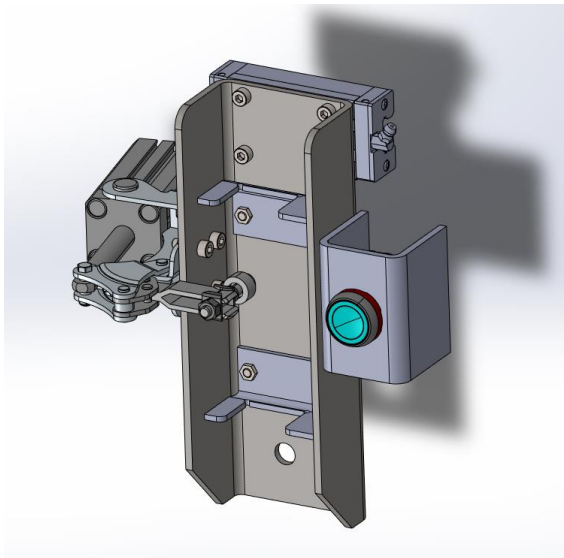
8.4.1 Otsapostid ja vahetalad

Otsapostid ja vahepostid hoitakse täpselt õiges kohas L-profiilist lõigatud pesade abil. Kasutatud L-profiili dimensioonid on 60x30x3 mm ning on torulaseris lõigatud täpsetesse mõõtudesse. Profiilid on omavahel kinnitatud poltidega ja tappidega.

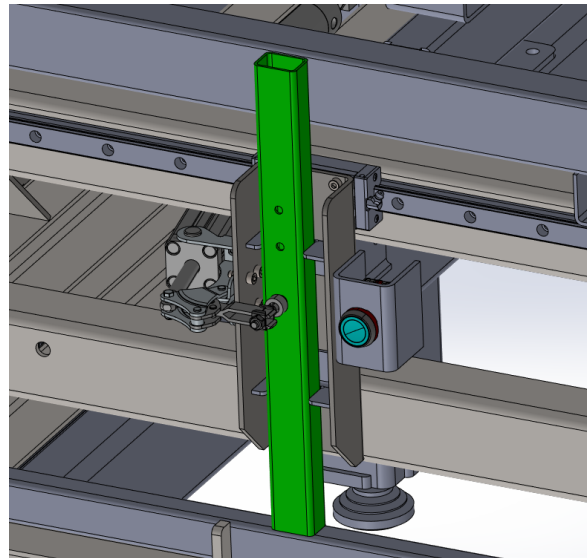
Detaili rakisesse asetades toetatakse post ära pindadega neljast suunast. Lisaks on postile otsa projekteeritud hambad, mis istuvad ülemise porte tala sisse, et veelgi vähendada võimalikku liikumist. Rakise väljapoole jäävalt küljelt surutakse kinni detail vastu rakist suruõhu klambri abil. Peale detaili kinnitamist on detailil võimalik jõuga liigutada rakisest välja ainult ülespoole. Jõu saab välja arvutada järgneva valemiga (7.5). Tootja on andnud tootekataloogi tabelis, et kui asetada kummist otsaga polt võimalikult lähedale liikumispunktile, surutakse detailile peale 300 N suuruse jõuga.

$$F_F = 2,2 * 300 N = 660 N$$

660 N on piisavalt suur jõud, et rakisega töötaja ei suuda peale detaili lukustamist seda enam pesast juhuslikult ära liigutada. Lisaks on lubatud detailile tolerants liikuda rakise suhtes üles suunas kuni 1 mm.



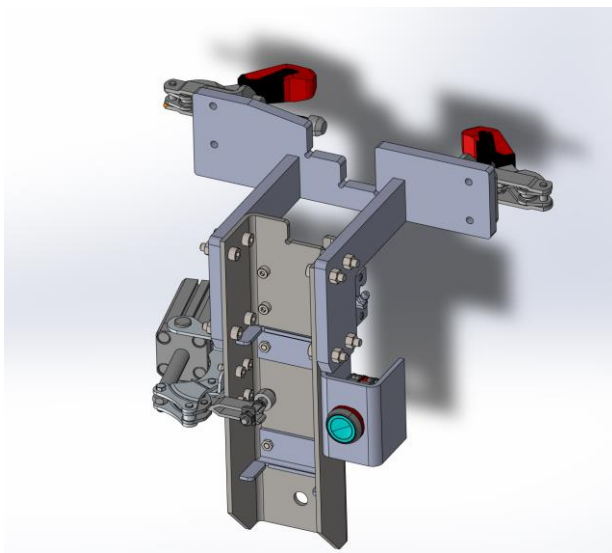
A



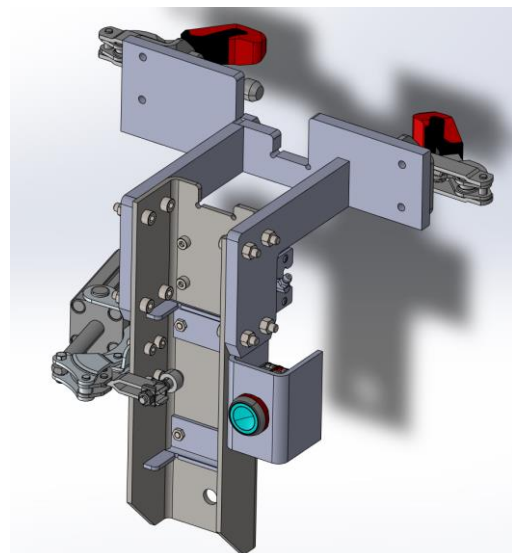
B

Pilt 8-3 Vaheposti alamkoost A) eraldi B) rakise koostus koos detailiga (roheline)

8.4.2 Esipaneel ja tagapaneel



A

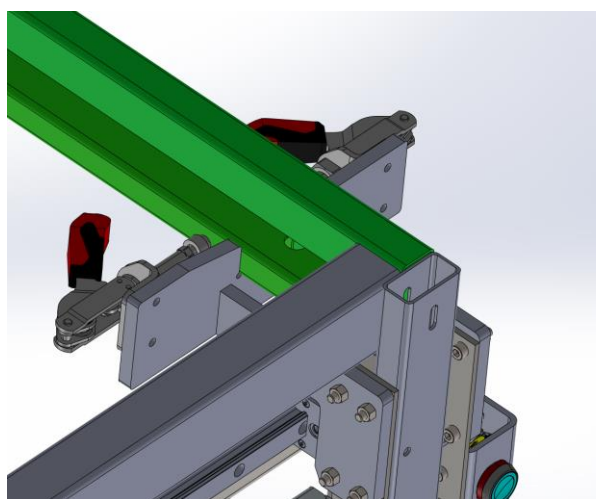


B

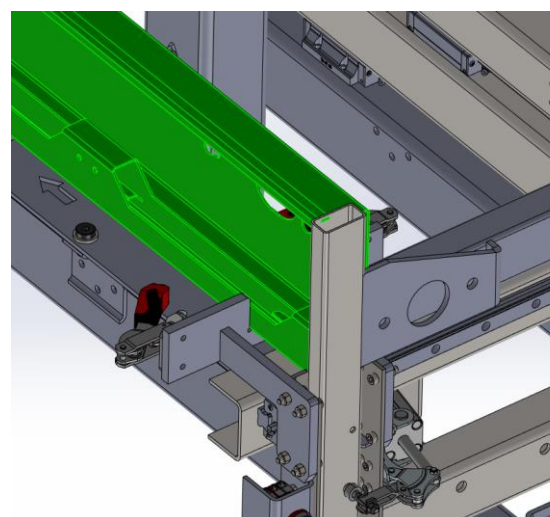
Pilt 8-4 A) Eesmise paneeli kinnitusega otsaposti rakis B) Tagumise paneeli kinnitusega otsaposti rakis

Esipaneel ja tagapaneel asetatakse sarnaselt rakisesse. Kuna esipaneel ja tagapaneel on alati sama kaugel vastavalt oma otsapostidest, siis kõige parem lahendus oli integreerida paneelide kinnitus otsapostide rakistega. Otsaposti rakistele on mõlema külje peale lõigatud 10 mm lehtmetailist tugi kronsteinid. Kronsteinid on kinnitatud otsaposti rakise külge M6 poltidega. Kronsteinidega risti on asetatud kolmas samast materjalist lõigatud detail mis on keevitatud kahe kronsteini külge. See detail omab paneeli kahe detaili kuju. Esipaneel koosneb kahest torust lõigatud detailist. Detailidel on hambad mis võimaldavad kahte detaili liita mehhaanilise liitega. Peale liitmist asetatakse detailid rakisesse. Pildil 8-5 on näha, kuidas paneeli detailid peale liitmist asetsevad sellele mõeldud pesas. Peale rakisesse asetamist on võimalik kaks paneeli detaili omavahel kokku suruda AMF kataloogi lineaarselt otse suruvate klambritega. Ilmselt pole lõplikul rakise lahendusel vaja mõlemat klambrit paneeli kinnihoidmiseks. Kuid testimise eesmärgil on esialgu planeeritud nii seesmise kui välimise klambri jaoks kinnituskoht. Paneeli detailid omavad ka tappe, mis haaravad kinni otsapostist. See aga tähendab, et paneeli detailid tuleb kindlasti asetada rakisesse enne kui otsapostid.

Esipaneel koosneb ainult torudest. Tagapaneel koosneb torulaseril lõigatud torust ning plekist painutatud paneelidest. Kuna tagumise paneeli plekk on oluliselt kõrgem on võimalik viia ka üks toetuspunktidest pesal olulisemalt kõrgemale. Kuna kõik toetuspunktid paneelidel peavad saama liikuda peale toote valmimist rakise sisse poole on toetuspunktid konstrueeritud nii, et nende toetusala oleks võimalikult väike.



A

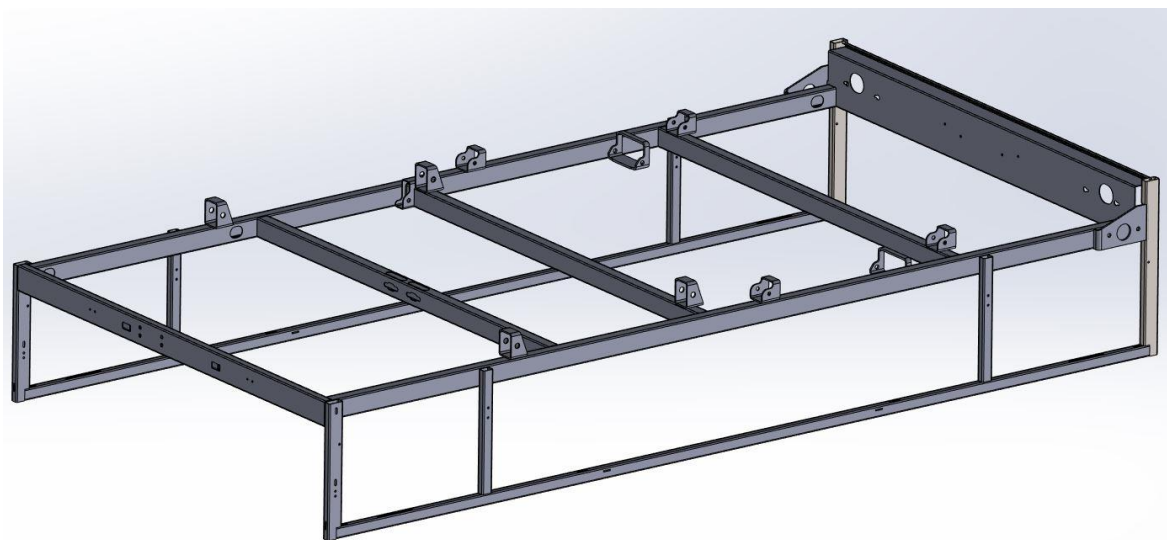


B

Pilt 8-5 A) Esipaneel (rohelist) vaade rakises B) tagapaneel (rohelist) vaade rakises

9. Lehtvedru ja amortisaatorite rakise osad

Üks paljudest nõuetest rakise juures oli, et keevisraamil ei oleks enam pooltooteid, mida tuleks rakisest väljaspool keevitada. See tähendab seda, et rakises on vaja fikseerida ka kõik lehtvedrude ja amortisaatorite kinnituskohad. Olukorra teeb keerulisemaks veel üheteljelise ja kaheteljelise raami olemasolud. Väikseid detaile mis hoiavad vedrustuse elemente kinni on kokku 6, kaheteljega haagise variandil topelt, ehk 12. Kõikidel haagistel asuvad nimetatud elemendid alati sama kohapeal haagise keskpunktist. See võimaldab rakises vedrustuse detailid fikseerida nii, et neid ei ole vaja haagise suuruse või laiuse muutmisel rakises ümber liigutada või tõsta.



Pilt 9-1 Tagurpidi raam kus on näha kõik amortisaatorite ja lehekinnituse kinnituspunktid

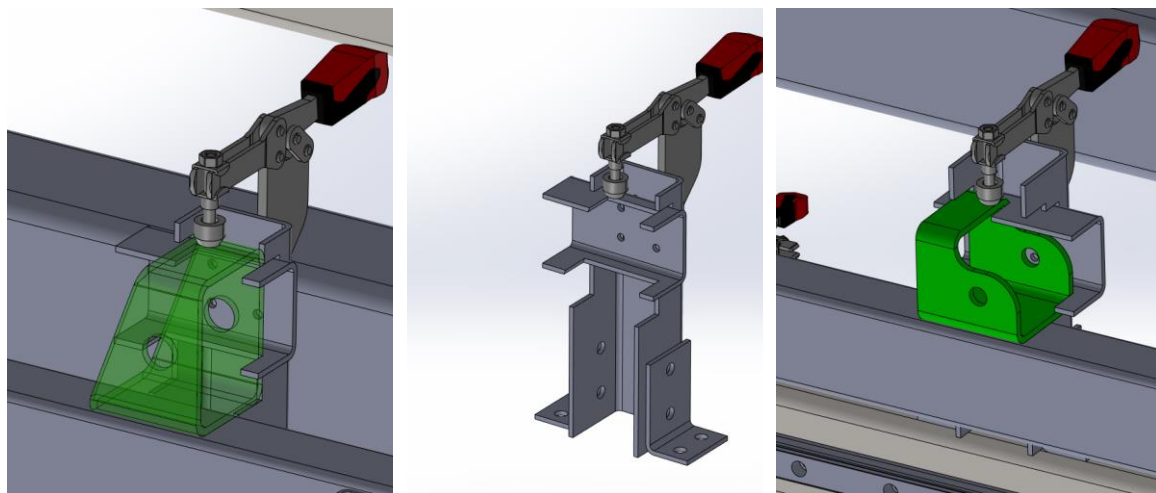
9.1 Lehtvedru kinnituskohad rakises

Lehtvedru kinnituskohad, mis asuvad peatalal suudeti projekti käigus lahendada. Kuid aga rakise kinnituskohad, mis peaksid kinni hoidma vahetaladel asetsevad kinnituskohati, võtavad liialt palju ruumi, et seda mõistlik integreerida oleks. Seepärast tuli otsus vastu võtta ning jätta üks lisa alamkoostu rakis, mille peal on võimalik vahetaladele elemente külge keevitada. Selline rakis juba eksisteerib tootmises ka praegu ning ei vaja uuesti konstrueerimist.

9.1.1 Üheteljelise ja kaheteljelise lehtvedru eesmise kinnituskoha fiksaator

Lehtvedru eesmise kinnituse on lahendatud, et detaili ennast on võimalik asetada rakisest väljapoolt ja ülevalt. Surudes kinni klambri Pilt 9-2 A fikseerib see detaili vastu haagise peatala ja osaliselt ka alamraami vastu. Detaili fikseerimise rakis on konstrueeritud nii, et kõik osad on võimalik välja lõigata torulaserist. Vajalikud profiilid

selle rakise tootmiseks on 50x50x3 mm U-profiil ja 60x30x3 mm L-profiil. Kõik detailid on omavahel kinni polditud. Polditud lahendus annab tulevikus võimaluse lihtsasti välja vahetada detaile juhul, kui esialgne lahendus ei sobi või tulevikus toode muutub. Klambriks on kasutatud AMF kataloogi horisontaalset klambrit koodiga 6833. Valitud klambriks on kinnituspind tasa klambri liikumissuunaga. See võimaldab klambri kinnitamist alamraamile ilma lisadetailide lisamisega.



A

B

C

Pilt 9-2 A) roheliselt kujutatud lehtvedru eesmine kinnitus rakises B) Lehtvedru kinnitus klamber ja alamkoost rakisest eraldi C) Roheliselt lehtvedru tagumine kinnitus raamil

9.1.2 Lehtvedru tagumine fiksaator

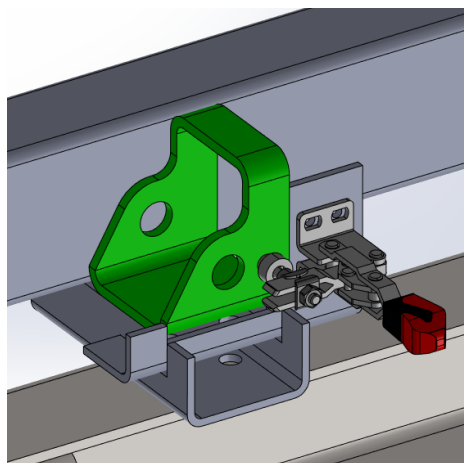
Lehtvedru tagumine kinnituspunkt raamil on piisavalt sarnane eesmise kinnitusega, et lihtsate muutustega detaili pesas on võimalik alamraam sobitada ka tagumisele lehtvedru fikseerimiseks keevitamise ajal.

9.2 Amortisaatorite kinnituskohad rakises

Antud peatükis on kirjeldatud üheteljelise ja kaheteljelise amordikinnituste rakise osade tööd.

9.2.1 Üheteljelise haagise amordi kinnitus

Üheteljelise haagise amortisaatori kinnitusel kasutatakse oluliselt lihtsamat, väiksemat ja kergemat konstruktsiooni kui teisel kahel amortisaatori kinnitusel. See võimaldab kasutada ka väiksemat AMF kataloogi klambrit, mis aitab alamrakise omakorda väiksemaks muuta. Valitud klamber on AMF kataloogi tähistusega 555065. Amortisaatori kinnitust on võimalik alamrakisesse paigutada rakise ülemiselt ja seesmiselt küljelt. Detaili allapoole ja edasi tagasi liikumine on toetatud alamrakise pindadega. Rakise väliskülje poolt toetatakse detaili alumise peatala sisemise küljega, kuhu külge ka detail hiljem keevitatakse. Sisemise külje poolt surub manuaalne klamber detaili vastu haagise raami alumist peatala. Tootja kataloogi järgi on klamber võimeline avaldama maksimum 500 N jõudu detailile. Klamber kasutab sama neopreenist kummist otsa nagu teised klambrid. Selle järgi saab arvutada valemi (7.5) abil, et vabaks jäetud küljelt detaili väljatõmbamiseks on vaja ületada hõõrdejõud 1000 N.

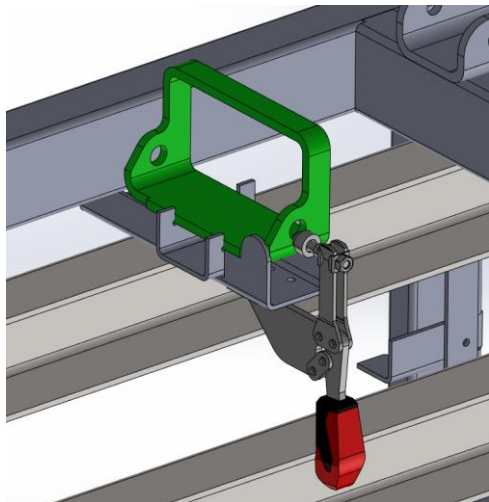


Pilt 9-3 Üheteljelise haagise amordi kinnitus roheliselt ning seda kinni hoidev rakise alamkoost

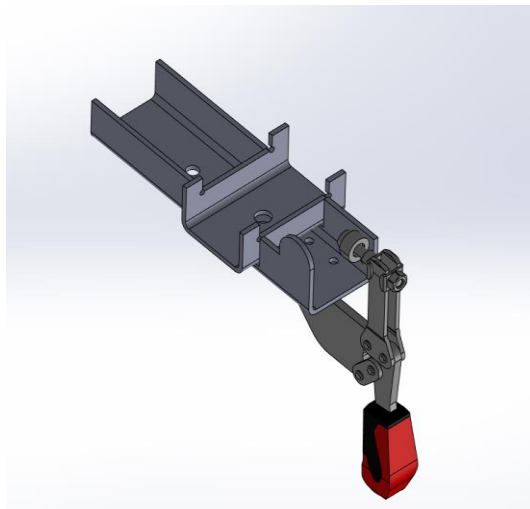
9.2.2 Kaheteljelise haagise tagumise amordi kinnitus

Kaheteljelise haagise tagumise amordi kinnituskoha fiksaator. Mõlemad detailid saab välja lõigata torulaseri pingis 50x50x3 mm U-profiilist ning omavahel liidetakse poltidega. Pneumo raami külge kinnitub ka poltidega. Detaili saab asetada fiksaatorisse ülevalt ja rakise seest poolt. Klambri sulgemisel Pilt 9-3 A surutakse detail vastu peatala seinu, ning on alamraami poolt toetatud kolmest küljest. Kuna detail sobib mõlemale

poole rakisesse on alamraami konstrueeritud kõrgem „keel“. See aitab vältida rakisega töötaja poolset eksitust kus ta võib juhuslikult panna detaili fiksaatorisse valesti. Valitud klambri kinnituspind tasa klambri liikumissuunaga. See võimaldab klambri kinnitamist alamraamile ilma lisadetailide lisamisega.



A



B

Pilt 9-4 A) Kaheteljelise haagise tagumine amordi kinnitus roheliselt raamil B) Kaheteljelise haagise amordi kinnituse klamber ja koost

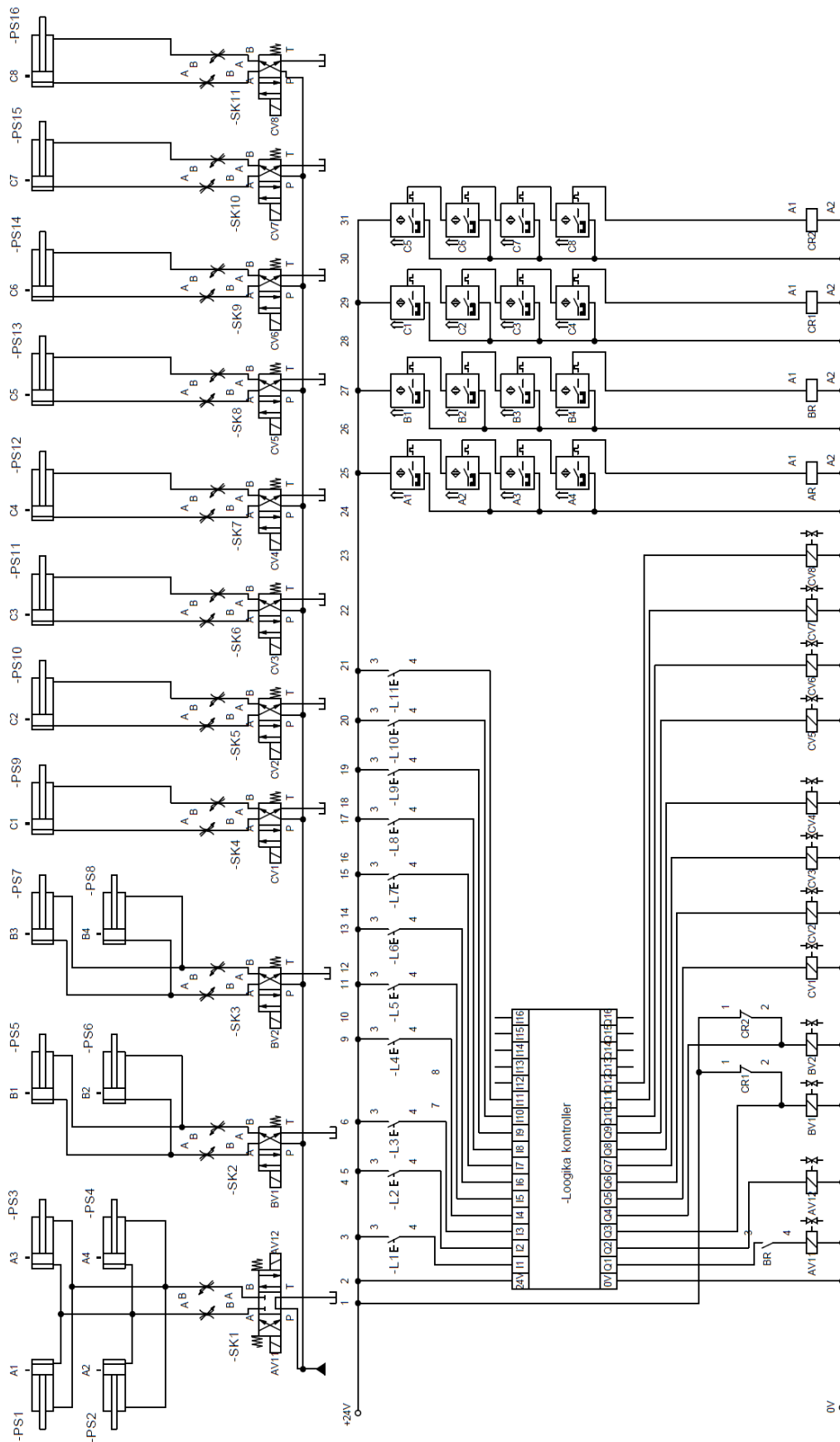
10. Pneumaatika juhtimine

Rakise pneumaatilisi silindreid juhitakse nuppude abil, mis on rakise külge kinnitatud. Kokku on rakisel 11 nuppu. Kaheksa nuppu kontrollivad vahepostide ja otsapostide silindreid, kaks nuppu kontrollivad kahe peatala fikseerimiseks mõeldud silindreid ning viimane nupp on mõeldud rakise pneumaatiliste raamide liigutamiseks. Pneumaatiliste raamide liigutamiseks mõeldud lüliti peab kontrollima ka kõiki teisi silindreid, kuna vastasel juhul, kui mõni otsaposti või vahetala silinder on veel lukustatud asendis, tähendab see seda, et pneumaatilised raamid ei ole võimelised rakises sissepoole liikuma. Skeem hakkab paiknema rakise alumise raami küljes kilbis.

Juhtimissüsteemi saaks koostada detailiderohke releede skeemi peale ning ka loogikakontrolleri peale. Selles projektis otsustati loogikakontrolleri kasuks. Peamiseks põhjuseks oli, et loogikakontrolleri sisu on võimalik ümber programmeerida kiiremini kui releede süsteemi ümber ehitada ning releede süsteem läheks ajalist kulu arvestades kallimaks kui loogikakontrollerit kasutades.

Isegi, et projektis otsustati kasutada loogikakontrollerit, koostati visand võimalikule relee loogikal põhinev skeem. Skeem (Lisa 2) on koostatud surunuppudest ja aegreleedest. Aegreleed, mida skeemil kasutati omavad funktsiooni, kus ühe impulsi andmine kas lülitab sisse relee või välja. See võimaldab kontrollida madalama tasandi silindrite solenoid kraane kõrgema tasandi nupuga lihtsama skeemi abil.

Pildi 10-1 skeem koosneb kolmest tasandist. Esimesel tasandil asub lüliti A1, millega kontrollitakse pneumaatiliste raamide silindreid. Teisel tasandil asuvad lülitid B1 ja B2, millega on võimalik fikseerida peatala rakise külge kinni ja lahti. Teise tasandi lüliteid ei ole võimalik kasutada, kui esimesel tasandil kontrollitavad pneumaatilised silindrid on seespoolses asendis. Seespoolne asend on rakisel siis, kui toode on valmis keevitatud ning pneumaatilised raamid tõmbuvad sissepoole, et keevisraami oleks lihtne välja tõsta. Teise tasandi silindreid kontrollib ka esimene tasand, vabastades need enne kui pneumaatiline raam hakkab sissepoole liikuma. Kolmanda tasandi lülitid C1-C8 kontrollivad vahepostide ja otsapostide fikseerimiseks mõeldud pneumaatilisi silindreid. Iga lüliti kontrollib ainult ühte silindrit. Vajutus lülitile lukustab posti või vabastab vastavalt vajadusele. Lüliteid ei ole võimalik kasutada, kui teisel tasandil pole eelnevalt lukustatud raami alumist peatala. Silindreid kontrollib ka teine tasand, ühe poole raami peatala vabastamisel vabanevad ka kõik selle poole otsaposti ja vahetala silindrid. Tabelis 10.1 on toodud kõikide elementide funktsioonid üksikasjalikult.



Pilt 10-1 Pneumatika juhtimise skeem, ülemisel osal on kujutatud pneumaatiline ahel ja alumiselelekt rilne skeem

Tabel 10.1 Elektroonika ja pneumaatika skeemide elementide tähised ja tähendused

Element	Kirjeldus
Silindrid	
PS1	Pneumaatiline silinder vasaku raami liigutamiseks
PS2	Pneumaatiline silinder vasaku raami liigutamiseks
PS3	Pneumaatiline silinder parema raami liigutamiseks
PS4	Pneumaatiline silinder parema raami liigutamiseks
PS5	Pneumaatiline silinder parema peatala fikseerimiseks
PS6	Pneumaatiline silinder parema peatala fikseerimiseks
PS7	Pneumaatiline silinder vasaku peatala fikseerimiseks
PS8	Pneumaatiline silinder vasaku peatala fikseerimiseks
PS9	Pneumaatiline silinder parema eesmise otsaposti fikseerimiseks
PS10	Pneumaatiline silinder parema eesmise vahetala fikseerimiseks
PS11	Pneumaatiline silinder parema tagumise vahetala fikseerimiseks
PS12	Pneumaatiline silinder parema tagumise otsaposti fikseerimiseks
PS13	Pneumaatiline silinder vasaku eesmise otsaposti fikseerimiseks
PS14	Pneumaatiline silinder vasaku eesmise vahetala fikseerimiseks
PS15	Pneumaatiline silinder vasaku tagumise vahetala fikseerimiseks
PS16	Pneumaatiline silinder vasaku tagumise otsaposti fikseerimiseks
Lülitid	
L1	Lüliti vajutamisel aktiveerub ventiili SK1 solenoid AV11. Lüliti uuel vajutamisel solenoidid BV1-BV2 ning CV1-CV8 deaktiveeritakse ning aktiveerub ventiili SK1 solenoid AV12
L2	Lüliti vajutamisel aktiveerub ventiili SK2 solenoid BV1. Lüliti uuel vajutamisel solenoidid BV1 ja CV1-CV4 deaktiveeritakse
L3	Lüliti vajutamisel aktiveerub ventiili SK3 solenoid BV2. Lüliti uuel vajutamisel solenoidid BV2 ja CV5-CV8 deaktiveeritakse
L4	Lüliti vajutamisel aktiveerub ventiili SK4 solenoid CV1, lüliti uuel vajutamisel solenoid deaktiveerub
L5	Lüliti vajutamisel aktiveerub ventiili SK5 solenoid CV2, lüliti uuel vajutamisel solenoid deaktiveerub
L6	Lüliti vajutamisel aktiveerub ventiili SK6 solenoid CV3, lüliti uuel vajutamisel solenoid deaktiveerub
L7	Lüliti vajutamisel aktiveerub ventiili SK7 solenoid CV4, lüliti uuel vajutamisel solenoid deaktiveerub
L8	Lüliti vajutamisel aktiveerub ventiili SK8 solenoid CV5, lüliti uuel vajutamisel solenoid deaktiveerub
L9	Lüliti vajutamisel aktiveerub ventiili SK9 solenoid CV6, lüliti uuel vajutamisel solenoid deaktiveerub
L10	Lüliti vajutamisel aktiveerub ventiili SK10 solenoid CV7, lüliti uuel vajutamisel solenoid deaktiveerub
L11	Lüliti vajutamisel aktiveerub ventiili SK11 solenoid CV8, lüliti uuel vajutamisel solenoid deaktiveerub
Lõpu lülitid	
B1	Pneumo silindri PS4 lõpu lüliti, ei lase silindril PS1-PS4 liikuda enne kui on kolb on algasendis
B2	Pneumo silindri PS5 lõpu lüliti, ei lase silindril PS1-PS4 liikuda enne kui on kolb on algasendis
B3	Pneumo silindri PS6 lõpu lüliti, ei lase silindril PS1-PS4 liikuda enne kui on kolb on algasendis
B4	Pneumo silindri PS7 lõpu lüliti, ei lase silindril PS1-PS4 liikuda enne kui on kolb on algasendis
C1	Pneumo silindri PS9 lõpu lüliti, ei lase silindril PS5-PS8 liikuda enne kui on kolb on algasendis
C2	Pneumo silindri PS10 lõpu lüliti, ei lase silindril PS5-PS8 liikuda enne kui on kolb on algasendis
C3	Pneumo silindri PS11 lõpu lüliti, ei lase silindril PS5-PS8 liikuda enne kui on kolb on algasendis
C4	Pneumo silindri PS12 lõpu lüliti, ei lase silindril PS5-PS8 liikuda enne kui on kolb on algasendis
C5	Pneumo silindri PS13 lõpu lüliti, ei lase silindril PS5-PS8 liikuda enne kui on kolb on algasendis
C6	Pneumo silindri PS14 lõpu lüliti, ei lase silindril PS5-PS8 liikuda enne kui on kolb on algasendis
C7	Pneumo silindri PS15 lõpu lüliti, ei lase silindril PS5-PS8 liikuda enne kui on kolb on algasendis
C8	Pneumo silindri PS16 lõpu lüliti, ei lase silindril PS5-PS8 liikuda enne kui on kolb on algasendis

11. Rakise kasutamine

Järgnevas peatükis on kirjeldatud rakise töötsükli.

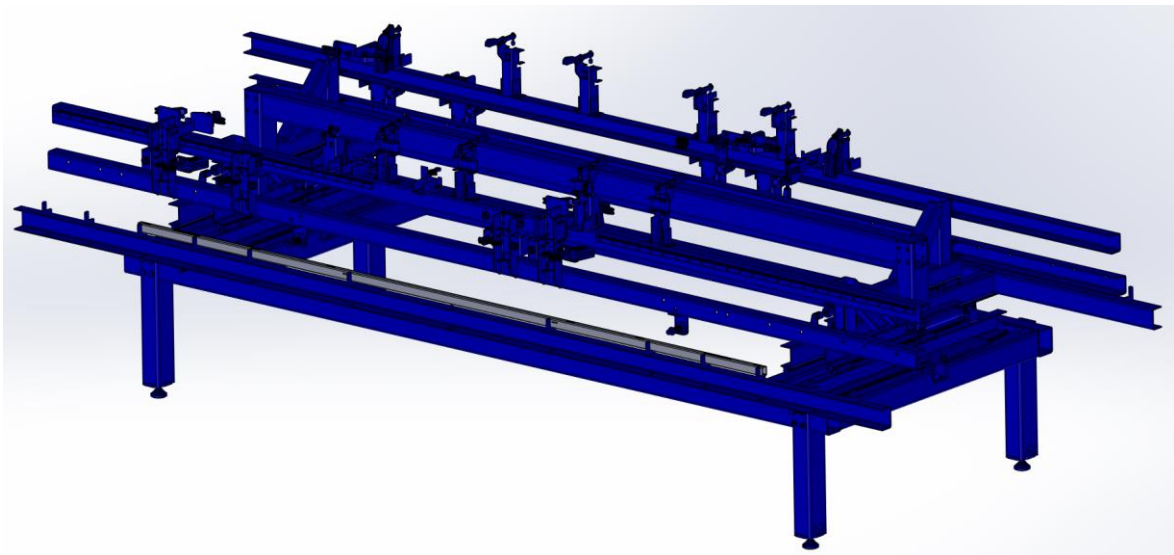
11.1 Ülesseadmine

Rakisega toote keevitamine algab vajamineva haagise mõõtmete järgi rakise ülesseadmisega. Kõigepealt tuleb paika panna toodetava toote laiusmõõtme järgi laiusraamid ning need lukustada positsioneerimiskruvide abil. Kruvide lukustamise kõikidele kohtadele on märgitud vastavalt millise laiuse jaoks fikseerimispunkt on mõeldud.

Haagise pikkus määratakse horisontaalselt liikuvate alamraamidega, mis fikseerivad ära otsapostid ja vahepostid. Sarnaselt laiusele fikseeritakse alamraamid positsioneerimiskruvide abil, mis hoiavad alamraame kinni. Fikseerimispunktidele on sarnaselt laiusraamile märgitud kõik võimalikud mõõtmed et lihtsustada rakisega tööd.

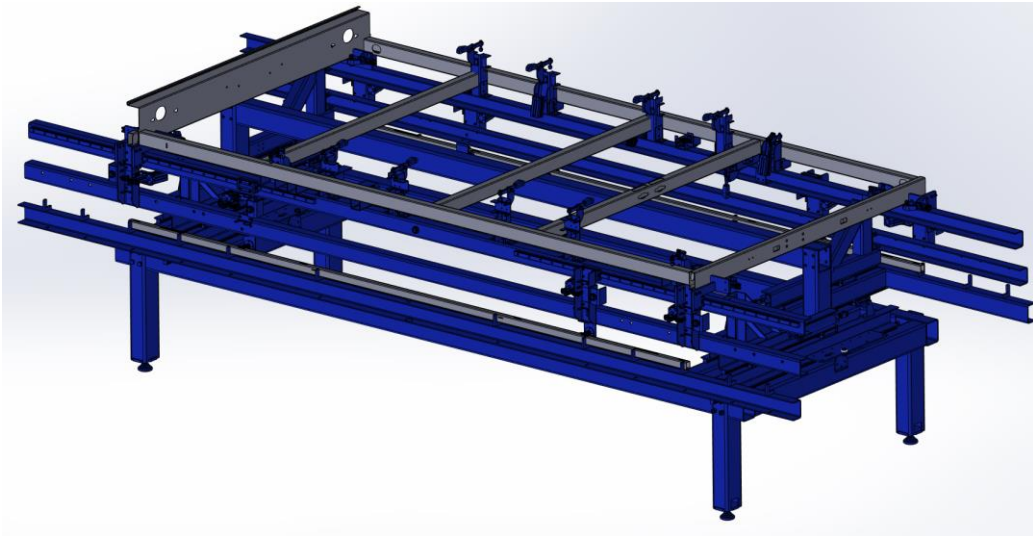
11.2 Komplekteerimine

Järgmisena seatakse rakisesse kõik raami keevitatavad osad. Esimesena tuleb rakisesse asetada porte ülemine tala. Kuna porte ülemine tala jääb rakisesse kõige alla ning vahe- ja otsapostid toetuvad selle peale ei ole seda võimalik hiljem rakisesse asetada.



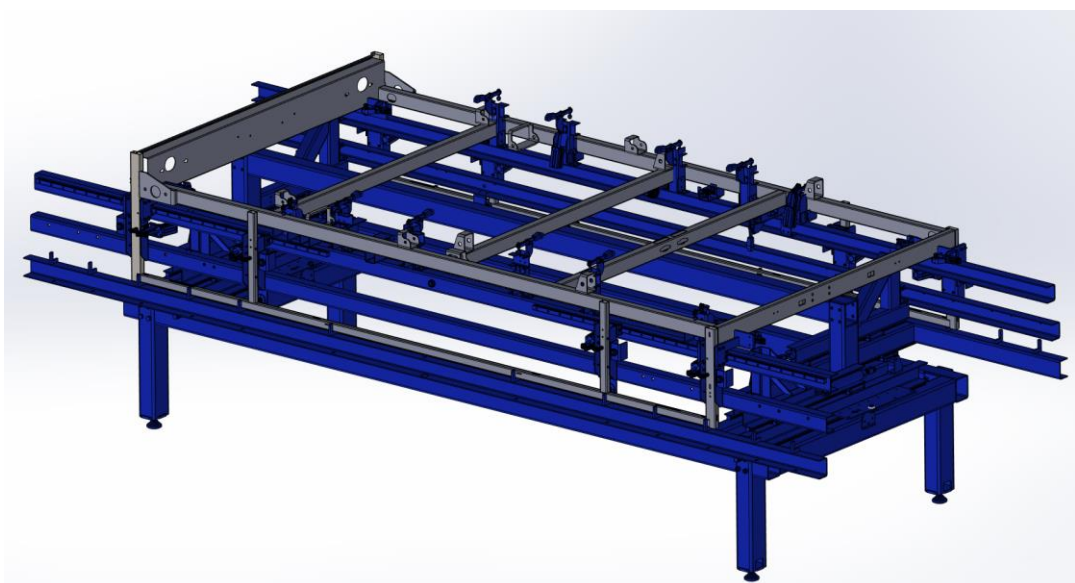
Pilt 11-1 Etapp 1 Porte ülemine tala rakises

Järgmine samm on pneumaatiliste silindrite abil liigutada pneumaatiline raam välja asendisse. Silindreid kontrollib saab kontrollida pealüliti abil. See fikseerib porte ülemise tala kinni ning viib kõigi teiste detailide kinnituspunktid õigetele kohtadele.



Pilt 11-2 Etapp 2 Paneelid ja talad rakises

Nüüd saab asetada rakisesse raami kaks peatala. Peatala fikseerimisel avaneb rakisega töötajal võimalus asetada vahe- ja otsaposte. Kontroller, mis kontrollib milliseid silindreid töötaja saab sulgeda, ei luba poste fikseerivatel silindritel enne lukustuda, kui selle külje peatala lukustav silinder on sulgetud. Peatala fikseeritakse lüliti vajutusega rakise külje peal. Peale peatala asetamist peab töötaja rakisesse asetama kõik vahe- ja otsapostid.



Pilt 11-3 Etapp 3 Kõik raami detailid rakises

Kõik postid peab fikseerima iga posti rakise külge paigutatud lüliti abil. Postide lukustamine ükshaaval on vajalik, et töötaja kontrolliks et post sai rakisesse õigesti asetatud. Postidega samal ajal on võimalik asetada rakisesse ka vahetalasid ning esi- ja tagapaneeli. Vahetalad ja paneelid ei nõua eraldi fikseerimist kuna raami osad on toodetud nii, et need omavahel ennast ära fikseeriksid. Peale suuremate detailide asetust rakisesse on võimalik raami osadele lisada kõik lehtvedru ja amortisaatorite kinnituseks mõeldud detailid. Need detailid fikseeritakse rakises manuaalselt klambrite abil.

11.3 Keevitamine

Peale komplekteerimist on võimalik alustada raami keevitamisega. Keevitust teostatakse vastavalt keevitusjoonistele. Keevitusjärjekorra määrab tulevikus rakisega töötamisel tekkiv kogemus. Õige keevitusjärjekord võimaldaks vähendada detailide deformeerumisi, kuid üks rakise nõudmistest oli, et keevitusjärjekord ei tohi olla piirajaks tootmiskiirusele. Keevitamisel tuleb rakisega töötajal jälgida seda, et kõik detailid, mis on manuaalselt kinnitatud klambritega, tuleb peale keevitust vabastada.

11.4 Raami vabastamine rakisest

Kui raam on rakises valmis toodetud on vaja see rakisest välja saada. Selle jaoks peavad kõik klambrid olema vabastatud ning lüliti vajutades vabanevad pneumaatilised klambrid ning pneumaatilised raami osad liiguvad kokku asendisse. See võimaldab raami rakisest telfriga pealt välja tõsta. Kui raam on rakisest väljas, on üks tootmistsükkel lõppenud.

12. Majandusliku tasuvuse hinnang

Üks olulisemaid asju sellise projekti läbiviimisel on selle tasuvus. Selle jaoks on kõikide võimalike komponentide ja töötundide hinnad lisatud tabelisse ning arvutatud tasuvusaeg.

Tabel 12.1 Majanduslikud kulud

1) Töötunnid	Nimetus	Kogus	Ühik	Ühiku hind	Koguse hind kokku
	1 Projekteerimine	320 tundi		21,68 €	6 937,60 €
	2 Komplekteerimine	80 tundi		22,68 €	1 814,40 €
				Kokku	8 752,00 €
2) Metall profiilid					
	1 U-profiil 80x50x4	17,5 meeter		32,80 €	574,00 €
	2 U-profiil 70x50x4	25 meeter		25,60 €	640,00 €
	3 U-profiil 50x50x4	5 meeter		22,40 €	112,00 €
	4 Nelikant toru 100x80x5	19 meeter		48,50 €	921,50 €
	5 L-profiil	1,5 meeter		11,70 €	17,55 €
				Kokku	2 265,05 €
3) Pneumaatika ja juhtimine					
	1 Nupp BACO L21AH20L	11 tükk		26,40 €	290,40 €
	2 Pneumaatiline klamber	12 tükk		230,00 €	2 760,00 €
	3 Loogikakontroller TM221C40R	1 tükk		583,00 €	583,00 €
	4 Pneumosilinder SMC CG1DN32-150Z-W	4 tükk		60,00 €	240,00 €
	5 Kiirusregulaator AS2201F-01-06S	8 tükk		6,27 €	50,16 €
	6 Manifold base SS5Y5-20-11-00F-Q	1 tükk		63,42 €	63,42 €
	7 Solenoid klapp SY5120-5LOU-C6-Q	10 tükk		36,62 €	366,20 €
	8 Solenoid klapp SY5320-5LOU-C8F-Q	1 tükk		58,48 €	58,48 €
	9 Summuti AN20-02	11 tükk		4,49 €	49,39 €
	10 Kiiruse regulaator AS2201F-01-06S	24 tükk		6,27 €	150,48 €
	11 1 to 2 ühendus KQ2U06-00A	4 tükk		1,02 €	4,08 €
	12 1 to 4 ühendus KQ2UD06-08A	2 tükk		3,71 €	7,42 €
	13 Must voolik TU0805B-20	2 20 meetrit		11,42 €	22,84 €
	14 Filter regulaator AW30-F03BE-B	1 tükk		32,24 €	32,24 €
				Kokku	4 678,11 €
4) Lineaar süsteemid					
	1 Lineaarkehk SBC SBI20 SL	24 tükk		41,80 €	1 003,20 €
	2 Lineaarjuhik SBC SBI20	13,68 meeter		85,00 €	1 162,80 €
				Kokku	2 166,00 €
5) Muu					
	1 Mehaanilised klambrid AMF 93328	8 tükk		23,05 €	184,40 €
	2 Mehaaniline klamber AMF 94128	8 tükk		21,20 €	169,60 €
	3 Eripolt GN 732.1-M10-12-12-ST	4 tükk		0,50 €	2,00 €
	4 Jalg M16	4 tükk		21,50 €	86,00 €
	5 Lehtmetalli lõikus	1 tükk		1 000,00 €	1 000,00 €
				Kokku	1 442,00 €
				Kõik grupid kokku:	19 303,16 €
				Sääst aastas	6 000,00 €
				Tasuvusaeg	~ 3,2 aastat

Töötundidena on arvestatud kogu projekteerimisele arvestatud tööaega ning hinnangulist rakise komplekteerimisele kuluvat aega. Tunni hinnaks on märgitud tööandja kulu koos kõikide maksudega, mis kaasnevad palga maksmisel. Metallprofiilide hinnad on võetud 2021 aasta novembri hindade järgi. Profiilide vajaminevad pikkused on võetud varuga. Metalli hind sõltub sellest, kas ettevõtte lepingulistel partneritel on võimalik meile tarnida vajaminevaid profiile või peab otsima teisi tarnijaid kes on selleks võimelised. Hetkel on hinnad märgitud olukorras, kui peaks kõik profiilid eritellimusena ostma. Pneumaatilise süsteemi ja selle juhtelementide hind on saadud kokku erinevatelt pakkumistelt, mis on Eesti tarnijatelt saadud. Lineaar süsteemide hinnad pärinevad erinevate Eesti tarnijate veebikataloogidest.

Kuna lehtmetsa hind ja tööde hinnad on aastal 2021 väga suures muutuses, on lehtmetsa lõikuste summaks hetkel märgitud tabelis 1000 eurot. Arvutatud hinnanguliseks tulemuseks saadi, et selline rakis võiks ennast ära tasuda Brentex OÜ tootmises ligikaudu 3 aastaga. Arvestatud ei ole arvutustes, et rakis aitab tõsta tootmisvõimekust ja paindlikust, mis aitab kaasa müügile. Lisaks ei ole siinsete arvutuste juures arvestatud kõikvõimalike vigadega, mis võivad alles ilmnedu rakise koostamise juures. Täpsed summad kujunevad alles peale rakise töösse võtmist tootmisesse, kui kõik tööd sellega on lõpetatud ja reaalsed tasuvusajad on võimalik välja mõõta.

13. Tulevikuvõimalused

Tulevikus on kindlasti võimalik rakise konstruktsiooni veel paremaks muuta, kui sellele on võimalik leida lisaressurssi arenduse või rahaliste investeeringute näol. Üks võimalustest oleks muuta kõik klambrid rakise peal pneumaatiliseks. See aitaks välistada võimaluse, et rakisega töötaja võib ekslikult jätta mõne klambri rakises lukustatud asendisse, kui keevitamine on rakisel lõpetatud. Valitud pneumaatilist klambrit arvesse võttes tähendaks see minimaalselt ligikaudu 3700 euro suurust lisainvesteeringut. Lisaks lisanduvad iga silindriga vajaminevad kontrollsüsteemid ja suurema võimekusega loogikakontroller.

Lisaks on võimalik eemaldada rakise otstes olevad tolerantsi vajadused, mis jätavad raami detailid vähesel määral lahtiseks. Hetkel on vaja jätta arvutuste kohaselt kokku vähemalt 3 mm paisumisruumi detailidele, et peale keevitust tuleks valmis raam rakisest välja sirgelt ning lihtsasti. Tulevikus võib rakise otstesse panna selle jaoks pneumaatilised silindrid, mis suruvad rakist vajadusel piisavalt kokku ning paisumisel annaks järgi, eemaldades vahekohad, kus detailid ei pruugi hetkel seintega kokkupuutes olla.

Pneumaatilised silindrid mis liigutavad kahte suuremat raami osa, on ise paigutatud hetkel pneumaatiliste raamide sisse. See tähendab, et silindreid ühendavad voolikud on rakisega tööd tehes pidevas liikumises. Voolikud liiguvad paarkümmend korda päevas, kuid see on piisav, et need kuluma hakkaks. Seda probleemi on võimalik tulevikus lahendada liigutades silindrid pneumaatilisel raamilt laius raamile. Seal muudetakse nende asendit maksimaalselt kord päevas, võimalik, et harvemgi. Hetkel ei asetatud silindreid laiusraamile, kuna tekkis ruumipuudus ning teisele raamile asetades oleks vaja välja töötada lisadetaile, mis aitaksid paremini positsioneerida silindreid. Hetkel tähendaks see ebamõistlikult suur ajakulu, mis ei mõjuta suures plaanis rakise tööd.

Lineaarliikuri juhikuid oleks võimalik tulevikus juhtida ka kruvidega. See eemaldaks vajaduse rakise kasutajal positsioneerida manuaalselt rakist vajaminevasse asendisse. Siis saaks rakise lähedusse või külge paigutada lülitid või juhtekraani, kust töötaja saab valida vastava rakise suuruse, mida toota vaja on, ning rakis seaks ennast paika täielikult automaatselt.

Automaatselt oleks võimalik teostada ka keevitust, kui lisada rakise kõrvale keevitusrobot. Keevitusrobotiga tuleb aga rakis ümber konstrueerida selliselt, et robotil oleks ligipääs rakisele täpselt nii nagu vaja. Roboti lisamine eemaldaks keevitaja vajalikkuse ning kiirendaks keevituse protsessi. Töö teostamiseks oleks ainult vaja

komplekteerijat, kes rakisesse asetaks vajaminevad detailid, ning töö valmides eemaldaks valmis toote.

Üks lihtsaimaid lahendusi, mida rakisele lisada saab on pööratav laud, millega oleks võimalik rakise otstest kinni hoida ja rakist keerutada vastavalt vajadusele. See aitaks keevituse mugavusele kaasa ning võimaldaks keevitusi sellistest kohtadest, kus praegu see ei ole võimalik. Näiteks praeguse rakise konstruktsiooni juures ei ole võimalik rtoodet keevitada mugavalt altpoolt, mõningatest kohtadest on see isegi võimatu. Selle lahendaks pööratav laud, mis võimaldaks rakise pöörata teistpidi, lubades ligipääsu muidu väga raskesti keevitatavatesse kohtadesse. Pööratav laud oleks kindlasti vajalik ka keevitusroboti juures, nagu peatükis 4.3 konkurendi Respo näitel on näha, lihtsustab see ka keevitusroboti tööd. Keevitusrobot ei pea olema väga keerukas ning vähendab vajamineva investeeringu suurust. Pööratavat lauda on lihtne rakisele lisada, kuid tähendab vähemalt paarikümne tuhande eurost investeeringut kui osta valmis toode.

KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärk oli leida uus lahendus kerghaagiste rakistele ning projekteerida lahendus. Projekteeritava rakise ülesandeks on keevitamise ajal hoida kinnitatult kõiki rakise raami keevitatavaid osasid. Püstitatud tehnilisteks tingimusteks oli eemaldada pooltoodete vajadus, rakisel peab saama toota kõiki uue tootepere raame, valmis toote rakisest eemaldamine peab olema tehtud võimalikult lihtsaks ja rakist peab olema majanduslikult mõistlik toota.

Rakise projekteerimise alguses sai uuritud hetkel kasutusel olevaid lahendusi ning teadaolevaid konkurentide lahendusi. Lõplik lahendus tekkis uurides kõiki teadaolevaid lahendusi ning kombineerides realiseeritavaid võimalusi. Uue rakise põhiliseks kasuteguriks saab olema selle võime vähendada hetkel kasutusel oleva lahendusega komplekteerimisele ja ladustamisele kuluvat aega.

Edasi konstrueeriti vastavalt lõplikule ideele vastav rakis ning kõik selle osad. Üksikasjalikult on töös kirjeldatud iga raami osa töö ning selle tähtsus. Tähtsamates kohtades on arvutuslikult leitud hinnangulised jõudude suurusjärgud ning sellele vastavalt teostatud otsused ja leitud lahendused. Rakise töö tsükkel on kirjeldatud ja juht süsteemid skeemidena välja toodud.

Magistritöö käigus sai välja selgitatud rakise erinevate raami osade töö põhimõtted, vajaminevad komponendid ning sellega kaasnevad töö protsessid. Lisaks sai välja selgitatud hinnanguline majanduslik tasuvusaeg, mis võiks vastavalt ideele konstrueeritud rakis ettevõttele Brentex OÜ tuua. Töö annab kindlasti uue vaate, kuidas pooltoodete rakisesse kokku toomine muudab oluliselt keerulisemaks töös kasutatavaid rakise osasid.

Ees ootab nüüd rakise realiseerimine järgmise poole aasta jooksul. Esimese prototüübi tootmise käigus selgitatakse välja kõik probleemsed kohad, mida teoreetilisel kujul võimalik leida pole. Realse rakise ehitamine aitab välja selgitada ka reaalsed tootmiskiirused ja tasuvusaja.

Summary

The aim of the master's thesis was to find a new solution for lightweight trailer welding jigs and to design a solution. The task of the designed jig is to keep all weldable parts of the frame fastened during welding. The technical conditions set were to remove the need for subassemblies, the jig must be able to produce all the frames of the new product family, the removal of the finished product from the rig must be made as simple as possible and it must be economically reasonable to produce the new jig.

At the beginning of the design of jig, the solutions currently in use and known competitors solutions were studied. The final solution came about by exploring all known solutions and combining best realisable possibilities. The main benefit of the new jig will be its ability to reduce the time spent on picking and storing parts.

Next, the jig solution corresponding to the final idea and all its parts were constructed according to the final idea. In detail, the work of each part of the frame and its importance are described in the work. In the most important places, estimates of the magnitudes of the forces have been calculated, and the decisions, solutions found made accordingly. The cycle of work on the jig is described and the controlling systems are outlined as diagrams.

In the course of the master's thesis, the principles of the work of different parts of the frame of the jig, the necessary components and the accompanying work processes were determined. In addition, an estimated economic payback period was established for the company Brentex Ltd. The work certainly gives a new view of how bringing semi-finished products together in a jig makes the parts of the rig used in the work significantly more complicated.

The jig is now expected to be realized within the next six months. During the production of the first prototype, all the problem areas that cannot be found in theoretical form will be identified. The construction of a real rig will also help to find out the actual production speeds and payback period.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- 1 Mehaanikainseneri käsiraamat (lk 51)**
ISBN: 9789949238699, Üldtoimetaja P. Kulu, Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, Tallinn 2012
- 2 Eesti Messid – (23.10.2021, 32. saade) [Online]**
<https://www.youtube.com/watch?v=7u45U2MtyVA> [22.10.2021], [Kasutatud 23.10.2021]
- 3 Tiki trailer kataloog [Online]**
<https://www.tiki.ee/tootekategooria/haagised/kastihaagised/> [2021], [Kasutatud 23.11.2021]
- 4 Stokker veebikataloog [Online]**
<https://www.stokker.ee/keevituslaud-sstw-8035-200m-kulgpneelidega-mat-st52-tempus-holding-gmbh/-582846763> ,[2021], [Kasutatud 8.12.2021]
- 5 Linear Motion Systems – General Catalog (lk A-64)**
THK Tehnical Descriptions of the Products. T H K CO., LTD.
- 6 SBC lineaar tootekataloog [Online]**
<https://kavial.ee/wp-content/uploads/2020/11/kavial-linear-sbc-sbi.pdf> , [2021], [Kasutatud 23.9.2021]
- 7 SMC Pneumatics valemid [Online]**
<https://www.smc-pneumatics.com/v4c.html> . , [2021], [Kasutatud 11.8.2021]
- 8 Neopreeni hõõrdetegur AMCO tootekataloogi võrdlusest (vt Lisa 1) [Online]**
<https://www.amcopolymers.com/resources> [2021], [Kasutatud 29.9.2021]
- 9 Modern Welding, 11th Edition (lk 849)**
ISBN: 978-1-60525-795-2, Andrew D. Althouse, Carl H. Turnquist, William A. Bowditch, Kevin E. Bowditch, Mark A. Bowditch, The Goodhearth-Willcrox Company, Inc., 2013
- 10 AMF tootekataloogi pilt [Online]**
[https://shop.amf.de/application/amf_app000001?ACTIONxSETVAL\(artlist.htm,APGxNR:6821A,AKATxNAME:eshop,APPL:AMF,DIR:shop,ANZ_SPRACHE:en,USERxSEITE:Liste\)=Z](https://shop.amf.de/application/amf_app000001?ACTIONxSETVAL(artlist.htm,APGxNR:6821A,AKATxNAME:eshop,APPL:AMF,DIR:shop,ANZ_SPRACHE:en,USERxSEITE:Liste)=Z) . , [2021], [Kasutatud 25.9.2021]



Tech Notes



Coefficient of Friction
(ASTM D-1894)

Material	Dry					Wet				
	PVC	Steel	Leather	Glass	Lucite®	PVC	Steel	Leather	Glass	Lucite®
EDPM Rubber		3.1		3.5	3.9		2.2		1.0	2.2
Neoprene		2.2		1.4	3.8		1.3		1.3	1.0
Alcryn® 2060BK		2.6		2.6	1.8		1.4		0.4	1.5
Alcryn® 2070BK		2.3		2.8	2.7		1.2		0.5	1.5
Alcryn® 2070NC		2.2		3.1	4.0		2.3		0.7	1.9
Alcryn® 2080BK		1.0		1.5	0.8		1.0		0.4	1.8
Alcryn® 3065NC	1.6	1.1	1.1			0.7	1.3	1.0		
Alcryn® 3075NC		1.8	0.8				1.0	0.8		
Santoprene 101-73		0.9		0.8	1.2		0.7		0.6	0.8
Kraton G-7720		0.9		1.3	2.2		0.8		0.9	1.0
Rigid PVC	0.2	0.2	0.3			0.2	0.3	0.5		

Data show dynamic surface friction against stainless steel, glass, and acrylic plastic under wet and dry conditions. Rubber materials such as EPDM and neoprene have high surface friction. Alcryn® offers higher friction than other TPEs even when wet.

Caution: This data is only a guide. Customers should conduct tests to determine friction characteristics for their parts because part shape, loading, and contact surface can effect results.

For more information on Alcryn®:

Advanced Polymer Alloys
3521 Silverside Road
Quillen Building 2E
Wilmington, DE 19810

Toll Free (888) 663-6005

Phone: (302) 478-8989
Fax: (302) 478-8166

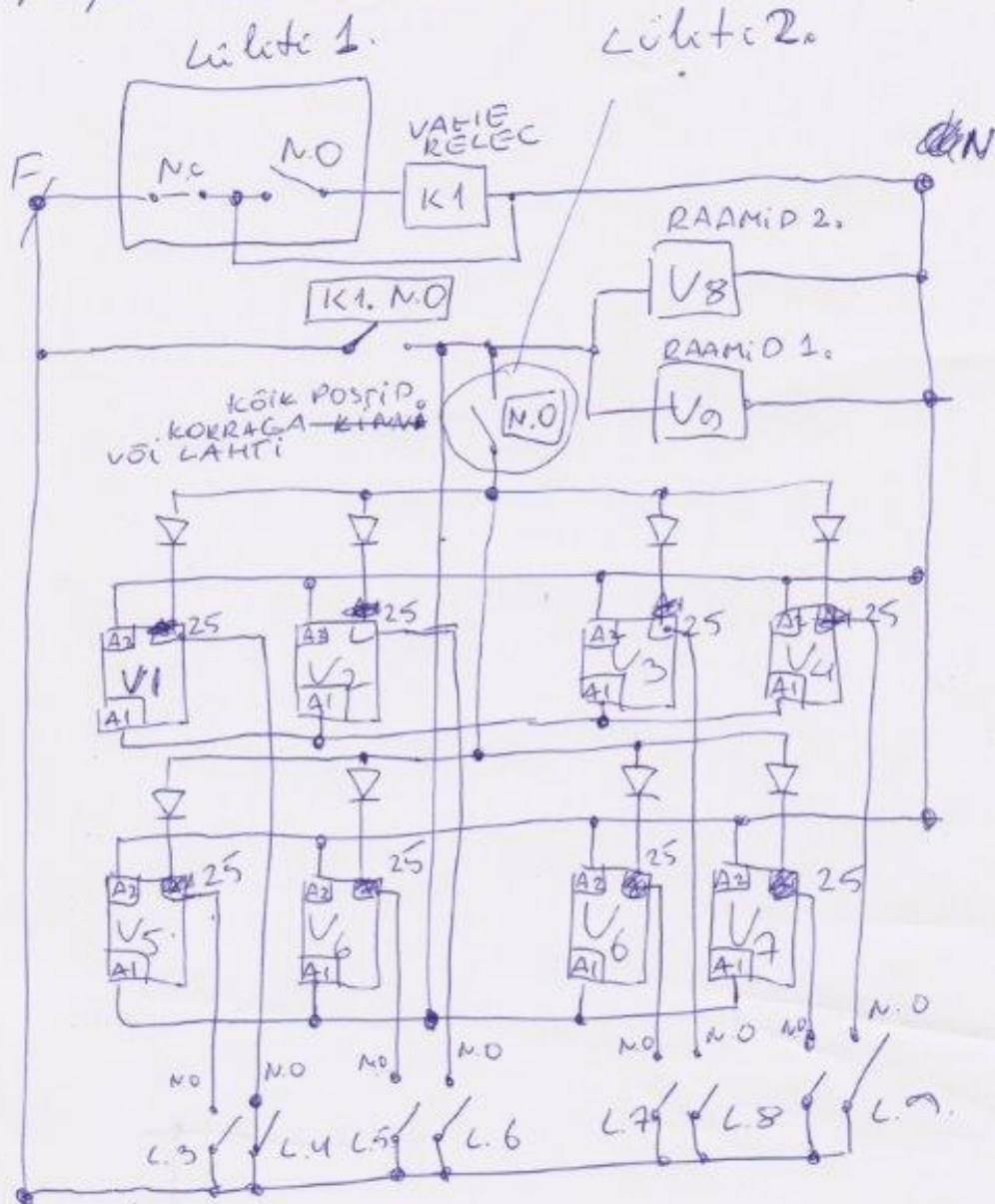
Internet/World Wide Web: <http://www.APAinfo.com>

Special Note--Except as otherwise provided by law outside the USA, the following information should be noted.

The information set forth herein is furnished free of charge and is based on technical data that Advanced Polymer Alloys believes to be reliable. It is intended for use by persons having technical skill, at their own discretion and risk. The handling precaution information contained herein is given with the understanding that those using it will satisfy themselves that their particular conditions of use present no health or safety hazards. Since conditions of product use are outside our control, we make no warranties, express or implied, and assume no liability in connection with any use of this information. As with any material, evaluation of any compound under end-use conditions prior to specifications is essential. Nothing herein is to be taken as a license to operate under or a recommendation to infringe any patents.

LISA 2, Releede juhtsüsteemi skits

Kõik nupud arvutatades oma positsioonin.
Näpu pealt võttes alukord taastal.



F. faas.

N.C. normaalselt sulistud.

N.O. " avatud.

N. null.

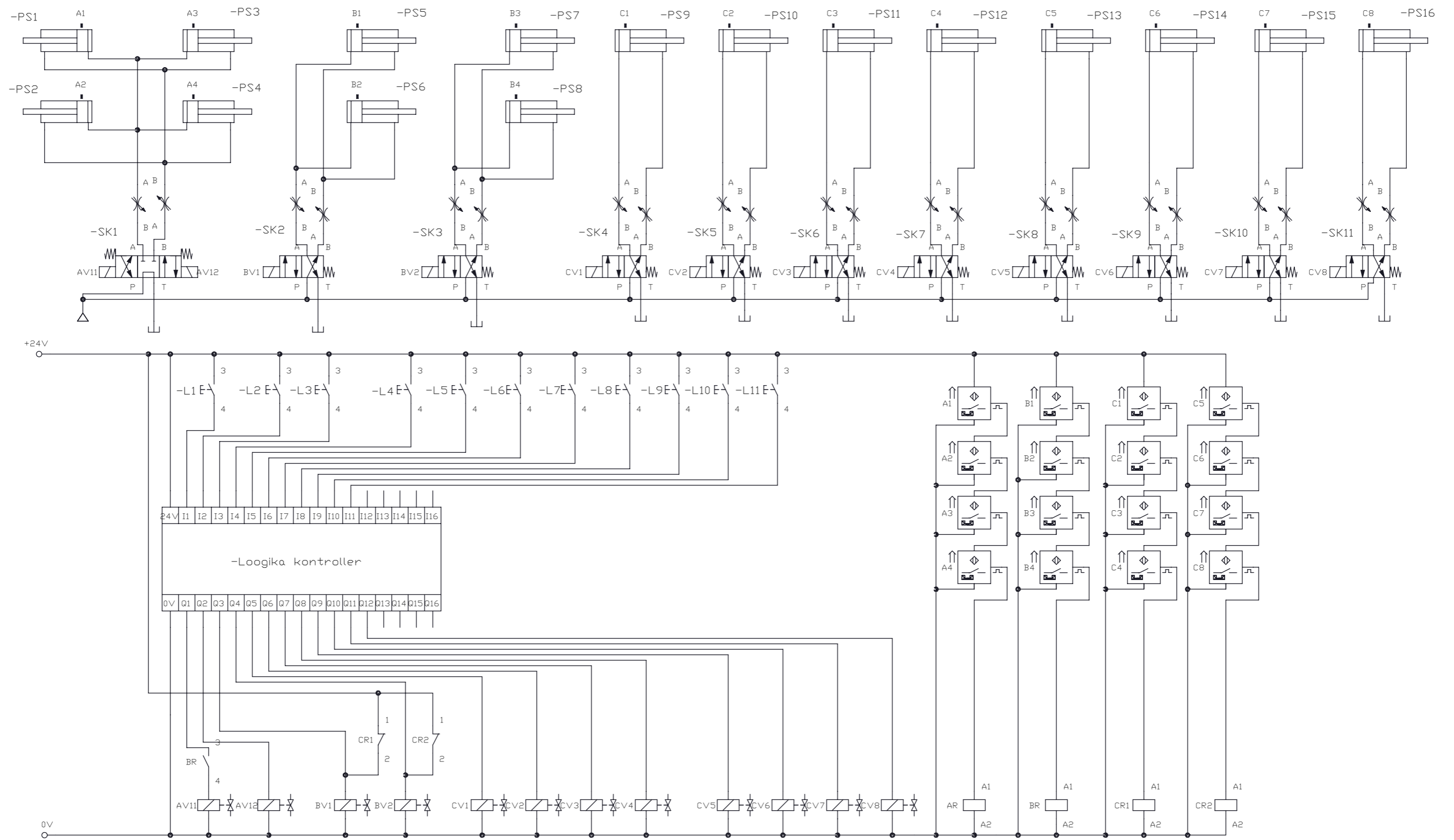
N.C. nullib kogu süsteemi


VÄLJA LÜLITI 1. Vahetab K1 sulgeb raamid.
V8, V9. ja võimaldab lüliti 2. postid kiiresti parra
korraga. L3-L9. lüliti võimaldavad postide oraldi
kiiresti lahti võtta

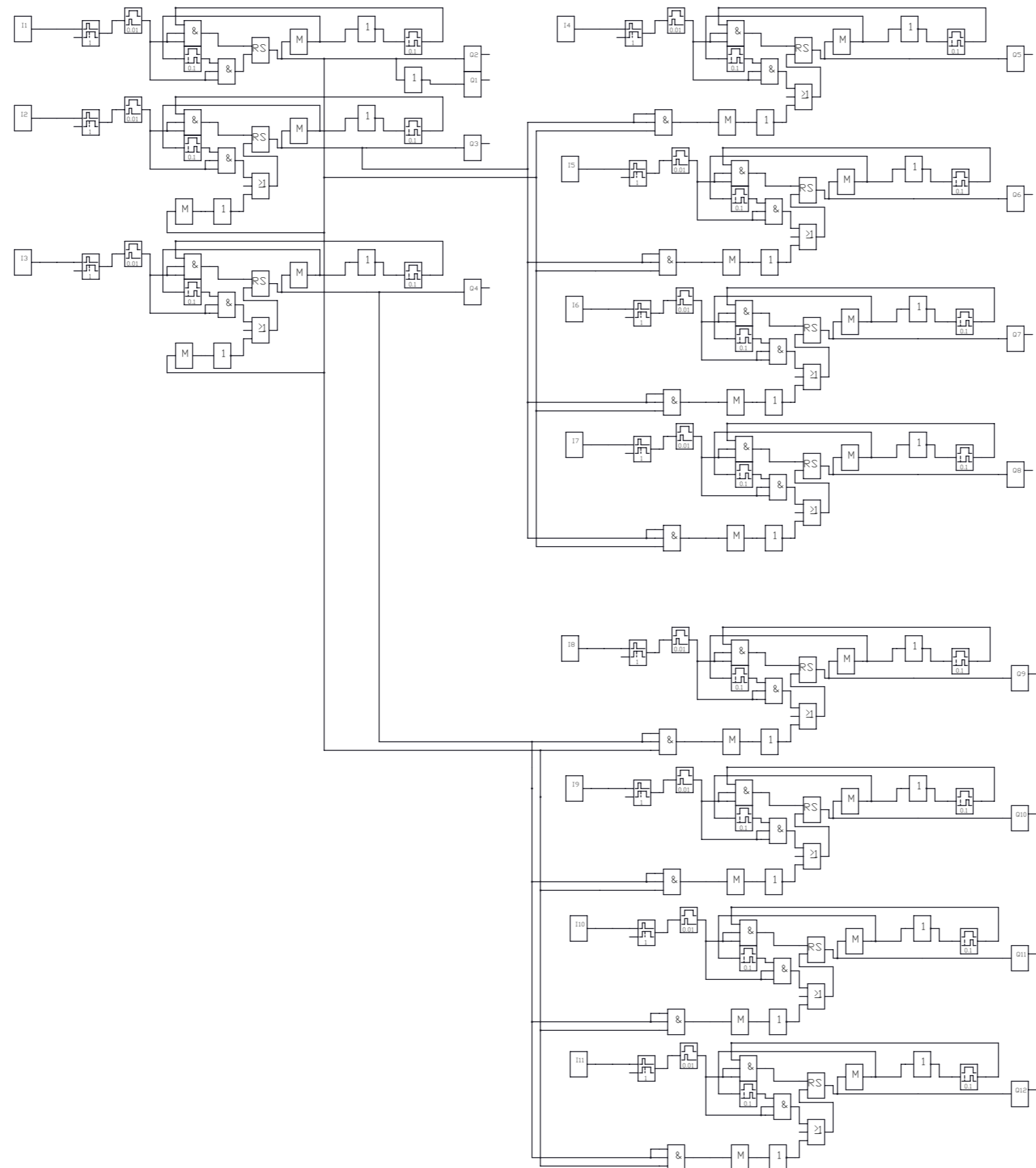
GRAAFILINE OSA

Jooniste järjestus:

1. Elektropneumatika juht skeem
2. Loogika kontrolleri juht skeem
3. Kerghaagise raami keevitusrakise osad
4. Kerghaagise raami keevitusrakis
5. Kerghaagise raami keevitusrakis koos tootega 4020
6. Kerghaagise raami keevitusrakis koos tootega 2012



Teostas	R.Peet	Nimetus:	
Kontrollis	S.Kallaste	Elektropneumatika juht skeem	
Kinnitas	R.Peet		
		Leht:	Seade
		1/1	Kerghaagiste rakis



Teostas	R.Peet
Kontrollis	S.Kallaste
Kinnitas	R.Peet

Nimetus:

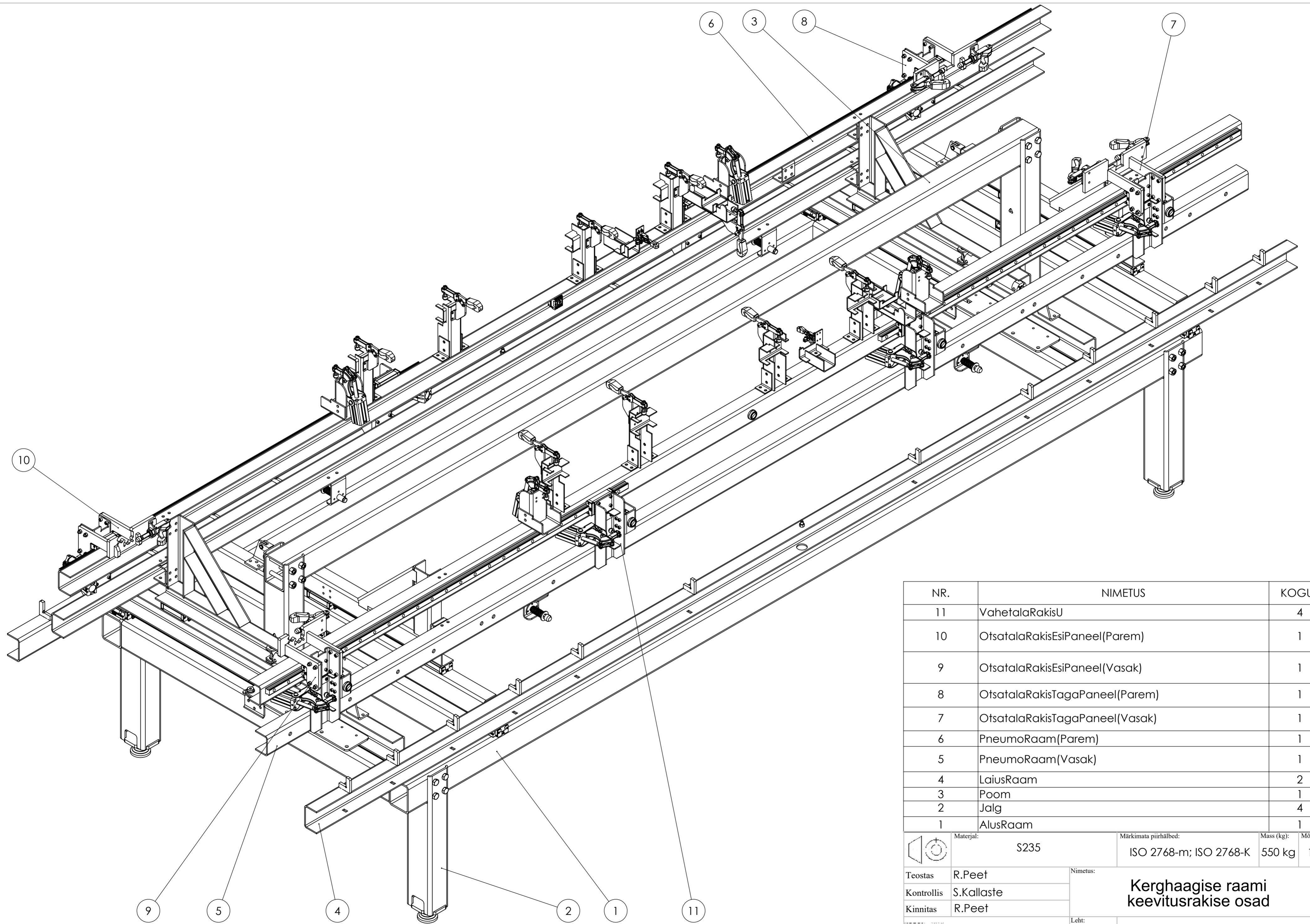
Loogika kontrolleri juht skeem

Leht:

1/1

Seade

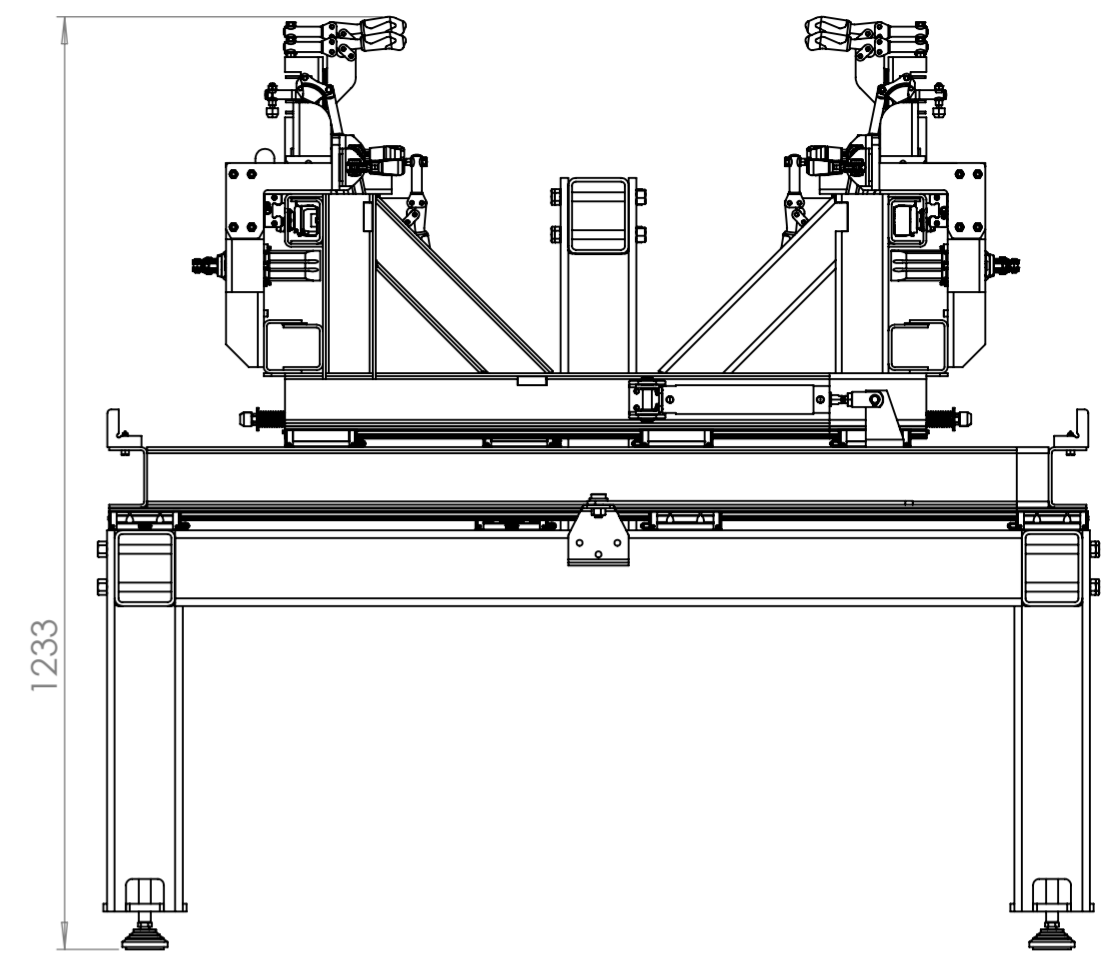
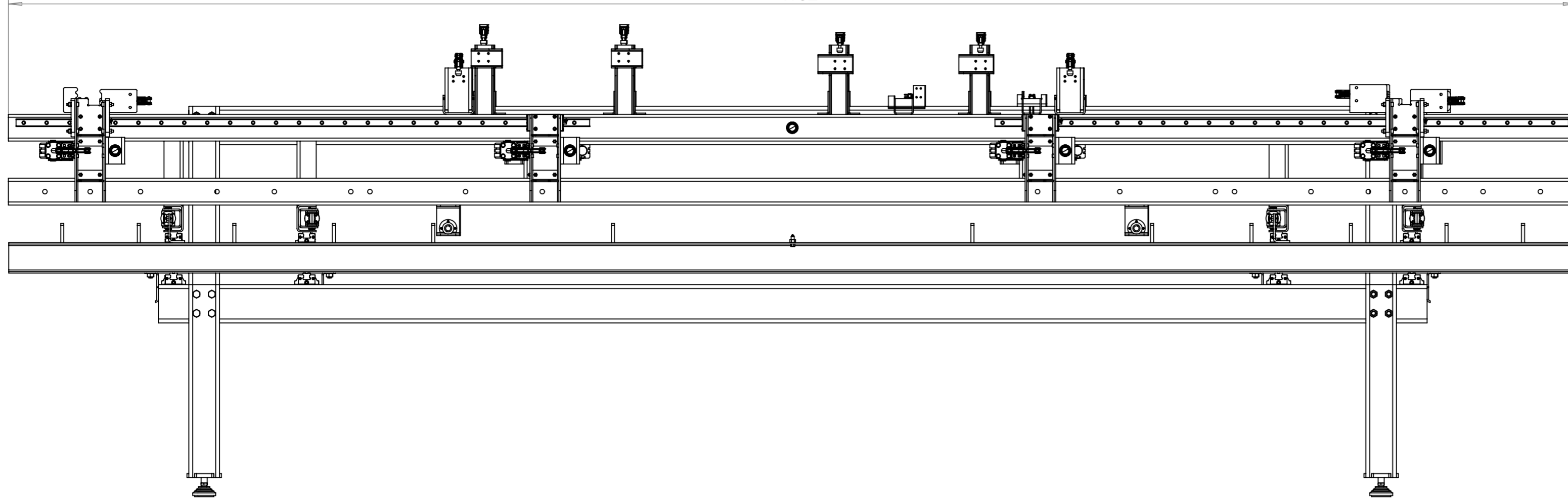
Loogika kontrolleri



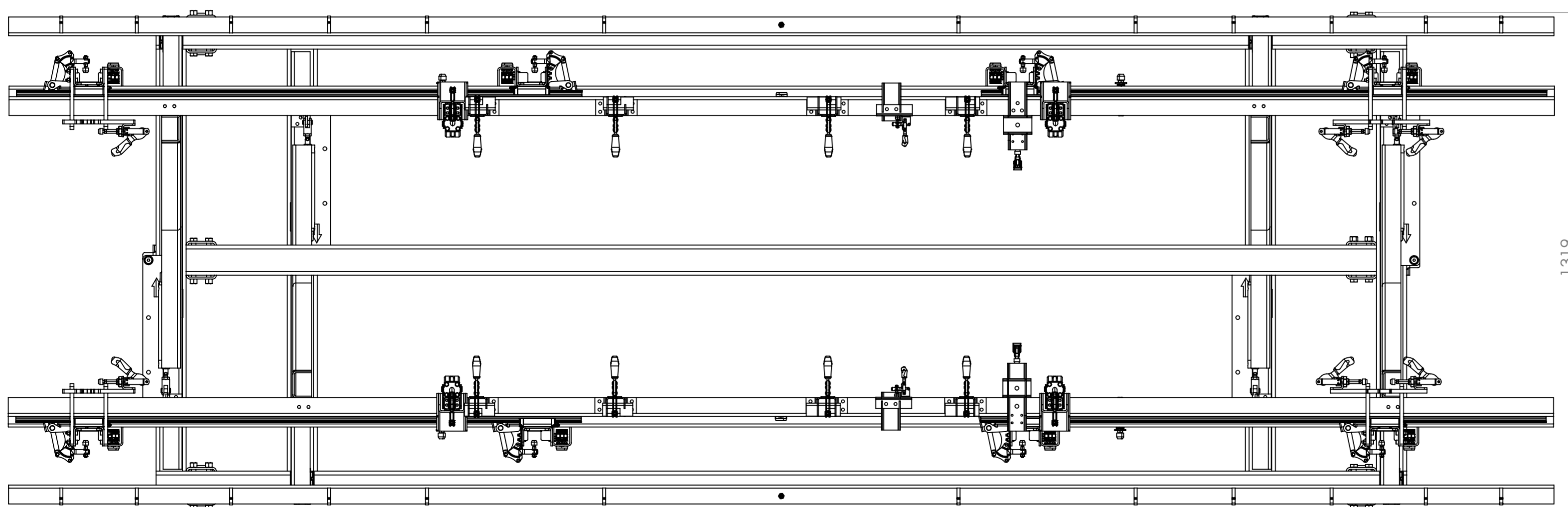
NR.	NIMETUS		KOGUS
11	VahetalaRakisU		4
10	OtsatalaRakisEsiPaneel(Parem)		1
9	OtsatalaRakisEsiPaneel(Vasak)		1
8	OtsatalaRakisTagaPaneel(Parem)		1
7	OtsatalaRakisTagaPaneel(Vasak)		1
6	PneumoRaam(Parem)		1
5	PneumoRaam(Vasak)		1
4	LaiusRaam		2
3	Poom		1
2	Jalg		4
1	AlusRaam		1
Materjal:		S235	Märkimata piirhälbed:
			ISO 2768-m; ISO 2768-K
			Mass (kg): 550 kg
			Moot: 1:7
Teostas	R.Peet		Nimetus:
Kontrollis	S.Kallaste		
Kinnitas	R.Peet		
			Leht:
 TALINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY			

**Kerghaagise raami
keevitusrakise osad**

4102

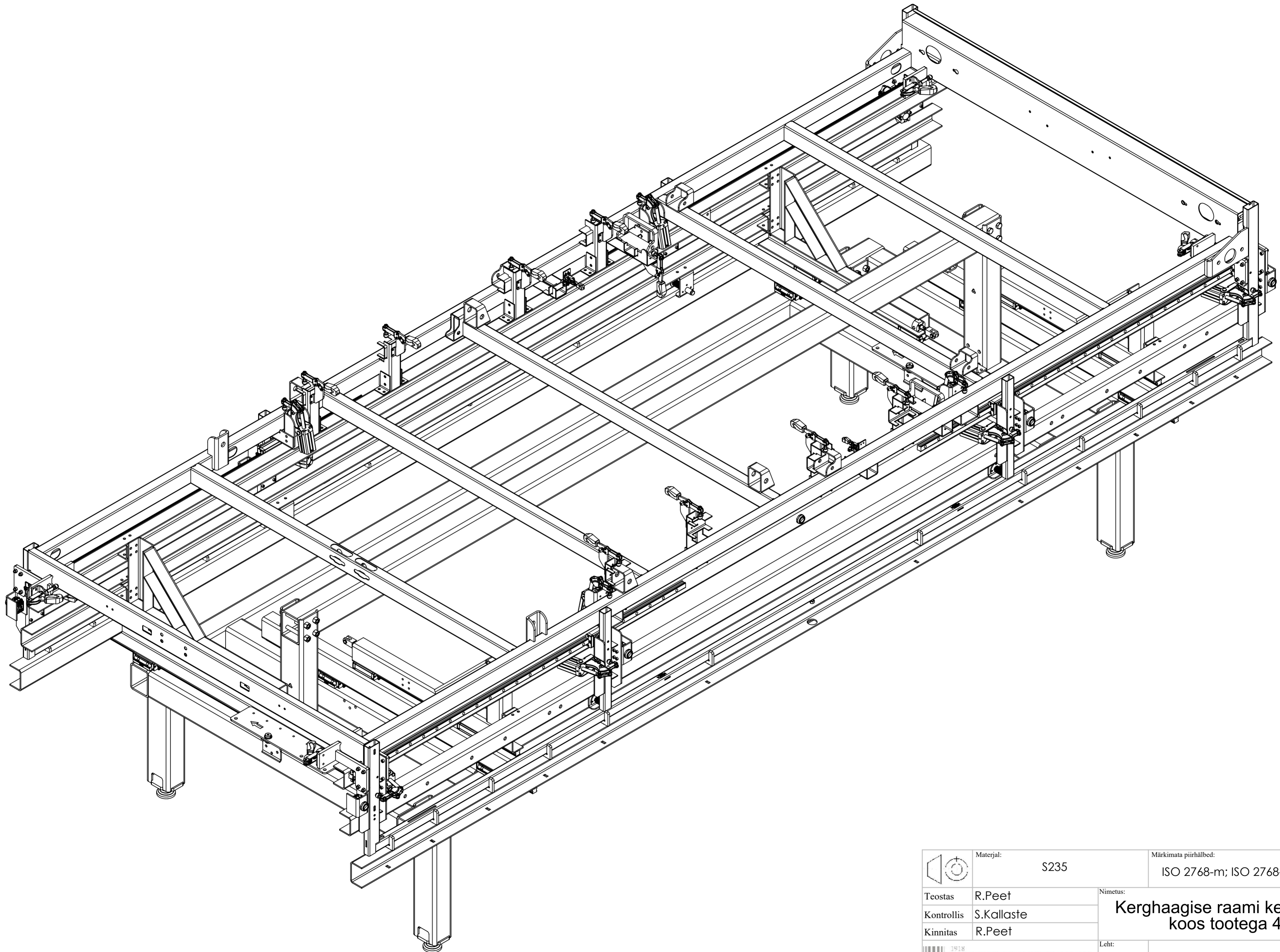


1233

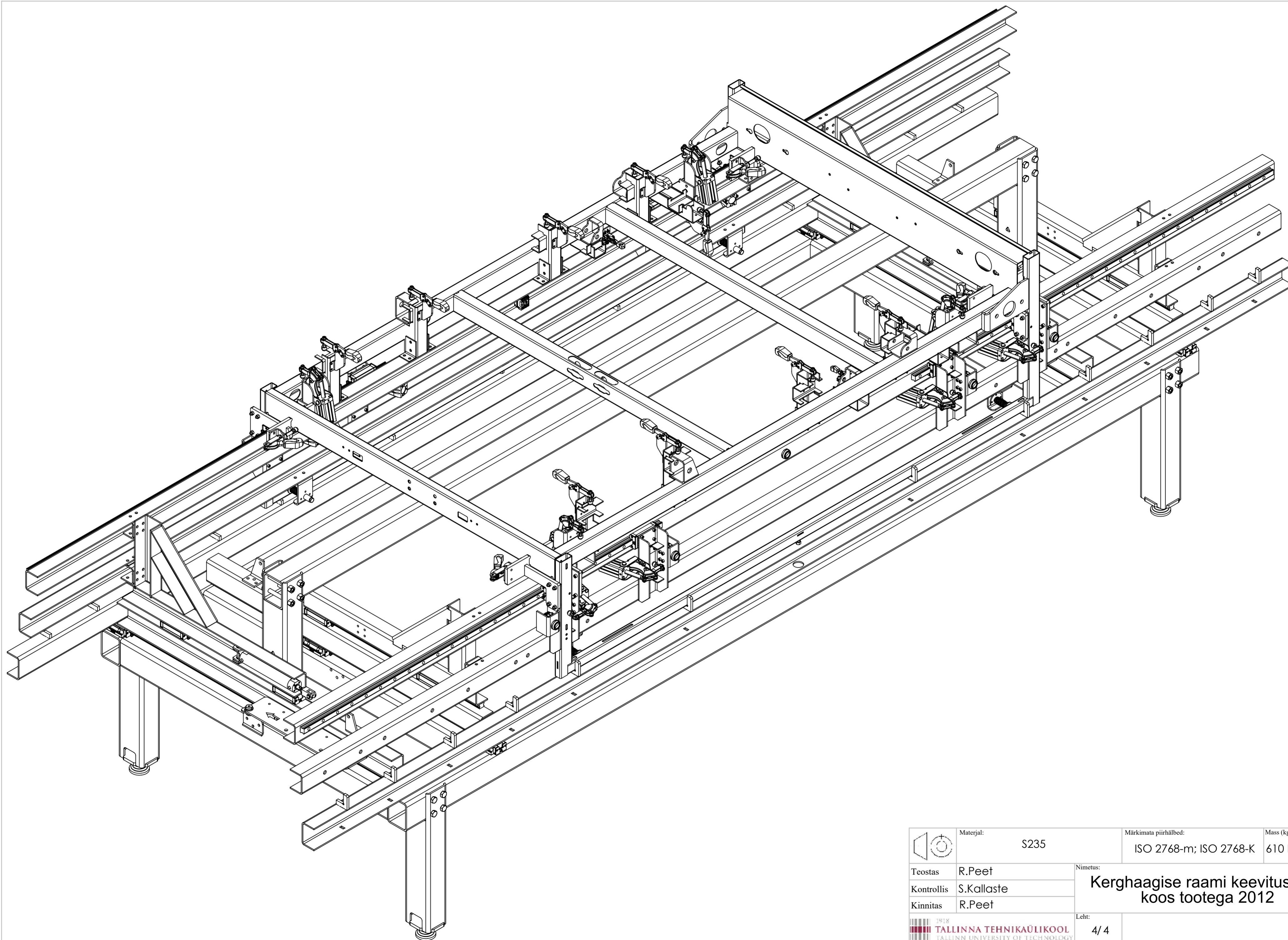


1319

	Materjal:	S235	Märkimata piirhälbed:	ISO 2768-m; ISO 2768-K	Mass (kg):	550 kg	Moot:	1:10
	Teostas	R.Peet	Nimetus:	Kerghaagise raami keevitusrakis				
Kontrollis	S.Kallaste	Leht:	2/4					
Kinnitas	R.Peet	TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL <small>TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY</small>						



	Materjal:	S235	Märkimata piirhälbed:	ISO 2768-m; ISO 2768-K	Mass (kg):	Mõõt:
Teostas	R.Peet		Nimetus:	Kerghaagise raami keevitusrakis koos tootega 4020		
Kontrollis	S.Kallaste					
Kinnitas	R.Peet					
	Leht:	3/4				



	Materjal:	S235	Märkimata piirhälbed:	ISO 2768-m; ISO 2768-K	Mass (kg):	Mõõt:
					610 kg	1:7
Teostas	R.Peet	Nimetus:		Kerghaagise raami keevitusrakis koos tootega 2012		
Kontrollis	S.Kallaste					
Kinnitas	R.Peet					
	TALINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	Leht:	4/4			