



Allan Ojala

**KAITSEVÄE MADELVEOKI
PEALISEHITUSE PROJEKTEERIMINE**

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Õpperühm: AE2022

Juhendajad: Raul Ernes, MSc

Raiko Annask, MSc

Tallinn 2026

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Allan Ojala annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„KAITSEVÄE MADELVEOKI PEALISEHITUSE PROJEKTEERIMINE“

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

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

Autorideklaratsioon

Mina, Allan Ojala,

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt. Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendajad Raul Ernes, Raiko Annask

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

SISUKORD

SISUKORD.....	3
SISSEJUHATUS	4
1 VEONDUSE JA PEALISEHITUSE STANDARDID JA NÕUDED.....	6
1.1 Standardid veonduses ja transpordis	7
2 KATTETÜÜBID JA ALUSKONSTRUKTSIOONI LAHENDUS	11
2.1 Koormakatte tüübid.....	11
2.2 Aluskonstruksiooni disaini valikud	12
2.3 Kaare kuju	13
2.4 Aluskonstruksiooni tootmisstandardid ja materjalid	13
3 ARENDUSELE KEHTIVAD NÕUDED JA PIIRANGUD	16
4 SIINILAHENDUSE VARIANDID	18
4.1 Eemaldatav toruraam	19
4.2 Siinidel põhinev liigutatav süsteem.....	19
4.3 Valitud lahendus	21
5 BAASKONTSTRUKTSIOON JA LAHENDUSE PROJEKTEERIMINE	22
6 ARVUTUSED JA SIMULATSIOONID	26
6.1 Kaare tugevusarvutused	26
6.2 Siini tugevusarvutused.....	28
KOKKUVÕTE	30
SUMMARY.....	31
VIIDATUD ALLIKAD.....	32
LISAD	33

SISSEJUHATUS

Eesti Kaitseväge kasutuses olevatel Scania G360 madelveokitel on pealisehitus ettevõttelt Engineered Land Systems (ELS), mis on projekteeritud militaarseteks tarne- ja logistikaülesanneteks. Kuigi sõidukid on varustatud kraanaga ja mõeldud mitmekülgseks kauba käsitlemiseks, on nende koormaruumi kõrgus ja kate teatud kasutusolukordades ebapiisavad. Käsitsi paigaldatav koormakate piirab kauba kiiret laadimist ja mahalaadimist, eriti olukordades, kui vajalik on samaaegselt kasutada veoki kraanat. Samuti tekib katte sellisel viisil kasutamisel olukordi, kus katteriide taskutesse koguneb vesi, lumi või jää, mis kujutab ohtu veose kahjustamisele.

Sellisel olukoral on otsene mõju logistilise tegevuse kiirusele, ohutusele ja operatiivvõimekusele. Kaitseväge vaates peab veoki pealisehitus võimaldama kiiret tegutsemist. Konstruktsioon peab toimima keerulistes ilmastiku- ja taktikalistes tingimustes ning ei tohi nõuda erivahendeid ega sagedast hooldust. Seetõttu on vajadus välja töötada katuse sõrestik koos koormakatte lahendusega, see võimaldab kiiret ligipääsu kaubale ja säilitab kraana kasutusvõime kogu koormamise ja mahalaadimise vältel.

Käesoleva lõputöö eesmärk on projekteerida madelveoki koormakatte aluskonstruktsioon, mis võimaldab koorma laadimist nii pealt kraanaga kui ka külgedelt tõstukiga, säilitades samal ajal koormakatte kaitsefunktsiooni. Konstruktsioon peab olema kiiresti avatav ja suletav, mehaaniliselt vastupidav ning sobiv militaarseteks kasutamiseks.

Lahenduse väljatöötamisel lähtutakse Euroopa Liidu veonustandarditest ja militaarstandarditest, mis käsitlevad sõidukite lisaseadmete tugevust, transportivust ning hooldatavust. Projekteerimise käigus töötatakse välja konstruktsioonilahendus, tehakse tugevusarvutused ja koostatakse tootmiseks sobiv jooniste komplekt.

Töö lähtub toote väljatöötamise toimingutest, mis hõlmavad olukorra analüüsi, olemasolevate lahenduste võrdlemist, tehniliste nõuete määratlemist, variantide võrdlust, sobiva valiku tegemist, CAD-modelleerimist ja mehaanilist analüüsi. Tulemuste põhjal tehakse järeldused lahenduse sobivuse ja ettepanekud võimalikeks parendusteks.

Töös otsitakse vastuseid järgmistele küsimustele:

- Kuidas mõjutab kõrgendatud eemaldatav lisaraam veoki koormakäsitluse kiirust ja ohutust?

- Milline koormakatet toetav alussõrestik tagab parima kombinatsiooni ligipääsetavusest, vastupidavusest ja hooldusvabadusest militaarsetes tingimustes?
- Kuidas lisaraami paigaldus on võimalik teostada ilma sõiduki ehitust muutmata säilitades tüübikinnituse nõudeid?
- Milline katus tagab parima tasakaalu massi, jäikuse, koostevõimaluse ja kasutuslihtsuse vahel?

Lõpputöö väiteks on, et siinidel liigutatav sõrestik koos pehme kattega parandab veoki koormamise kiirust hinnanguliselt 30%.

Töös on kasutatud ja läbi töödatud erinevaid nõudeid, piiranguid ja standardeid, mis reguleerivad sõidukite pealisehituse ja ümberehituse nõudeid. Lisaks neile veel standardid, mida kvaliteedi tagamiseks jälgida ja kasutada tootmisprotsessides.

1 VEONDUSE JA PEALISEHITUSE STANDARDID JA NÕUDED

Majandus- ja kommunikatsiooniministri kehtestatud Määrus nr. 42 on kehtestatud liiklusseaduse § 63 lõigete 3 ja 6, § 73 lõike 11, § 80 lõike 3 ning § 83 lõike 5 alusel[1]. Määruse nr. 42 järgi on N3-kategooria sõiduk, mille täismass ületab 12 tonni [2]. Suurim lubatud pikkus 12,00m; laius 2,55m ja kõrgus 4,00m, töös arvestatakse suurima kõrgusega, muud gabariidid piiranguid ei sea.[3]

Euroopa Liit kehtestab nõuded sõidukite konstruktsioonile, ohutusele ja eriseadmete paigaldamisele. Sõiduki täiendavate konstruktsioonelementide, näiteks eemaldatava metalltoruraami, paigaldamine peab vastama kehtestatud tüübikinnituse põhimõtetele nii ehituse, märgistuse kui ka dokumentatsiooni osas.

Direktiivi 2007/46/EÜ kohaselt kehtestatakse sõiduki tüüp, variant ja versioon konstruktsiooniliste erinevuste alusel, sealhulgas kere ehitusviisi, telgede arvu ja sõiduki valmistamisastme järgi. Seetõttu käsitletakse erikonstruktsiooniga lisaraami sõiduki ehitusliku muudatusena, mille puhul tuleb säilitada esmase tootja nõuded ja valmistaja vastutus, eriti juhul kui sõiduk on mitmeetapilise tüübikinnituse objekt. Standardid nõuavad, et teises ja järgnevas valmistusetappides vastutab täiendav tootja kõikide lisatud osade vastavuse eest ning peab tõendama eraldi kinnitamise või testimise näol, et eelnevate etappide nõuded ei ole rikutud. [4]

Sarnaselt kehtestab raamdirektiivi varasem versioon 70/156/EMÜ mitme etapilise tüübikinnituse põhimõtte, mille kohaselt peab iga tootmisetapp tagama, et eelnevad heakskiidud jäävad kehtima ja muudatused ei mõjuta sõiduki ohutusomadusi. Juhul kui ehitusetapis muudetakse sõiduki olulisi omadusi, näiteks koormat kandev raam, kere kinnituspunktid või massijaotused, peab tootja esitama lisakatseid või tehnilise dokumentatsiooni muudatuste kohta. [4]

Tüübikinnitusega kaasneb ka nõue sõiduki identifitseerimise ja märgistamise kohta, sealhulgas täiendava tootja andmeplaat mitmeetapilise ehituse korral. See peab sisaldama massipiiranguid ja tehnilisi näitajaid ning kinnitama, et muudatused ei ületa lubatud konstruktsioonilisi norme. Juhul kui muudatused puudutavad sõiduki tehnilisi põhiparameetreid, nagu massid, teljekoormused või kere kandevõime, tuleb tootja poolt uuendada kinnituse dokumentatsiooni ja vajadusel esitada sõiduk uuesti kontrollimiseks. [4]

Lõpptulemusena loob direktiivide ja standardite süsteem kohustuse tagada, et eemaldatava metallraami paigaldus ei muudaks tootja algset tehnilist seisundit ega vähendaks sõiduki ohutus-, koormus- või kasutusomadusi. Lahenduse väljatöötamisel tuleb kasutada kinnituspunkte, mis ei kahjusta kandekonstruktsiooni, kasutada tootja paigaldusviise ja esitada nõuetele vastavus katsete või arvutusliku tõestuse abil. Selline lähenemine tagab arendatava süsteemi vastavuse Euroopa tüübikinnituse nõuetele välistades sõiduki homologatsiooni kehtetuks muutumise. [4]

1.1 Standardid veonduses ja transpordis

Arenduse kavandamisel on lähtunud Euroopa ja Ameerika Ühendriikide kaitsetööstuse tehnilistest standarditest, mis käsitlevad sõidukite koormakinnituse, kere tugevuse ja konstruktsioonelementide kaitse ning transporditavuse nõudeid. Standardid määravad tehnilised ja käsitlemise piirangud, mille järgimine tagab ohutuse, töökindluse ning konstruktsiooni vastavuse rahvusvahelisele logistikataristule. Euroopas reguleerivad standardid on EVS-EN 12641 ja EVS-EN 12642. Standard EVS-EN 12641-1:2019 sätestab miinimumnõuded koormakatte ja presendilahenduste kasutamiseks vahetuskeredel ning kaubaveokitel. Standard EVS-EN 12642:2016 käsitleb kaubaveokite kere struktuuri tugevusnõudeid ja koormakinnituse ohutusstandardeid. Militaarstandardid nagu MIL-C-13489D kehtestab koormakatte materjalid ja kinnitusviisid, MIL-STD-1366D eesmärgiks on tagada militaarvarustuse transport oleks sobiv kõigil transpordiviisidel nagu maanteel, merel, õhus ja raudteel ja MIL-STD-2073-1E sätestab kaitse kauba transpordi kui ka ladustamise ajal erinevate keskkonnamõjude eest.

EVS-EN 12642 standard kehtestab kaubaveoks mõeldud sõidukite ja haagiste kerestruktuuride, sealhulgas esi-, taga- ja külgeinade miinimumnõuded juhul, kui neid kasutatakse veose kinnitamise osana. Standardis esitatakse kaks tugevusklassi: *Code L* ja *Code XL*. *Code L* klassi puhul peab sõiduki külgein taluma horisontaalset testjõudu vähemalt $0,3 P$, kus P tähistab sõiduki lubatud kaubaraskust dekanetonites(daN). Esi- ja tagaseinad peavad vastavalt taluma horisontaaljõude vähemalt $0,4 P$ ja $0,3 P$ ulatuses. *Code XL* puhul, mis tähistab kõrgendatud tugevusnõuetega keret, peab külgein vastu pidama vähemalt $0,4 P$ ulatuses rakendatud jõude, jõud peab olema jaotatud ühtlaselt vähemalt 75% seinä kõrgusest. Näiteks, kui sõiduki kaubaraskus (P) on 20 000 kg, umbes 200 000 daN, siis *Code XL* puhul külgeina testjõud $\approx 0,4 \times P = \sim 80\,000$ daN. Esi- ja tagaseina testjõud peavad *Code XL* korral olema vähemalt vastavalt $0,5 P$ ja $0,3-0,4 P$, sõltuvalt konstruktsioonist. Kui sõiduk vastab EN 12642 XL klassile, võib selle keret ja seinu kasutada veose kinnitamise osana, muul juhul tuleb kasutada täiendavaid kinnitusvahendeid. Selles töös ei ole projekteeritava toote lahenduses seinad kasutuses veose kinnitamise osana, seega pole vajadust nende jõududega arvestada kauba

kinnitamisel. EVS-EN 12642 sisaldab ka juhiseid katsetulemuste vormistamiseks: pärast testimist koostatakse katsetunnistus ja raport, kus fikseeritakse tootja andmed, testimisviis (dünaamiline, staatiline või arvutuslik), konstruktsiooni mõõtmed, testikoormused, deformatsioonid ning vastavus standardinõuetele. Sellist struktuuri saab kasutada ka prototüübi testiaruannete koostamisel, et tagada töö läbipaistvus ja võrreldavus tööstuses kasutatavate testistandarditega. Standardis toodud tugevusklassid L ja XL võimaldavad hinnata, kas kavandatav raam vastab vähemalt tavaklassi (L) kerele seatud mehaanilistele nõuetele, näiteks külj- ja pikisuunaliste koormuste osas.[5]

Standard EVS-EN 12641-1:2019 käsitleb presendikatete tugevust ja kinnitusviise veokite ning vahetuskerede puhul. Standardi põhiosa on tagada, et kasutatav materjal ja selle ühendused säilitaksid ühtlase tugevuse kogu katuse ulatuses. Presentkatte jaoks kehtestatud minimaalne tõmbetugevus ≥ 2850 N/5 cm ja rebimistugevus ≥ 185 N annavad võrdlusväärtused, millele saab toetuda torumaterjalide ja ühenduskohtade mehaaniliste omaduste valikul. Samuti nõuab standard, et erinevatest osadest koosneva katte liited oleksid vähemalt sama tugevad kui põhimaterjal, mis on oluline põhimõtte sõrestiku, hingedega ühenduste ja kiirkinnituste projekteerimisel. Presentkatte kinnituste jaotus on standardis piiratud: silmuste maksimaalne vahekaugus ei tohi olla üle 200 mm, mis peab tagama pingutuse ühtlase jaotuse ja väldib koormuse kogunemist. Sama põhimõtet saab rakendada sõrestikus, jaotades kinnituspunktid ja lukustusmehhanismid selliselt, et koormus kanduks ühtlaselt torudele ning siinidele. Standard nõuab materjalide vastupidavust madalatel temperatuuridel -25 °C kuni -40 °C, samuti tule- ja UV-kindlust, mis on rakendatavad sõrestiku korrosiooni- ja ilmastikukaitse valikul, näiteks tsinkimise või pulbervärvkatte näol. Presentkatte puhul ette nähtud märgistused nagu tootja, valmistamisaeg, materjali mass ja miinimumtemperatuur on heaks tavaks ka metallraamide puhul, et tagada jälgitavus ja hoolduse planeerimine.

Lõpptulemuses annavad EVS-EN 12641 ja EVS-EN 12642 standardid olulise lähte raami konstruktsiooni projekteerimiseks, kinnitussüsteemide ja materjalide valikuks ning katsetuste planeerimiseks. Esimene kehtestab nõuded materjalide mehaanilistele ja ilmastikukindlusomadustele ning kinnitusviiside tihedusele, teine aga sõidukikere tugevusnõuded ja testimise meetodika. Nende rakendamine tagab, et arendatav metalltoruraam on konstruktsiooniliselt usaldusväärne, ohutu ning vastab veokite lisaseadmetele kehtivatele Euroopa normidele.[6]

Arendatav metalltoruraam, mille eesmärk on pakkuda veokile kiiresti paigaldatavat ja eemaldatavat kaitse- ning tugikonstruktsiooni, peab olema kooskõlas militaarsete tehniliste nõuetega, mis käsitlevad sõidukite lisaseadmete tugevust, transporditavust ja töökindlust välitingimustes. Nendele tingimustele vastavuse tagamiseks on arenduse

kavandamisel tuginetud kolmele olulisemale Ameerika Ühendriikide kaitseministeeriumi standardile: MIL-C-13489D, MIL-STD-1366D ja MIL-STD-2073-1E (*Change 4*). Need standardid määravad konstruktsioonide projekteerimise, valmistamise, transporditavuse ja kaitstuse üldpõhimõtted, mida saab rakendada ka tsiviil- ja militaarotstarbelistes sõidukites kasutatavate raamide puhul.

Standard MIL-C-13489D kirjeldab nõudeid militaarsete veokite ja haagiste kerele paigaldatavate katete ning tagakardinatega seotud materjalide, kinnitusviiside ja konstruktsioonelementide kohta. Selle peamine eesmärk on tagada katte ja konstruktsiooni töökindlus erinevates keskkonnatingimustes alates tugevatest temperatuurikõikumistest kuni vibratsiooni ja niiskuseeni. MIL-C-13489D standardi põhimõtteid saab rakendada ka metalltoruraami puhul, kuna mõlema ülesanne on tagada veoki kasti kaitse, jäikus ja vastupidavus mehaanilistele koormustele. Standard rõhutab, et konstruktsioon peab olema mehaaniliselt ühilduv sõiduki kerega, kasutama korrosiooni- ja ilmastikukindlaid materjale ning olema kiiresti eemaldatav ja taaspaigaldatav. Need põhimõtted toetavad arenduse eesmärki luua moodulraam, mida saab kiiresti kokku ja lahti võtta ning mis ei takista kraana või muude seadmete kasutamist. Samuti kirjeldab standard kinnituste tugevuse ja tiheduse nõudeid. Kõik ühendused peavad olema vähemalt sama tugevad kui konstruktsiooni põhiosad, et tagada ühtlane koormusjaotus ja vastupidavus välistingimustes. See juhib tähelepanu vajadusele kavandada raami liite- ja pingutuspunktid selliselt, et need taluksid pidevat kasutust militaar- või logistilistes tingimustes ilma tugevust kaotamata.

Standard MIL-STD-1366D kehtestab sõjalise tehnika ja sõidukite transporditavuse ning liidese-ehituse põhimõtted. Selle eesmärk on tagada, et militaarvarustus oleks sobiv kasutamiseks kõigis transpordiliikides nagu maanteel, raudteel, merel ja õhus. Arendatava metalltoruraami kontekstis on standardi peamine roll kindlustada, et raam ei vähendaks sõiduki transpordivõimekust ega ühilduvust standardsete transpordivahendite ja süsteemidega. Standard sätestab mõõtmete ja massi piirväärtused, mis tagavad kooskõla erinevate transpordiplatvormide gabariitidega, ja nõuab, et lisaseadmed ei muudaks sõiduki raskuskeskme asendit ega takistaks laadimist ja mahalaadimist. See on eriti oluline, kui sõidukit transporditakse õhustranspordiga või kombineeritud logistikaketis. Lisaks kehtestab standard kinnituse ja eemaldatavuse põhimõtted. Kõik lisakonstruktsioonid peavad olema transpordi ajaks turvaliselt fikseeritud, kuid vajadusel kiirelt eemaldatavad. See sobib otseselt arendatava raami kavandiga, kus on ettenähtud kiiresti avatavad lukustussüsteemid ja moodulühendused. Standardis rõhutatakse ka liideste standardiseeritust, mis võimaldab sama konstruktsiooni kasutada eri sõidukimudelitel, vähendades hoolduskulusid ja suurendades logistilist paindlikkust. Seega loob MIL-STD-1366D metoodilise aluse raami projekteerimiseks nii, et selle mõõtmed,

mass, kinnitused ja funktsionaalne sobivus vastaksid militaarlogistika nõuetele ning sõiduk säilitaks oma transporditavuse ja ohutuse kõigis olukordades.

Standard MIL-STD-2073-1E koos muudatusega number 4 käsitleb militaarvarustuse pakendamise, kaitse ja säilivuse põhimõtteid kogu logistikaahela ulatuses. Selle fookus on tagada, et kõik sõjalised komponendid alates väikestest detailidest kuni suuremate seadmeteni oleksid kaitstud keskkonnamõjude eest nii transpordi kui ladustamise ajal. Kuigi standard on algselt suunatud pakendamisprotsessile, on selle kaitse- ja hooldatavuspõhimõtted rakendatavad ka mehhaanilise konstruktsiooni disainis. Raami puhul tähendab see, et kõik komponendid peavad olema kaitstud korrosiooni, UV-kiirguse ja niiskuse eest, et konstruktsioon säilitaks töökindluse ka pikaajalisel hoiustamisel. Samuti rõhutatakse vajadust modulaarsuse ja hooldatavuse järele, osad peavad olema märgistatud, kiiresti eraldatavad ja vahetatavad ilma erivahenditeta. Standard kehtestab ka pakendamise- ja hoiustamistasemed: tase A välikasutuseks ja tase B lühiajaliseks ladustamiseks, mida saab kohandada metallraami komponentide ladustamisel ja transportimisel. Lisaks nõuab MIL-STD-2073-1E põhjalikku dokumenteerimist ja jälgitavust, et igale komponendile oleks omistatud identifitseeriv tähis ning hooldus- ja säilitusjuhend. Selle standardi põhimõtted aitavad tagada, et raami konstruktsioon on mitte ainult tugev ja funktsionaalne, vaid ka pikaealiselt hooldatav ja logistiliselt hallatav, mis on eriti oluline militaar- ja päästetöödel kasutatavate sõidukite puhul.

2 KATTETÜÜBID JA ALUSKONSTRUKTSIOONI LAHENDUS

Kate ja raam peavad sobituma sõiduki mõõtudega ületades lubatud laiuse või kõrguse, siis tekivad seaduslikud probleemid ja lisakulud. Konstruktsioon peab olema kavandatud nii, et vihmavesi ei koguneks katusele, sest muidu vajub kate vett täis ja puruneda. Liug- ja automaatkatete puhul tuleb arvestada, et need vajavad pidevat hooldust nagu õlitamist, juhtsiinide ja hingedega seotud kontrolli, sest vastasel juhul kaob töökindlus ja kiirus. Lõpuks ei tohi unustada, et raskem raam ja paks kate tähendavad suuremat õhutakistust ja lisakaalu, mis suurendab kütusekulu ja muudab käsitlemist raskemaks, ehk kui lahendus on liiga massiivne, siis on negatiivne kasutegur.

Levinumad koormakatted, mis veoautodel kasutusel on PVC-kate, lükandkate, liugkate, mehhaniseeritud kate ja tõmbekate. Koormakatte lahenduste juures on kriitiline, et kinnitus oleks turvaline, trossid, pingutusvedrud ja kinnituskohad peavad taluma nii tuult ja sõiduki kiirust kui ka koorma võimalikku nihkumist, sest nõrgad kinnitused põhjustavad kiiresti rebendeid ja ohte liikluses. Samal ajal on oluline materjali kvaliteet: odav või nõrk PVC praguneb UV-kiirguse ja külma mõjul, mistõttu peab kate olema piisava tihedusega (g/m^2) ja vajadusel tugevdatud ribade või aramiidiga, vastates standarditele nagu EN 12642 XL.

2.1 Koormakatte tüübid

Kõige tavalisem kattetüüp on PVC-kate, mis on lihtne lahendus, et kate tõmmataks koormast üle ja kinnitataks erinevatel viisidel nagu näiteks klambrite, kummide või haakidega. Harva sobib see teravate asjade transpordiks ilma lisa pehmendusega. Lisaks on ka selles töös valitud madelveokil eeltoodud PVC-kate, millel on äärtes kinnituskummid. Võrreldes teiste variantidega on PVC-kate kerge, universaalne ja lihtne remontida, kuid puudusteks on suur tuulemõju, koormanurgad rikuvad tenti ära. Lisaks kuna kate pole ka piisavalt fikseeritud, siis on halb veekindlus ja tolmu ning teised välised tegurid saavad koormaga kokku puutudes selle ära rikkuda.

Veel on olemas lükandkate, mis rullitakse koormale mootorite abil peale, kas siinide või trosside abiga. See on kiirem ja mugavam kui eelnev, sest tenti rullivad mootorid, ilma et peaks käsitsi ise vaeva nägema. Seetõttu vähendab see autojuhi tööaega ja pakub oluliselt rohkem võimalusi eelnevast PVC-kattest. Samuti selle lahenduse puhul võib kate viga saada, kui see tuulekoormuse korral vibreerib. Veel on võimalik, et teatud variantide puhul pole samuti koorem täielikult isoleeritud välisest keskkonnast. Miinusteks on ka keerukas mehhanismi, mis vajab hooldust.[7]

Liugkate liigub üle raami siinide peal, siinid on raami sisse ehitatud ja see on mugavalt käsitsi liigutatav. Liugkate võimaldab koormaruumi osaliselt või täielikult avada võimaldades ligipääsu vajaminevale kaubale. Miinusteks saab lugeda toote hinna, lahendus lisab raskust ja liikuvad osad vajavad hooldust ning puhastust, et need jätkusuutlikult toimiksid.[8]

Automaatne või mehhaniseeritud kate on osaliselt kombineeritud lükand- ja liugkattest. See avatakse ja suletakse automaatse mehhanismiga nagu elektrilised või hüdraulilised keti või rullmehhanismid. Need vähendavad töökoormust ja on kiiremad ja turvalisemad. Miinusteks saab lugeda hinna, hooldusnõuded, keerukuse vigastuste ja remondi korral kui ka komponentide rikkeohu.[9]

Tõmbekate on lahendus, mille puhul kaetakse koorem kõiega käsitsi rulli abil lahti rullides. Selle näol puudub vajadus kõrgele ronida, lisaks saab selle automatiseerida. Miinusteks saab tuua lekkevõimaluse ja hooldusvajaduse.[10]

PVC-kate valiti, kuna see on kerge, odav ja lihtsasti parandatav välitingimustes. Mehhaniseeritud ja rullkatete puuduseks on suurem mass, keerukam mehhanism ja hooldusvajadus, mis ei sobi militaarlogistika tingimustesse.

2.2 Aluskonstruksiooni disaini valikud

Koormakatte aluskonstruksiooni disainil leiti, et on kaks peamist varianti eemaldatav katus, mis eeldab koorma laadimise hetkeks katte eemaldust ja äärmisel juhul ka konstruksiooni lahti võtmist ning siinide peal liikuv lahendus, mille puhul kate jääks konstruksiooniga seotuks, aga poleks vaja koorma laadimishetkeks midagi demonteerida.

Demonteeritav kate ja metallraam on konstruksiooniliselt lihtsam ja odavam valmistada ning sisaldab vähem liikuvaid osi. See soodustab töökindlust ja võimaldab süsteemi eemaldada täielikult, kui seda ei kasutata. Samas on selle nõrkuseks pikem paigaldus- ja demonteerimisaeg ja suurem füüsiline koormus kasutajale. Sobib paremini olukordadesse, kus katet eemaldatakse harvem ja maksimaalne sõiduki modulaarne kasutusvõime on tähtsam kui operatiivne kiirus.

Siinidel liikuv variant võimaldab katet kiiresti avada ja sulgeda ilma konstruksiooni eemaldamata, mis parandab töö ergonoomiat, vähendab ajakulu ja tagab parema ohutuse sagedase ligipääsu korral. Selline süsteem vähendab detailide kadumise riski ja vastab paremini militaar- ning logistikanõuetele, kus eelistatakse kiirpaigaldatavust ja minimaalset tööriistakasutust. Samas nõuab see tehniliselt keerukamat rullik- ja

siinikonstruktsiooni, mis tõstab valmistus- ja hoolduskulu ning suurendab tundlikkust mustuse ja külmatingimuste suhtes.

2.3 Kaare kuju

Militaarsõidukite koorma alusstruktsiooni kumerakujuline disain ja kuju võivad olla määratud mitmest teguritest. Esmasena saab välja tuua lume ja vee äravoolu, et konstruktsioon ei peaks kandma lisakoormust. Järgmisena erinevate jõudude staatiline ja dünaamiline koormusjaotus. Kaar- või ümarkate võimaldab vihma ja lume kiiret äravoolu, vähendades pinnal tekkivat staatilist koormust ning lume ja vee kogunemist, mis põhjustab eksponentsiaalselt suurema konstruktsioonikoormuse.

Uuringud kaarkonstruktsioonide geomeetria mõjust lumekoormusele näitavad, et kaarkujulised konstruktsioonid vähendavad oluliselt koormuste kontsentratsiooni ja parandavad konstruktsiooni stabiilsust võrreldes lihtsate teravaservaliste struktuuridega.[11]

Kumerad geomeetriad, nagu kaarprofiilid, jaotavad dünaamilisi ja staatilisi koormusi efektiivsemalt, mis on oluline liikuvate platvormide puhul, kus on vibratsioon ja inertsmõjud suuremad. Struktuursete analüüside põhjal vähendab kaarkonstruktsioon mõnede nurga- ja massikoormuste all pingekontsentratsioonide tekkimist, muutes süsteemi vastupidavamaks väsimustele.[6]

Kumerad või mittekanalised pinnad hajutavad radari peegeldust ja vähendavad peegeldunud signaali intensiivsust (*radar cross-section*, RCS), kuna teravate servade ja nurkadega pinnad toimivad sageli "peegelduspunktidenä". RCS-uuringud rõhutavad, et kuju on üks kriitiline komponent detekteeritavuse vähendamisel ja kuju koos sobivate materjalide ning kattemeetmetega võib anda olulise eelise nähtavuse vähendamisel.[12]

Kaarkonstruktsioon valiti eelkõige selle parema kandevõime ja koormuse ühtlasema jaotuse tõttu võrreldes kanaliste lahendustega. Kumer kuju vähendab lume ja vee kogunemist ning alandab lokaalsete pingekontsentratsioonide tekkimise riski.

2.4 Alusstruktsiooni tootmisstandardid ja materjalid

Alusstruktsiooni disainile ja tootmisele eelnes materjali valik, millega erinevad standardi kooskõlas oleksid. Töö raames töödeldi läbi järgnevad standardid: EN 10025 ja EN 10219, mis on materjali ja profiilide valikuga seotud standardid. Keeviste ja keeviste kavliteeti määravad standardid olid EN ISO 3834, EN ISO 5817 ja EN ISO 9606-1. Poltliiteid ja ühendusi määrasid standardid nagu EN 15048 ja EN 14399. Pinnatöötamise ja kaitse väliskeskkonna eest määras standard EN ISO 12944.

Materjali profiilide valiku suhtes mängivad rolli kaks standardit EN 10025 ja EN 10219. EN 10025 standard kehtestab kuumvaltsitud konstruktsiooniteraste keemilised koostised, mehaanilised omadused ja klassifikatsioonid, nagu S235, S275 ja S355. Konkreetse arenduses on asjakohane eriti S355 teras tänu tema suuremale voolavuspiirile ja tugevusele, mis sobib hästi dünaamiliste koormuste, vibratsiooni ja välistingimuste jaoks. Standard määrab ka materjali tolerantsid, sertifikaadinõuded ja mehaanilised katsed (tõmbe-, löögi- ja keevitavuse hindamised), mis tagavad konstruktsiooni töökindluse kogu elutsükli jooksul[13]. EN 10219 käsitleb külmaltsitud keeviterasprofiile (ruut-, ristkülik- ja ümarprofiile), mida kasutatakse eelkõige konstruktsiooniraamide ja toruraamide valmistamisel. Standard sätestab mõõtmetolerantsid, pinnaviimistluse nõuded, mehaanilised omadused ja keevitavuse tagamise kriteeriumid. Sellised profiilid sobivad hästi moodulraamile, kuna kombineerivad piisava tugevuse, jäikuse ja keevitavuse kaalu mõistliku tasemega.[14]

EN ISO 3834 määrab kvaliteedijuhtimise reeglid metallitoodete keevitamisel, hõlmates dokumentatsiooni, keevitusprotseduure, materjalijärelevalvet, personali kvalifikatsiooni ja seadmete kontrolli. Selle standardi rakendamine tagab, et keevitused on teostatud kontrollitud protsessi järgi, püsiva kvaliteediga ja vastavad konstruktsioonile kehtestatud tugevus- ning töökindlusnõuetele.[15]

EN ISO 5817 kirjeldab keevisõmbluste lubatud defekte, nagu poorsus, mittesulandumine, läbitungimatus, alavool ja servade sulamine, ja määrab kvaliteeditasemed B (kõrge), C (keskmine) ning D (standard). Sõiduki lisakonstruktsiooni puhul on tavapraktika valida kvaliteeditase C, mis tagab hea mehaanilise tugevuse ja töökindluse ka vibratsiooni ning dünaamiliste koormuste tingimustes.[16]

EN ISO 9606-1 määrab keevitajate pädevusnõuded teraste keevitamisel, sealhulgas testmetoodika, katseproovide parameetrid ja kvalifikatsiooni kehtivus. Standardi eesmärk on tagada, et keevitaja suudab toota kvaliteetseid keevitusi reaalsetes tingimustes. Konstruktsiooniraami puhul on nõutud, et kõik kriitilised keevised teeks sertifitseeritud keevitaja.[17]

EN 15048 käsitleb mitte-eelpingestatud poltliidete nõudeid (tavalised struktuuripoldiliited). See standard nõuab CE-märgistusega polte ja mutreid, jälgitavust ning vastavussertifikaati. Selle arenduse puhul kasutatakse neid eemaldatavates liidetes, kus on vajalik lihtne hooldus ja demonteerimine ilma eriseadmeteta.[18]

EN 14399 määrab kõrgtugevatele eelpingestatud poltliidetele (klass 8.8 / 10.9) nõuded, mida kasutatakse kõrge töökindluse ja vibratsioonikindlusega konstruktsioonides. Kui

raami sektsioonid vajavad tugevdust või raami kasutatakse raskete koormate kinnituseks.[19]

EN ISO 12944 käsitleb teraskonstruktsioonide kaitset korrosiooni eest, kehtestades korrosioonikategooriad (C1–CX) ja pinnatöötamise nõuded. Välitingimustes kasutatava veokiraami puhul on soovitatav C3 või C4 klass: eeltöötlus, tsinkimine või tsink-epoksiid + pulbervärv, tagades pikaajalise ilmastikukindluse ja mehaanilise kaitse.[20]

Kõiki eeltoodud standardeid ja nõudeid on hea nii tootmises kui ka arendustöös jälgida ja järgida, sest nendega abil on võimalik tagada kvaliteet ja töökindlus erinevates olukordades. Konstruktsiooni materjali ja tootmise seisukohalt olid määravad standardid EN 10025 ja EN 10219, mis suunasid profiilide ja teraseklasside valikut, ning EN ISO 12944, mis määras korrosioonikaitse nõuded välitingimustes kasutatavale konstruktsioonile.

3 ARENDUSELE KEHTIVAD NÕUDED JA PIIRANGUD

Olulisemad nõuded ja piirangud selle projekti arenduse juures tulenevad seadusandlusest, standarditest, regulatsioonidest ja Eesti Kaitseväe poolsete sisendite näol. Kuna planeeritud veokast kõrgendava toruraamiga peab säilitama autoga mugava liikumise ja opereerimise võimekuse, siis esmasena saab välja tuua aerodünaamilise kui ka maastikul liikumisel tekkiva takistuse, et kast ei ulatuks kabiinist märgatavalt kõrgemale. Kui disainitav lahendus ei ole kabiinist märkimisväärselt kõrgem, siis on ka selle järgi maastikul liikudes valida teekonda ilma koormat vigastamata. Järgmise nõudena saab tuua minimaalse ajakuluga koormamisprotsess, selleks peab toruraam kattega ka kiiresti demonteeritav olema, ehk sellest tuleneb tööle sisend katust täielikult avatuks saada. Kaitseväe poolseteks sisenditeks jäi kiire ja hooldusvaba opereerimise võimekus, selle juures madal tootmiskulu ning võimalikult võhiklikku käsitsemist taluv lahendus. Töö autor arvestab eeltoodud sisenditega maksimaalselt, et neid omavahel kombineerida. Paigalduskiirus koormakattele võiks kokkuvõttes pealepaneku ja mahavõtu ajaga jääda 5 minuti ligidale.

Seadusandlusest ja standarditest tulenevad piiranguteks konstruktsiooni projekteerimisel on märus nr. 42 ära N3-kategooria maksimaalse kõrguse, mis on 4,00 meetrit. Direktiiv 2007/46/EÜ kehtestab ka, et lisaraami projekteerimist käsitletakse sõiduki ehitusliku muudatusena, mille järel tuleb lisatud osade ohutusvastavus standarditele hilisemalt ära tõendada, et nende suhtes ei ole nõuete vastu eksitud. Tõendada on vaja, et ei rikutaks ohutus-, koormus- ja kasutusomaduste vastu ning, et ei kahjustataks kandekonstruktsiooni. Direktiivi 2007/46/EÜ puhul nõutakse kas arvutusliku tõestust või tõestust testide näol. Siinkohal on oluline välja tuua, et konkreetset madelveokil on eelnevalt juba küljereportede vahepostidele loodud kohad, kuhu kasti kattev konstruktsioon paigaldada. Seega ELS-i poolt loodud pealeehitusel on ehitusliku muudatusega juba eelnevalt arvestatud ja mingit lisatõendamist see ei vaja.

Koormakatte valikul mõjutab EN 12641 koormakatte valikut ja see kehtestab hilisemalt, kes on katte tootmisel ning tarnimisel piisava pädevusega. MIL-C-13489D toob samuti välja nõuded haagisele paigaldatavate katete paigalduse ja konstruktsioonelementide suhtes.

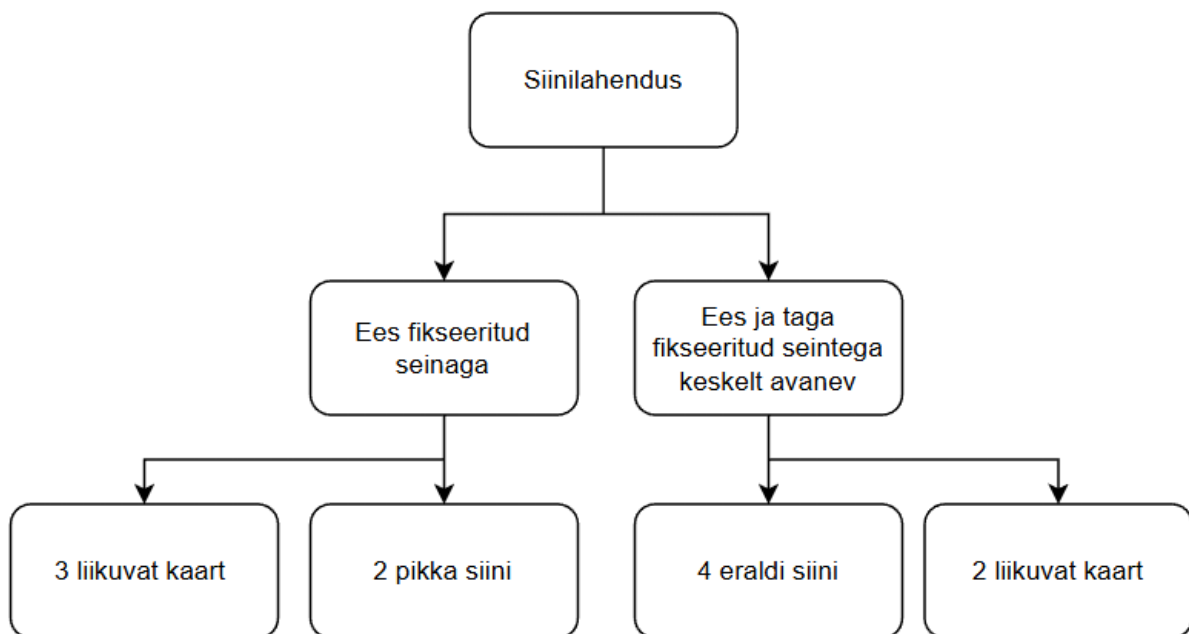
Mõlema projekteerimise kui ka koormakatte lahenduse ja paigutuse põhimõtete suhtes arvestatakse MIL-STD-2073-1E standardiga, et tulevikus transportimisel kaup kaitstud ja ei saaks vigastatud. Peale selle kui sõiduk konserveeritakse, siis kehtib eeltoodud standard sõiduki ja selle funktsionaalsete omaduste säilitamiseks.

Piirangud loovad funktsionaalne ja käsitsi tegutsemise vajadus, et raam ei oleks liiga raske ning et saaks ilma eriliste tööriistadeta seda lahti võtta. Kraana ligipääs samuti loob mõningaid piiranguid, kuid see on kooskõlas eelneva punktiga. Ohutusnõudeid pole vaja eraldi välja tuua, sest muutused ei mõjuta eksisteerivaid piiranguid Kaitseväe ohutustehnilistes nõuetes.

4 SIINILAHENDUSE VARIANDID

Lõpliku tulemuse väljatöötamisel kaalus autor kahe suuna vahel, kas eemaldtav toruraam või siinidel liikuv toruraam. Kuna statsionaarse konstruktsiooni juures on loodav projekt oluliselt ajakulukama paigutuskiirusega ja insenertehnilise lahenduse poolest ei ole selle versiooni näol tehnoloogiliselt arendustöö mõistes võimalik midagi uut luua. Seetõttu liikus idee valiku tegemisel siinidel liikuva toruraami kasuks. Koormakatte lahendust valides leiti, et pole mõistlik veel lisaks ühte keerukat süsteemi luua, et säiliks minimaalne hooldusvajaduse fenomen ja see praktilises mõistes pole ka vajalik. Ehk on vaja toota koormakate spetsiifilise disainiga sellele aluskonstruktsioonile, kuid sinna ei lisandu erilisi mehhanisme ega pisidetaile, mis selle keerukust ja haaavatust mõjutada saaks.

Siinilahenduse kontseptsiooniga tekkis kaks varianti, mille puhul üks on eesmise fikseeritud seinaga ja teine eesmise ning tagumise fikseeritud seintega olev versioon. Sedaviisi, et veokasti keskel olevad postid koos kaartega on liigutavad eesmise ja tagumise seinajuurde koormamise ajaks. Komponentide rohkus lahenduste juures kujunes vastavalt eesmise fikseeritud seinaga lahenduse juures nii, et on kaks veokasti pikkust siini, kus kaared liiguvad ja kolm liikuvat kaart. Eesmise ja tagumise fikseeritud lahenduse juures jällegi neli eraldi lühemat siini ja kaks kaart mis nendes liiguvad. (Sele 1.)



Sele 1. Siinilahenduse valikut põhjendav skeem

4.1 Eemaldatav toruraam

Statsionaarse süsteemi ülesehitus põhineb neljal aluskaarel, aluskaarte vahelistest tugipostidest, et kate läbi ei vajuks ja koormakattest. Statsionaarne süsteem toimiks kraanaga koorma laadimisel järgnevalt: kate eemaldamine, toruraami eemaldamine kastist ja peale seda oleks kraana kasutamiseks valmis, et hakata koormat laadima. Statsionaarse süsteemi puhul on eeliseks see, et on võimalikult vähe liikuvaid detaile, mille tulemusena säilib vähene hooldusvajadus, peale selle on lahendus lihtne ja loogiline, et inimesed oskaksid seda kasutada ilma eelneva juhendamiseta. Nõrkusteks saab lugeda koormakatte eemaldamisel ja toruraami eemaldamisel tekkiva ajakulu, mida annab vähendada automaatse koormakatet rulliva mehhanismiga. Eeltoodud lahendust militaarlahenduse kontekstis ei ole sedavõrd kaitstav väliste tegurite eest ja lihtsasti lahendatav, et ajaline võit tasuks ennast ära.

Statsionaarse toruraami põhilisteks eelisteks on:

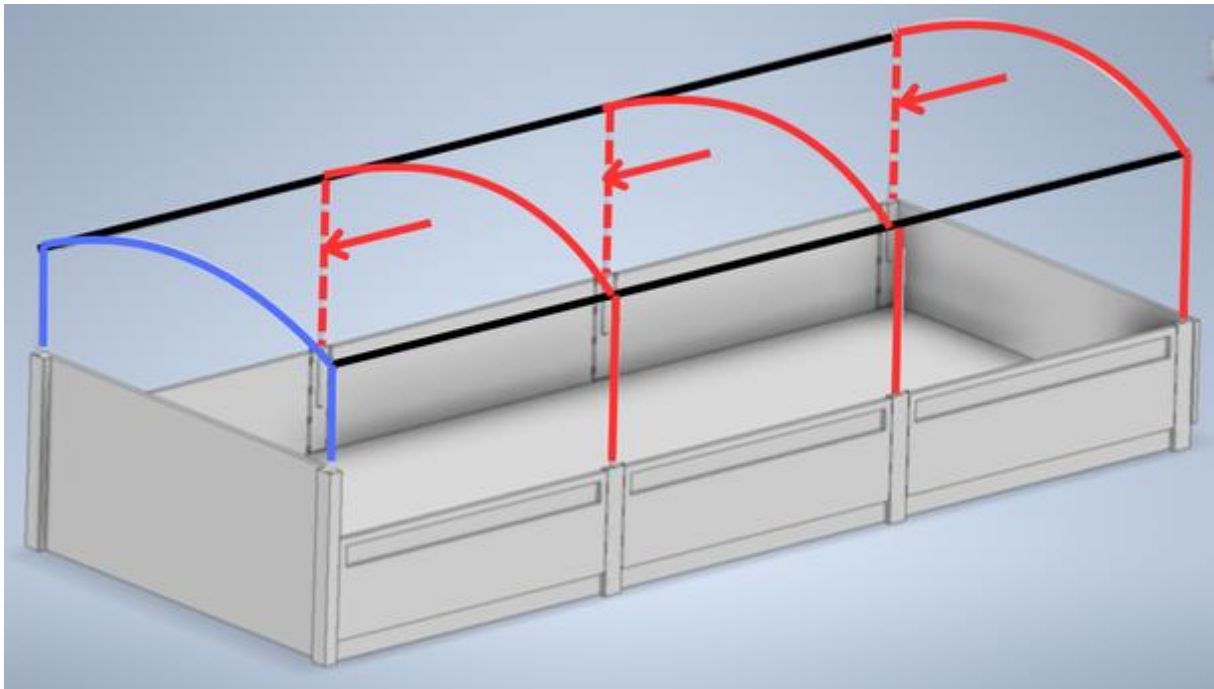
- Lihtne disain;
- Mehaanilisus;
- Vähene hooldusvajadus.

Põhilised puudused on:

- Pikenenud koormakatte paigalduskiirus;
- Üksinda oluliselt keerulisem paigaldada.

4.2 Siinidel põhinev liigutatav süsteem

Fikseeritud eesmise seinaga siinidel liigutatava lahenduse põhineb ühel ees oleval statsionaarsel aluskaarel ja kolmel kaarel, mis liiguvad madelkasti kahel küljel olevate siinide peal eesmise seina suunas. Koormakate on kinnitatud aluskaartele ja liigub vastavalt siinidel koos kaartega kokku ning lahti. Lahenduse puhul on oluline tähele panna, et pikad siinid on kasti eesmisest kaarest kuni tagumise luugini täies pikkuses. (Sele 2.)



Sele 2. Fikseeritud eesmise seinaga illustratsioon

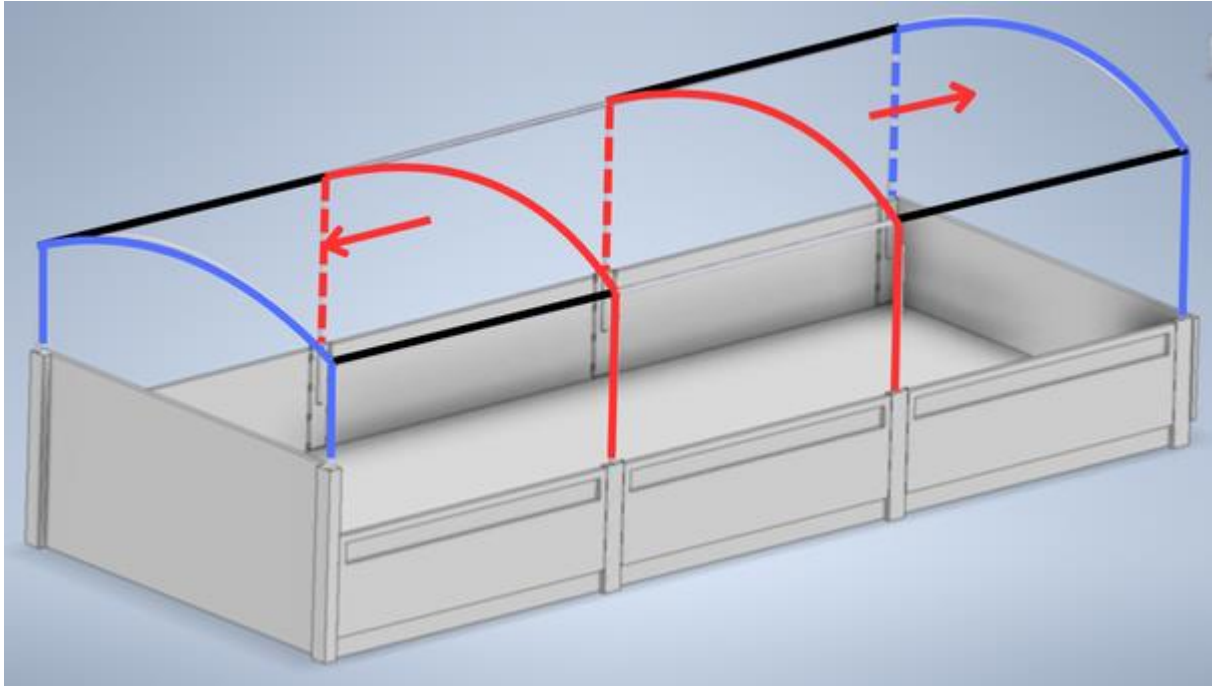
Siinidel liikuva fikseeritud esimese seinaga lahenduse eelised on:

- Vastupidav koormakatte lahendus;
- Kaarte liikumisest tulenev kiire koormamise protsess;
- Pealt ja külgedelt võimalik koormat laadiad.

Puudusteks on:

- Keeruline alusraami konstruktsioon;
- Hooldamise vajadus ja keskkonnast vaja isoleerida, et tagada puhtus.

Fikseeritud eesmise- ja tagumise seinaga lahendusel on koormakate keskelt poolitatav, et liigutada keskmised kaared esimese ja tagumise seinaga suunas. Sellisel juhul on lahendus kahe statsionaarse kaarega, kahe siinidel liikuvate kaartega ja neli siini koostu, mis poolituvad keskmise portega, et sealt saaks ka tõstukiga kaupa peale ning maha laadida. (Sele 3.)



Sele 3. Fikseeritud eesmise- ja tagumise seinaga illustratsioon

Fikseeritud eesmise- ja tagumise seintega lahenduse eeliseks on:

- Kiire ja mugav paigalduskiirus;
- Keskmises küljeluugi piirkonnas täielikult vaba koormamise ala;
- Samade komponentide sobilikus tootmisse juurutamisel.

Puudusteks on:

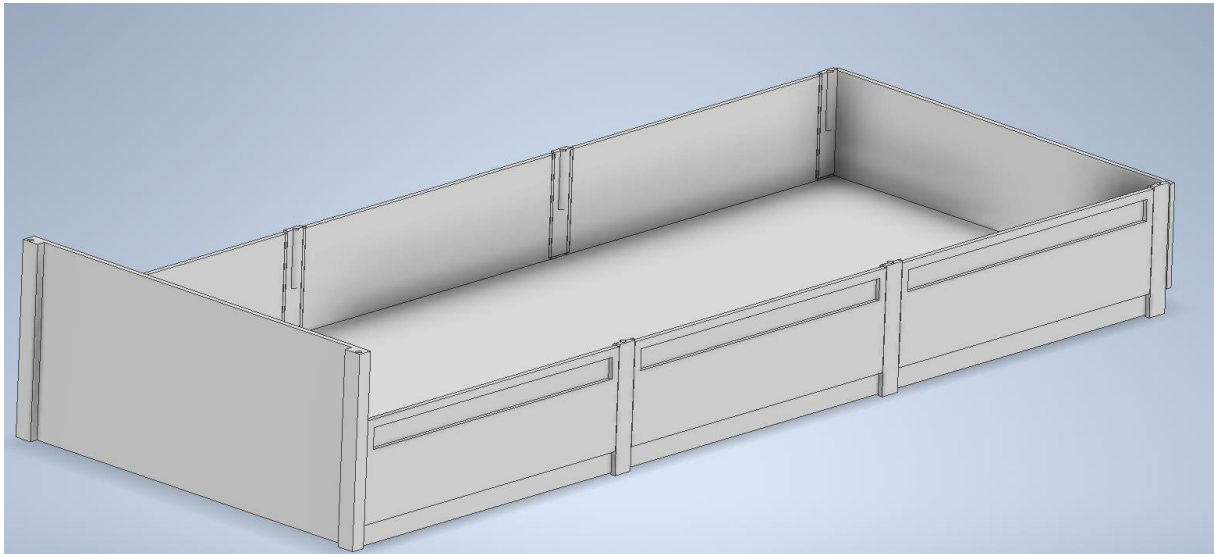
- Keskelt poolituv koormakate, mis vajab erilist tootmislahendust;
- Keerukas aluskonstruktsioon;
- Hoolduse ja puhtuse tagamise nõue.

4.3 Valitud lahendus

Autor valis välja siinide peal liikuva lahenduse täispikkadel siinidel. Just see valiti välja seetõttu, et seda on võimalik teostada ilma, et see tekitaks koormakatte lahenduse loomisel hilisemalt juurde takistusi. Veel võimaldab koormata nii ülevalt kraanaga kui ka külgedelt tõstukiga. Siinidel on võimalik katet eest ära liigutada nii veoauto kabiini ja kraana juurde kui ka tagumisse otsa olenevalt vajadusest.

5 BAASKONTSTRUKTSIOON JA LAHENDUSE PROJEKTEERIMINE

Alusraam projekteeriti Autodesk Inventoris, seejärel jätkati kõrgendava toruraami projekteerimisega saadud geomeetria põhjal. Veokasti karrakteristika ja üldisemad gabariidid on: pikkus 6,3 m ja laius 2,5 m. Mõlemal küljel on kolm külgedele avanevat ja taga üks luuk, mis avanevad alla koorma laadimiseks. (Sele 4.)



Sele 4. Lihtsustatud geomeetriaga madelikast

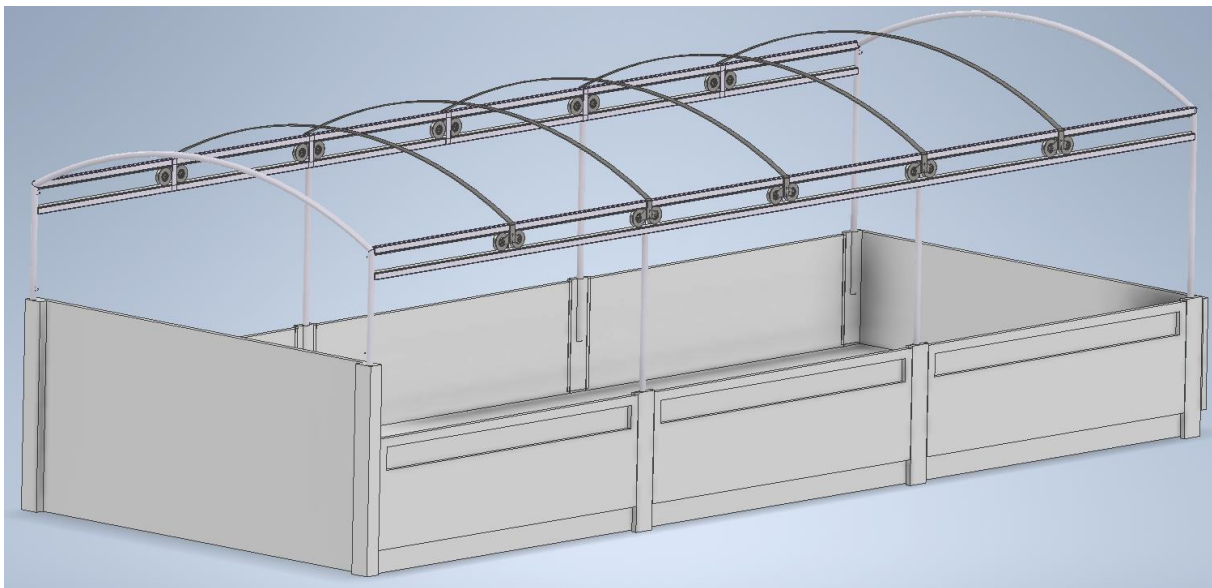
Ühendus- ja kinnituslahenduste valimisel oli autori põhiliseks eesmärgiks kasutada vähe tööriistu ning et vajaduse korral saaks kasutada tavapäraseid ja kättesaadavaid tooteid ka ehituspoest. Piiratud ajaliste tingimuste tõttu lahendati olulisemad sõlmed, et ehitus vastaks eeltoodud tingimustele. Põhikonstruktsiooni toruraami liited on lahendatud keevisliidetega. Toruraami kinnitus madelikasti ja auto külge polt- või tiftliitega. V-profiili siinid neetliitega.

Liikumismehhanismide valikus tuli otsustada vana koormakatte utiliseerimise või täiesti uue võimaluse vahel. Kuna konstruktsiooni disain muutus nii mõõtmete kui ka kuju näol ja koormakatte kinnitusest oleneb kaarte liikumine siinides, siis tuleb tellida erilahenduse näol vastav kate. Koormakate peab vastama standardi EVS-EN 12641-1 tingimustele ja MIL-C-13489D, mis on määratud tingimusteks koormakatte tootjale.

Siinide disainimise protsess põhines esialgu erinevate variantide võrdlusel. Võrdlemisel arvestati hooldusvajadust, kate võimalikku purunemist või siinide vahele kinni jäämist ja töökindlust. Veokasti laadimiseks katusesõrestiku liigutamiseks valis autor V-profiili siinisüsteemi, kus kahe nelikanttoru vahele paigaldatakse galvaniseeritud V-profiilisiinid ja

kaarmehhanism liigub siinide vahel galvaniseeritud 4" V-rullikutel. Rullikud ja siinid on valitud ostutooteks, mis teevad selle lahenduse oluliselt lihtsamini asendatavaks vea korral ja taskukohasemaks kui eritingimustel loodud komponendiga. Lisaks eeltoodud eelistele on see lahendus ka väiksema hooldusvajadusega, sest V-siini disain on võimalikult palju ise puhtana hoidev, suunates mustuse ja tolmu kontaktpinnast eemale.

Toruraami materjaliks valiti alumiiniumist 35 mm läbimõõdu ja 2 mm seinapaksusega toru ja nelikanttoruprofiilid. Konstruksioonis kasutamiseks oli alumiinium 6061 põhiliseks eeliseks see, et see on sisuliselt kolm korda kergem ja see on S355 võrreldes ilmastikukindlam. Materjali kulu vastavalt toruprofiili suurusjärgus 13 m ja nelikanttoru 4 * 6,3 m. Põhiline osa raamist koosneb toruprofiilist ja siinisüsteemi kannavad ülemisest ning alumisest küljest nelikantprofiilid. V-siinid, kus kaared rullikutel liiguvad on terasest. Kaarte disain on samuti terasest, seda on oluliselt lihtsam töödelda nii laserpingis väljalõigatud detailidega kui ka lehtmetsalli painutamise korral. Lõplik lahendus autori poolt sai järgnev, et madelikasti paigutatakse alumiiniumist 35 mm profiiliga toruraam. (Sele 5.)



Sele 5. Projekteeritud koost madelikasti paigutatuna

Viis aluskaart koormakattega liidetult liiguvad vastavalt vajadusele V-profiili siinis koormamise ajaks koormaja soovitud positsiooni. Edasisel koormakatte lahenduse loomisel on samuti seetõttu oluline jälgida, et koormakate kinnituks liikuvatele kaartele ja et säiliks kaare vaba liikumine siinis. Lisaks on siinide läbipainet toetavaks osaks paigutatud nelikantprofiili toetama iga kaare kohta 2 mm läbimõõduga plaadid. (Sele 6.)



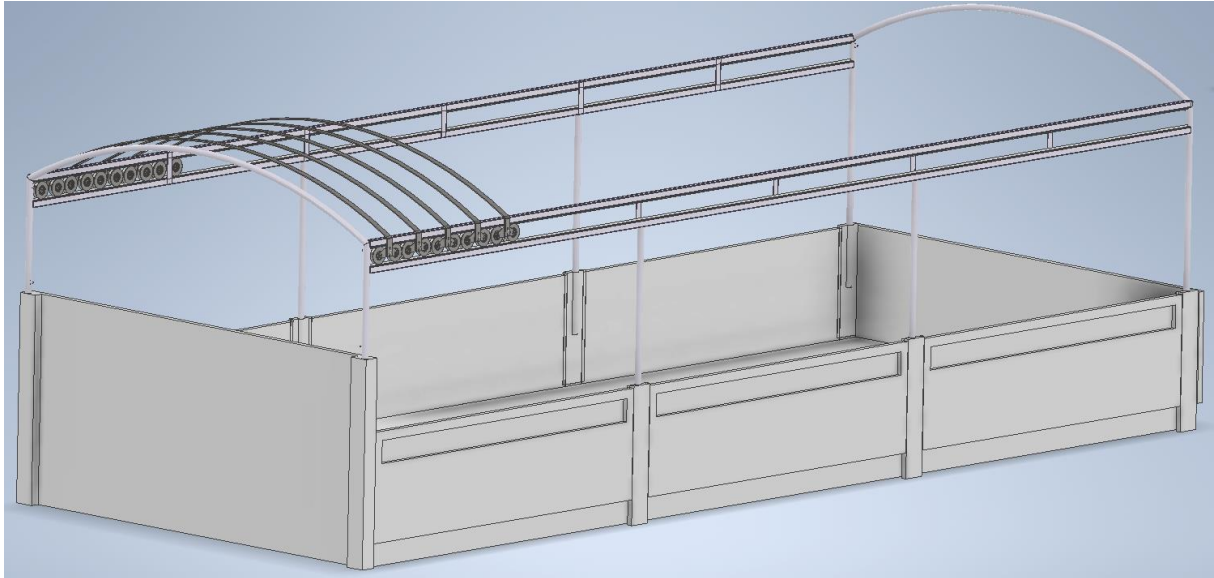
Sele 6. Projekteeritud lahenduse koost

Kaare koostu eesmärk on kanda katte vertikaalkoormust ja võimaldada liikumist V-profiili siinides. See koosneb S355 terasest, sinna kuuluvad 5 mm läbimõõduga teraskaare, mille otstesse on liidetud 3 mm läbimõõduga flantsid, mis kannavad kummastki otsast kahte V-rullikut. Valitud sai S355 teras peamiselt selle tugevuse ja elastsusmooduli tõttu. V-rulliku ja flantsi vahele on paigutatud 8 mm laiune distantspuks, millele teiselt poolt on samamoodi vastuseks treitud kanduri vastus. Teiselt pool kandurit ja kaart on 5 mm läbimõõduga terasplaat, mille eesmärk on samuti tugevdada kaare koostu vertikaalselt mõjuvate jõudude suhtes. Koostus on kasutatud samas mõõdus M8 polte ja mutreid, mis vastavad väheste tööriistade kasutuse nõuetele. (Sele 7.)



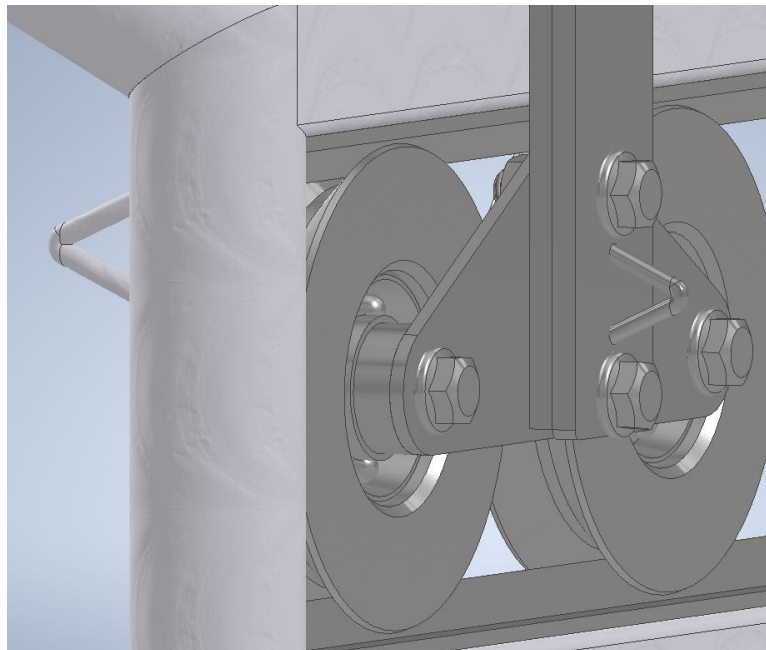
Sele 7. Kaare koost

Kaarte liikumist simuleerides mõõtis autor ka ära, et ilma katteta on ligikaudu meetri sisse mahutatud kõik 5 kaart. Lisaks lahenduse disaini arvestades ei ole võimalik siinide kõrgust arvestades külgedelt tõsta kõrgemaid asju kui 1,4 m. (Sele 8.)



Sele 8. Kaarte liikumine siinis

Veokasti eesmise ja tagumise otsa tugevdamiseks siini kõrgusel modelleeris autor toruraami nurkadesse konksud, kuhu paigutada tõmmitsatega pingutustrossid. Lisaks on konksud modelleeritud ka kaarekoostus pealmisse tugevdusplaati, et hilisemalt konksust kaarte liigutamisel koormakattega vastav mehhanism luua. (Sele 9.)



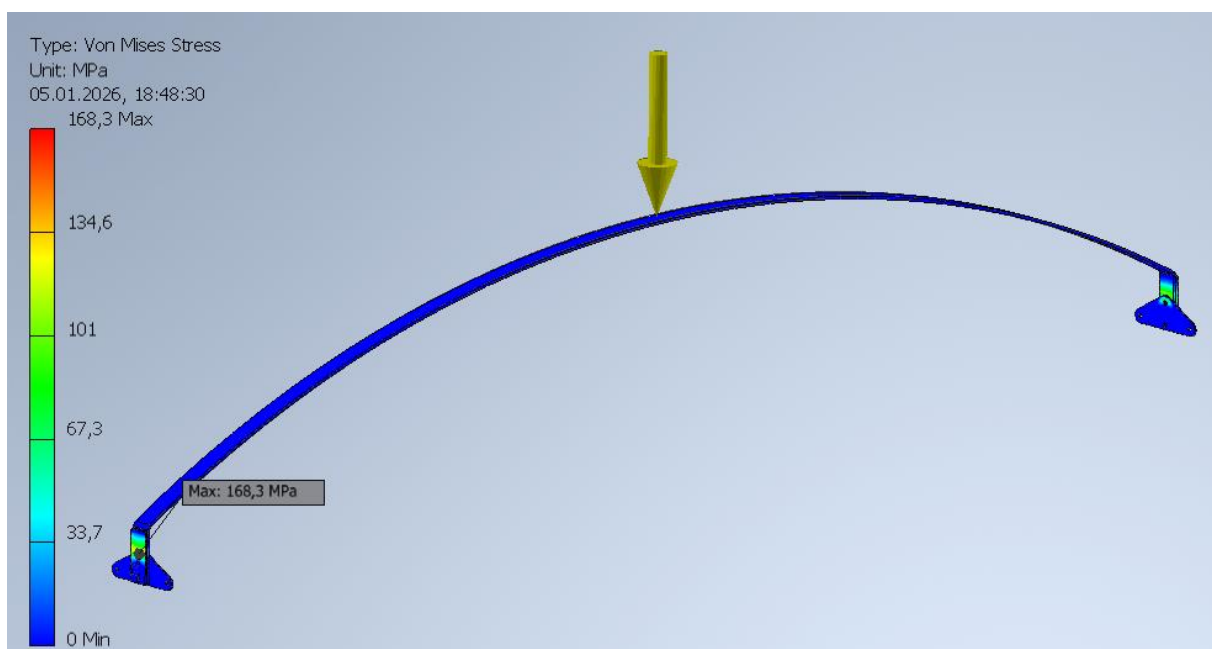
Sele 9. Modelleeritud konksud

6 ARVUTUSED JA SIMULATSIOONID

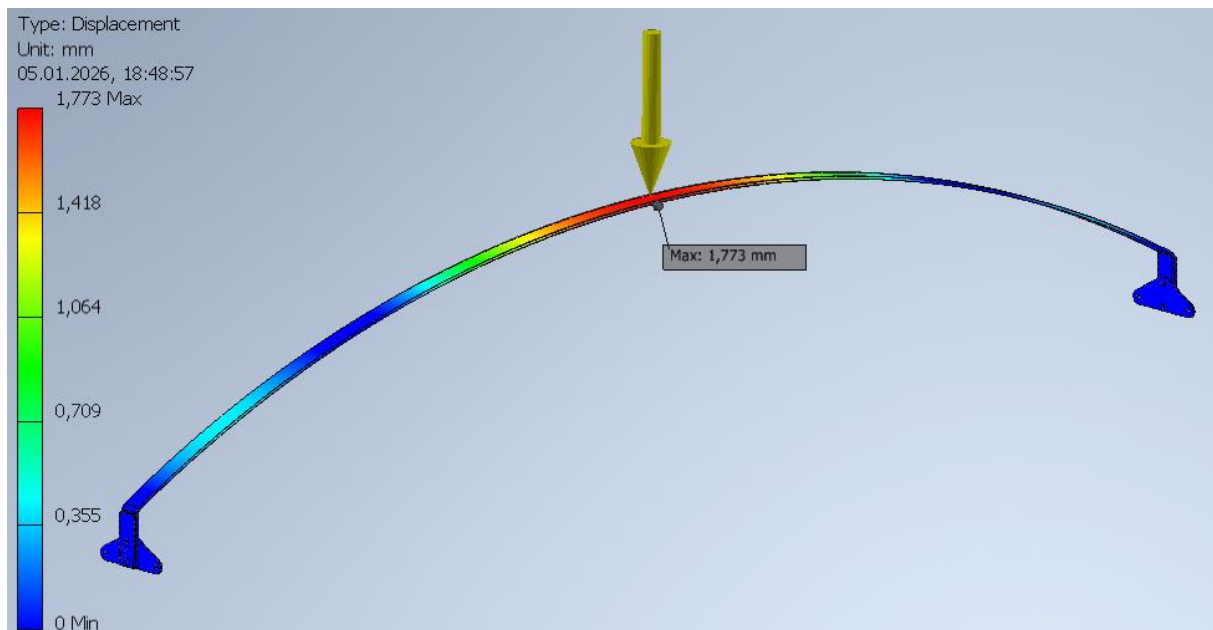
Arvutustes käsitletakse konstruktsiooni staatilist koormust ekstreemse lumeolukorra korral. Dünaamilisi koormusi, vibratsiooni ja löögikoormusi ei modelleerita eraldi, kuid need on kaudselt kaetud valitud ohutusteguriga. 200 mm märga lund valiti arvutuslikuks koormusjuhtumiks, kuna tegemist on realistliku ekstreemse olukorraga Eesti kliimatingimustes, kus koormakatte eemaldamine ei pruugi olla operatiivselt võimalik. Märja lume erikaaluks võeti 500 kg/m^3 , mis vastab tihedale, sulavale lumele. Katuse pindala on ligi 16 m^2 , sellisel juhul on $V = 16 * 0,2 = 3,2 \text{ m}^3$. Märja lume erikaaluks olukorras $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$, $m = \rho * V = 500 * 3,2 = 1600 \text{ kg}$. Vastava tulemuse korral saadi $F = m * g = 1600 * 9,81 \approx 16 \text{ kN}$. Sellisel juhul on tugevusarvutused tehtud tingimusel, et mõjuv jõud jaguneb 7 kaare vahel ära, mis on ligi 2250 N .

6.1 Kaare tugevusarvutused

Kaare tugevusarvutuse tegemiseks modelleeris autor lihtsustatud kaare mudeli koos kanduriflantsi ja välise plaadiga, kuhu on asetatud konks. Arvutati kaare koostu maksimaalne paindepinge piirkonnas, kus kaar toetub V-rullikutele, kuna see on konstruktsiooni kriitiline ristlõige. Arvutust tehes määrati poldiavad fikseerituks ja vertikaalselt kogule kaarele mõjuvaks jõuks 2250 N . Kaarele mõjuvaks pingeks saadi ligi 170 Mpa , mis on valitud materjalile piisava varuga ja saadud jõudude suhtes sobilik (Sele 10.). Läbipaindeks osutus ligi $1,8 \text{ mm}$. (Sele 11.)

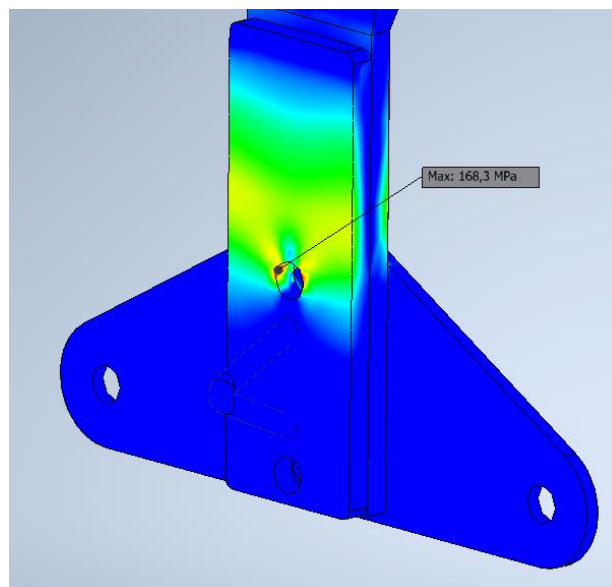


Sele 10. Kaarele mõjuv pinge



Sele 11. Kaare läbipaine

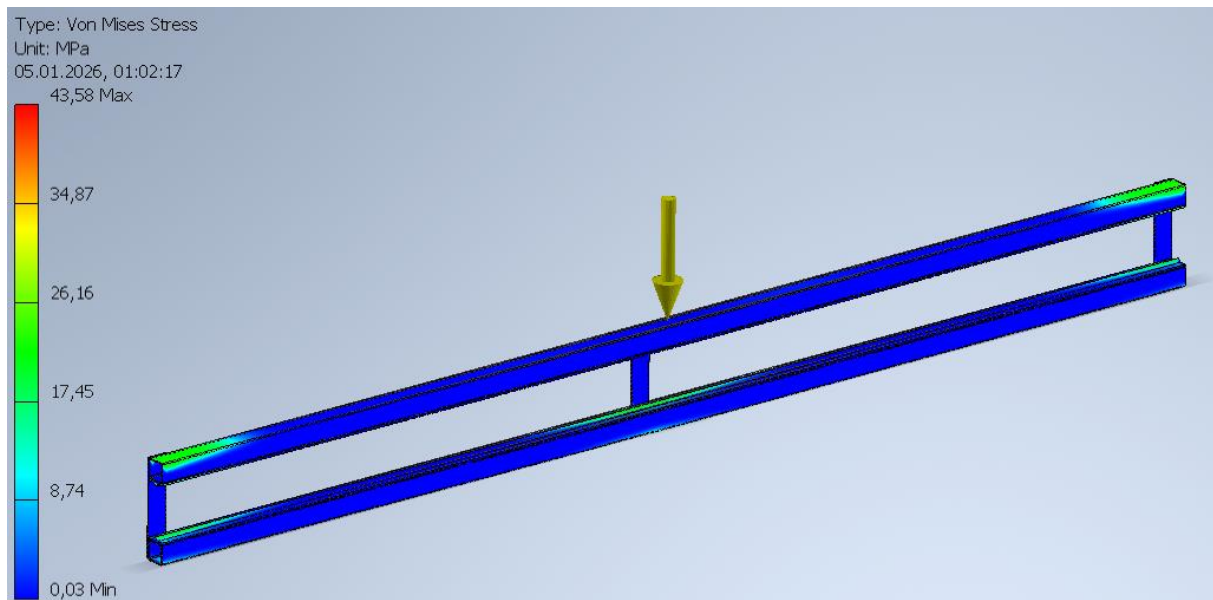
Maksimaalne kaarele tekkiv pinge kontreerub siin kanduri flantsi keskpunkti ja rullikute juures olevale poldiavale. Sellest tulenevalt lahendas ka autor konksu kinnituse samasuguse 5 mm paksuse terasplaadiga. Suurem pinge tekkis koostu välisküljel. Kuna S355 terase voolepiir on 355 MPa, siis 170 MPa mõjuva pinge juures on selle kasutamine koostus õigustatud militaarsetes keerulistemates olukordades, mis loob ligi kahekordse varuteguri ka äärmuslikemateks juhtudeks. (Sele 12.)



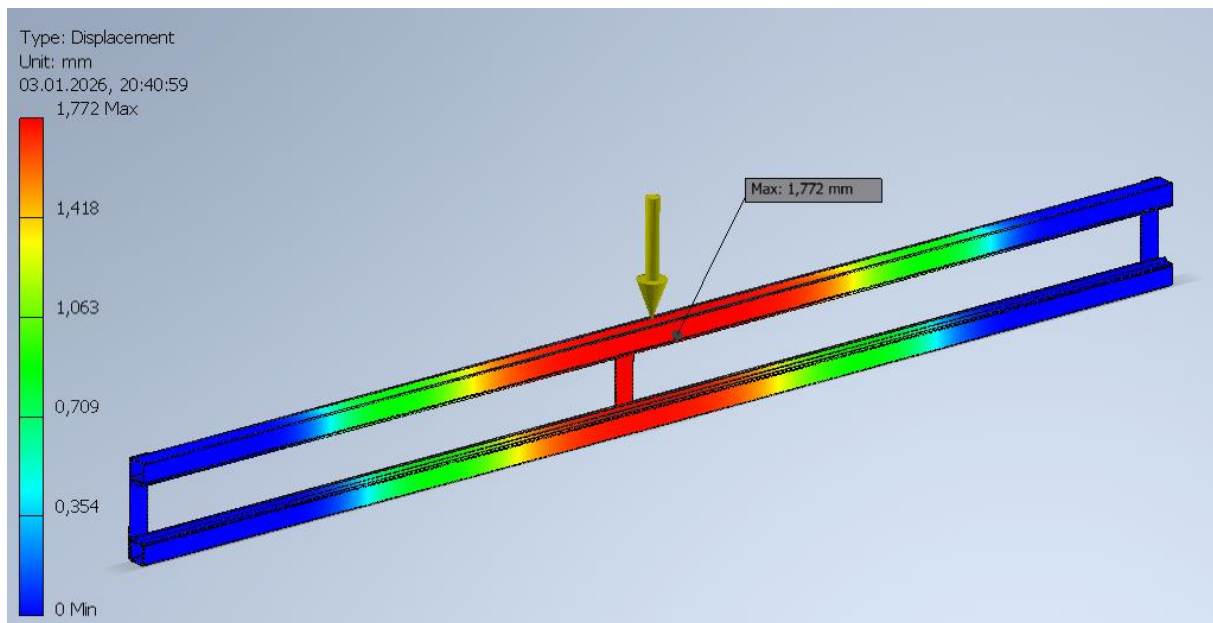
Sele 12. Kaarele tekkiv maksimumpinge asukoht

6.2 Siini tugevusarvutused

Siinide tugevusarvutuste jaoks koostas autor lihtsustatud mudeli kahe tugiposti vahelisele pikkusele, mõlemad ülemise- ja alumise nelikanttoru otsad määrati V-profiili siinidega fikseerituks. Seejärel kuna koormus jaotub mõlemal küljel olevale siinile, siis jagas autor kaarele mõjuva jõu kahega ja kaarele kanduv tugevusarvutus teostati $1125\text{ N} - ga$. Siinile tekkiv maksimaalpinge arvutuste kohaselt tuli ligi 44 MPa (Sele 13.). Valides 6061-T6 alumiinium profiili, mille voolepiir on 275 MPa , siis on varutegur $275/44 = 6,25$. Ligi 6 kordse varuteguri juures on see sobilik, sest rasketes oludes on see turvaline löökoormustele, dünaamilistele võimendustele ja temperatuuri kõikumistele. Siini maksimaalne deformatsioon sarnaselt kaare omale ligi $1,8\text{ mm}$, mis selles pikkuses toru juures ei ohusta konstruktsiooni terviklikuna. (Sele 14.)



Sele 13. Siinile mõjuv pinge



Sele 14. Siini läbipaine

KOKKUVÕTE

Käesolevas lõputöös käsitleti Eesti Kaitseväe kasutuses oleva Scania G360 madelveoki koormaruumi katmisega seotud probleemi, kus olemasolev käsitsi paigaldatav koormakate piirab koorma laadimist kraanaga ja pikendab koormamis- ning mahalaadimisprotsessi. Probleem on eriti kriitiline militaarlogistikas, kus sõiduk peab olema kiiresti ja paindlikult kasutatav erinevates keskkonnatingimustes.

Töö eesmärgiks oli projekteerida koormakatte aluskonstruksioon, mis võimaldab koorma laadimist nii pealt kraanaga kui ka külgedelt tõstukiga, säilitades samal ajal koormakatte kaitsefunktsiooni. Selle saavutamiseks töödati läbi veondust ja militaartechnikat reguleerivad standardid, analüüsiti erinevaid konstruktsioonivariante ning valiti lahendus, mis põhineb kahel V-profiili siinil liikuvatel kaarkonstruktsioonidel.

Projekteerimise tulemusena töötati välja eemaldatav ja liigutatav aluskonstruksioon, mis võimaldab koormakatte kiiret avamist ja sulgemist ilma erivahenditeta. Konstruktsioon on modelleeritud tootmiskõlblike detailidena ja esitatud jooniste komplekt võimaldab lahenduse reaalselt valmistada ning paigaldada olemasolevale veokile ilma sõiduki kandekonstruktsiooni muutmata.

Tugevusarvutustes käsitleti ekstreemset koormusjuhtumit, kus koormakattele mõjub 200 mm märja lume koormus. Arvutuste tulemused näitavad, et konstruktsiooni põhielemendid taluvad arvutuslikke koormusi valitud ohutusteguriga ja vastavad püstitatud tugevusnõuetele. Seeläbi on kinnitatud, et projekteeritud lahendus on mehaaniliselt sobiv ettenähtud kasutustingimustes.

Töö piiranguks on dünaamiliste koormuste ja väsimusarvutuste detailne käsitlemata jätmine, mis võiks olla edasise arenduse fookus. Järgmises arendusastmes oleks otstarbekas hinnata konstruktsiooni käitumist vibratsiooni ja pikaajalise kasutuse korral ning optimeerida materjali- ja profiilivalikuid hooldusvajaduse vähendamiseks.

SUMMARY

This paper addresses a cargo-handling limitation associated with the Scania G360 flatbed trucks operated by the Estonian Defence Forces. The currently used manually installed cargo cover system restricts vertical cargo handling and significantly reduces the efficiency of loading and unloading operations, particularly when crane-assisted loading is required. Such limitations negatively affect operational readiness, as military transport vehicles must support rapid deployment and remain fully functional under diverse environmental conditions.

The primary objective of this study was to develop a structural support frame for the cargo cover that enables unrestricted top loading by crane and side loading by forklift, while maintaining adequate environmental protection of the cargo. To achieve this, applicable transport regulations and military technical requirements were reviewed, and multiple structural design concepts were evaluated. Based on functional and structural considerations, a solution consisting of two V-shaped guide rails combined with movable arched support elements was selected for further development.

The resulting design is a modular, detachable frame that can be installed and removed without the use of specialized tools. The configuration allows rapid opening and closing of the cargo cover, thereby minimizing handling time during loading operations. A detailed three-dimensional model of the frame was developed using commercially available and manufacturable components. The accompanying technical drawings demonstrate that the frame can be integrated with the existing vehicle platform without requiring modifications to the primary load-bearing structure of the truck.

Structural verification was conducted using static strength analyses under conservative loading assumptions. The critical load case considered a uniformly distributed 200 mm layer of wet snow acting on the cargo cover. The analysis results indicate that the principal load-carrying components of the frame remain within allowable stress limits and exhibit an adequate safety margin in accordance with relevant structural design criteria. These findings confirm that the proposed design meets the strength requirements for its intended operational use.

The scope of this study did not include detailed analysis of dynamic effects such as vibration-induced stresses, fatigue behavior, or long-term durability under repeated loading cycles. These aspects are recommended for future research. Further optimization may also be achieved by investigating alternative materials, cross-sectional geometries, or joint configurations to improve structural efficiency, reduce mass, and enhance maintainability.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] „Liiklusseadus–Riigi Teataja“. Vaadatud: 27. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/114112025021?leiaKehtiv>
- [2] „Mootorsõiduki ja selle haagise tehnonõuded ning nõuded varustusele–Riigi Teataja“. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105072023278?leiaKehtiv>
- [3] *Commission Implementing Regulation (EU) 2021/535 of 31 March 2021 laying down rules for the application of Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council as regards uniform procedures and technical specifications for the type-approval of vehicles, and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles, as regards their general construction characteristics and safety (Text with EEA relevance)*. 2025. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2021/535/2025-01-01
- [4] *Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council of 5 September 2007 establishing a framework for the approval of motor vehicles and their trailers, and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles (Framework Directive) (Text with EEA relevance)*, kd 263. 2007. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2007/46/oj>
- [5] „EVS-EN 12642:2016“, EVS. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/en/evs-en-12642-2016>
- [6] „EVS-EN 12641-1:2019“, EVS. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/en/evs-en-12641-1-2019>
- [7] „Original MEILLER tarpaulin systems for securing loads“. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.meiller.com/en/vehicle-equipment/tarpaulin-systems/>
- [8] „3-axle sliding tarpaulin platform semitrailer“, UAB „Ligranta“. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://ligranta.lt/3-axle-sliding-tarpaulin-platform-semitrailer/>
- [9] „Semi-trailer truck tarping - Innovaction Systèmes“. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://innovationsystemes.com/en/automatic-tarpaulin-system-for-semi-trailer/>
- [10] „Tipper Sheeting system“. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.harshuk.com/truck/sheeting-systems/tipper/>
- [11] „(PDF) CRITICAL REVIEW OF PHYSICAL MODELLING OF SNOW ACCUMULATION ON ROOFS WITH ARBITRARY GEOMETRY“, *ResearchGate*, aug 2025, doi: 10.22337/2587-9618-2021-17-4-22-39.
- [12] „reader | PIER Journals“. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.jpier.org/issues/reader.html?pid=21081401>
- [13] „EVS-EN 10025-2:2019“, EVS. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/en/evs-en-10025-2-2019>
- [14] „EVS-EN 10219-3:2020“, EVS. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/en/evs-en-10219-3-2020>
- [15] „EVS-EN ISO 3834-6:2024“, EVS. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/en/evs-en-iso-3834-6-2024>
- [16] „EVS-EN ISO 5817:2023“, EVS. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/en/evs-en-iso-5817-2023>
- [17] „EVS-EN ISO 9606-1:2017“, EVS. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/en/evs-en-iso-9606-1-2017>
- [18] „EVS-EN 15048-1:2016“, EVS. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/en/evs-en-15048-1-2016>
- [19] „EVS-EN 14399-1:2015“, EVS. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/en/evs-en-14399-1-2015>
- [20] „EVS-EN ISO 12944-1:2017“, EVS. Vaadatud: 13. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/en/evs-en-iso-12944-1-2017>

LISAD

Lisa 1. Kaitseväe madelveoki pealisehituse projekteerimise joonised