



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

RAUAPELLETI KONVEIERI PINGUTUSSÜSTEEMI ÜMBEREHITUS

REDESIGN OF IRON PELLET CONVEYOR TENSIONING SYSTEM

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Karl Stokkeby

Üliõpilaskood 182971MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, teadur

(Tiitellehe pöördel)

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.

"....." 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Karl Stokkeby (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 26.03.1995)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Rauapelleti konveieri pingutussüsteemi ümberehitus,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Teadur Toivo Tähemaa,

(*juhendaja nimi*)

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.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (*allkiri*)

_____ (*kuupäev*)

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Karl Stokkeby 182971MATM

Õppekava, peeriala: MATM Tootearendus ja tootmistehnika

Juhendaja(d): Teadur, Toivo Tähemaa, +372 509 1918

Konsultant:

Lõputöö teema:

Rauapelleti konveieri pingutussüsteemi ümberehitus

Redesign of iron pellet conveyor tensioning system

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Pingutussüsteemi projekteerimine
2. Juurdeehituse projekteerimine
3. Süsteemi hooldatavuse ja kiire paigalduse tagamine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Süsteemi modelleerimine	01.03
2.	Tugevusarvutused ja paigalduse järjekorra paika seadmine	20.03
3.	Konstruksiooni tööjoonised	15.04

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "25" Mai 2020 a

Üliõpilane: Karl Stokkeby ".....".....201....a
/allkiri/

Juhendaja: Toivo Tähemaa ".....".....201....a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....201....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....201....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	6
SISSEJUHATUS	7
1. KONVEIERI PINGUTUSSÜSTEEMI VÕIMALIKUD LAHENDUSED	9
1.1 Lahendus nr. 1.....	9
1.2 Lahendus nr. 2.....	10
1.3 Lahendus nr. 3.....	10
1.4 Lahendus nr. 4.....	11
1.5 Projekteeritava lahenduse valik	12
2. PROJEKTEERIMINE.....	13
2.1 Pingutussüsteemi projekteerimine	14
2.1.1 Konveieri raami ümberehitus.....	14
2.1.2 Pingutusrullik ja selle raam	15
2.1.3 Vasturaskus	17
2.2 Juurdeehituse projekteerimine	20
2.2.1 Juurdeehituse raam.....	20
2.2.2 Olemasoleva ehitise osa ümberehitus.....	23
2.2.3 Ühendus olemasoleva ehitisega	25
2.3 Konstruktsiooni paigaldus	26
3. TUGEVSUSARVUTUSED	28
3.1 Olemasoleva ehitise lisatõstetalade tugevsusarvutused	28
3.2 Alumise tõstetala tugevsusarvutused	33
3.3 Ülemiste tõstetalade tugevsusarvutused.....	37
3.4 Pingutusrulliku raami tugevsusarvutused	41
4. LÕPPTULEMUS	44
KOKKUVÕTE	46
SUMMARY	47
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	48
LISA 1 – Punktipilve registreerimise aruanne	49
LISA 2 – Joonised.....	50

EESSÕNA

Magistritöö teema aluseks on ettevõtte Insero OÜ projekt. Projektiga alustati 07.01.2019 ning selle paigaldus lõppes 18.10.2019. Töö tellijaks ja kliendiks oli Põhja-Rootis tegutsev ettevõtte, kelle poolt oli ka paika pandud projekti lähteülesanne. Projekteerimine kestis kaheksa nädalat, mille kestel sai objekti külastatud kahel korral. Täna kõiki, kes aitasid kaasa töö valmimisse, eelkõige juhendajat, teadur Toivo Tähemaad.

SISSEJUHATUS

Magistritöö eesmärgiks on projekteerida Rootsis asuvale metallitööstusettevõttele rauapelleti konveierile (Sele 0.1) uus pingutussüsteem. Konveier asub maapinnast 10 m kõrgusel ning koosneb mitmetest sektsioonidest, mille kogupikkuseks on 4 km. Konveier töötab 24/7 ning see seisatakse vaid iga-aastaste täpselt välja planeeritud hoolduste või ümberehituste seisaku ajaks. Oluline on, et projekteeritud lahendus saab paigaldatud täpselt seisaku ajavahemikus, kuna iga planeeritud ajast üle minev tund võib minna maksma umbes 200 000 eurot. Konveieri seisaku aeg on täpselt arvestatud, kuna see konveier transpordib materjali otse tehasesse ning materjali peale vooluta jääb tehas seisma.

Pingutussüsteemi soovitakse välja vahetada, kuna hetkel töös olev lahendus on juba amortiseerunud ning selle asemel, et hakata taastama olemasolevat süsteemi leiti, et lihtsam, kiirem ja odavam on teha olemasolevale konveierile täiesti uus pingutussüsteem. Uus konveieri rihma pingutus peab olema hetkel töös olevast süsteemist kergemini ligipääsetav ja vajadused lihtsamini hooldatav.

Projekteerimisel koostati süsteemist mudel, viidi läbi tugevusarvutused ning koostati joonised. Modelleerimine ja jooniste koostamine on tehtud tarkvaras Autodesk Inventor Profesional 2019. Tugevussimulatsioonid on läbi viidud tarkvaras Autodesk Inventor Nastran 2019.

Projekteerimise aluseks on tehtud keskkonnast 3D-laserskaneerimine, mille tulemusel on saadud täpne värviline punktipilv (Sele 0.2). Skaneerimiseks on kasutatud Faro Focus M70 laserskannerit. Keskkonna ülesmõõdistamiseks on tehtud skaneerimine 14 asukohast. Skaneeritud punktipilved on kokku pandud tarkvaras Faro Scene.

Magistritöös on täpsemalt lahti kirjeldatud rauapelleti konveieri uue pingutussüsteemi lahendused, projekteeritava lahenduse valik, pingutussüsteemi projekteerimine, lisa juurdeehituse projekteerimine ja olulisemate sõlmede tugevussimulatsioonid ja arvutused.



Sele 0.1 Konveier enne ümberehitust



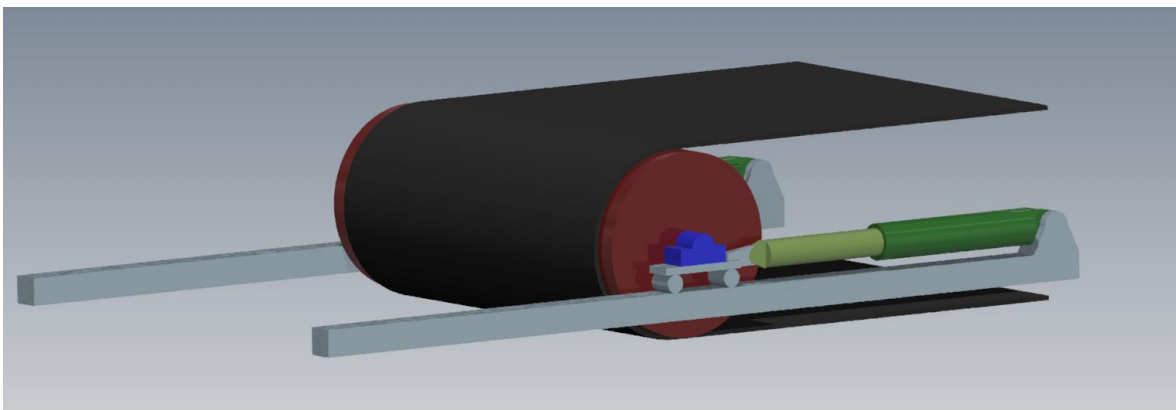
Sele 0.2 – Punktipilv

1. KONVEIERI PINGUTUSSÜSTEEMI VÕIMALIKUD LAHENDUSED

Selles peatükis on välja toodud võimalikud uued rauapelleti konveieri pingutussüsteemi lahendused. Kokku leiti probleemile neli erinevat lahendust, kuidas tekitada konveieri rihmale piisav pingutusjõud. Lahendusteks olid hüdrauliliste silindritega, keermelattidega ja vasturaskustega pingutussüsteemid. Kirjelduste all on välja toodud ka välja pakutud lahenduse lihtsustatud mudelid.

1.1 Lahendus nr. 1

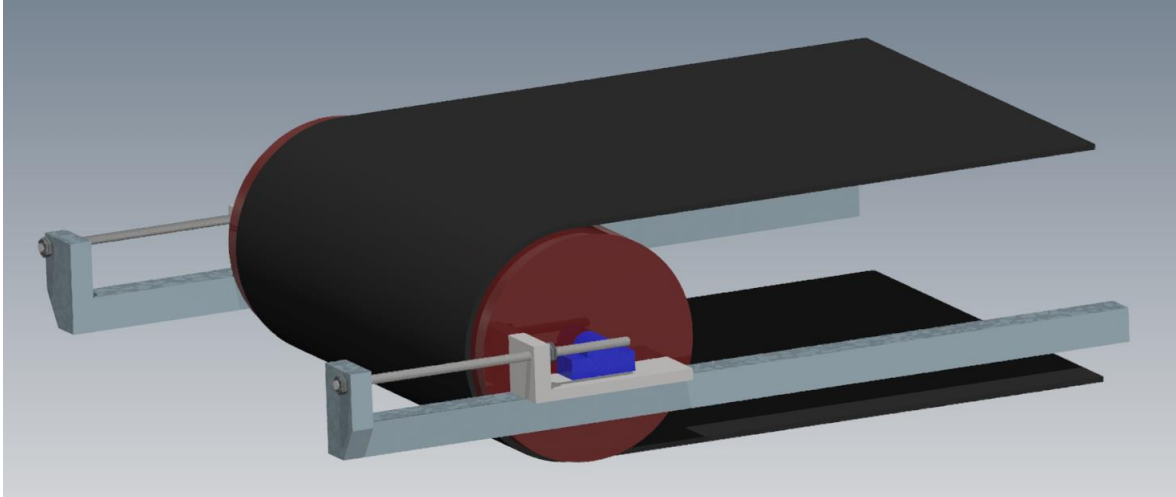
Esimese lahenduse (Sele 1.1) konveieri pingutusrulliku laagrid on kinnitatud lineaarjuhikutele, mis kinnituvad konveieri raami külge. Konveieri rihma pingutamine toimub hüdrosilindritega, mille üks pool on kinnitatud raami külge ja teine pool lineaarjuhiku kelgu külge. Hüdrosilindrite surumisega liigutatakse konveieri pingutusrullik konveierist kaugemale, mille tulemusel pingutatakse konveieri rihma. Selle lahendusega on võimalik igal hetkel pingutada rihma ning ka vajadusel see hoolduse või vahetuse ajaks lõdvaks lasta, kuid rihma pinges olekud peab visuaalselt jälgima.



Sele 1.1 Lahendus 1

1.2 Lahendus nr. 2

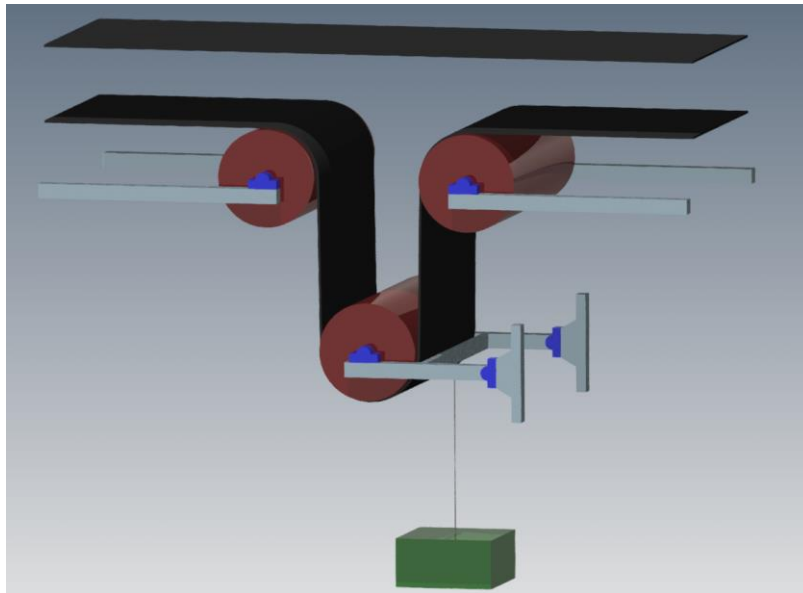
Teine lahendus (Sele 1.2) on saranane esimesele, kuid konveieri rihma pingutamine toimub hüdrocilindrite asemel keermevarrastega. Keermevarrast keerates liigutab see lineaarjuhiku kelku vastavas suunas, olenevalt kas konveieri rihma tahetakse pingutada või lõdvemaks lasta.



Sele 1.2 Lahendus 2

1.3 Lahendus nr. 3

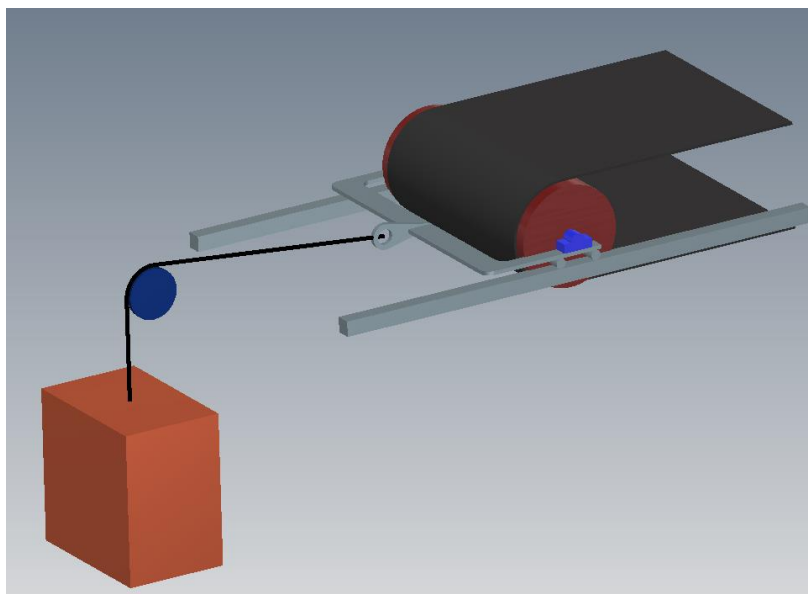
Kolmas lahendus (Sele 1.3) kasutab konveieri pingutusjõu tekitamiseks vasturaskust. Tagasi liikuva konveieri rihma pool on suunatud kahe alumise rulliku vahelt pingutusrullikule. Pingutusrullik on kinnitatud liigendiga raamile ning selle raami külge kinnitub vasturaskus. See lahendus hoiab rihma automaatselt sama pingutusjõuga, ka siis kui rihm hakkab välja venima.



Sele 1.3 Lahendus 3

1.4 Lahendus nr. 4

Neljas lahendus (Sele 1.4) on sarnane lahendusele nr. 1. Esimesest lahendusest erineb see selle poolest, et hüdrocilindrid, mis tekitavad rihmale pingutusjõu on asendatud vasturaskusega. Vasturaskus kinnitatakse konveieri viimase rulliku külge trossi abil, ning see hoiab rihma stabiilselt pinges ka siis kui rihm hakkab välja venima.



Sele 1.4

1.5 Projekteeritava lahenduse valik

Välja pakutud lahendustest sai välja valitud Lahendus nr. 3. See konstruktsioon on teistest töökindlam ning ei vaja manuaalset pingutust siis, kui rihm hakkab välja venima. Konveieri hooldustööde ajaks saab lihtsasti vasturaskuse eemaldada ning hiljem tagasi asetada. Valitud lahenduse piiravateks teguriteks on vaid selle paigutuse asukoht. Antud lahendus sobib, kuna see konveier asub maapinnast kõrgemal. Lahendused nr. 1 ja nr. 2 jäeti kõrvale, kuna selleks, et need hoiaks rihma koguaeg pingul on vaja neid aegajalt pingutada või selle asemel lisada andurid, mis jälgivad rihma pinges olekut. Lahendus nr. 4 jäi välja, kuna selle konstruktsiooni lisamine poleks olnud võimalik või liiga keeruline selle konveieri otsa poolele.

2. PROJEKTEERIMINE

Selles osas on välja toodud konveieri vasturaskuse ja sellega kaasnevate osade projekteerimine. Kirjeldustes on välja toodud valitud profiilide, nende kinnituste ja ka ostukomponentide kasutused.

Mudeli koostamist alustati olemasolevate talade modelleerimisega, mis on vajalik näitamaks, kuidas süsteemi uute osade mudelid ühendatakse olemasolevate konstruktsioonidega. Piltidel välja toodud olemasolevad konstruktsioonide mudeliosad on halli värvusega.

Olemasolevate konstruktsioonide modelleerimise aluseks oli punktipilv, mille töötlus on teostatud tarkvaras Faro Scene. Punktipilvede kokkupanemise maksimaalne punktide viga on 6,6 mm, keskmine 3,8 mm.¹ Punktipilves on kokku 215 539 828 punkti. Skaneerimisel on kasutatud Faro Focus M70 laserskannerit, mille ühe mõõtepunkti täpsuseks on ± 3 mm (Sele 2.1).



FOCUS^M 70

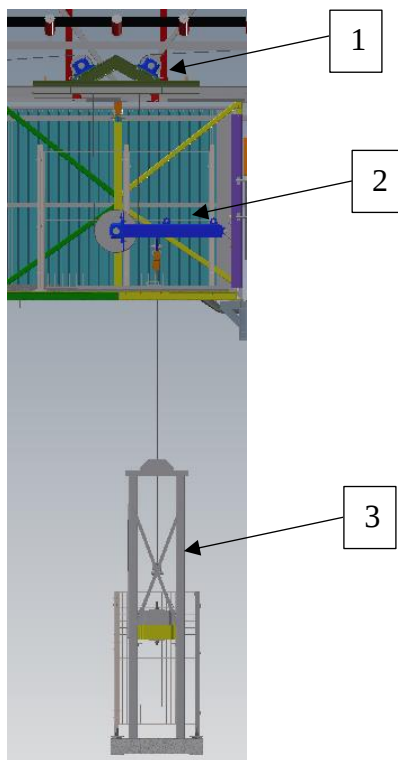
- Range : 0.6 – 70m
- High Dynamic Range (HDR): Exposure Bracketing 2x, 3x, 5x
- Measurement speed: up to 488,000 points/second
- Ranging error: ± 3 mm
- Scan Group Feature (rescanning of distant targets in higher resolution)
- Digital hashing function
- Retake Photo Option
- Sealed design – Ingress Protection (IP) Rating Class 54
- Integrated color camera: Up to 165 million pixels
- Extended operating temperature: -20° – 55°C
- Laser class: Laser class 1
- Weight: 4,2kg
- Multi-Sensor: GPS, Compass, Height Sensor, Dual Axis Compensator
- Size: 230 x 183 x 103mm
- Scanner control: via touchscreen display and WLAN

Sele 2.1 Faro Focus M70 parameetrid [1]

¹ Lisa 1 – Punktipilve registreerimise aruanne

2.1 Pingutussüsteemi projekteerimine

Pingutussüsteem (Sele 2.2) koosneb raamist, kuhu kinnituvad rullikud, mis suunavad rihma pingutusrullikule, pingutusrulliku raamist ja vasturaskusest. Järgnevalt on välja toodud nende osade projekteerimine.

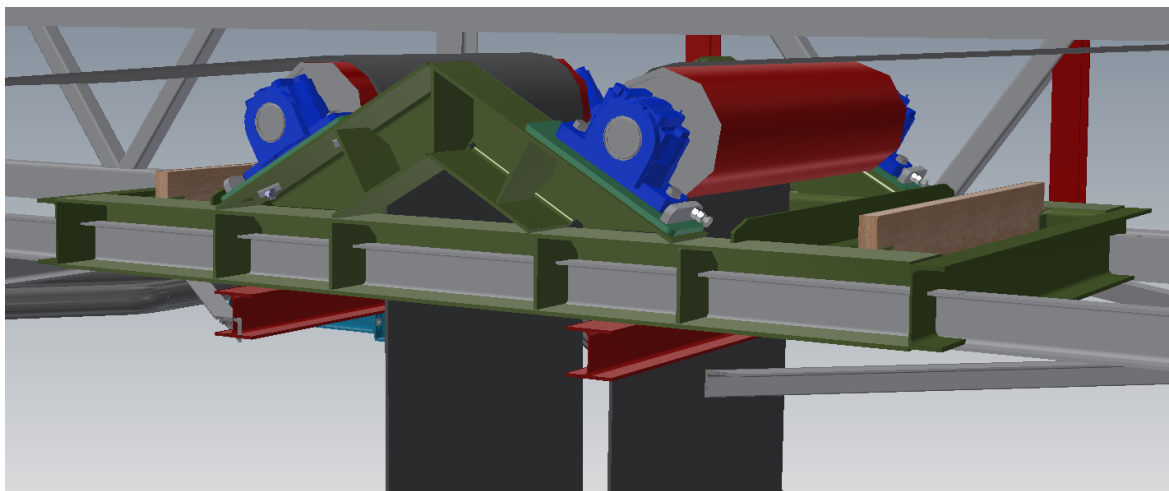


Sele 2.2 Pingutussüsteemi mudel: 1 - Rullikute kinnitusraam, 2 - pingutusrulliku raam, 3 - vasturaskus

2.1.1 Konveieri raami ümberehitus

Konveieri raami keskmised talad lõigatakse läbi kohtadest, kuhu vahele lisatakse konveieri rihma lisa suunavate rullikute raam (Sele 2.3). Raam keevitatakse läbi lõigatud talade külge. Lisa raam valmistatakse 10 mm paksusega plaatdetailidest, mis on omavahel kokku keevitatud. Raami peale kinnitatakse lisa konveieri rihma toetusrullikud. Rullikute kinnituspind on tehtud konveieri raami suhtes nurga all, selleks et neid oleks võimalik seadistada selliselt, et konveieri rihm, mis suunatakse pingutusrullikule jookseks sirgelt. Laagripukkidele on tehtud seadistuseks piklikud avad. Rullikud ja laagrid on valitud vastavalt kliendi ettevõtte sisesele standardile. Kuna ettevõtte toomises on väga palju erinevaid konveiereid ja seadmeid, siis selleks et tagada nende kiire parandus ja hooldus on kliendil erinevate standardkomponentide

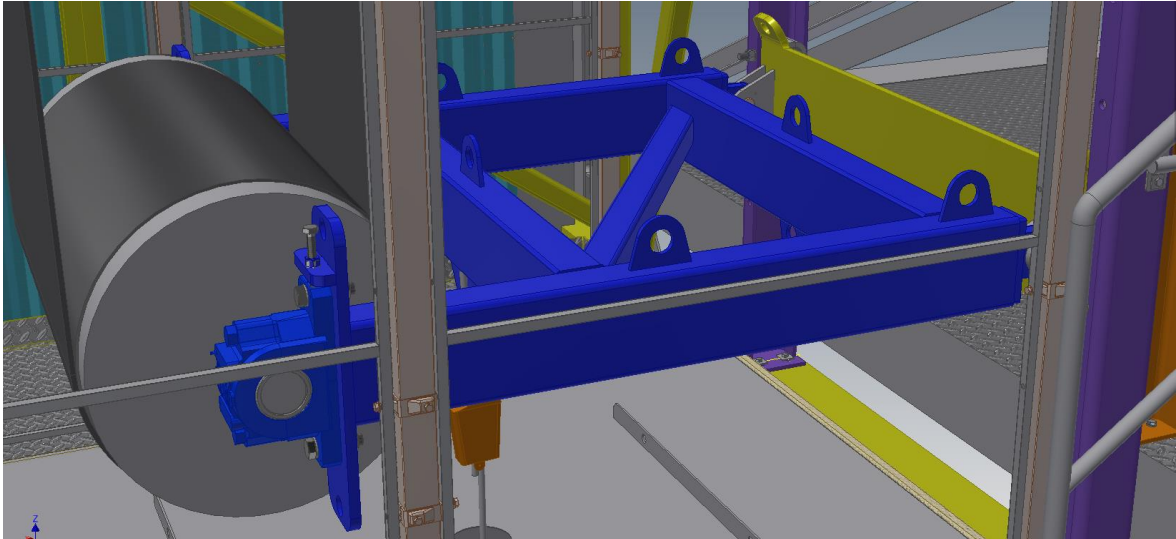
ladu. Standardist lähtuvalt on valitud rullikute läbimõõt on 320 mm ja pikkus 1150 mm. Laagriteks on SKF SNL 518-615 + 1218. [2]



Sele 2.3 Konveieri rihma suunavate rullikute lisaraam

2.1.2 Pingutusrullik ja selle raam

Pingutusrullik ja selle raam (Sele 2.4) kannab vasturaskuse pingutusjõu üle konveieri rihmale. Raam on kinnitatud kahe vertikaalse painutatud plaatide tuge külge M20 poltidega. Põhiraam on valmistatud 200 x 100 x 8 nelikant profiiltorust. Raami kinnitus tuge külge on valmistatud 20 mm paksusega plaatidest ning see võimaldab raami pöörlevat liikumist konveieri rihma sihis. Raami tuge데sse on tehtud 220 mm vahedega avad, et selle kinnitus oleks kõrguse sihis seadistatav vastavalt sellele, kui kõrgele tahetakse pingutusrullikut paigutada. Sarnaselt suunavate rullikute ja laagrite valikule, on valitud ka pingutusrullik ja selle laagrid vastavalt kliendi ettevõtte standardile. Rulliku läbimõõduks on 630 mm ja selle pikkuseks 1150 mm. Rulliku laagrid on valitud samad, mida kasutatakse ka suunavatel rullikutel. Laagrid kinnituvad raami külge poltidega, millele on tehtud piklikud avad, et rulliku asend oleks seadistatav nii, et see jääks konveieri rihma suhtes paralleelselt. Seadistamine on vajalik, et konveieri rihm ei hakkaks liikudes rulliku pealt maha kerima. Pingutusrulliku ja selle raami osad on ümbritsetud Troax ST30 piirdeaiaga (Sele 2.5). Valitud on 2050 x 1000 mõõtudega paneelid, mis kinnitatakse 60 x 40 x 2200 mõõtudega tugipostide külge. Tugipostid kinnitatakse poltides põrandaplaatide külge.



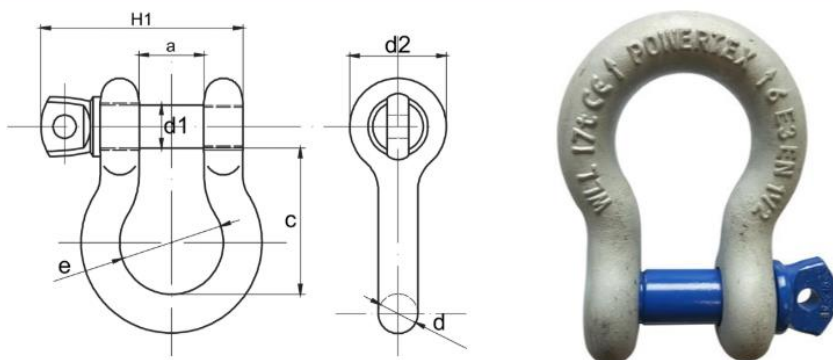
Sele 2.4 - Pingutusrullik ja selle raam

System Height 2200 mm	
Panel Height (mm)	Panel Width (mm)
2050	200
2050	300
2050	500
2050	700
2050	800
2050	1000
2050	1200
2050	1500
Mesh size: 20x100 mm, tube 30x20 mm, wire 3x3 mm	

Sele 2.5 Troax piirdeaia paneeli mõõdud [3]

Vasturaskuse kinnitamiseks raami külge kasutatakse Certex tootevalikust 12 t koormuse taluvusega seeklit (Sele 2.6).

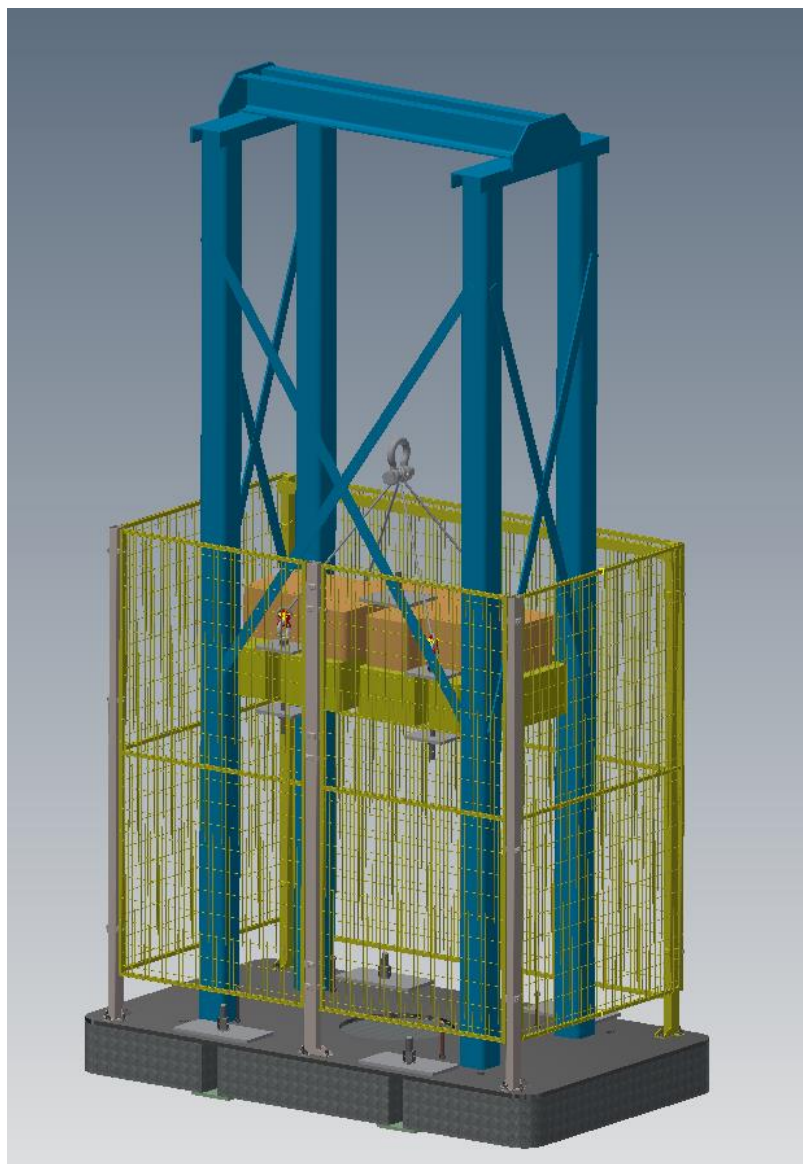
Tootekood	Kood	WLL tonn	Nominaalmõõt tollides	Poldi Ø mm	a* mm	c* mm	d mm	d2 mm	e mm	Kaal kg
11.31PBSP01200	1342	12	1-1/4	35	53	120,5	32	76	84	4,45



Sele 2.6 - Seekel [4]

2.1.3 Vasturaskus

Vasturaskuse väärtuseks on 2800 kg, mis tuleneb sellest, mis oli ka eelnevalt kasutusel oleval pingutussüsteemil. Vasturaskuseks kasutatakse kahte 220 mm paksusega terasplaati, mille massideks on 1660 kg ja 1145 kg. Konstruktsiooni (Sele 2.7) aluseks on kasutatud sama paksusega terasplaati, massiga 5720 kg mis hoiab tervet koostu stabiilselt maapinnal. 220 mm paksusega alusplaadi külge on 30 mm keermelattidega polditud 20 mm paksusega plaat, mille külge on keevitatud vasturaskust ümbritsev raam, piirdeaiaid ning lisa keermelatid, mis hoiavad tõstetava vasturaskuse aluspinnast kõrgemal kui see ei ole ühendatud pingutusrulliku raamiga. Piirdeaiaiks on valitud samade parameetritega tooted, mis ümbritsevad pingutusrulliku raami juurdeehituse sees. Lisaks on kasutusel mõõtudega 2050 mm x 1000 mm väravad, mis võimaldavad ligipääsu vasturaskuse piirdeaia sisse (Sele 2.8). Vasturaskuse plaadid on omavahel ühendatud keermelattidega. Ühenduseks vasturaskuse rulliku raamiga kasutatakse ühendavate keermelattide otsas M24 keermega tõstekõrvasid (Sele 2.9), mis kannatavad 1800 kg koormust. Kokku on kasutusel neid 4 tk. Tõstekõrvasid külge on järgnevalt kinnitatud seeklid (Sele 2.10), mis ühendavad tõstekõrvasid 12 mm läbimõõduga trossidega. Trossid jooksevad neljast nurgast kokku ning neid ühendab seekel (Sele 2.6), mis on kasutusel ka pingutusrulliku raami küljes. Vasturaskuse küljes olevat viimast seeklit ja pingutusrulliku raami küljes olevat seeklit ühendab 16 mm läbimõõduga tross, mille ühes otsas on seekli külge kinnitamiseks tehtud silmus ning teise otsa kinnituseks kasutatakse kiilupesa (Sele 2.11), et trossi pikkust oleks võimalik reguleerida.

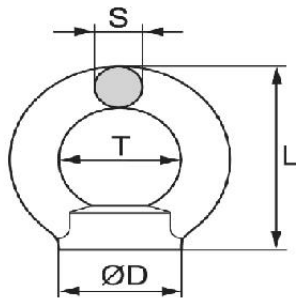


Sele 2.7 Konveieri vasturaskus

Door dimensions, system height 2200 mm	
Panel Height (mm)	Width (mm)
2050	500
2050	700
2050	800
2050	1000
2050	1200
2050	1500

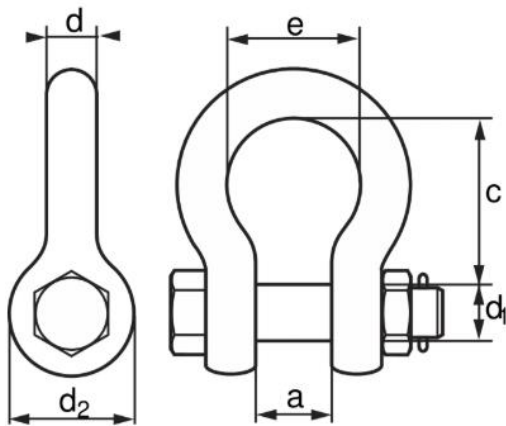
Sele 2.8 Troax piirdeaedade uksed [5]

Art.nr	Max load (WLL) ton	Thread	D mm	L mm	S mm	T mm	Weight kg
11.40582C15E24	1,8	M24	50	90	20	50	0,72



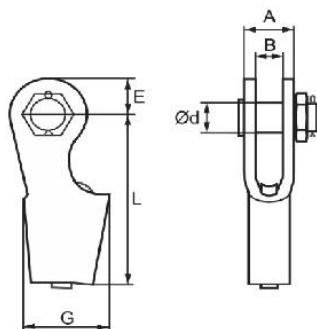
Sele 2.9 Tõstekõrv [6]

Tootekood	WLL tonn	Thread mm	A mm	C mm	D mm	D2 mm	E mm	Kaal kg
11.31A851312	3,2	M12	20	49	13	35	35	0,25



Sele 2.10 Seekel [7]

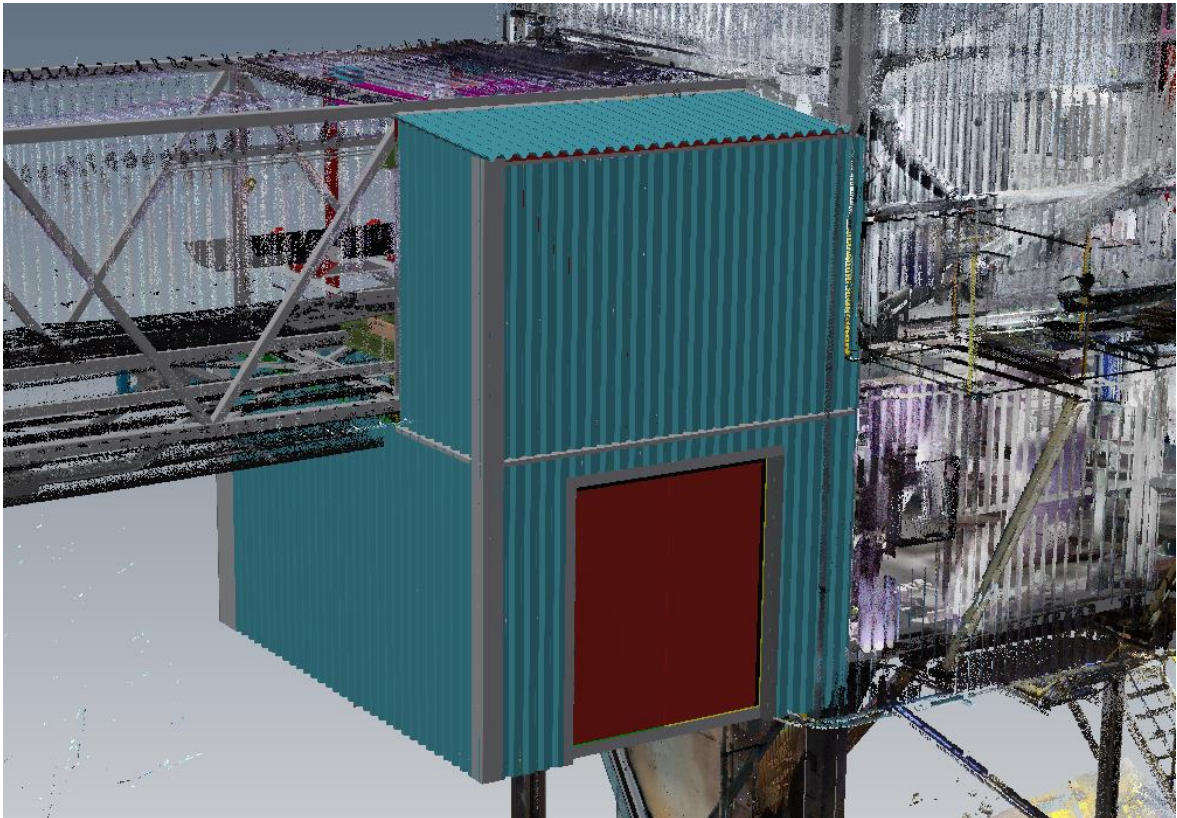
Tootekood	Kood	WLL tonn	MBL t	Diameeter mm	A mm	B mm	E mm	G mm	L mm	D mm	Kaal kg
10.20300417	3004B	5	25	15-17	60	34	44	96	216	31,5	4,4



Sele 2.11 - Trossi kiilupesa [8]

2.2 Juurdeehituse projekteerimine

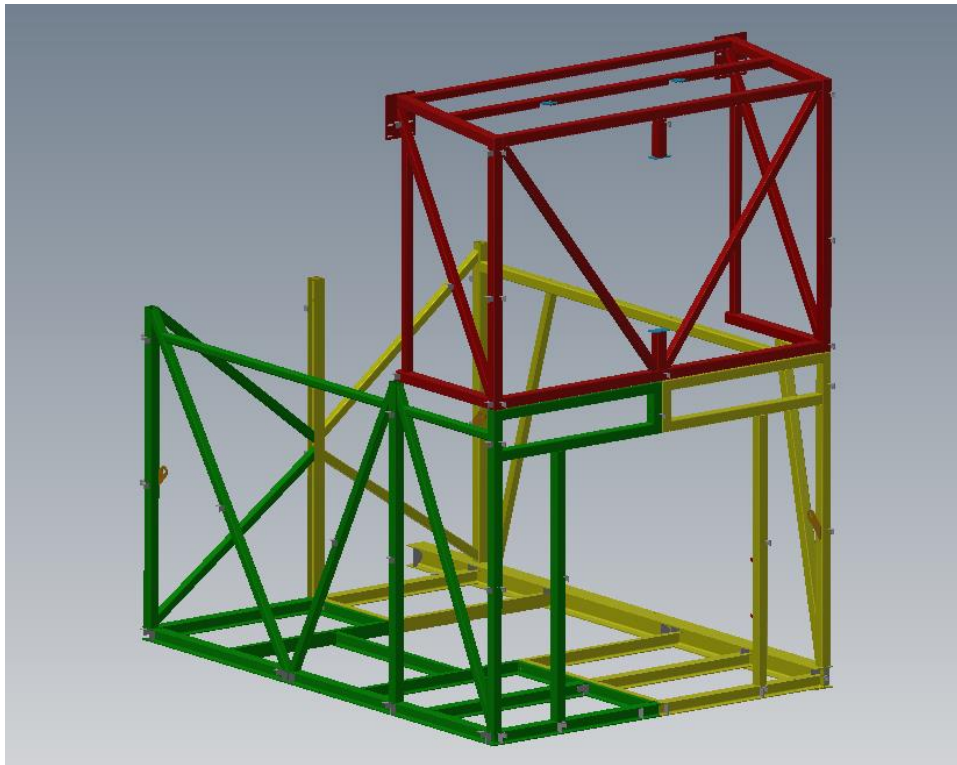
Uue pingutussüsteemi tõttu otsustati teha ka olemasolevale ehitisele juurdeehitus (Sele 2.12), et pingutusrullikud ja selle raam jääks ehitise sisse. Juurdeehitus koosneb metallraamidest, mis kinnitatakse olemasoleva konveieri raami külge. Selle lisamisega on vaja teha muudatusi ka olemasoleva ehitise raamile ja teha ühendav osa uuele juurdeehitusele.



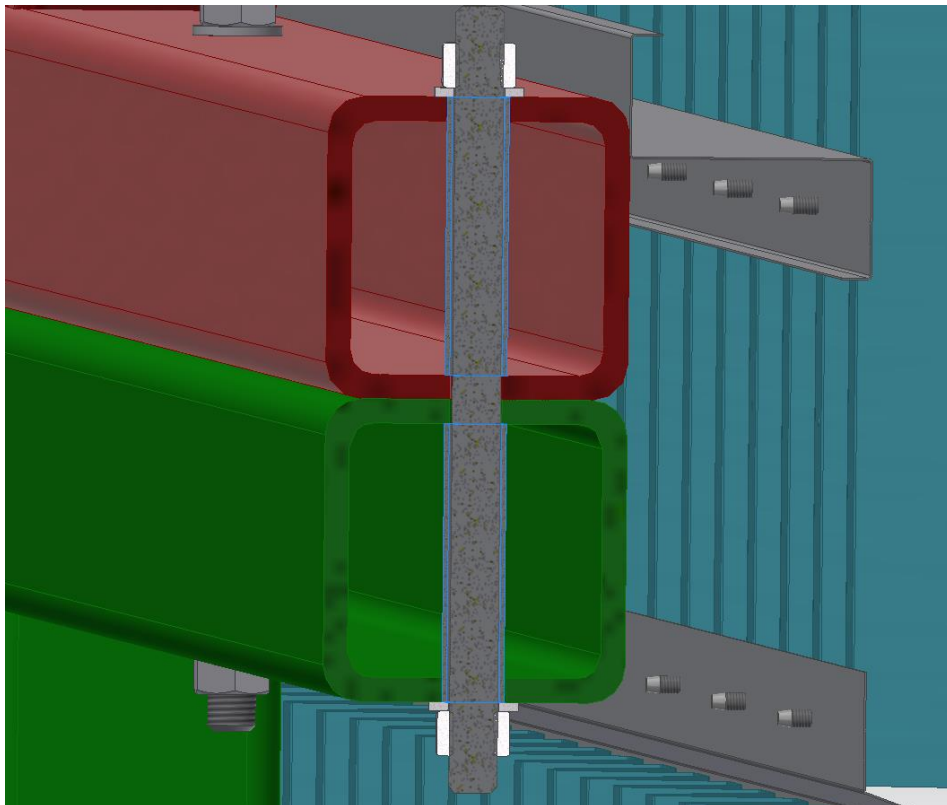
Sele 2.12 Juurdeehitus

2.2.1 Juurdeehituse raam

Juurdeehituse raam (Sele 2.13) on jaotatud kolmeks suuremaks keeviskoostuks, mis on välja toodud erinevate värvidega. Raam on jaotatud kolmeks koostuks, et see oleks paremini transporditav ja selle paigaldus kiirem. Raami osad on omavahel kokku polditud M12 ja M16 poltidega. Nelikant profiilide omavahelisel ühendamisel on kasutatud keermelatte ja ümartorudest valmistatud hülse, mis aitavad vältida nelikanttorude deformeerumist nende kinni poltimisel. Selleks, et torud profiilidest läbi ei kukuks on nelikant profiilides esimest seina läbiv ava suurem kui teine (Sele 2.14). See võimaldab torul liikuda läbi profiili esimese seina, kuid jääb pidama järgmise juures.



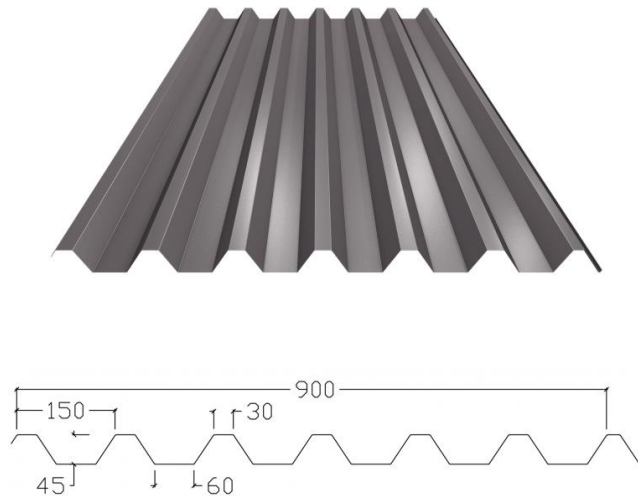
Sele 2.13 Juurdeehituse raam



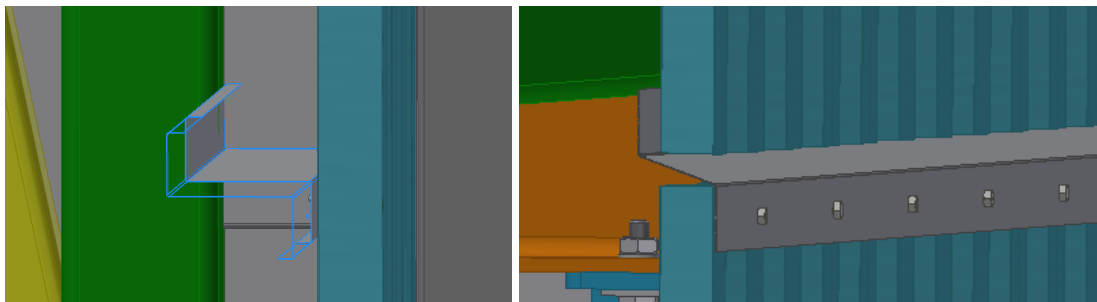
Sele 2.14 Nelikantprofiilide ühendus

Juurdeehitus kaetakse katuse profiilplaatidega (Sele 2.15), mille kinnitamiseks kasutatakse kummist seibidega isepuurivaid katusekruve. Raami ja profiilplaatide

vahele on lisatud kinnitamiseks painutatud plaadid (Sele 2.16). Seinaplaatide jätkamisel kasutatakse ka vaheplaate (Sele 2.16).

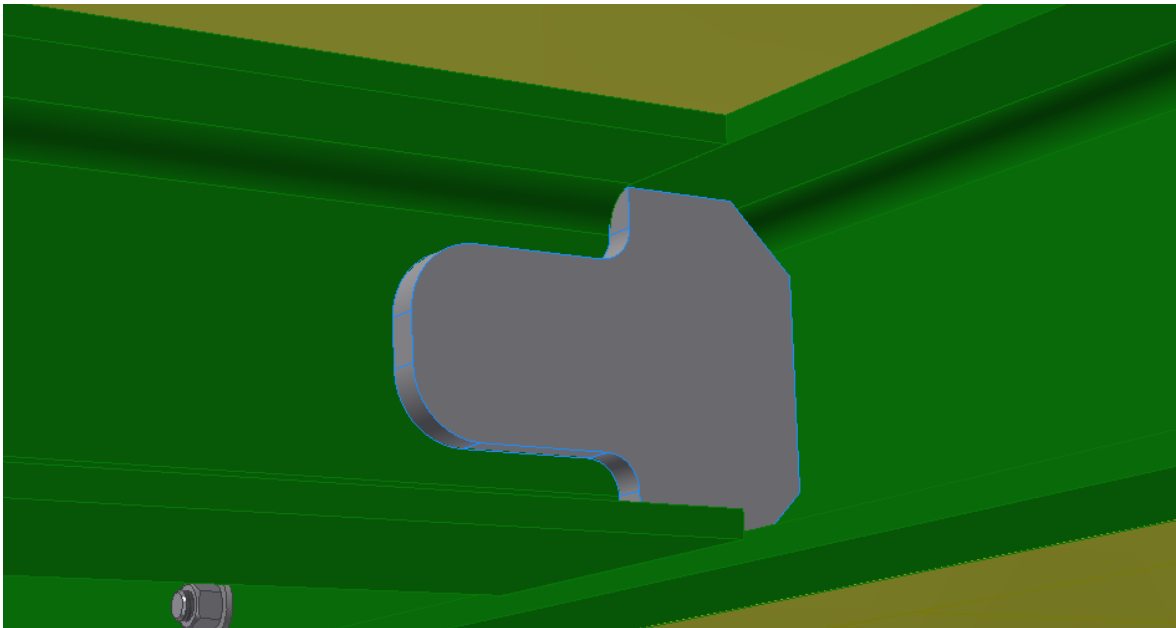


Sele 2.15 TRP 45 Katuse profiilplaat [9]



Sele 2.16 Raami ja seinaplaatide vaheline painutatud plaat (vasakul). Seinaplaatide jätkamise plaat (paremal)

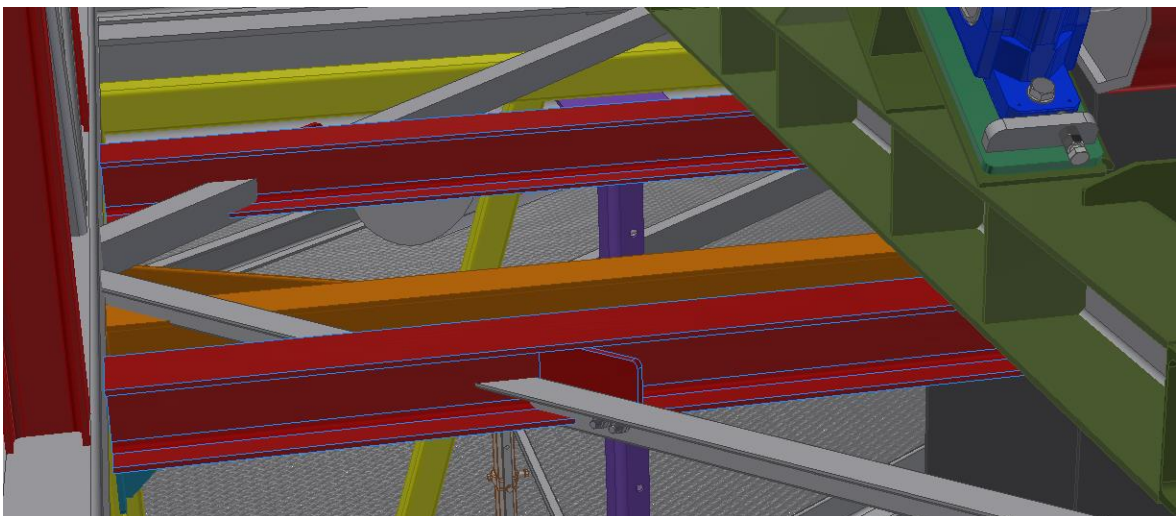
Juurdeehituse raami alumised koostud keevitatakse olemasoleva konveieri raami külge ja ülemine osa polditakse olemasoleva raami ja lisa tõstetalade külge. Raami paigalduseks on selle külge keevitatud ka lisa tõstekõrvad. Raami osade valmistamiseks on kasutatud 100 x 100 x 8 ja 80 x 80 x 8 nelikanttorusid. Raami aluse valmistamiseks on kasutatud UPE120 ja HEA120 profile. Valmistuse lihtsustamiseks on profiilide ühendamisel kasutatud plaate (Sele 2.17).



Sele 2.17 Profiilide ühendusplaat

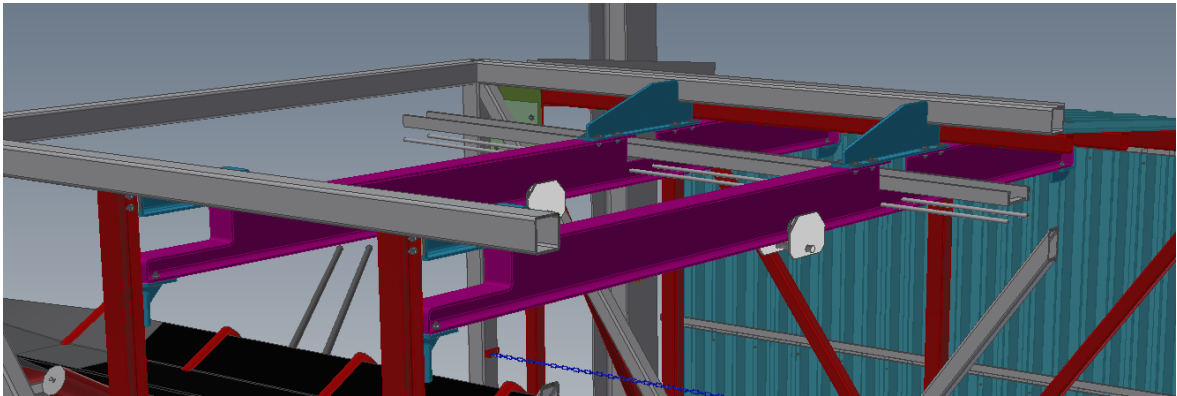
2.2.2 Olemasoleva ehitise osa ümberehitus

Selleks, et olemasoleva ehitise raam peaks vastu lisatud koormusele ning võimaldaks lisa raami ja tõstetalade kinnitused, on lisatud erinevatesse kohtadesse lisatalad. Konveieri raami alla lisatakse kaks HEA120 profiili, mis toestavad kohta, kuhu lisatakse konveieri rihma lisarullikud. Lisatalad (Sele 2.18) keevitatakse otstest raami külge ning kohtades, kus on vaja olemasolevad diagonaaltalad läbi lõigata keevitatakse lisaplaadid, mille külge polditakse läbi lõigatud talad.



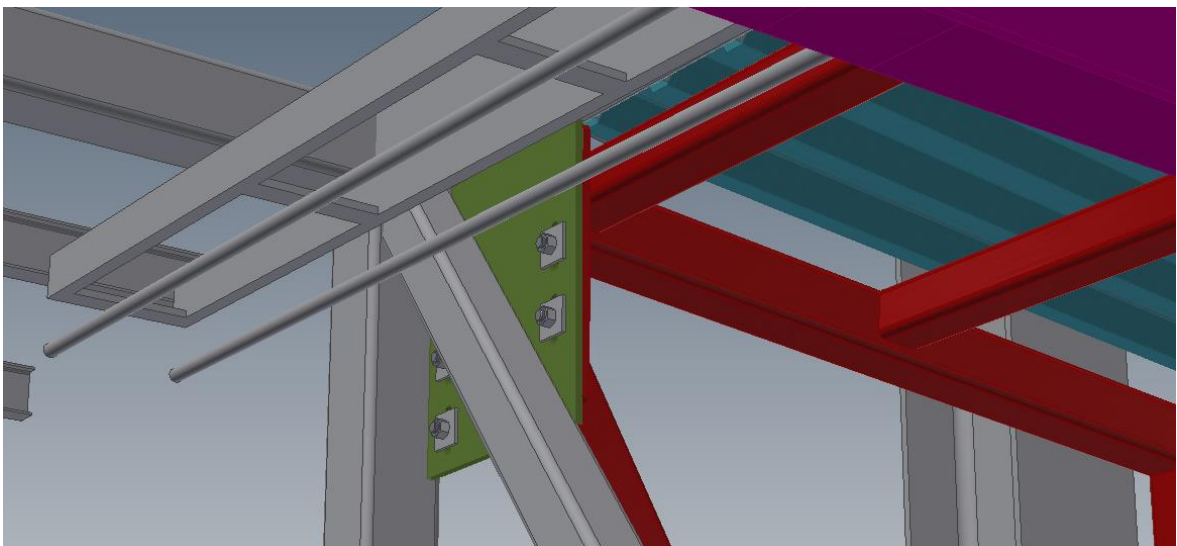
Sele 2.18 - Raami lisatalad

Ülemiste tõstetalade (Sele 2.19) toetuseks lisatakse konveieri raami tagumisele küljele vertikaalsed HEA120 profiiltalad. Talad keevitatakse olemasoleva konveieri raami horisontaal- ja diagonaaltalade külge. Samade tõstetalade toetuseks keevitatakse ka konveieri raami eesmise talade külge lisatoed. Ülemised tõstetalad peavad kokku vastu pidama 1000 kg koormusele, mida tõstetakse talade külge kinnitatud telfritega. Tõstetaladesse on tehtud sisselõiked, kuna nendesse kohtadesse on olemasolevas raamis kinnitatud kaabliredelid. Talad on polditud olemasoleva raami ja ka ülemise juurdeehituse raami külge. Tõstetalad valmistatakse IPE240 profiilist ning sisselõigete peale keevitatakse 10 mm paksusega plaadid.



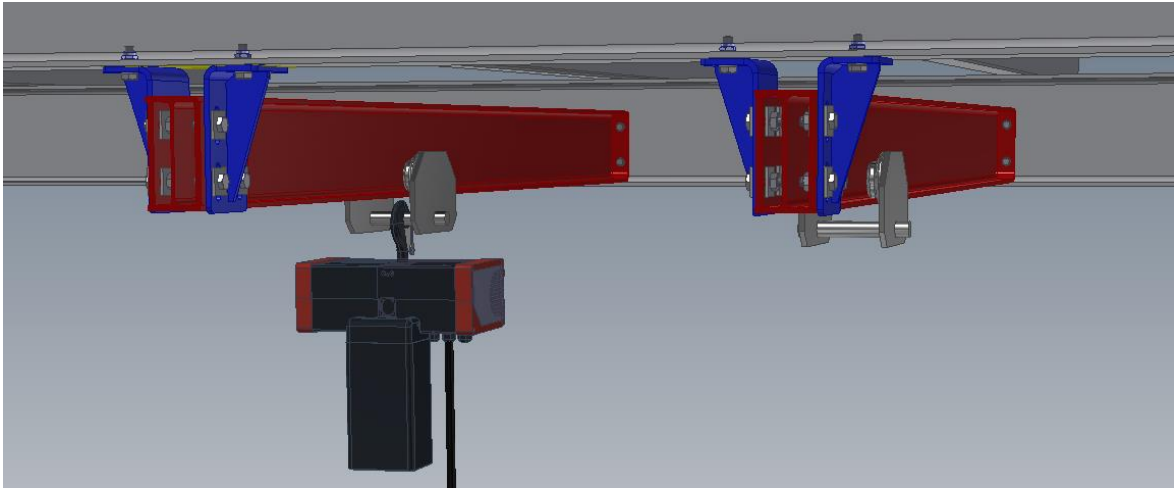
Sele 2.19 Ülemised tõstetalad

Ülemise juurdeehituse raami kinnitamiseks keevitatakse olemasoleva raami külge lisaplaadid (Sele 2.20).



Sele 2.20 Juurdeehituse raamis lisa kinnitusplaadid

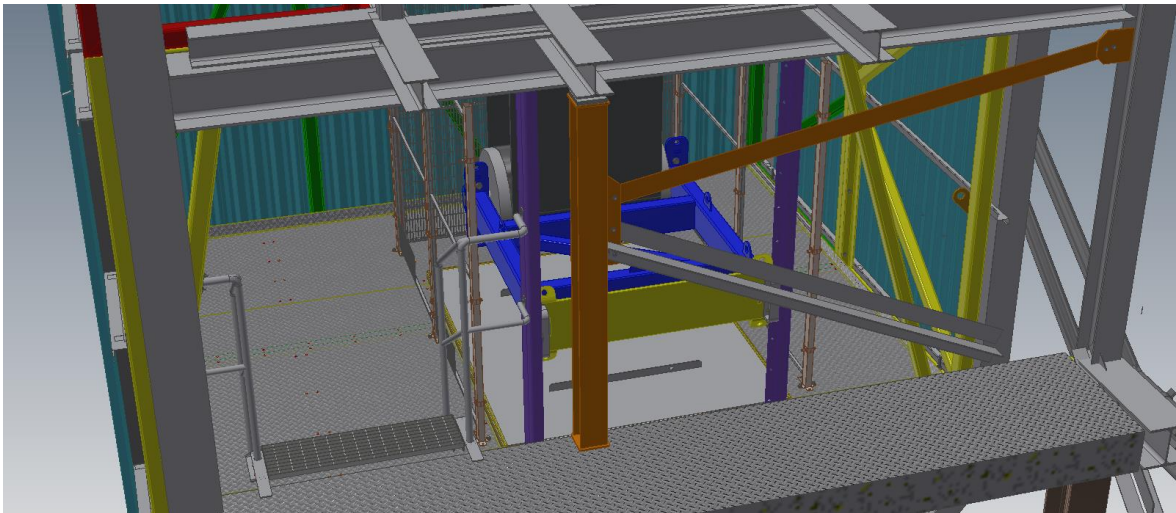
Tõstetalad koos telfritega lisatakse ka olemasolevasse ehitisse (Sele 2.21), selleks et konveieri mootorit ja selle juures olevaid komponente oleks kiirem ja mugavam hooldada ning vajadusel välja vahetada. Talad peavad vastu pidama 1000 kg koormusele. Tõstetalad valmistatakse IPE200 profiilist ning selle külge keevitatakse 10 mm paksusega plaadid kohtadesse, kus see polditakse olemasolevate talade külge.



Sele 2.21 Olemasoleva ehitise lisatõstetalad

2.2.3 Ühendus olemasoleva ehitisega

Juurdeehituse ühendamiseks olemasoleva ehitisega eemaldatakse selle seina plaadid ning lõigatakse ära poole seina ulatuses diagonaaltalad (Sele 2.22). Ehitise raami tugevuse ja jäikuse säilitamiseks lisatakse juurde üks HEA160 tala, mille külge on keevitatud plaat, mis võimaldab ära lõigatud diagonaaltalade teise poole selle külge poldida. Lisatakse veel teine diagonaaltala, mis polditakse ühest otsast lisatala külge ning teisest otsast olemasoleva ehitise tala külge, kuhu lisatakse täiendav toetusplaat.



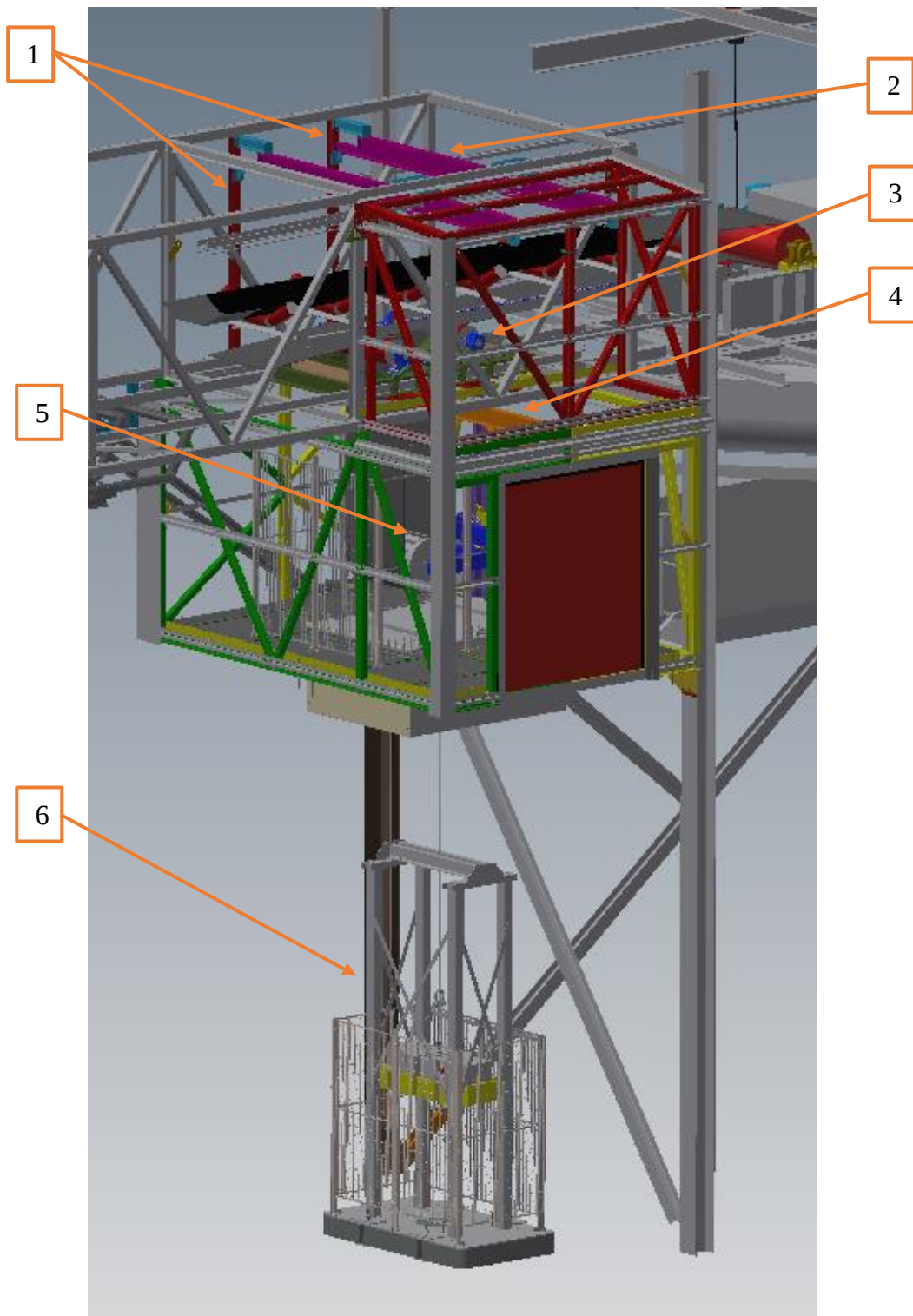
Sele 2.22 Juurdeehituse ühenduskoht

Juurdeehituse ja olemasoleva ehituse põrandapindade kõrguse erinevuseks on 330 mm. Nende tasapindade vahele lisatakse koos käsipuudega trepp. Lisatud trepp koos käsipuudega polditakse juurdeehituse raami külge. Trepi ja käsipuude projekteerimisel on järgitud EVS-EN ISO 14122-1:2016¹ standardi nõudeid.

2.3 Konstruksiooni paigaldus

Projekti üks olulisemaid eesmärke oli konstruksiooni kiire paigaldus, et konveieri seisiaeg oleks võimalikult lühike. Sellest tulenevalt alustatakse paigaldamist osadest, mille jaoks pole vajalik konveieri seismine. Esmalt paigaldatakse ülemised tõstetalade tugitalad ning seejärel tõstetalad. Ülemisi tõstetalasid kasutatakse suunavate rullikute raami ja juurdeehituse raamide paigaldamisel. Järgnevalt on vajalik töös olev konveier seisata, et oleks võimalik paigaldada konveieri rihma suunavate rullikute raam. Seejärel paigaldatakse juurdeehituse raam ning pingutusrullik koos raami ja tugitaladega. Enne pingutusrulliku paigaldust lisatakse juurdeehituse raami külge ka alumine tõstetala, mis on abiks pingutusrulliku ja selle raami paigaldusel ja seadistamisel. Viimasena ühendatakse maapinnal asuv vasturaskus pingutusrulliku raamiga.

¹ EVS-EN ISO 14122-1:2016 – Masinate ohutus. Püsijuurdepääsuvahendid masinatele. Osa 1: Kinnitatud vahendite valimine ja juurdepääsu üldnõuded [10]



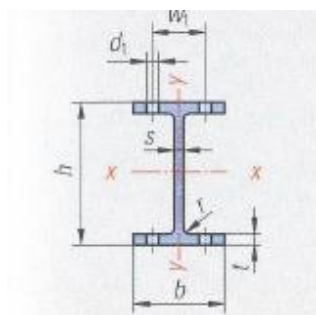
Sele 2.23 Konstruktsiooni mudel ilma katteplaatiteta. 1 - Ülemiste tõstetalade tugitalad, 2 - Ülemised tõstetalad, 3 - Suunavate rullikue raam, 4 - Alumine tõstetala, 5 - Pingutusrullik ja selle raam, 6 - Vasturaskus.

3. TUGEVUSARVUTUSED

Tugevussimulatsioonide läbi viimisel on kasutatud Autodesk Inventor Professional 2019 tarkvaras sisse ehitatud Inventor Nastran ja Frame Analysis programme. Tugevussimulatsioonid on tehtud tõstetaladele, konveieri lisaraamile ja pingutusrulliku raamile. Juurdeehituse ja olemasoleva ehitise raamide tugevusarvutused on läbi viinud Rootsi ehitusinseneribüroo NBP.

3.1 Olemasoleva ehitise lisatõstetalade tugevusarvutused

Olemasolevas ehitises on lisatõstetaladena kasutatud kahte sama ehitusega tõstetala kahes erinevas asukohas. Tõstetala profiiliks on IPE200 tala (Sele 3.1), mille otstes on keevitatud avadega plaadid, millega polditakse tõstetala olemasolevate ehitise talade külge M16 ja M12 poltidega. Tala pikkuseks on $l = 2808$ mm. Materjaliks konstruktsiooniteras S355J2. Tala on toetatud mõlemast otsast. Vaadeldud on olukorda, kus koormus asetseb mõlemast toest kõige kaugemas punktis ehk $l_1 = 1404$ mm. Tala peab kannatama 1000 kg koormust. Varuteguriks on 3, mis on antud kliendi poolt sisendiks. Rakendatav jõud $F = 30$ kN.



S ristlõikepindala
 I ristlõike inertsimoment

W telgvastupanumoment
 m' jooksva meetri mass

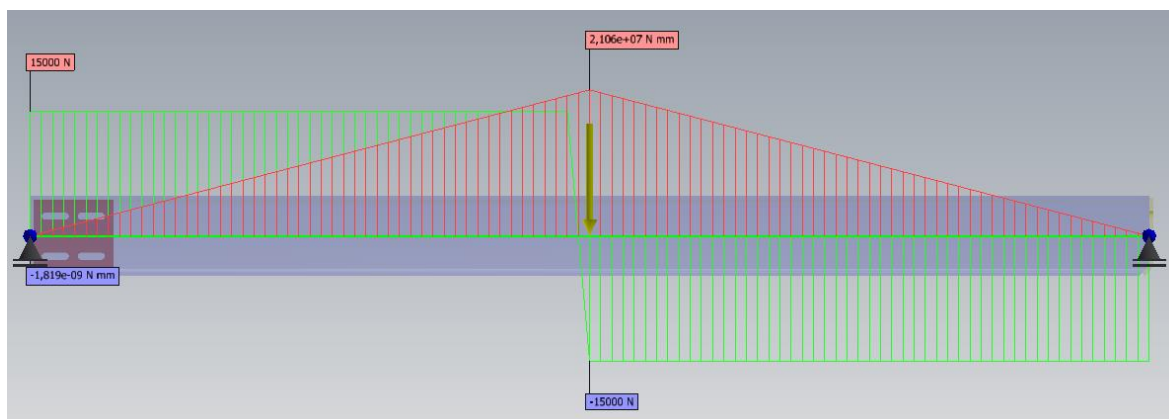
Materjal: Mittelegeerkonstruktsiooniteras EN 10025-2, nt S235JR

Väljastusolek: Standardpikkused, 8 m kuni 16 m ± 50 mm ja $h < 300$ mm,
8 m kuni 18 m ± 50 mm ja $h \geq 300$ mm

Tähistus	Mõõtmed, mm						S cm ²	m' kg/m	Momendid telgede suhtes				Märkemõõde DIN 997 järgi	
	h	b	s	t	r				$x-x$ I_x cm ⁴	W_x cm ³	$y-y$ I_y cm ⁴	W_y cm ³	w_1 mm	d_1 mm
100	100	55	4.1	5.7	7		10.3	8.1	171	34.2	15.9	5.8	30	8.4
120	120	64	4.4	6.3	7		13.2	10.4	318	53.0	27.7	8.7	36	8.4
140	140	73	4.7	6.9	7		16.4	12.9	541	77.3	44.9	12.3	40	11
160	160	82	5.0	7.4	9		20.1	15.8	869	109	68.3	16.7	44	13
180	180	91	5.3	8.0	9		23.9	18.8	1320	146	101	22.2	50	13
200	200	100	5.6	8.5	12		28.5	22.4	1940	194	142	28.5	56	13
240	240	120	6.2	9.8	15		39.1	30.7	3890	324	284	47.3	68	17
270	270	135	6.6	10.2	15		45.9	36.1	5790	429	420	62.2	72	21
300	300	150	7.1	10.7	15		53.8	42.2	8360	557	604	80.5	80	23
360	360	170	8.0	12.7	18		72.7	57.1	16270	904	1040	123	90	25
400	400	180	8.6	13.5	21		84.5	66.3	23130	1160	1320	146	96	28
500	500	200	10.2	16.0	21		116	90.7	48200	1930	2140	214	110	28
600	600	220	12.0	19.0	24		156	122	92080	3070	3390	308	120	28

Sele 3.1 IPE talade mõõtmed [11]

Kõige ohtlikum lõige on jõu rakendumise asukohas, kus põikjõu väärtus on $Q = 15$ kN ja paindemomendi väärtus $M = 21,06$ kNm (Sele 3.2).



Sele 3.2 Tala põikjõu ja paindemomendi epüürid.

Kontroll:

$$F_1 = \frac{l_1 \cdot F}{l} = \frac{1,404 \cdot 30}{2,808} = 15 \text{ kN} \quad (3.1)$$

kus l_1 – mõjuva jõu kaugus esimesest kinnitusest, m,

l – tala pikkus, m,

F – rakendatav jõud, N,

F_1 – põikjõu väärtus antud punktis, N.

$$M = l_1 * F_1 = 1,404 * 15 = 21,06 \text{ kNm} \quad (3.2)$$

kus M – paindemoment antud punktis, Nm.

Telgvastupanumoment: $W_x = 194 \text{ cm}^3$ [9]

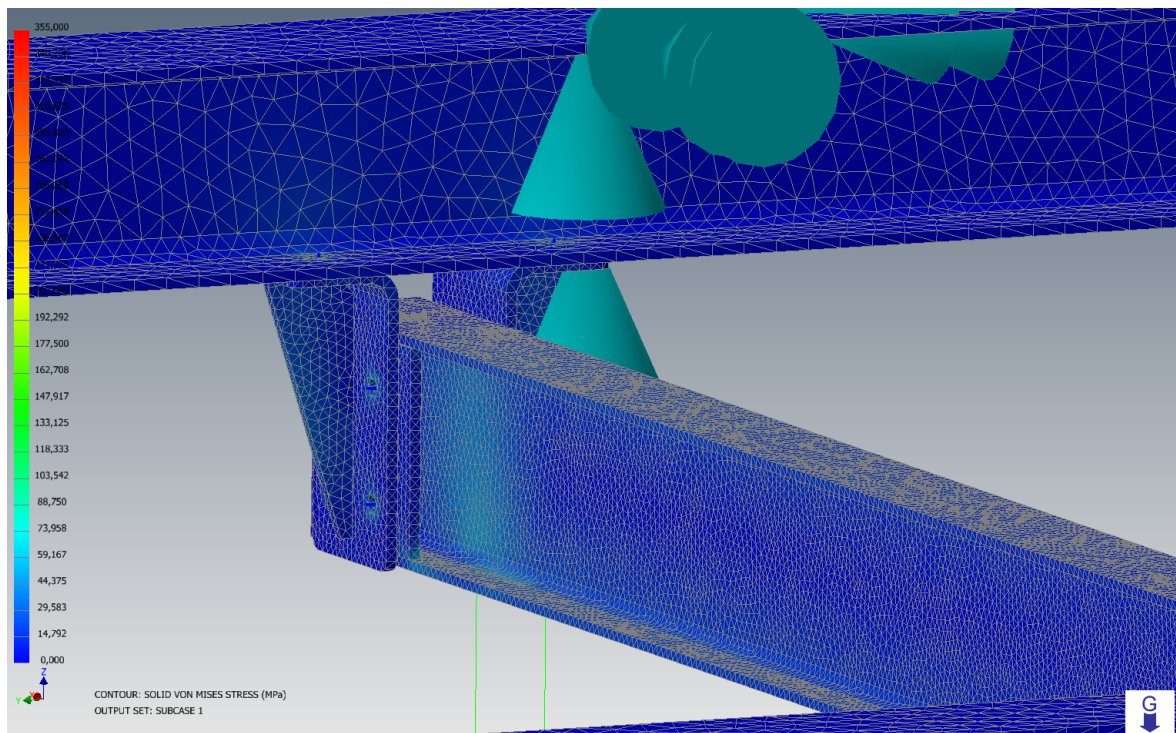
Tugevuskontroll paindele:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{21,06 * 10^3}{194 * 10^{-6}} = 108,56 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \quad (3.3)$$

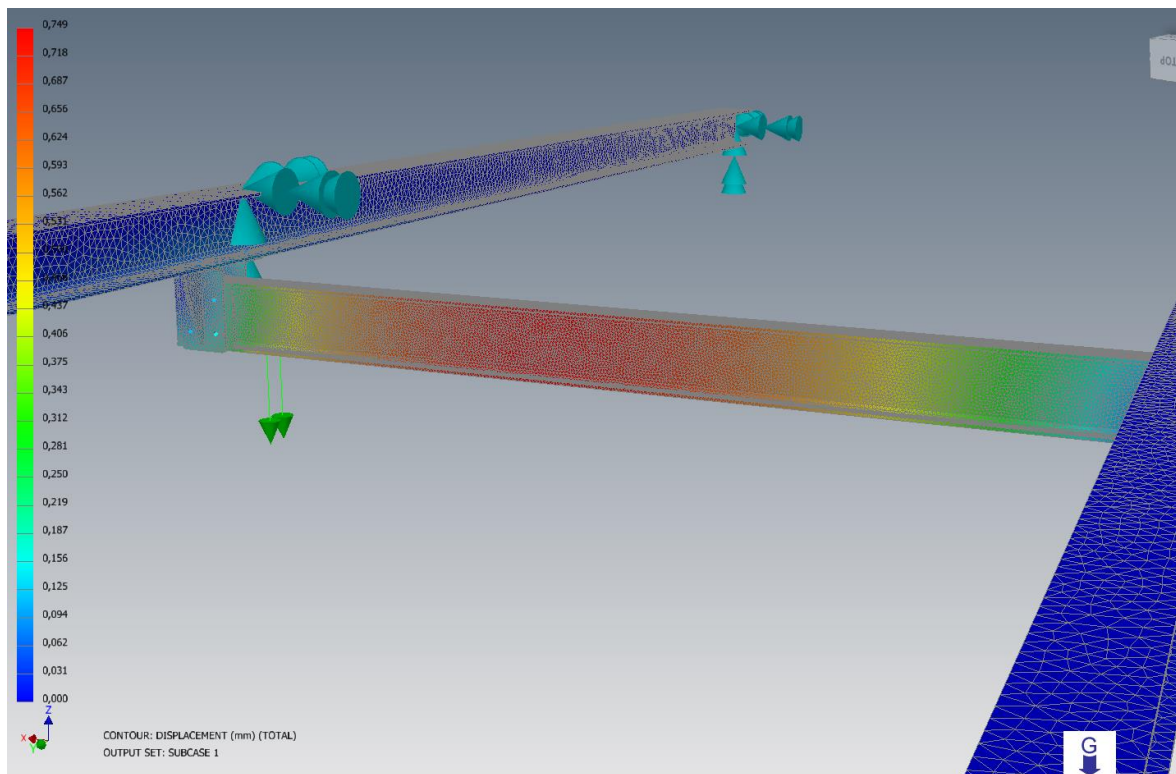
kus σ_{max} – maksimaalne tekkiv pinge, MPa.

Lubatud pinge on suurem kui konstruktsioonis tekkiv maksimaalne pinge.

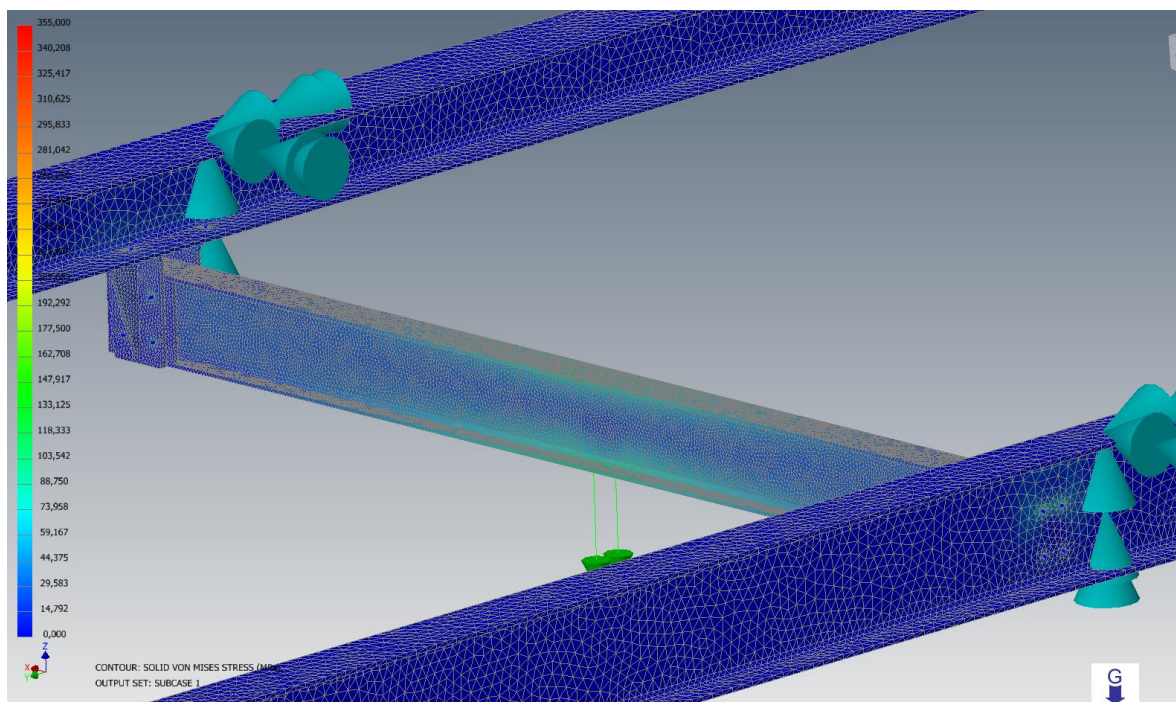
Konstruktsioonile on läbi viidud ka FEM analüüs, mis annab täpsema tulemuse tekkivatest pingetest tõstetalas ja selle kinnitustes. Tõstetala on kinnitatud ühest otsast poltidega otse olemasoleva tala külge ning teisest otsast poltidega koos lisakinnitusega olemasoleva ehitise tala külge. Mõjuvateks jõududeks on tõsteseadme poolt tekitatud maksimaalne kolmekordne jõud ja gravitatsioon. Simulatsioon on tehtud konstruktsioonile rakendades telfri poolt tekitatud jõudu kolmes erinevas asukohas – maksimaalselt esimese kinnituse lähedal, tala keskel ja maksimaalselt teise kinnituse lähedal.



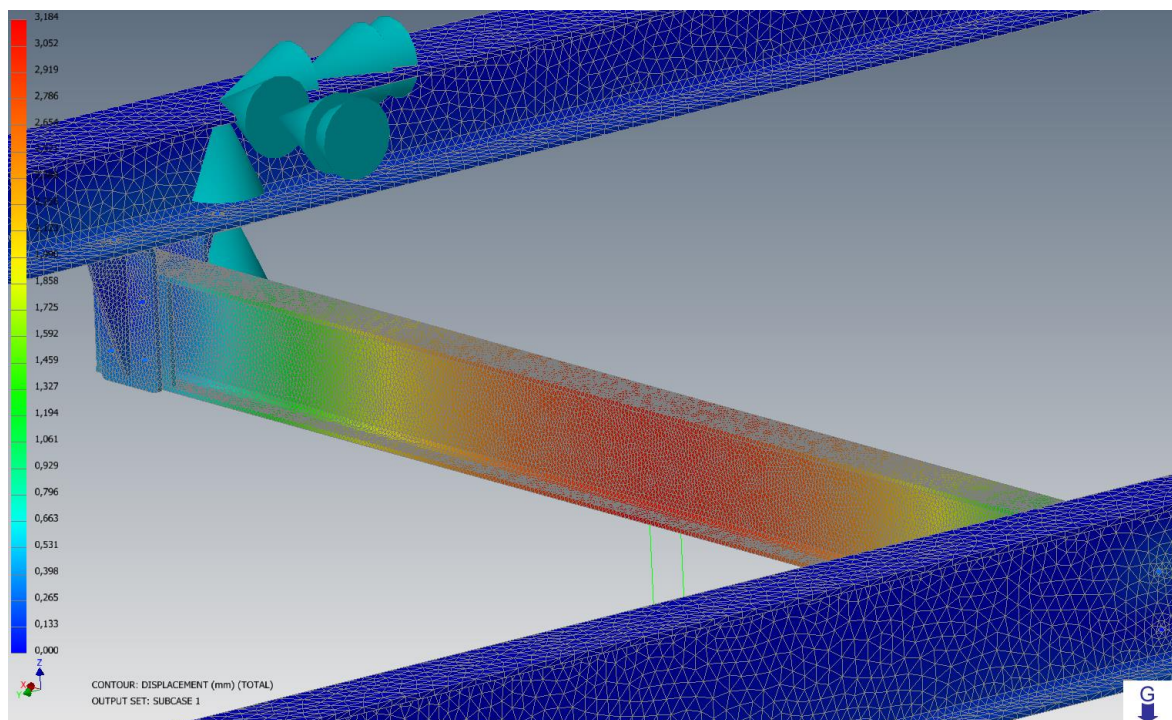
Sele 3.3 FEM tulemus – Pinged. Rakendatav jõud maksimaalselt esimese kinnituse lähedal.



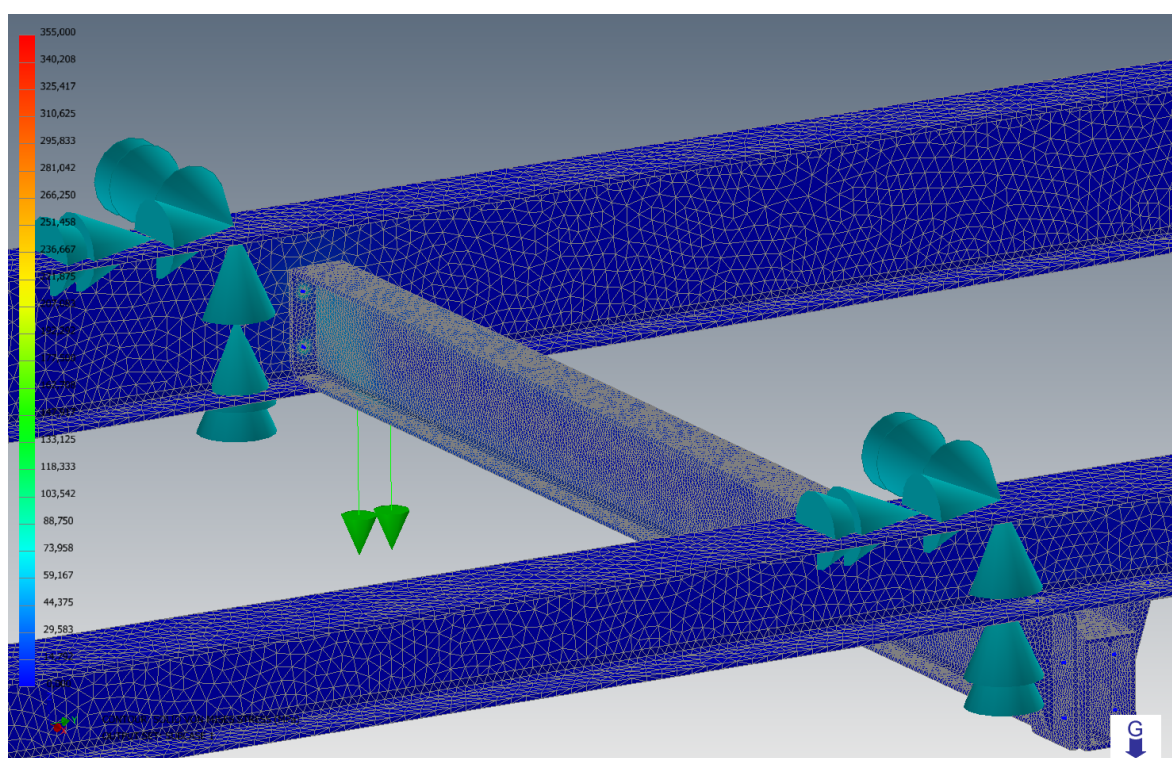
Sele 3.4 FEM tulemus – Läbipaine. Rakendatav jõud maksimaalselt esimese kinnituse lähedal.



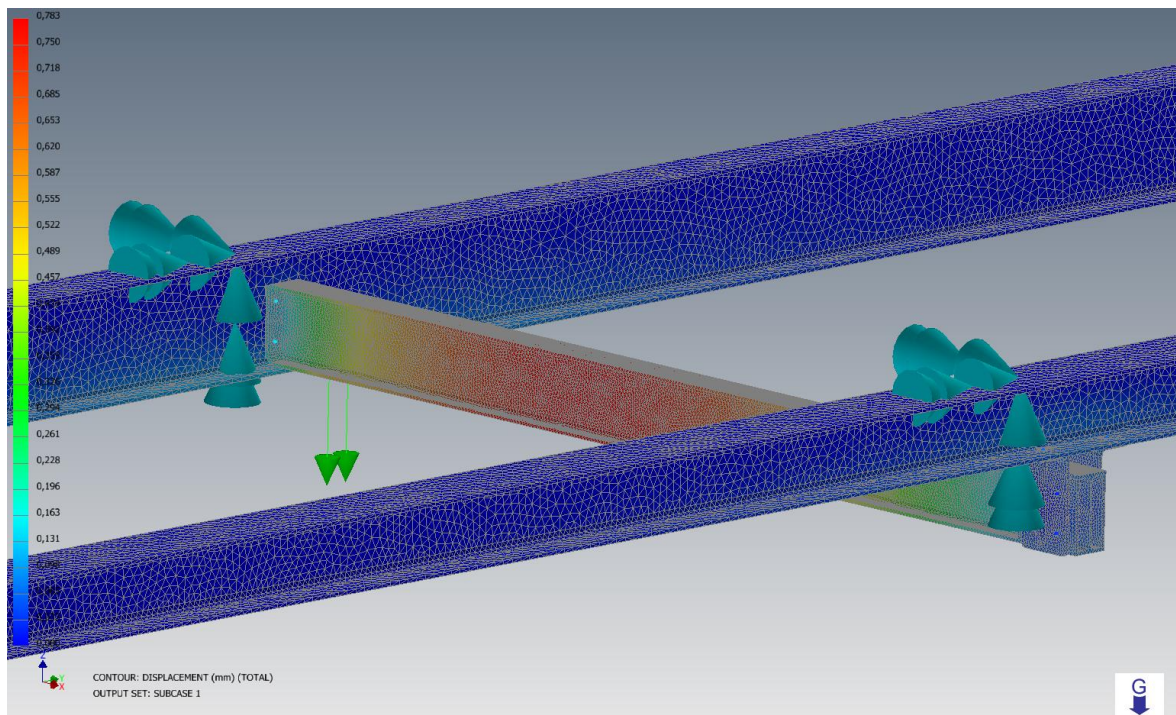
Sele 3.5 FEM tulemus – Pinged. Rakendatav jõud tala keskel.



Sele 3.6 FEM tulemus – Läbipaine. Rakendatav jõud tala keskel.



Sele 3.7 FEM tulemus – Pinged. Rakendatav jõud maksimaalselt teise kinnituse lähedal.

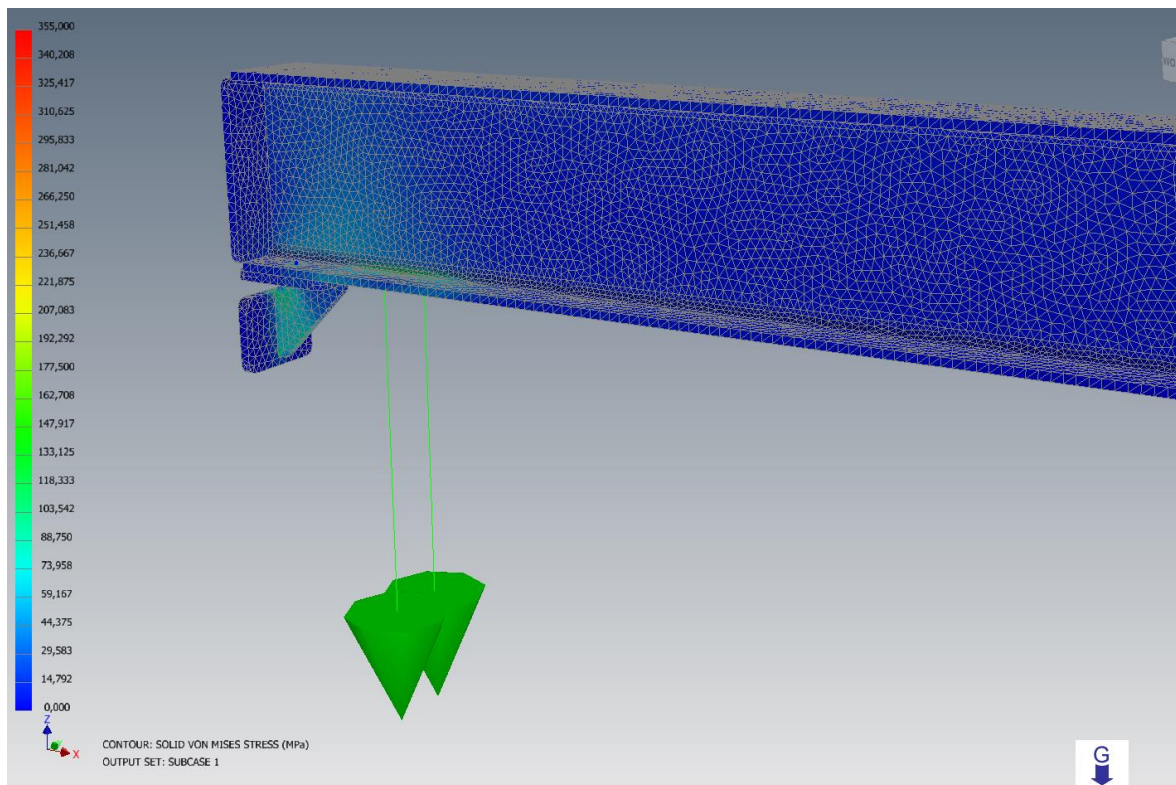


Sele 3.8 FEM tulemus – Läbipaine. Rakendatav jõud maksimaalselt teise kinnituse lähedal.

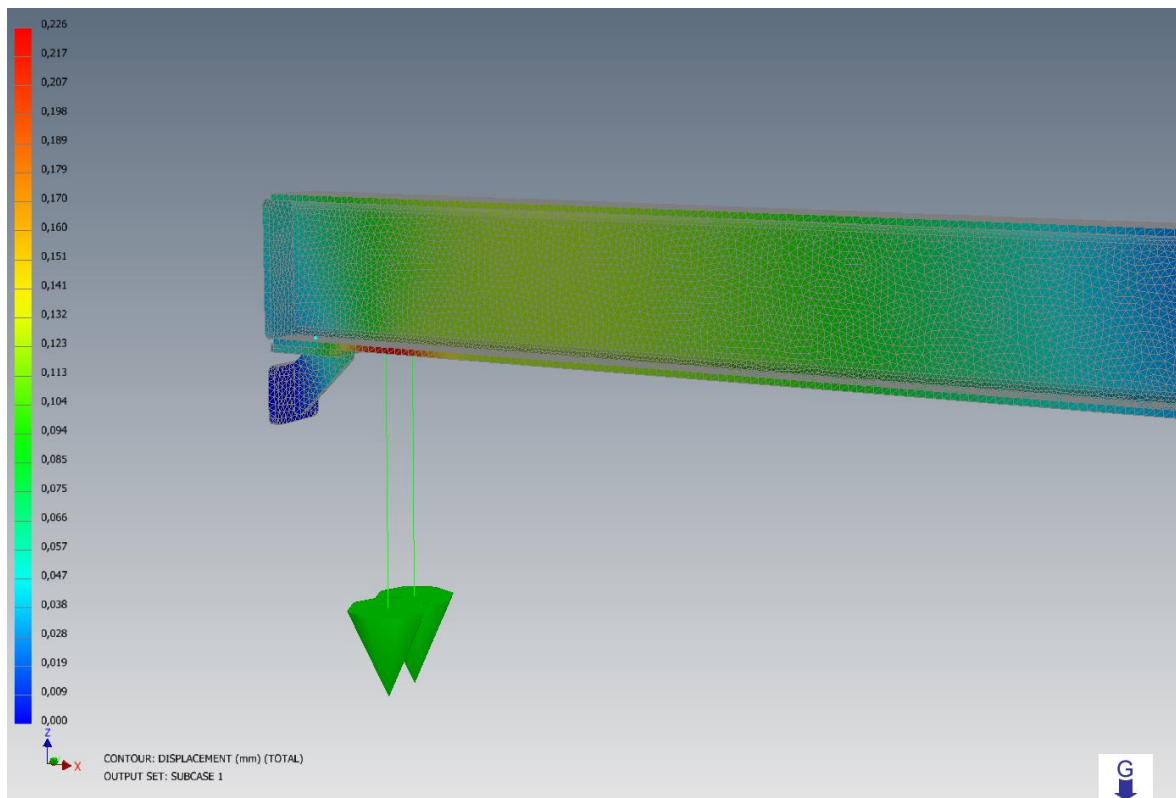
Maksimaalne läbipaine talas oli 3,184 mm ja pinge 119,4 MPa ning see esines olukorras, kus rakendatav jõud asus tala keskel.

3.2 Alumise tõstetala tugevusarvutused

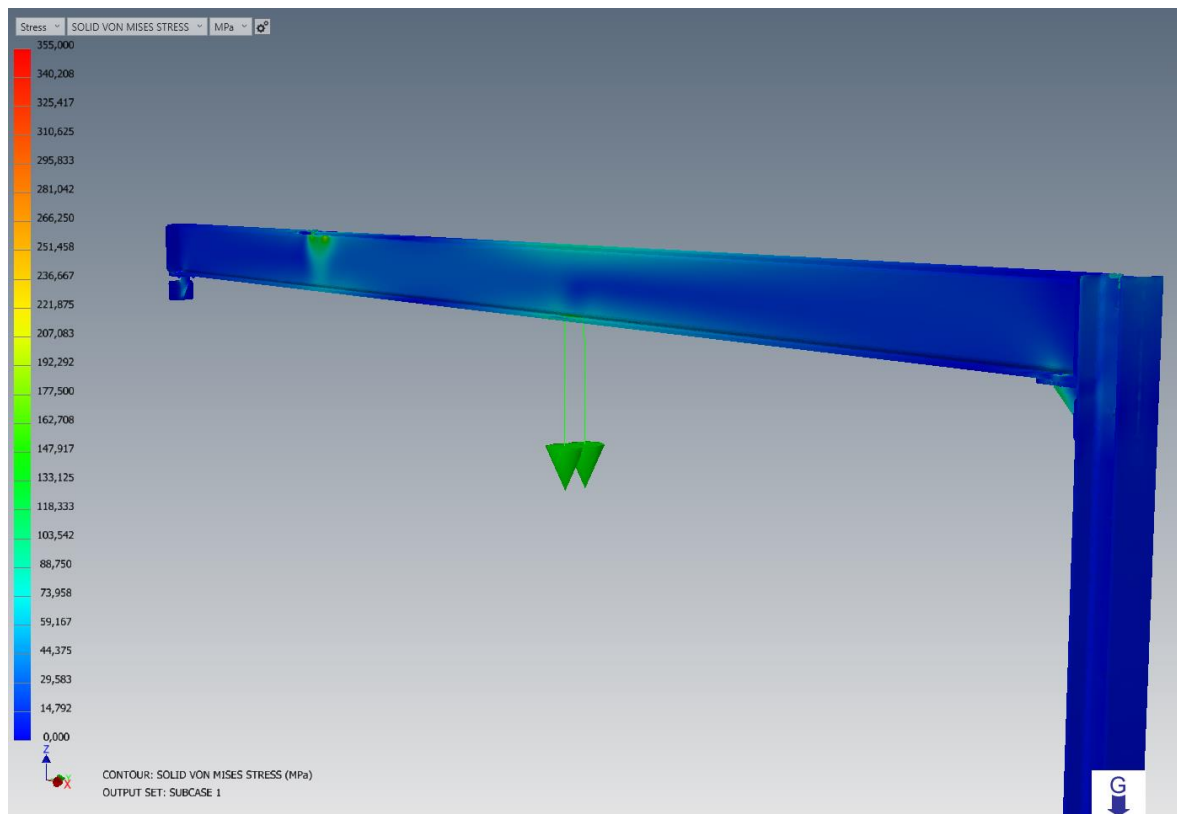
Alumine tõstetala koosneb IPE200 profiilist, mille otstes on keevitatud plaadid. Tala kinnitatakse juurdeehituse raami külge tala all asetsevate tugedega. Toed keevitatakse raami külge ning tala polditakse tugede külge. Tala pikkuseks on 4765 mm. Tala keevitatakse ka esimesest kinnitusest 1300 mm kaugusel oleva konveieri raami tala külge. Tala materjaliks on konstruktsiooniteras S355J2. Tala peab kannatama 1000 kg koormust kolmekordse varuteguriga. Rakendatud jõud on 30 kN. Koormust on simuleeritud kolmes asukohas – maksimaalsest tala eesmise kinnituse lähedal, keskmise ja viimase kinnituse vahel ja maksimaalselt tala tagumise kinnituse lähedal. Talas tekkinud maksimaalne pinge 326 MPa ja läbipaine 3.434 mm tekkisid olukorras, kus koormus oli keskmise ja viimase kinnituse vahel. Selles olukorras rakendus koormus tugedest kõige kaugemal. Tekkinud pinged ja läbipaine jäi siiski lubatud piiridesse ning tala tugevus on tagatud.



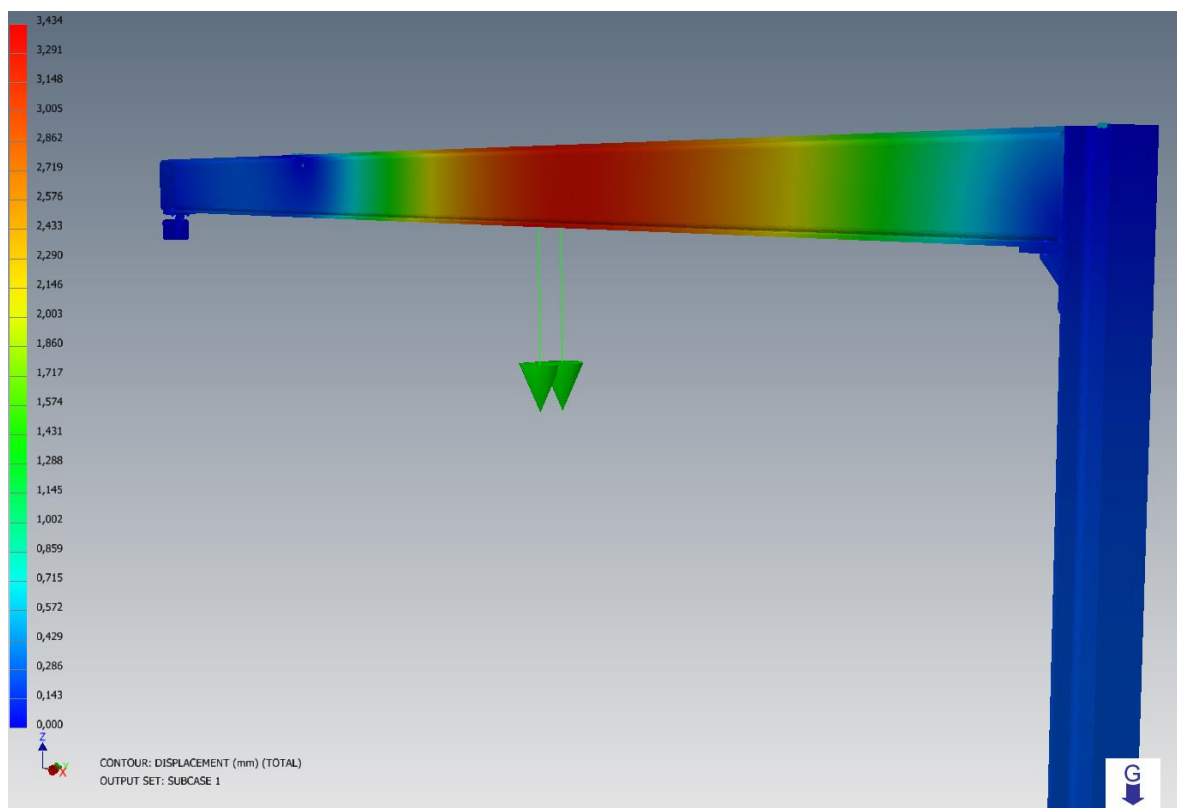
Sele 3.9 FEM tulemus – Pinged. Rakendatav jõud maksimaalselt tala eesmise kinnituse lähedal.



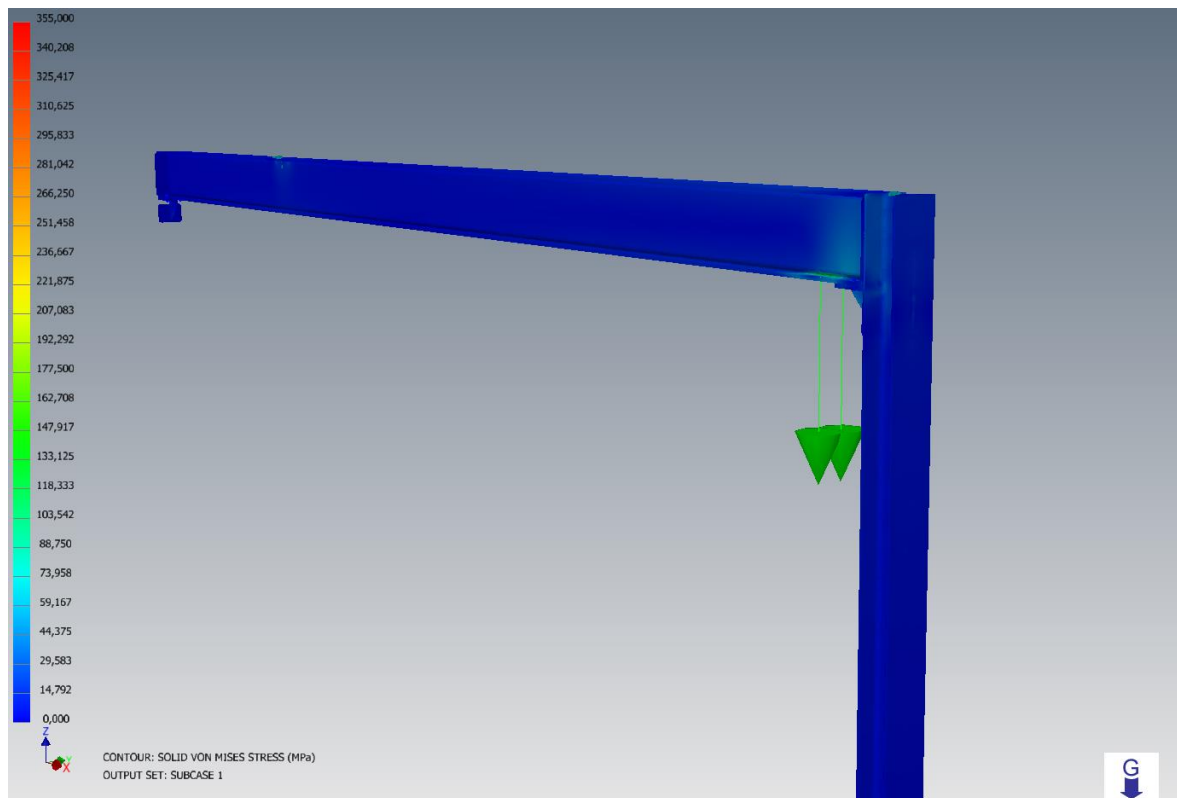
Sele 3.10 FEM tulemus – Läbipaine. Rakendatav jõud maksimaalselt tala eesmise kinnituse lähedal.



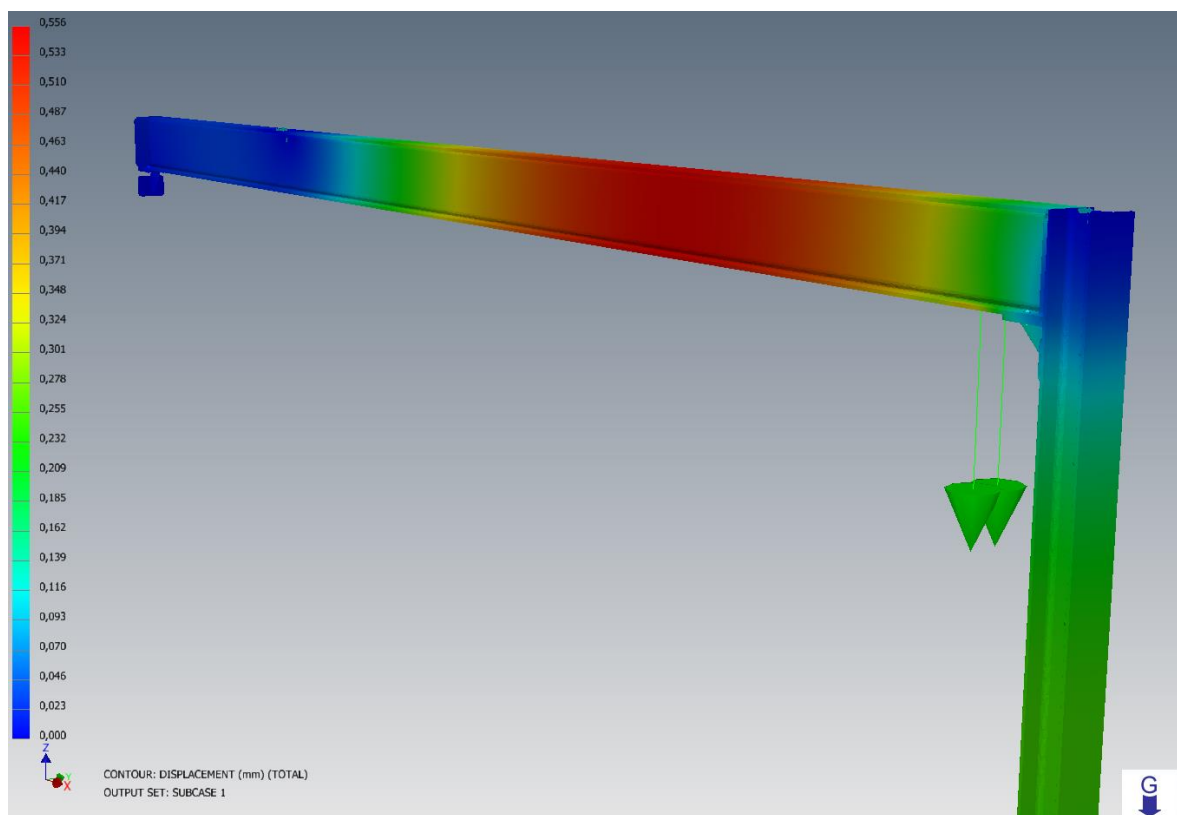
Sele 3.11 FEM tulemus – Pinged. Rakendatav jõud tala keskmise ja tagumise kinnituse vahel.



Sele 3.12 FEM tulemus – Läbipaine. Rakendatav jõud tala keskmise ja tagumise kinnituse vahel.



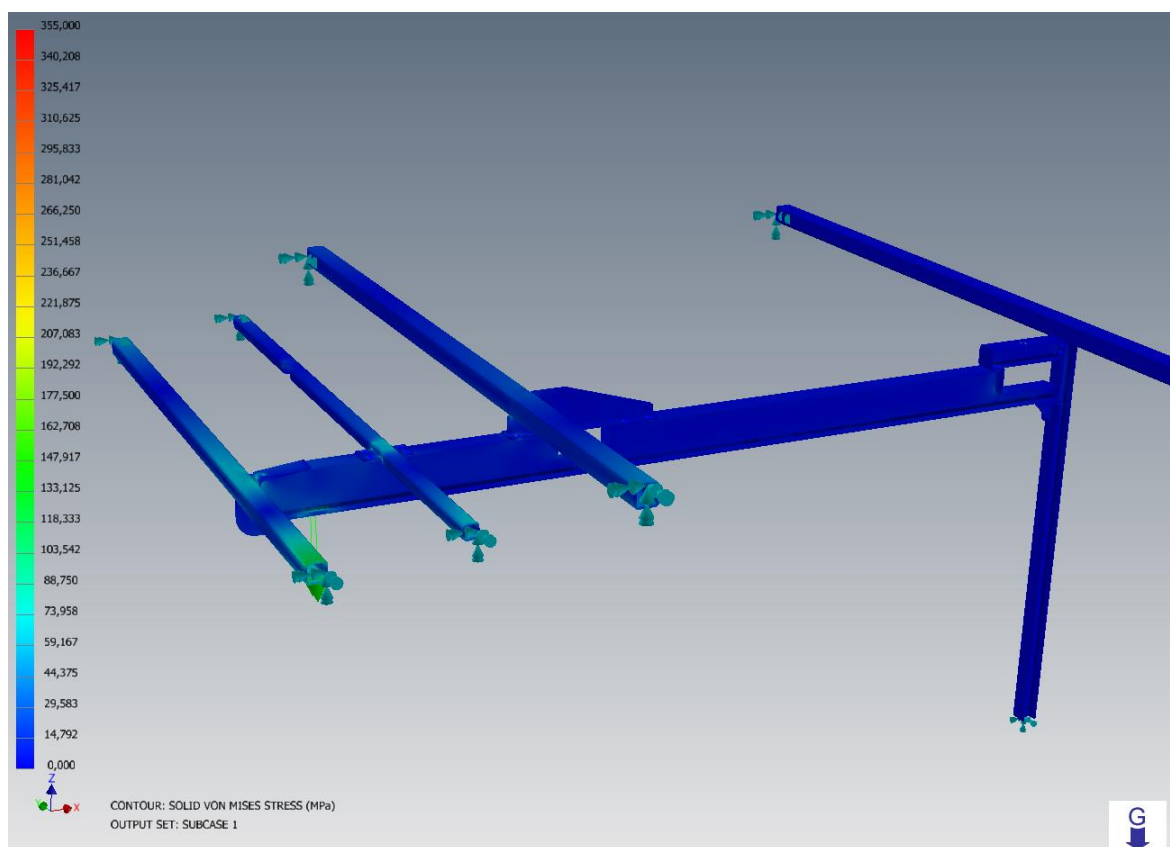
Sele 3.13 FEM tulemus – Pinged. Rakendatav jõud maksimaalselt tala tagumise kinnituse lähedal.



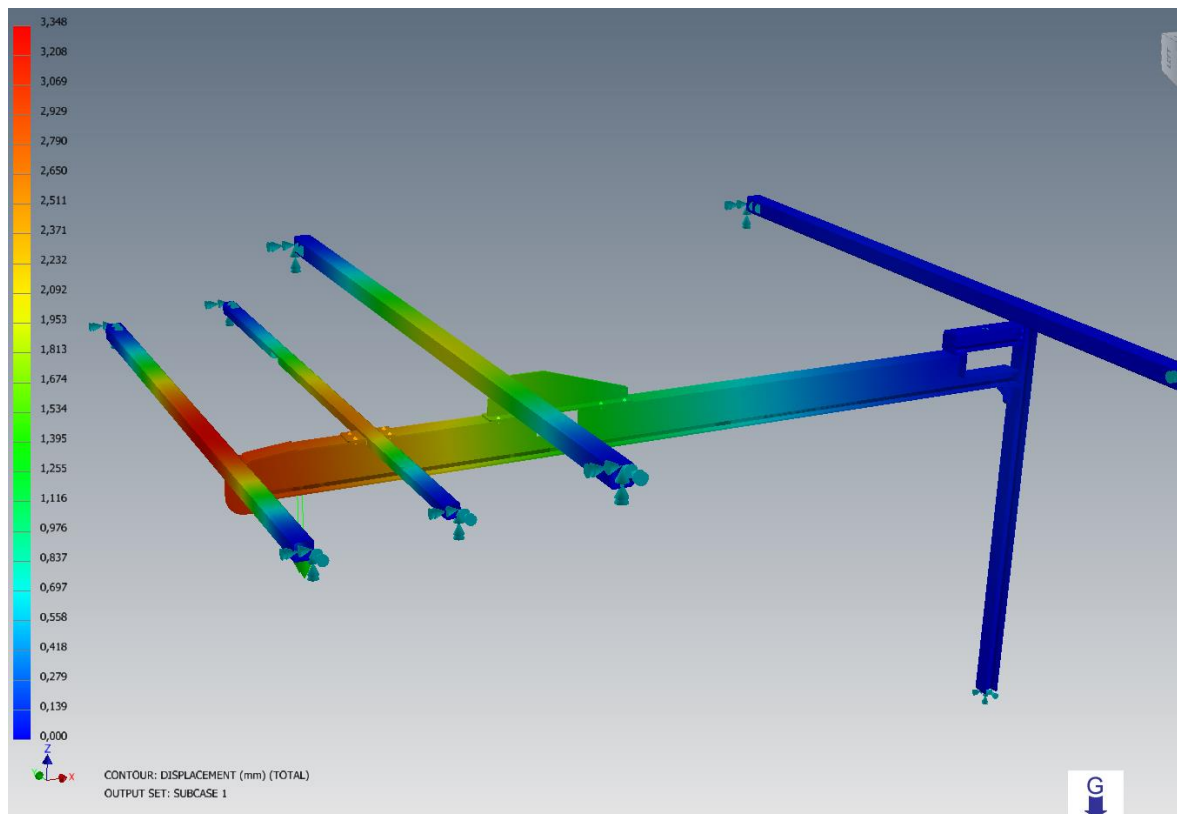
Sele 3.14 FEM tulemus – Läbipaine. Rakendatav jõud maksimaalselt tala tagumise kinnituse lähedal.

3.3 Ülemiste tõstetalade tugevusarvutused

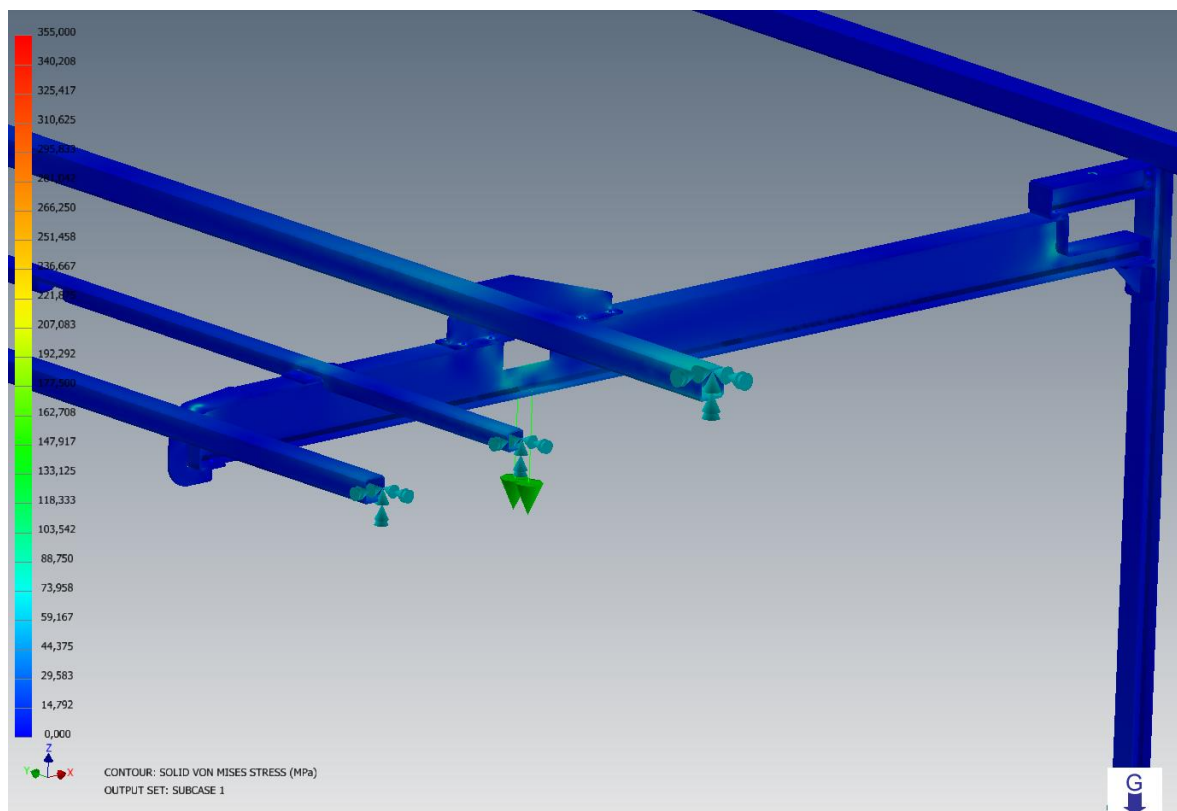
Ülemised tõstetalad on samasugused, simulatsioonid on läbi viidud ühe tõstetala peal. Tõstetala koosneb IPE240 profiilist ja selle väljalõigete peale keevitatud 10 mm paksusega plaatidest. Talad on kinnitatud tagumisest otsast olemasoleva raami külge keevitatud lisatalade külge poltides, kasutades lisatugesid. Sarnaselt on ka keskmine kinnitus keevitatud olemasoleva konveieri tala külge ning see polditakse tõstetala külge. Eesmisest otsast on tala polditud kinnituste külge mis keevitatakse ülemise lisaraami külge. Tala pikkuseks on 4750 mm. Tala materjaliks on konstruktsiooniteras S355J2, plaatdetailide materjaliks on S355J2+N. Tala peab kannatama 1000 kg koormust kolmekordse varuteguriga. Rakendatud jõud on 30 kN. Koormust on simuleeritud neljas asukohas – maksimaalsest tala eesmise kinnituse lähedal, tala keskmise väljalõike keskel, tagumiste kinnituste vahel ja maksimaalselt tagumise kinnituse lähedal. Talas tekkinud maksimaalne pinge 352,6 MPa ja läbipaine 3,507 mm tekkisid olukorras, kus koormus oli rakendatud tala keskmise väljalõike keskel. Tekkinud pinge ja läbipaine ei ületanud materjali voolepiiri väärtust – tala tugevus on tagatud.



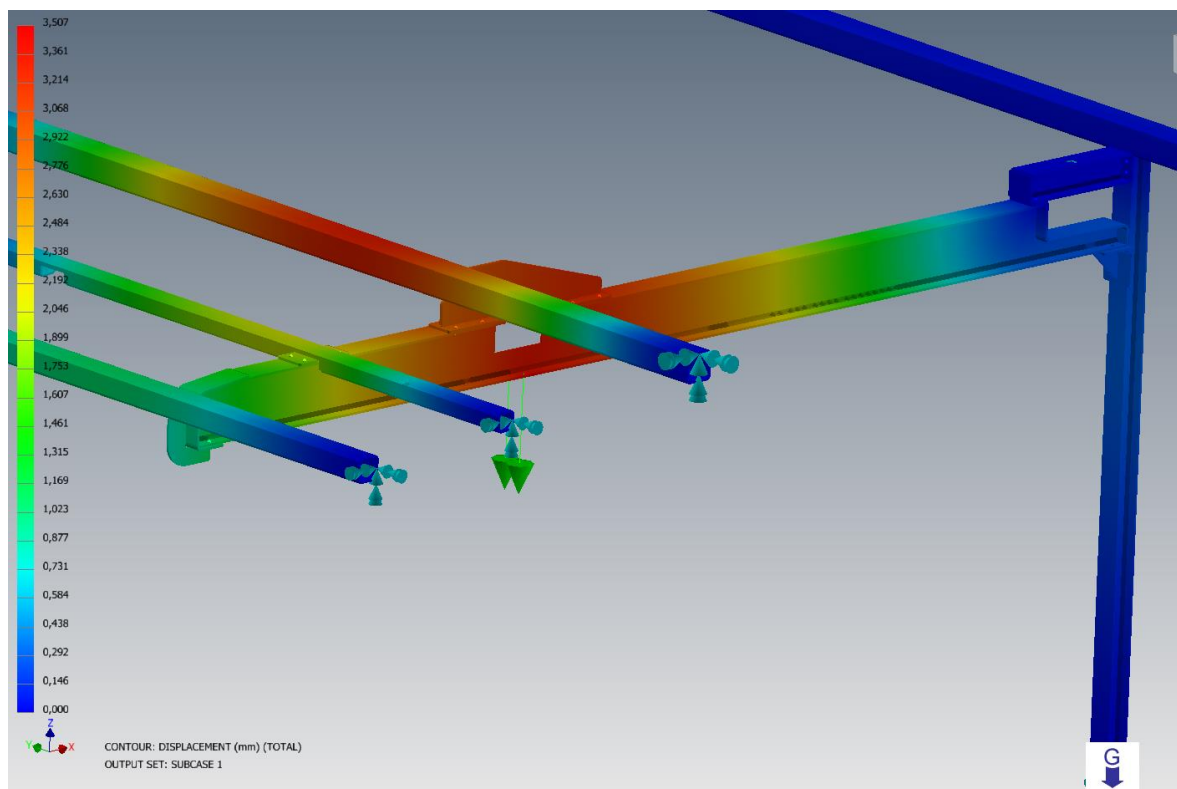
Sele 3.15 FEM tulemus – Pinged. Rakendatav jõud maksimaalselt tala eesmise kinnituse lähedal.



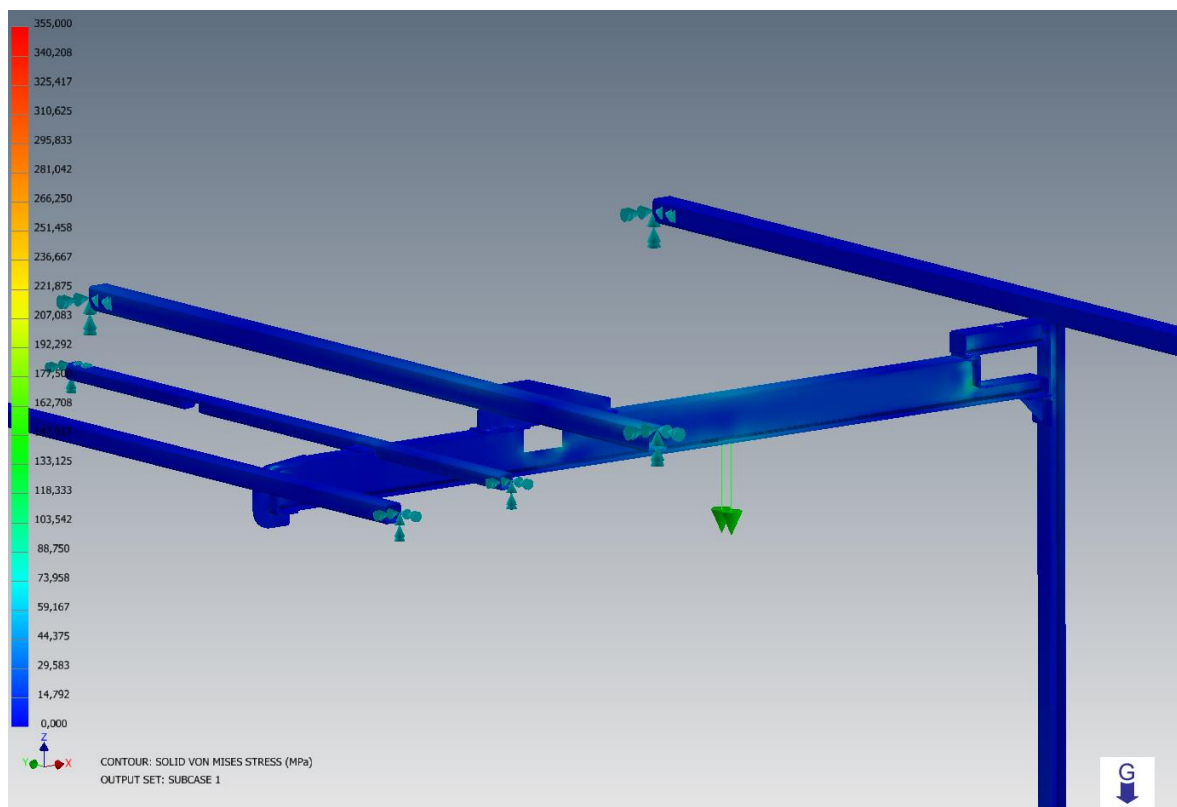
Sele 3.16 FEM tulemus – Läbipaine. Rakendatav jõud maksimaalselt tala eesmise kinnituse lähedal.



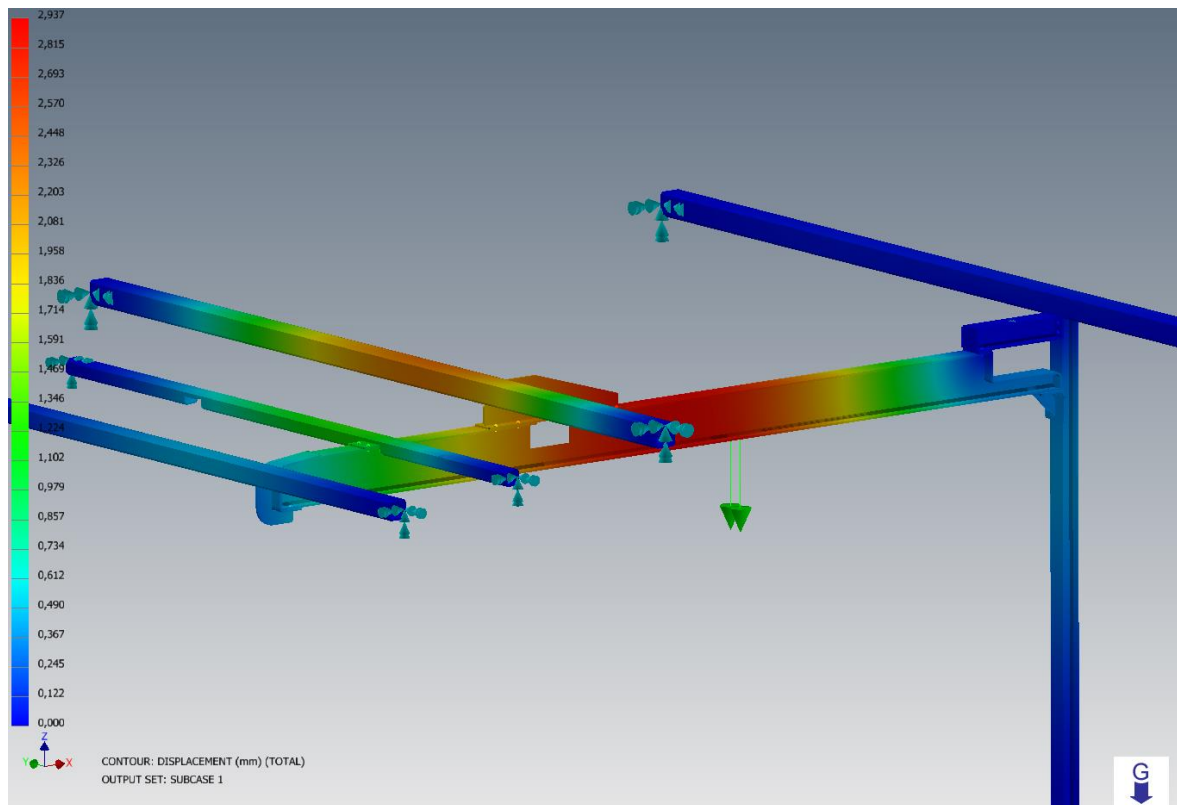
Sele 3.17 FEM tulemus – Pinged. Rakendatav jõud tala keskmise väljalõike keskel.



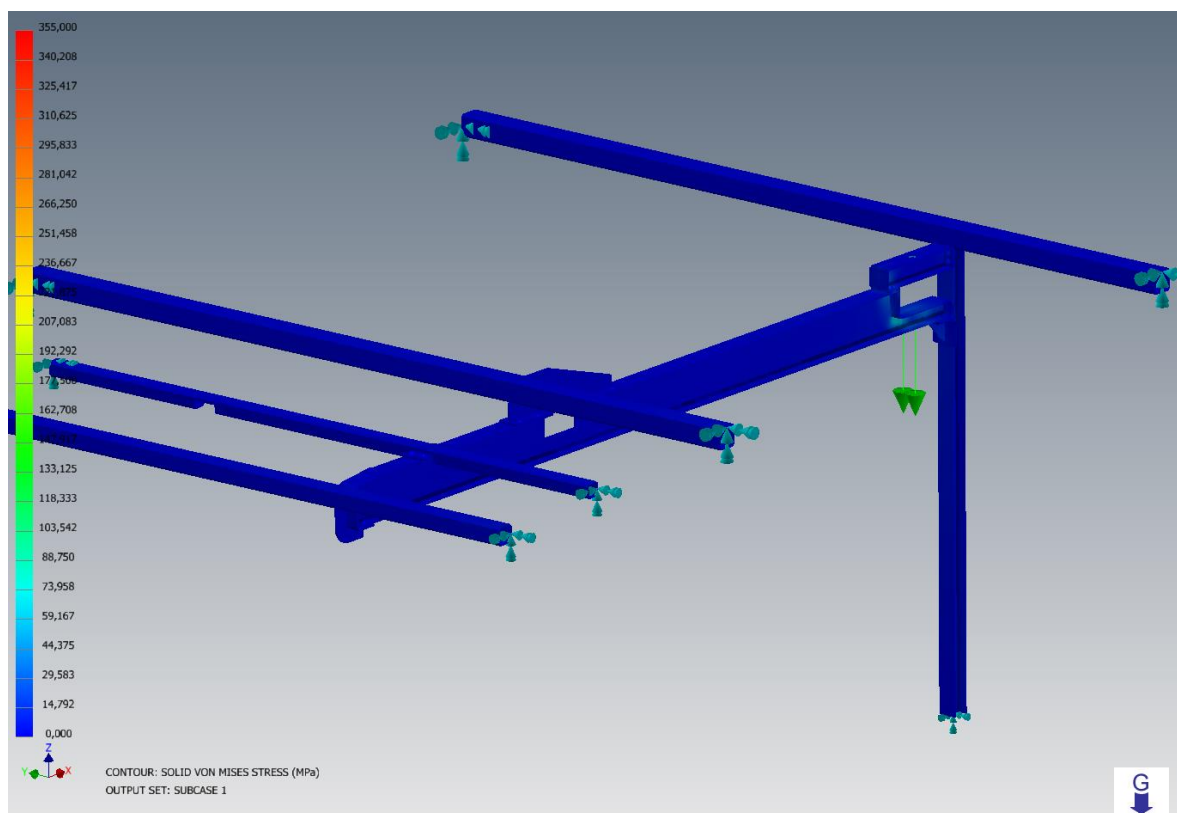
Sele 3.18 FEM tulemus – Läbipaine. Rakendatav jõud tala keskmise väljalõike keskel.



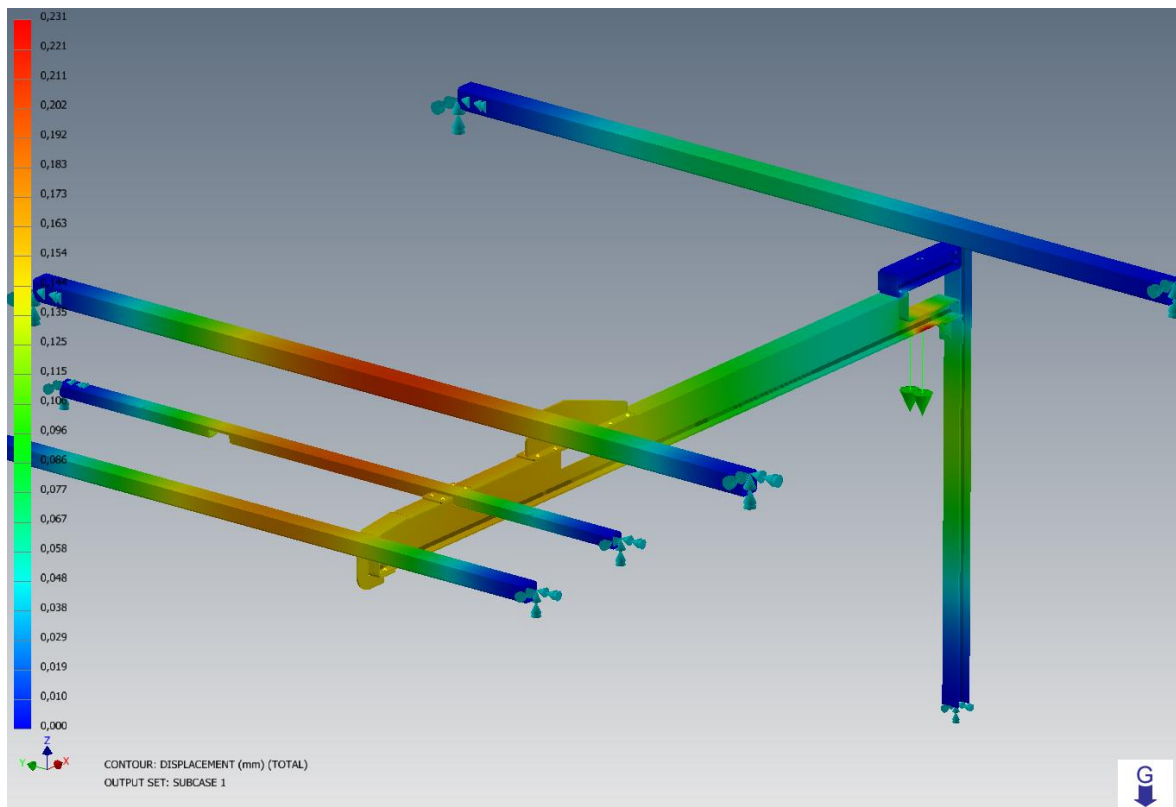
Sele 3.19 FEM tulemus – Pinged. Rakendatav jõud tagumiste kinnituste vahel.



Sele 3.20 FEM tulemus – Läbipaine. Rakendatav jõud tagumiste kinnituste vahel.



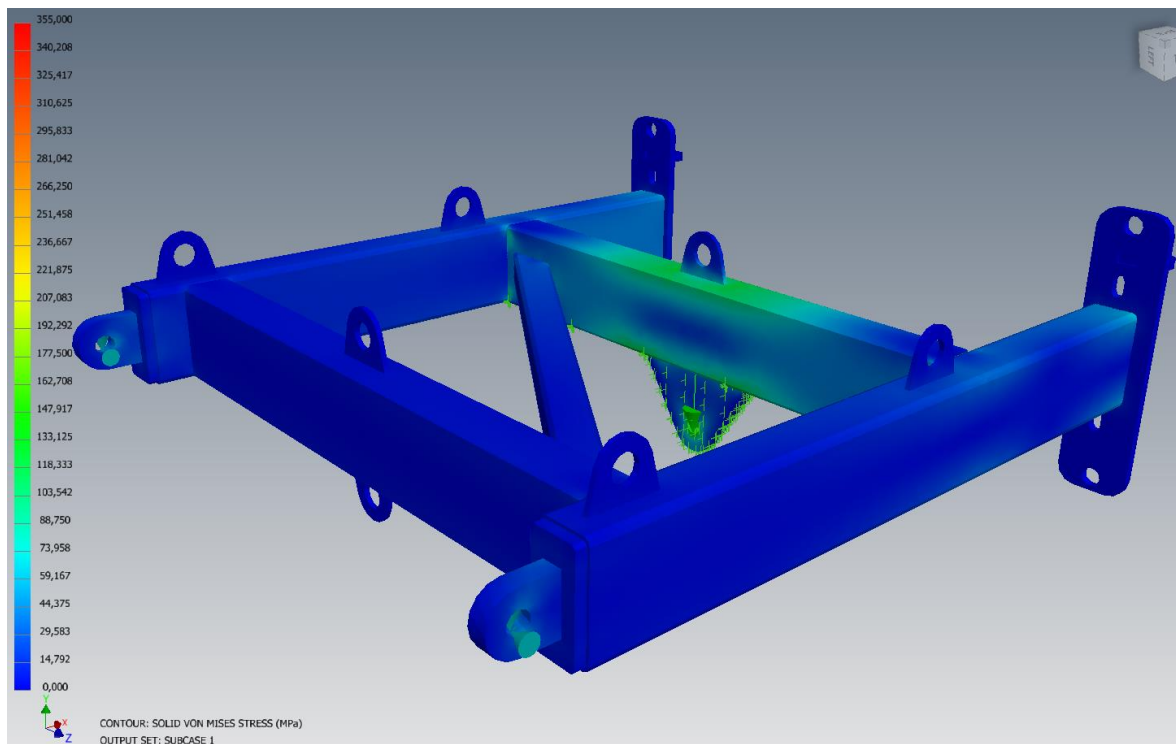
Sele 3.21 FEM tulemus – Pinged. Rakendatav jõud maksimaalselt tagumise kinnituse lähedal.



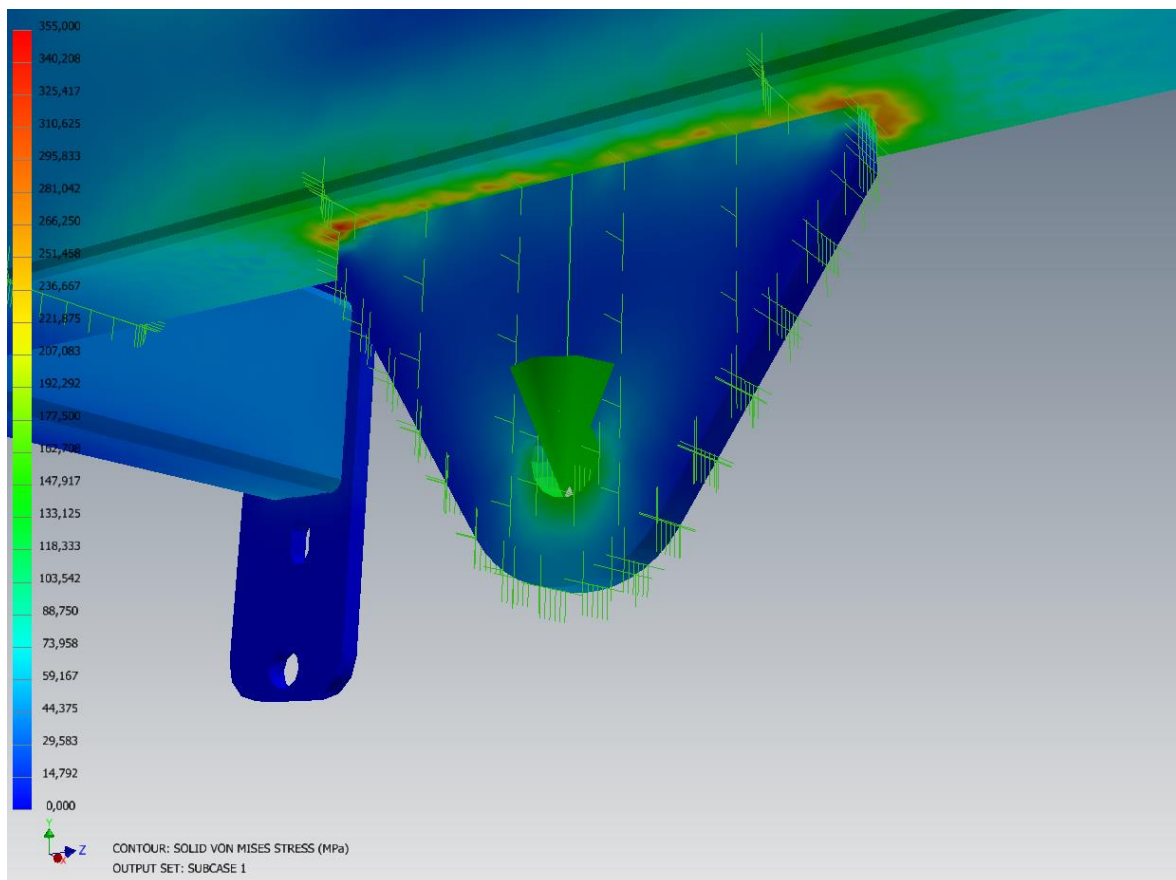
Sele 3.22 FEM tulemus – Läbipaine. Rakendatav jõud maksimaalselt tagumise kinnituse lähedal.

3.4 Pingutusrulliku raami tugevusarvutused

Pingutusrulliku raamil on kontrollitud vasturaskuse kinnituse tugevust. Vasturaskus kinnitub seekliga raamis külge keevitatud kinnitusplaadi külge. Kinnitusplaat on tehtud 20 mm paksusega lehtmaterjalist S355J2+N. Tala mille külge kinnitusplaat keevitatakse on 200 x 100 x 5 nelikant toruprofiil. Vasturaskuse väärtuseks on 2800 kg. Nõutud varutegur on 3. Kinnitusplaadile rakendatud jõud on 84 kN. Konstruktsioonis tekkinud maksimaalne pinge on 346,2 MPa, mis tekkis kinnitusplaadi ja profiili ühenduskohas. Simulatsioonis pole lisatud keeviskaatetit, mis tegelikult viib kinnitusplaadi ja profiili vahel tekkinud pinged väiksemaks.



Sele 3.23 FEM Tulemus – pinged. Pingutusrulliku raam.



Sele 3.24 FEM Tulemus – pinged. Pingutusrulliku raami vasturaskuse kinnitusplaat.

Kinnitusplaadi tugevuse kontroll:

$$\sigma_t = \frac{F}{S} = \frac{84000}{1640} = 51,22 \text{ MPa} < 355 \quad (3.4)$$

kus σ_t – pinge, MPa,

F – tõmbejõud, N,

S – ristlõikepindala, mm²

$$F = 3 * 28\,000 \text{ N} = 84\,000 \text{ N}$$

$$S = 1640 \text{ mm}^2$$

4. LÕPPTULEMUS

Konstruksiooni paigaldus toimus konveieri seisakuks planeeritud ajavahemiks ning lõpetati tähtaegselt ilma suuremate probleemideta. Piltidel on lisatud konstruksiooni osad helesinise värvusega (Sele 4.1, Sele 4.2, Sele 4.3). Konveier alustas tööd 18.10.2019 ning selle juurde projekteeritud uus pingutussüsteem on sellest ajast töötanud ilma tõrgeteta.



Sele 4.1 Valmis konveieri uus pingutussüsteem



Sele 4.2 Konveieri pingutussüsteemi paigaldus



Sele 4.3 Konveieri pingutussüsteemi paigaldus väljast

KOKKUVÕTE

Magistritöö kirjeldab Põhja-Rootsis asuvale metallitööstusettevõttele tehtava rauapelleti konveieri pingutussüsteemi ümberehituse projekteerimise protsessi. Töös on täpsemalt lahti kirjutatud konveieri pingutussüsteemi võimalikud lahendused, valitud pingutussüsteemi ja sellega kaasnevate osade projekteerimine ja olulisemate osade tugevusarvutused ja simulatsioonid.

Uuele konveieri pingutussüsteemile pakuti kokku välja neli uut erinevat lahendust. Välja pakutud lahenduste seast otsustati koos kliendiga, et kõige sobivam oli lahendusvariant nr. 3. See lahendusvariant osutus valituks, kuna see sobib kõige paremini konveierile, mis on maapinnast kõrgemale tõstetud ning lisaks hoiab vasturaskus konveieri rihma pinges isegi siis kui konveieri rihm hakkab välja venima. See lahendus sisaldas olemasoleva konveieri raamile suunavate rullikute lisamist, mis suunavad konveieri rihma lisa pingutusrullikule, mille raami külge on omakorda kinnitatud vasturaskus, tekitamaks konveieri rihmas piisava pingutusjõu.

Uue pingutussüsteemi osadena sai projekteeritud konveieri rihma suunavate lisarullikute raam, pingutusrulliku raam ja maapinnal asetsev vasturaskuse konstruktsioon. Lisaks pingutussüsteemile sai projekteeritud olemasoleva ehitise juurdeehitus, et pingutusrullik koos raamiga jääks konveieri ehitise sisse. Olemasolevale ehitisele lisati juurde ka tugevdavad konstruktsioonid, et olemasoleva ehitise konstruktsioon poleks liiga koormatud.

Peale projekteerimist kontrolliti FEM simulatsioonidega uute konstruktsioonide tugevust. Olemasoleva ehitise ja juurdeehituse raami tugevuse kontrolli teostas Rootsi ehitusinseneribüroo NBP. Käesolevas magistritöös viidi läbi lisatõstetalade ja pingutusrulliku raami tugevussimulatsioonid tarkvaras Autodesk Inventor Nastran.

Lõpptulemusena valmis 10 kuuga konveierile uus pingutussüsteem. Konveieri töö, millele tehti uus pingutussüsteem taastati 18.10.2019 ning siiani on selle töö kestnud ilma tõrgeteta. Konstruktsioonide paigaldus sujus ilma suuremate tõrgeteta ja mahtus vahetuse planeeritud ajavahemikku. Sellest lähtuvalt võib teostatud projekteerimistööd õnnestunuks lugeda.

SUMMARY

The master's thesis describes the process of designing the reconstruction of an iron pellet conveyor tensioning system for a metal industry company in northern Sweden. Possible solutions of the conveyor tensioning system, design of the selected tensioning system, accompanying parts, strength calculations and simulations of the most important parts are described in more detail in the work.

A total of four new solutions were proposed for the new conveyor tensioning system. Among the proposed solutions, it was decided together with the client that the most suitable solution was no. 3. This solution proved to be chosen because it is best suited for a conveyor that is raised above the ground and, in addition, the counterweight keeps the conveyor belt taut even when the conveyor belt begins to stretch. This solution involved the addition of guide rollers to the frame of the existing conveyor, which guides the conveyor belt to an additional tensioning roller, to the frame of which a counterweight is attached, to create a sufficient tensioning force on the conveyor belt.

As part of the new tensioning system, the frame of the additional rollers guiding the conveyor belt, the frame of the tensioning roller and the construction of the counterweight on the ground were designed. In addition to the tensioning system, an extension to the existing building was designed so that the tension roller with the frame would remain inside the conveyor building. Reinforcing structures were also added to the existing building so that the structure of the existing building would not be overloaded.

After design, the strength of the new structures was checked by FEM simulations. The strength of the frame of the existing building and extension was checked by the Swedish Civil Engineering Bureau NBP. In this master's thesis, strength simulations of additional lifting beams and tensioning roller frame were performed in Autodesk Inventor Nastran software.

As a result, a new tensioning system was completed for the conveyor in 10 months. The work of the conveyor, for which a new tensioning system was made, was restored on 18.10.2019 and so far this work has continued without any problems. The installation of the structures went smoothly without major problems and fit into the planned period of the replacement. Based on this, the performed design work can be considered successful.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Faro veebileht [*Online*]
<https://www.faro.com/products/construction-bim/faro-focus/features/>
(24.05.2018)
2. SKF veebileht [*Online*]
<https://www.skf.com/group/products/mounted-bearings/bearing-housings/split-pillow-block-housings-snl-2-3-5-6-series/productid-SNL%20518-615%20%2B%201218> (13.05.2020)
3. Troax tootekataloog – paneelid [*Online*]
https://old.troax.com/sites/all/files/files/product_sheet_-_panel_st30_en.pdf
(13.05.2020)
4. Certex veebileht [*Online*]
<https://www.certex.ee/tooted/ketid-ja-komponendid/seeklid/seekel-tuup-831-omega-p95142> (13.05.2020)
5. Troax tootekataloog – piirdeaedade ukseid [*Online*]
https://old.troax.com/sites/all/files/files/productsheet_-_single_hinged_door_en.pdf (13.05.2020)
6. Certex veebileht [*Online*]
<https://www.certex.se/produkter/lyftkomponenter/lyftoglor/lyftoglemutter-din-582-p44498> (13.05.2020)
7. Certex veebileht [*Online*]
<https://www.certex.ee/tooted/ketid-ja-komponendid/seeklid/omega-seekel-klass-8-p81267> (13.05.2020)
8. Certex veebileht [*Online*]
<https://www.certex.ee/tooted/trossitarvikud/trossilukud-ja-kiilupesad/kiilupesa-tuup-3000-p71484> (13.05.2020)
9. Profilplat veebileht [*Online*]
<https://profilplat.se/trp-45/> (13.05.2020)
10. EVS-EN ISO 14122-1:2016 – Masinate ohutus. Püsijuurdepääsuvahendid masinatele. Osa 1: Kinnitatud vahendite valimine ja juurdepääsu üldnõuded.
11. Mehaanikainseneri käsiraamat / üldtoimetaja P.Kulu. Tallinn: TTÜ Kirjastus 2012

LISA 1 – Punktipilve registreerimise aruanne

LISA 2 – Joonised