



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

KONSOOLKRAANA MODERNISEERIMINE
MODERNIZING JIB-CRANE

Masinaehitustehnoloogia
ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Martin Kaur
Üliõpilaskood: 182708
Juhendaja: Igor Penkov

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.

"5." juuni 2022

Autor: Martin Kaur
/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle esitatud nõuetele
"5" juuni 2022

Juhendaja: Igor Penkov
/ allkiri /

Kaitsmisele

"...." 20.....

lubatud

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Martin Kaur (sünnikuupäev: 10.09.1993)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Konsoolkraana moderniseerimine mille juhendaja on Igor Penkov,
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas 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 punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Martin Kaur, 182708

Õppekava, peeriala: EDJR Masinaehitus

Juhendaja: Vanemlektor, Igor Penkov, igor.penkov@ttu.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Konsoolkraana moderniseerimine

(inglise keeles) Modernizing jib-crane

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Erinevat tüüpi tehasesiseste kraanadega tutvumine
2. Ettevõttes kasutatava kraana ja töökeskkonna kirjeldamine.
3. Probleemi sõnastamine ja parandusettepanekute tegemine
4. Moderniseeritud kraana karakteristikute arvutamine
5. Moderniseeritud kraana modelleerimine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Sissejuhatus ja kraanade tüübid	3.04
2.	Ettevõttes kasutatava kraana kirjeldus ja töökeskkond	17.04
3.	Probleemi välja toomine ja arvutused paranduseks	31.04
4.	Uue kraana modelleerimine ja järelduste tegemine	18.05
5.	Kokkuvõte ja töö viimistlus	20.05

Töö keel: EESTI

Lõputöö esitamise tähtaeg: "20" mai 2022. a

Üliõpilane: Martin Kaur

"07" mai 2022. a

Juhendaja: Igor Penkov

"08" mai 2022. a

Programmijuht: Veronika Shirookova

"08" mai 2022. a

SISUKORD

EESSÕNA	6
SISSEJUHATUS	8
1 KRAANADE ÜLDKIRJELDUS	9
1.1 Pukk-kraana	9
1.2 Sildkraana	10
1.2.1 Ühe talaga sildkraana	10
1.2.2 Kahe talaga sildkraana	11
1.3 Tööjaama kraana	11
1.4 Monorelss kraana	12
1.5 Konsoolkraana	13
2 ETTEVÕTTES KASUTATAVA KONSOOLKRAANA ÜLDKIRJELDUS	14
2.1 Sammas	15
2.2 Raam	16
2.3 Vints	17
2.4 Vaakumhaarats	18
3 KONSOOLKRAANA TOOTEARENDEUS	19
3.1 Raami arvutus	19
3.2 Samba arvutus	24
3.2.1 Samba tugevus	24
3.2.2 Samba stabiilsus	25
3.2.3 Samba ja alusplaadi vaheline keevisühendus	26
3.3 Alusplaadi poltliide	27
3.4 Vintsi valimine	29
3.5 Vaakumhaaratsi valimine	29
4 KONSOOLKRAANA MODELLEERIMINE	30
4.1 Samba modelleerimine	30
4.2 Kinnitustift	30
4.3 Raam	31
4.4 Kooste	31
4.5 Staatikaanalüüs (FEA)	32
KOKKUVÕTE	35
SUMMARY	36
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	37
LISAD	38

EESSÕNA

Lõputöö teema mõte tekkis autoril Soome ettevõttes Laserle Oy töödates ning peale pikemat tööd tõsteseadmega, leiti töövahendi puudused, mida tõi välja ka kaastöötajad. Teema sõnastati koostöös lõputöö juhendajaga.

Kuna antud töövahendi karakteristikuid tootjalt saada ei olnud võimalik, pidi autor iseseisvalt tehnilised andmed välja selgitama visuaalse mõõtmise ning internetist saadud teabe abil.

Autor avaldab tänu mõistvale juhendajale ning toetavale ja motiveerivale kaaslasele.

Märksõnad: Tõsteseadmed, tootearendus, raalprojekteerimine, diplomitöö

Lühendite ja tähiste loetelu

ρ - tihedus, Pa

M_A - moment punktis A ,N·m

F – Jõud, N

L_2 - pikkus kriitilisest punktist, m

σ - pinge, Pa

W - tugevusmoment, cm^3

[σ] - piirpinge, Pa

R_{eH} - voolavuspiir, Pa

S - varutegur

I - inertsimoment, mm^4

N - tõmbejõud, N

σ_N - survepinge, Pa

σ_M - paindepinge, Pa

E - elastusmoodul, GPa

$\sigma_{(max)}$ - maksimaalne pinge, Pa

i - inertsiraadius, mm

λ - saledus

τ – lõikepinge, Pa

SISSEJUHATUS

Soome firma Laserle Oy alustas tööd aastal 1992 ühe laserlõikusmasinaga ja kolme töötajaga. Tänapäeval töötab tootmisettevõtte kolme laserlõikusmasina, kahe vesilõikusmasina, kolme painutusmasina ning keevitusosakonnaga. Firma tegeleb lehtmetsa ja mittemetalli detailide töötlemise ja lõikamisega. Lisaks sellele on võimalik teostada ka koostelahendusi. Tegeletakse nii üksikdetailide tootmisega eraklientidele kui ka suurema mahuliste tellimustega suurfirmadele mille puhul on võimalik pakkuda ka alltöövõtu teenust. Klientide valdkonnad on paberitööstus, laevandustööstus, raudtee- ja veandustööstus, energiatööstus, toidutööstus, ehitus, keskkond kui ka kunstivaldkond.

Lõputöö käsitleb tootmisettevõttes kasutatava konsolkraana tootearendust ja täiustamist vastavalt vajadustele. Kraanat kasutatakse peamiselt toetava tõstemasinana fiiberlaserlõikusmasina tööalale materjali kandmiseks. Lisaks sellele kasutatakse kraanat ka vajadusel materjali ümbertõstmiseks või teiste tõstetööde tegemiseks.

Töö eesmärgiks on uurida erinevaid tehasesiseseid kraanasid, kaardistada olemasoleva konsolkraana puudused seoses töökoja eripäradega, analüüsida töökoha erisusi ja tuua välja probleemid mis pärsivad kraanaga efektiivset töötamist ning pakkuda välja parendus ettepanekuid.

Töö esimeses osas tutvustatakse erinevaid tsehhisiseseid tõstekraanasid ja nende eripärasid. Lähemalt uuritakse pukk-kraanat, ühe ja kahe talaga sildkraanat, tööjaama kraanat, monorelss kraanat ning konsolkraanat. Seejärel tutvub autor ettevõttes kasutatava konsolkraanaga ning tegeleb probleemi väljaselgitamisega. Kolmandas osas tegeleb autor tootearenduse ning arvutustega mille abil lahendab antud probleemid. Neljandas osas tegeleb autor arendatud kraana modelleerimisega ning esitab projekteeritud mudeli.

1 KRAANADE ÜLDKIRJELDUS

Kuna antud tehases tehtav töö hõlmab endast nii kergemate kui raskemate materjalide tõstmist siis hõlbustamaks töötajate tervist, töö jätkusuutlikust ja töö efektiivsust on vaja kasutada tõstetöödel kraana abi.

Kuna antud töös kasutatav kraana on kasutusel tehase sees, siis uurime lähemalt tsehhisiseseid kraanasid. Tsehhis töötamiseks on väga oluline valida õige kraana kui on vaja teha tõstetöid, kuna ettevõtte jaoks on kulukas kui valitakse liiga suure jõudluse ja tööalaga kraana või väga ebaefektiivne kui valitakse liiga väikse jõudluse või väikse tööalaga kraana. Erinevateks tsehhisesteks kraanadeks võivad olla näiteks pukk-kraana, sildkraana, tööjaama kraana, monorelsskraana või konsoolkraana.

1.1 Pukk-kraana

Pukk-kraana on tavaliselt sild, mis asub jalgadega puki peal, mille rattad toetuvad kas kraanateele või on vabalt liikuvad. Mehhanismid sarnanevad sildkraana mehhanismidega.



Joonis 1. Erikkilä Pukk-kraana.

Pukk-kraanad võivad olla erineva suurusega alustades väiksematest kraanadest, mis mahuvad väiksesse tsehhi või autotöökotta ning mille tõstevõime on kuni 3 tonni.

Maailma suurimaks pukk-kraanaks on Taisun, mis opereerib Hiinas ja kasutatakse suuremamahuliste naftaplatvormide osade koostetöödeks ja laevaehituseks.

Tõstevõimeks on 20000 t ning rekorditaraamatus on Taisuni nimel kolm maailma kõige raskemat tõstet. Tõstekõrguseks on kraanal 80 m. [1]



Joonis 2. Taisun pukk-kraana Hiinas.

1.2 Sildkraana

Sildkraana koosneb rööbastel liikuvast sõidumehhanismiga kraanasillast ning piki silda liikuvast tõste- ja sõidumehhanismiga lastivankrist. Sildkraanad ehitatakse tavaliselt siseruumidesse ja kraanasilla rööpad toetuvad hoone struktuurile. Sellistel kraanadel on alati tõstuk, mis liigub pikki silda ja sild ise liigub mööda rööpaid, mis liiguvad terve tehase ulatuses edasi-tagasi. Sildkraanad jaotuvad ühe ja kahe talaga sildkraanadeks.

Sildkraanasid kasutatakse tavaliselt autotööstuses ja paberitööstuses. Tsehhisees on sildkraanal erinevalt teistest kraanadest kõige suurem tõstevõime. See kraana on efektiivne, kui on vaja tõsta suuri raskuseid tehase siseselt erinevatesse kohtadesse.

1.2.1 Ühe talaga sildkraana

Ühe talaga sildkraanal on üks I-tala, mis toetab lastivankrit. Seda tüüpi kraanad on üldiselt kergemad ja nende tõstevõime on väiksem. Sellest olenemata suudavad ühe talaga sildkraanad tõsta suurt raskust võrreldes teiste kraanadega.

Tavaliselt kuni 20 t. Sildeava kuni 26 m. [2]



Joonis 3. Ühe talaga sildkraana.

1.2.2 Kahe talaga sildkraana

Kahe talaga sildkraanadel on lasti toetuseks kaks I-tala. Sellised kraanad on tavaliselt raskemad kraanad ja nende tõstevõime on mitu korda suurem kui ühe talaga kraanadel.

Suurimate kahe talaga sildkraanade tõstevõime võib olla kuni 100 t ning sildeava kuni 36 m. [2]



Joonis 4. Kahe talaga sildkraana.

1.3 Tööjaama kraana

Tööjaama kraanad on olemuselt väga sarnased sildkraanadega kuid erinevus seisneb selles, et eelnimetatud kraana ei vaja toetuseks tugeva struktuuriga tsehi konstruktsiooni vaid neid toestab maakülge kinnitatud raam. Tehases on võimalus, et

tõstevõimekust ei vaja terve tehas vaid kindlad töökojad ja seetõttu on tõstevõimekus üle tehase ebavajalik ja ebaefektiivne. Kui tegemist on väiksema tootmishoonega võib tekkida oht, et tehase konstruktsioon ei kannata suurt kandevõimet. Tööjaama kraanad on populaarsed autotöökodades ja kuna nad ei vaja tugevat hoonestruktuuri võib neid paigutada kõikjale ning lisaks sellele saab neid ka üksteisega ühendada, et luua näiteks koosteliine. Neid saab kasutada ka suurtehasest kus ei ole ruumi ega vajadust kraanale mille tööala kataks tervet tehasi.

KYZZ
INDUSTRY



Joonis 5. Tööjaama kraana.

1.4 Monorelss kraana

Monorelss on ainulaadse väljanägemisega kraana süsteem. Ainulaadsus väljendub selles, et tõstuk ei liigu edasi-tagasi nagu eelnevatel kraana süsteemidel vaid see liigub vajadusel ringiratast. Lisaks sellele saab monorelssi ehitada mitte ainult sirgelt vaid ka looklevalt. Sellise käänulise monorelssi eeliseks on võimekus kasutada seda koosteliinidel vastavalt vajadusele.

Monorelss kraana tõstevõimekus võib olla kuni 1,8 t. [3]



Joonis 6. Ringratta kujuline monorelss kraana.

1.5 Konsoolkraana

Konsoolkraana on tehase seinä või eraldiseisva vertikaalse samba külge kinnitatud pöördmehhanismiga horisontaalne poom, mis pöörleb olenevalt mehhanismist kuni 270 kraadi või vähem (olenevalt tööala suuruselt) ja on ühest otsast pööratav. Pöördmehhanismiks kasutatakse kahte ühenduspunkti, mis töötavad nagu ukse hinged. Poomi eesmärgiks on liigutada vankrit, mis liigub mööda poomi manuaalselt edasi-tagasi lasti liigutamiseks pikki poomi suunda. Poomi profiiliks on tavaliselt I-tala, mida mööda vanker liigub, kuid on ka teisi profile. Vankriga koos liigub kaugjuhitav elektriline tross- või kettvints mille otsas on konks ja millega tõstetakse ja langetatakse lasti.



Joonis 7. Ümara sambaga konsoolkraana.

Konsoolkraana on väga efektiivne kraana, kui on vaja teha korduvaid tõstmistöid tööraadiuses kuna see võtab vähe ruumi. Lisaks sellele on kraanad energiasäästlikud, ohutud ning hõlpsasti juhitavad ning neid saab vajadusel uuesti paigaldada kui tehase asetus muutub. Neid kasutatakse peamiselt siseruumides kuid suuremääramelisi konsoolkraanasid on võimalik kasutada ka väljaspool hooneid. Siseruumides kasutatavate kraanade maksimaalne tõstevõime on kuni 1,5 t ning tööulatus kuni 8 m.

[4]

2 ETTEVÖTTES KASUTATAVA KONSOOLKRAANA ÜLDKIRJELDUS

Antud projektis on aluseks võetud ettevõttelt Erikkila 2007.aastal installeeritud konsoolkraana, mille kandevõime on 1000 kg ja mille poomi pikkus on 5 m. Seda on vähe, kuna kraana ametlik tööraadius on 270 kraadi kuid arvestades kraana asukohta, on tegelik kasutusala umbes 90 kraadi.



Joonis 8. Konsool vasakule lükatuna. Edasi liikumist takistab fiiberlaser.



Joonis 9. Konsool paremale lükatuna. Edasi liikumist takistab riul.

Tõstetavateks materjalideks on erinevat tüüpi lehtmaterjalid nagu näiteks külmutatud teras, kuumtsingitud teras, elektrotsingitud teras, roostevaba teras (AISI 304), happekindel teras (AISI 316), merealumiinium, messing, vask. Lisaks sellele on ka erimaterjale nagu titaanium, vetruvad roostevaba terased, hõbe jne. Materjalide paksused algavad 0,2 mm kuni 30 mm olenevalt materjalist. Lehtede formaadid on kuni 3000 x 1500 mm.

Kõige raskema materjali lehe koormus kraanale.

Lehe materjal teras (tihedus $\rho = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)

$$m = V \cdot \rho$$

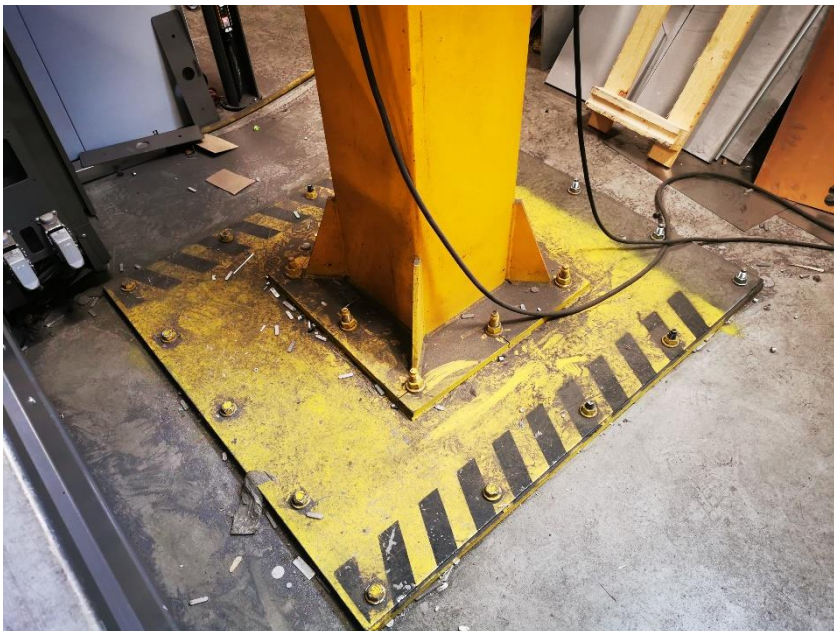
$$V = 3000 \cdot 1500 \cdot 30 = 135\,000\,000 \text{ mm}^3 = 0,135 \text{ m}^3$$

$$m = 0,135 \times 7875 \approx 1063 \text{ kg}$$

Siit tuleb välja, et äärmisel juhul on olemasoleva konsolkraana kandevõime ületatud.

2.1 Sammas

Sammas toetub 20 mm terasplaadile, millele lisaks on keevitatud stabiliseerimiseks 4 äärikut paksusega 15 mm. Sammas on seest õõnes nelinurktooru mille seinapaksus on 10 mm ja kõrgus 3,8 m.



Joonis 10. Kraanasamba alus.

Sambale on keevitatud kaks kandvat äärikut 30 kraadise nurga all nelinurk samba suhtes, mis kannavad kraana raami.



Joonis 11. Samba ülemine osa.






2.2 Raam

Raami elementideks on horisontaalne Erikkilä Prosystem profiilist poom ning kaks kaldu olevat diagonaaltuge. Diagonaal tugede ristlõike mõõtmed on 150x12 mm ja 80x10 mm. Poomi otsas on plekk, mis suleb profiili, et vanker välja ei kukuks. Raami poom ja diagonaaltoed on keevitatud pöördemehhanismi külge. Profiili plekk materjali paksus on 4 mm, kõrgus 197 mm, laius 108 mm. Profiili sees on ratastel liiguv vanker, mis kannab vabalt edasi või tagasi mööda poomi liikuvat vintsi. Poomi sees liiguvad ka plastmaterjalist elektrikaabli kandurid.



Joonis 12. Konsoolkraana külgvaade

Tabel 1. Erikkila ProSystem profiilid. Töös kasutusel profiil 200. [5]

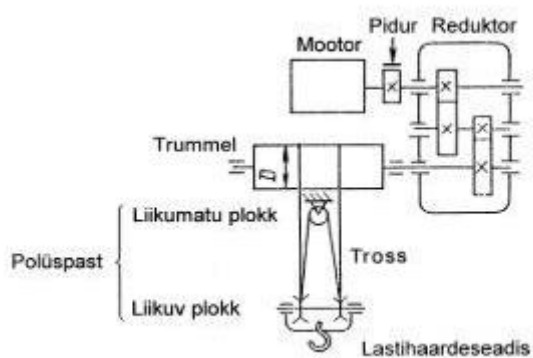
					
PROFILE	125	200	200R	260	260R
PROFILE HEIGHT (MM)	125	197	197	257	257
PROFILE WIDTH (MM)	64	108	108	108	108
WEIGHT (KG/M)	8,2	18,0	18,9	21,8	22,7
INTERNAL CONDUCTOR RAIL	-	-	●	-	●
W_y (10 ³ MM ³)	30	93	93	149	149
I_y (10 ³ MM ⁴)	1949	9130	9130	19180	19180

2.3 Vints

Kraana vintsiks on elektriline kett-tõstuk Stahl ST10, mis kinnitub vankri külge silmuse abil, millest on läbi pandud suure läbimõõduga tift.



Joonis 13. Vints Stahl ST10 infosilt.



Joonis 14. Tõstevintsi kinemaatiline skeem.

2.4 Vaakumhaarats

Lehtmaterjali tõstmiseks on antud konsolkraanal konksule riputatud elektriline vaakumhaarats Schmaltz Vacuummaster Basic, mille kandevõime on vaid 500 kg. Stahl



Joonis 15. Schmaltz Vacuummaster Basic 250 kg kandevõimega.

3 KONSOLKRAANA TOOTEARENDUS

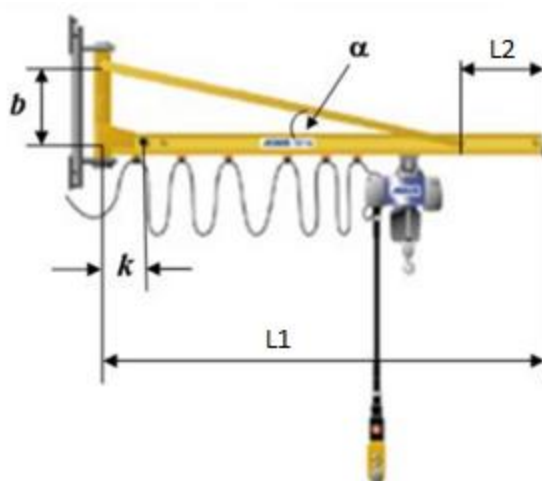
Õigesti konstrueeritud konsolkraana peaks suurendama materjali käitlemise efektiivsust ja kiirendama töövoogu. Kaasaegne tööstus nõuab mitmekülgseid, paindlikuid ja kulutõhusaid suurenenud tootlikkusega materjalikäitlusseadmeid. Nõuded on tavaliselt seotud kandevõime, ulatuse, tõstekõrguse ja liikumisvõimalustega. Peamised osad tüüpilisel sammakonsolkraanal on poom, toetusjalg ehk sammak, vints vankriga, mis liigub pikki kraana poomi. Samas konsolkraana väga oluline roll on staatilisel ja dünaamilisel stabiilsusel, mis sõltub konstruktsiooni läbipaindest. [6]

Eelnevalt analüüsitud konsolkraana puhul tuleb välja, et uus kraana peaks olema suurema kandevõimega (1000 kg - > 1200 kg) ja suurema ulatusega (5 m -> 6 m). Tõstekõrgus võib jääda samaks.

3.1 Raami arvutus

Arvutusi alustame raamist, millele mõjub otseselt koormus. Kuna lähteandmed on mõõdetud otse konsolkraanalt, sooritame arvutusi kasutades samu andmeid ka uuel kraanal.

Lähteandmed arvutuseks



$$L1 - 6 \text{ m}$$

$$b - 0,79 \text{ m}$$

$$L2 - 2,2 \text{ m}$$

$$m - 1200 \text{ kg}$$

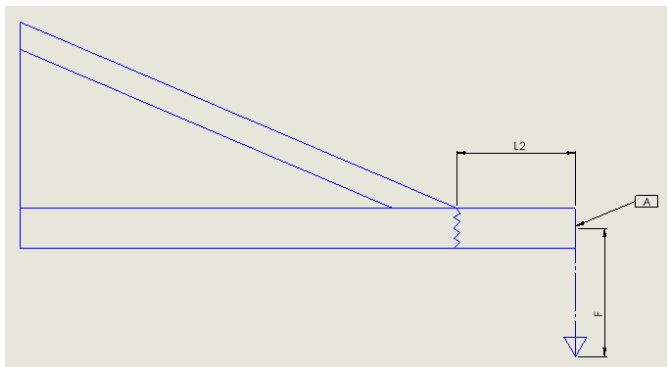
$$F = m \cdot g$$

$$F = 1200 \cdot 9,81 = \sim 12000 \text{ N}$$

Raami osade materjalideks on teras S355JR.

Joonis 16. Raami lähteandmed.

Esmalt leiame uue kraana profiili telgtugevusmomendi W . Sellejaoks, tuleb välja selgitada, milline on tugevusmoment kriitilistes punktides.



Joonis 17. Tugevusmoment punktis A.

Leiame tugevusmomendi punktis A

$$M_A = F \cdot L_2$$

$$M_A = 12 \cdot 2,2 = 26,4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tugevustingimus

$$\sigma = \frac{M_A}{W} \leq [\sigma] \quad [Z]$$

Leiame tugevusmomendi W

$$[\sigma] = \frac{R_{eH}}{S} \quad [Z]$$

$$[\sigma] = \frac{355}{3} = 120 \text{ MPa}$$

$$W \geq \frac{26,4 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^6} \approx 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 220 \text{ cm}^3$$

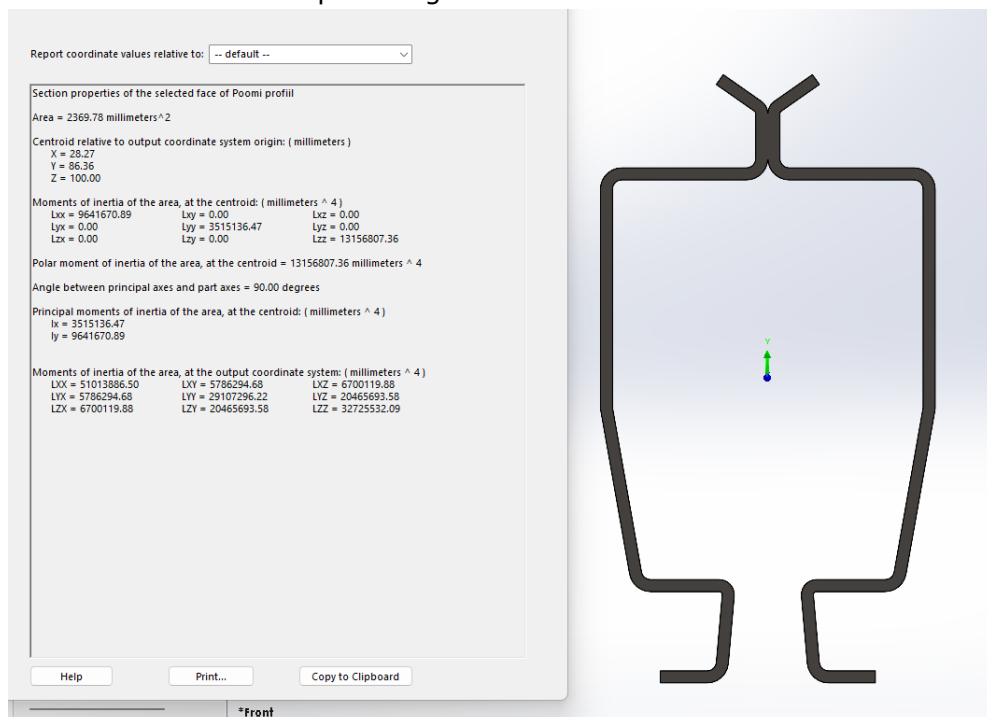
Esialgse profiili telgtugevusmomendi saab Tabelist 1.

$$W_y = 93 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 = 93 \text{ cm}^3$$

See tähendab, et antud profiil meile ei sobi.

Kuna autoril ei olnud võimalik saada Erikkila Prosystem profiili joonestamiseks, pidi autor joonestama sarnase mudeli olemas olevast profiilist. Sellejaoks võttis autor olemasolevalt kraanalt mõõtmise käigus andmed, mille abil visandas autor sarnase profiili.

Tabel 2. Olemasoleva profiili ligikaudne mudel.



Nagu tabelist 2 on näha, pakub tarkvara Solidworks võimalust modelleeritud profiili kaudu leida ka profiili inertsimomente ja pindala.

Antud andmete abil saame võrrelda kui erinevad on reaalsed andmed ning joonestatud mudeli andmed.

Erikkila Prosystem andmed Tabelist 1.

$$w_y = 93 \text{ cm}^3 \quad I_y = 913 \text{ cm}^4$$

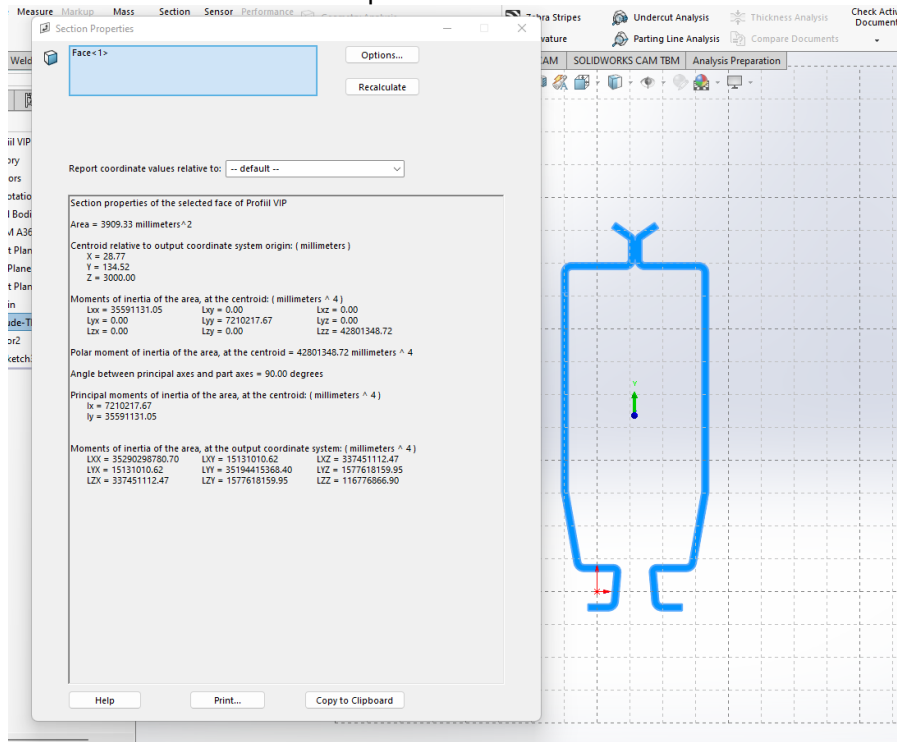
Modelleerimise käigus saadud tulemused modelleeritud profiili kohta.

$$w_y = 95,9 \text{ cm}^3 \quad I_y = 964,2 \text{ cm}^4$$

Autor leiab, et modelleeritud profiili andmed on väga sarnased antud profiili andmetega.

Uue profiili leidmiseks joonestan uue profiili, kasutades selleks samuti tarkvara SolidWorks. Antud tarkvara abil leiame ka uue profiili andmed. Profiili mõõtmised saab katsetuste tulemusel teades, et uue profiili $w_y \geq 220 \text{ cm}^3$

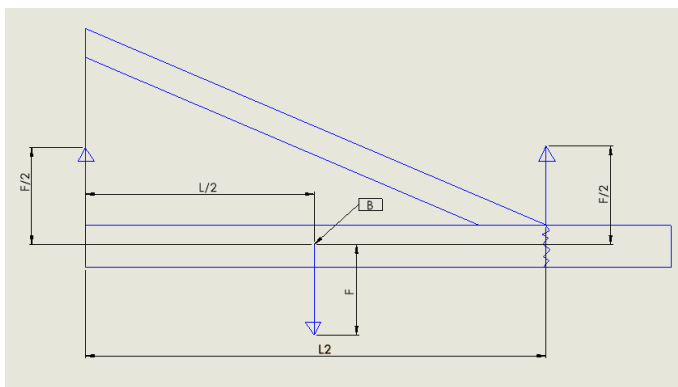
Tabel 3. Joonestatud uue profiili andmed.



Uue profiili andmed:

$$I_y = 3559,1 \text{ cm}^4 \quad w_y = 238,6 \text{ cm}^3$$

Leian tugevusmomendi punktis B.



Joonis 18. Tugevusmoment punktis B.

$$M_A = \frac{F}{2} \cdot \frac{l}{2}$$

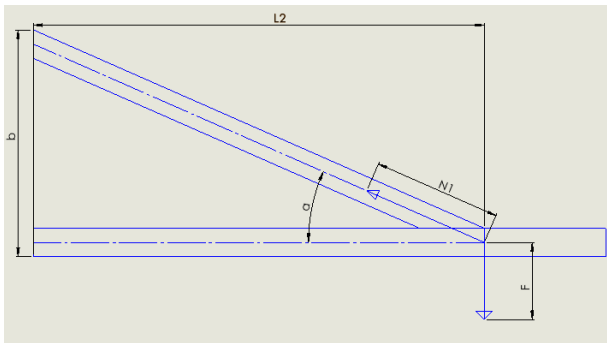
$$M_A = \frac{12}{2} \cdot \frac{3,8}{2} = 11,4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Leian telgtugevusmomendi W

$$W \geq \frac{M_B}{[\delta]} \quad [Z]$$

$$W = \frac{11,4 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^6} = 9,5 \cdot 10^{-5} = 95 \text{ cm}^3$$

Ristlõike pindala diagonaaltoele.



Joonis 19. Jõud piki diagonaaltuge.

$$\tan \alpha = \frac{b}{l_2}$$

$$\tan \alpha = \frac{0,79}{3,8} \approx 0,21$$

$$\alpha = \arctan 0,21 = 12^\circ$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iy} = 0$$

$$N_1 \cdot \sin \alpha - F = 0$$

$$N_1 = \frac{F}{\sin \alpha}$$

$$N_1 = \frac{12}{\sin 12^\circ} = 58 \text{ kN}$$

Diagonaaltoe ristlõike pindala.

$$\sigma = \frac{N_1}{A} \leq [\delta][7]$$

$$\sigma = \frac{58 \cdot 10^3}{120} = 483 \text{ mm}^2$$

$$A = b \cdot h = 483 \text{ mm}^2$$

Diagonaaltoe kõrgus

$$h = \frac{A}{b}$$

$$h = \frac{483}{12} = 40 \text{ mm}$$

Antud kraana diagonaaltoe kõrgus on 150 mm ja paksus 12 mm. See sobib projekteeritavale kraanale.

3.2 Samba arvutus

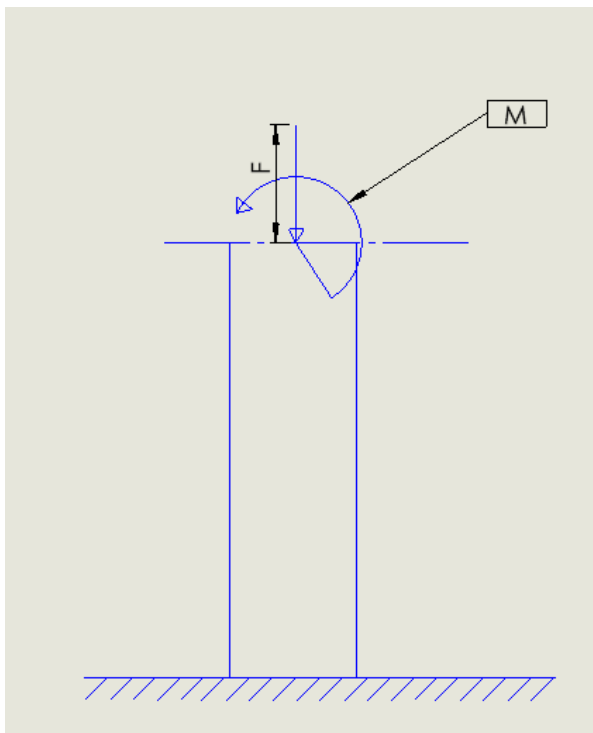
3.2.1 Samba tugevus

$$F = 12 \text{ kN}$$

$$M = F \cdot l$$

$$M = 12 \cdot 6 = 72 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuleb kontrollida samba vastavust surve- ja paindepingele.



Joonis 20. Sambale mõjuv jõud ja moment.

$$\sigma = \sigma_N + \sigma_M \leq [\delta]$$

$$\sigma_N = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_M = \frac{M}{W}$$

[7]

Leian painde- ja survepinge.

$$\sigma_M = \frac{M}{W} \leq [\delta]$$

$$W = \frac{M}{[\delta]}$$

$$W = \frac{72 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^6} \approx 6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 600 \text{ cm}^3$$

Antud tala on

$$350 \times 350 \times 10 \text{ mm}$$

$$W_x = 1480 \text{ cm}^3$$

$$A = 135 \text{ cm}^2$$

$$I = 25880 \text{ cm}^4$$

$$i = 13,9 \text{ cm}$$

Andmed on võetud Ruukki kataloogist, mis asub peatükis Lisad.

Survepinge.

$$\sigma_N = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_N = \frac{12000}{135 \cdot 10^{-4}} = 890 \text{ kPa} = \sim 1 \text{ MPa}$$

Paindepinge.

$$\sigma_M = \frac{M}{W}$$

$$\sigma_M = \frac{72 \cdot 10^3}{1480 \cdot 10^{-6}} = 49 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \sigma_N + \sigma_M$$

$$\sigma = 1 + 49 = 50 \text{ MPa} < [\sigma] = 120 \text{ MPa}$$

3.2.2 Samba stabiilsus

Kontrollime samba stabiilsust.

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} + \frac{M}{W(1 - \frac{M}{\pi^2 \cdot E \cdot I})} \quad [8]$$

$$\sigma_{max} = \frac{12 \cdot 10^3}{135 \cdot 10^{-4}} + \frac{72 \cdot 10^3}{1480 \cdot 10^{-6} \left(1 - \frac{72 \cdot 10^3}{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 25880 \cdot 10^{-8}} \right)} = 0,9 + 49 = 50 \text{ MPa}$$

Saledus.

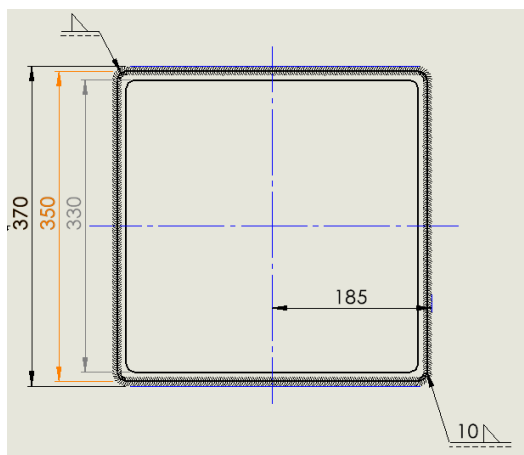
$$\lambda = \frac{\mu H}{i} [7]$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 3}{0,139} \approx 43$$

3.2.3 Samba ja alusplaadi vaheline keevisühendus

Keevisühenduse arvutuse puhul tuleb meeles pidada, et momendi mõjul üht poolt tõmmatakse pinnalt lahti ja teine pool surub pinna vastu. Kontrollin lõikepinget.

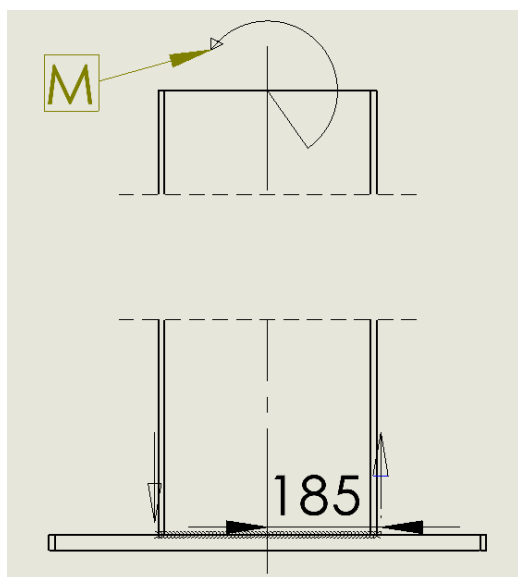
$$\tau = \frac{M}{I} \cdot x_{max} \leq [\tau]' [7]$$



Joonis 21. Samba pealtvaates.

$$M = 72 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$x_{max} = 185 \text{ mm}$$



Joonis 22. Samba külgsaates.

$$I = \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} - \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12}$$

$$I = \frac{37 \cdot 37^3}{12} - \frac{35 \cdot 35^3}{12} = 31128 \text{ cm}^4$$

$$\tau = \frac{M}{I} \cdot x_{max}$$

$$\tau = \frac{72 \cdot 10^3}{31128 \cdot 10^{-8}} \cdot 0,185 = 43 \text{ MPa}$$

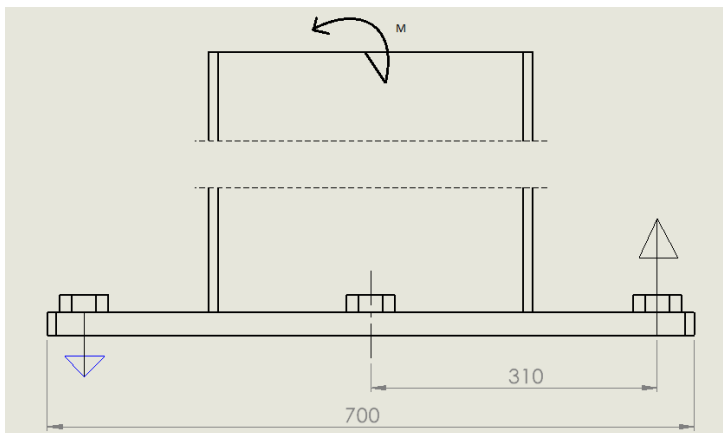
Lubatud pinge

$$[\tau]' = 0,6[\sigma] = 0,6 \cdot 120 = 72 \text{ MPa}$$

Kuna tegelik pinge on lubatavast pingest väiksem, on tugevustingimus rahuldatud.

3.3 Alusplaadi poltliide

Keevisliitele sarnaselt tuleb ka poltliite puhul arvestada, et kuna koormus on samba tsentrist väljas, mõjub koormuse pool olevatele poltidele surve ja teisel pool olevatele poltidele tõmme.



Joonis 23. Alusplaadi poltliide

$$\sigma_M = \frac{M}{W}$$

$$\sigma_M = \frac{6M}{b \cdot h^2}$$

$$\sigma_M = \frac{6 \cdot 72 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 0,7^2} \approx 1,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ekv} = 0,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s^{min} = \sigma_N + \sigma_{ekv}^{min} [7]$$

$$\sigma_s^{min} = 1,3 + 0,5 = 1,8 \text{ MPa}$$

Leian ühele poldile vajaliku kinnikeeramise jõu.

$$\sigma_s = \frac{i \cdot F_E}{A} \quad [7]$$

$$F_E \geq \frac{\sigma_s^{min} \cdot b \cdot h}{i}$$

$$F_E \geq \frac{1,8 \cdot 10^6 \cdot 0,7 \cdot 0,7}{8} = 110 \text{ kN}$$

Poldile mõjuv lisajõud.

$$M = i_1 \cdot F_1 \cdot r_1$$

$$F_1 = \frac{M}{i_1 \cdot r_1}$$

$$F_1 = \frac{72 \cdot 10^3}{6 \cdot 0,31} = 38,7 \text{ kN}$$

Summaarne koormus poldile.

$$F_p = 1,3F_E + \chi F_1$$

$$F_p = 1,3 \cdot 110 + 0,3 \cdot 38,7 = 154,6 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{F_p}{A} \leq [\delta] \quad [7]$$

$$[\sigma] = \frac{R_{p0,2}}{2} \quad [\sigma] = \frac{640}{2} = 320 \text{ MPa} - \text{poldi klassi (8,8) kaudu tulev maksimaalne pinge.}$$

$$A \geq \frac{F_p}{[\sigma]}$$

$$A \geq \frac{154,6 \cdot 10^3}{320} = 483,2 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{\pi d_1^2}{4} = 483,2 \text{ mm}^2$$

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 483,2}{\pi}} = 24,8 \text{ mm}$$

Valime Poldi M30, mille $d_1 = 26,211 \text{ mm}$.

3.4 Vintsi valimine

Kuna antud töö keskendub konsoolkraana konstruktsiooni arvutustele siis vintsi valime kataloogist arvestades vajaminevaid suuruseid.

Vajamineva vintsi kandevõime peaks olema 1200 kg või rohkem.

Valime Šveitsi firma GIS vintsi mudeli GPR, mille kandevõime on 1250 kg ja millel on sarnaselt olemasolevale vintsile silmusühendus.



Joonis 24. GIS GPR.

3.5 Vaakumhaaratsi valimine

Vaakumhaaratsi valimisel on samuti teada, et kandevõime peaks olema ligilähedane 1200 kilogrammile.

Kuna Vacuumaster ei paku ligilähedase kandevõimega varianti, otsustas autor uurida teisi valikuid.

Valime Saksamaa firma Vaculift kaheksa imemisplaadiga vaakumtõsteseade H – 8Q-1250 P, mille kandevõime on 1250 kg.



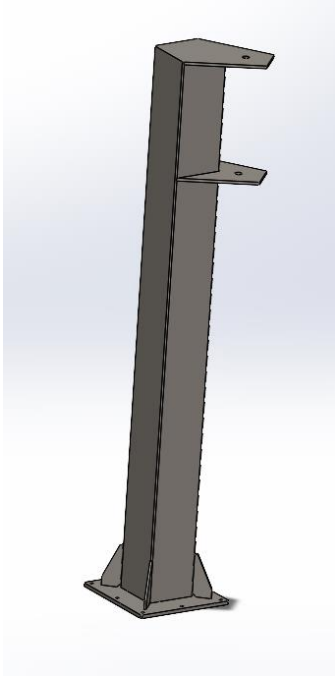
Joonis 25. Vaculift H – 8Q – 1250 P.

4 KONSOLKRAANA MODELLEERIMINE

Uuendatud kraana modelleerimist teeme projekteerimistarkvara Solidworks abil.

Modelleeritav konsolkraana koosneb kolmest osast -sammas, kinnitustift ja raam.

4.1 Samba modelleerimine



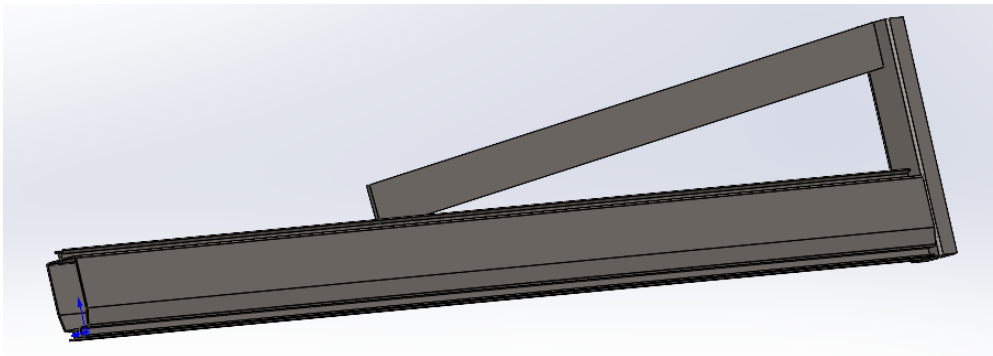
Joonis 26. Modelleeritud sammas alusplaadi ja äärikutega

4.2 Kinnitustift



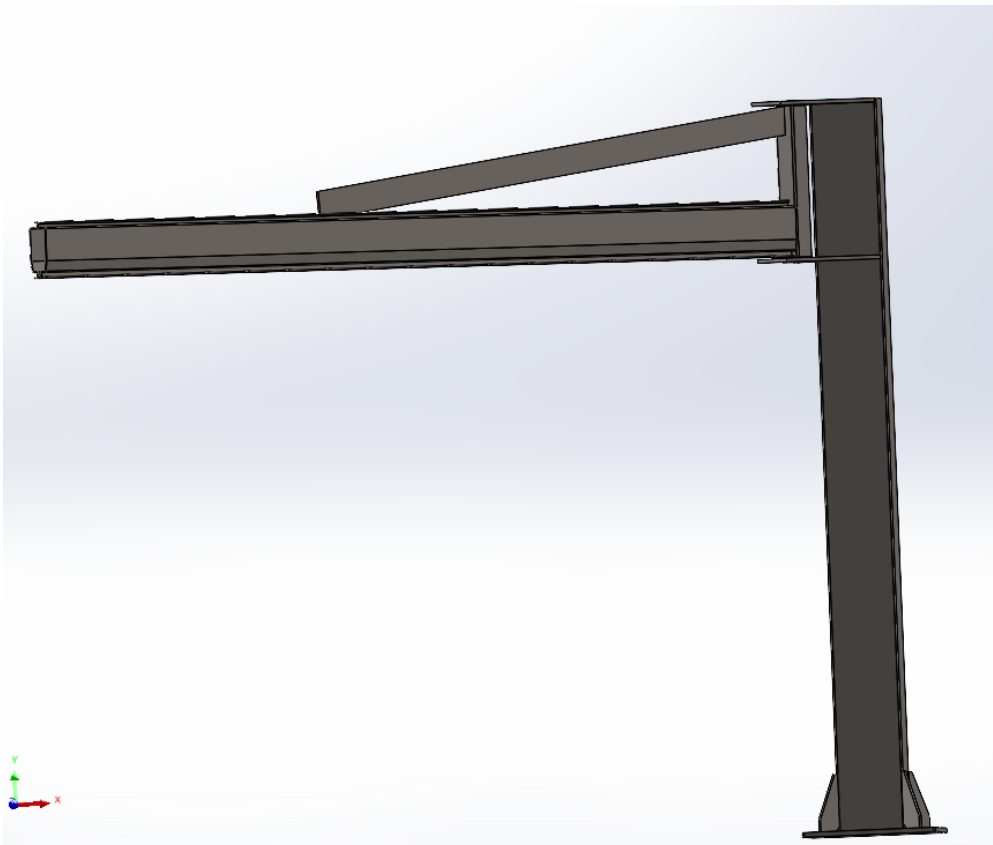
Joonis 27. Kinnitus tift.

4.3 Raam



Joonis 28. Raam

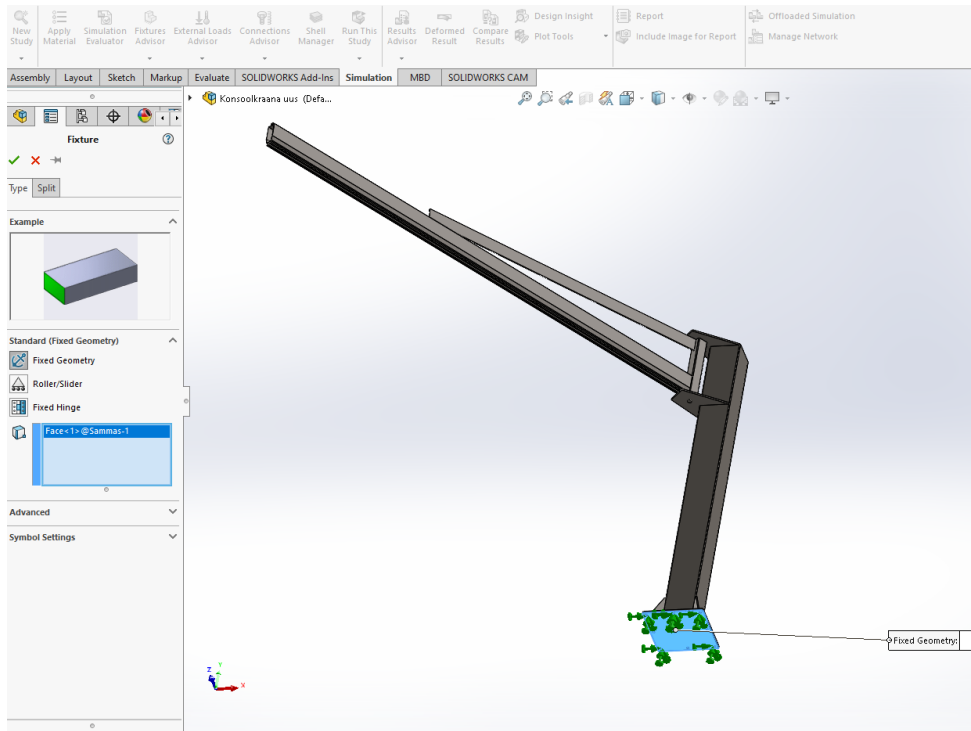
4.4 Kooste



Joonis 29. Konsoolkraana raami mudel

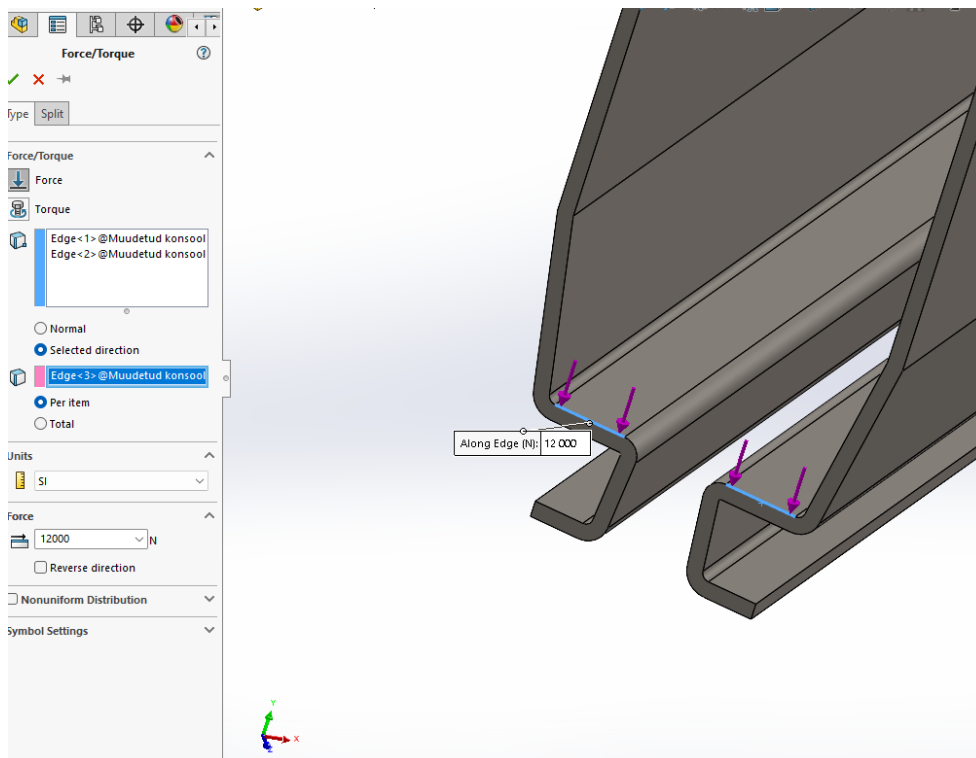
4.5 Staatikaanalüüs (FEA)

Et sooritada staatika analüüsi SolidWorks'is, tuleb esmalt leida kraana kinnitusosa. See on osa, mis ühendub maapinnaga.



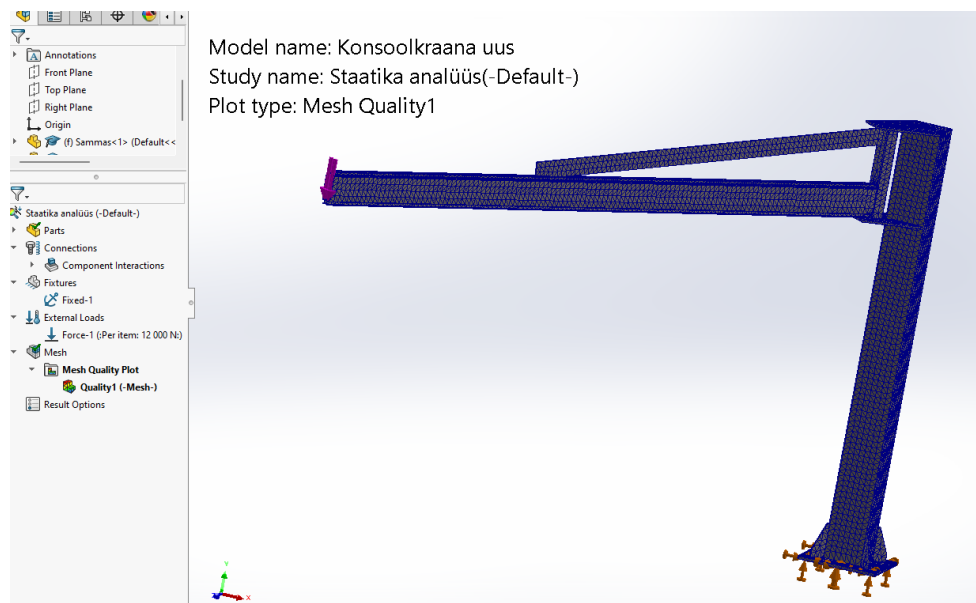
Joonis 30 . Kraana kinnitamine

Seejärel tuleb määrata raskus ja raskuse asukoht



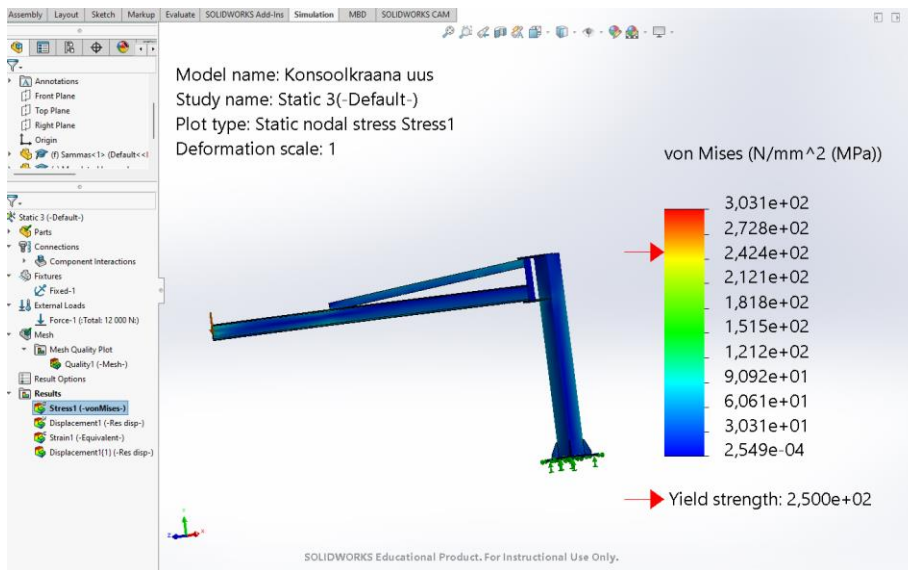
Joonis 31. Raskuse asukoht ja suurus.

Ning lõpuks tuleb luua konstruktsioonile struktuur (mesh).



Joonis 32. Kraana kinnituse, raskuse ja struktuuriga.

Pärast seda võib alustada analüüsiga.



Joonis 33. Konsoolkraana analüüs.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli tutvuda Soome firmas Laserle Oy kasutatava konsoolkraanaga ning leida probleemid, mis takistavad antud töövahendiga tegemast efektiivset ja ohutult tööd. Pärast tutvumist antud kraana osadega leiti, et töövahendi tõstevõime ja piiratud tööala takistavad ohutu tööd. Lisaks sellele leiti, et antud kraana vintsi ja vaakumtõsteseade kandevõimed ei ole piisavad ohutu töö tegemiseks.

Töö esimeses osas tutvustati erinevaid tehasesiseseid kraanasid ning uuriti nende eripärasid. Leiti, et lisaks konsoolkraanale on võimalik tehasesse paigutada väga suur hulk erinevaid kraanasid vastavalt töö iseloomule.

Teises osas uuriti lähemalt ettevõttes kasutatavat konsoolkraanat. Toodi välja erinevad kraana osad ning leiti käsitsi osade mõõtmed. Seda tehes tuli välja, et kuna kraana tööala on väga piiratud, oleks vaja suurendada tööala. Lisaks sellele leiti, et juhul, kui on vaja lõigata äärmiselt rasket materjali, ületab materjali kaal kraana kandevõimet.

Töö kolmandas osas tehti arvutusi, et leida vajalikud osad konsoolkraana moderniseerimiseks. Leiti, et kandevõime ning tööala suurendamisel oleks vaja suurema profiiliga poomi, mis kannaks vajaminevaid koormusi. See probleem lahendati käsitsi proovimise teel ning joonestati sobiv profiil. Lisaks sellele leiti kraanale ka sobiva kandevõimega vintsi ja vaakumtõsteseade.

Viimases osas tegeleti konsoolkraana modelleerimisega. Kraana modelleeriti tarkvaraga Solidworks ning tehti läbi ka FEM analüüs.

SUMMARY

The aim of this thesis was to inspect the jib-crane used in Finnish company Laserle Oy and modernize it according to the nature of work. After getting familiarized with jib-crane it was found that cranes lifting capacity and work area prohibit safe and economic workflow in the factory.

The first chapter of the thesis is an overview of cranes that are used inside factory. The overview describes what different cranes are for and what are the attributes of those cranes.

In the second chapter parts of Laserle Oy jib-crane are described and measured by hand to help the upcoming calculation for renewed jib crane parts in the third chapter.

Final chapter of the thesis shows drawings of parts that renewed crane is made of and assembly of those parts. In addition to that there is finite elements analysis which shows tensions in the crane while the load is added to the crane.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Pacific Industrial Supply, *Taisun*, 2017, [online]. Loetud aadressil: <http://www.pacificindustrial.com/blog/news/post/taisun-the-worlds-strongest-crane> Kasutatud: 05.04.2022
2. Eesti kraanavabrik OÜ, *Sildkraanad*, [online] Loetud aadressil: <https://kraana.ee/tooted/sildkraanad/> Kasutatud: 10.04.2022
3. Demag Cranes, *KBK Monorail Crane Systems from Demag Cranes*, [online] Loetud aadressil: <https://www.demagcranes.com/en-us/products/kbk-modular-crane-system/monorail-crane-system> Kasutatud: 15.04.2022
4. Kito Erikkila, *Column mounted jib crane*, [online] Loetud aadressil: <https://www.erikkila.com/prosystem-jib-cranes/column-mounted-jib-cranes/> Kasutatud: 20.04.2022
5. Kito Erikkila, *Profiles*, [online] Loetud aadressil: <https://www.erikkila.com/prosystem-light-crane-system/basic-elements-for-light-cranes/profiles/#steel-profiles> Kasutatud: 20.04.2022
6. Mechanics Transport Communications, *Numerical Solution for the deflection of the column-mounted jib crane structure*, 2019 [online] Loetud aadressil: https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://mtc-aj.com/library/1825_EN.pdf Kasutatud: 01.05.2022
7. A. Klauson, J. Metsaveer, P. Põdra ja U. Raukas, *Tugevusõpetus*, Teine trükk. Tallinn 2017.
8. Tootekataloog, *Ruukki*, 2003.
9. Г.С.Писаренко, А.П.Яковлев, В.В.Матвеев. Справочник по сопротивлению материалов. Киев, Наукова думка, 1975.

LISAD

1. Toru 350 x 350 x 10 andmed Ruukki tootekataloogist.

PUTKIPALKIT Hollow sections

H mm	B mm	T mm	S355J2H Varasto- mitta	M kg/m	A cm ²	A _u m ² /m	I _x =I _y cm ⁴	W _x =W _y cm ³	W _{plx} =W _{ply} cm ³	i _x =i _y cm	I _v cm ⁴	W _v cm ³
180	180	10,0	•	50,7	64,57	0,677	3016,80	335,20	403,51	6,84	5073,57	515,31
180	180	12,5	•	61,5	78,38	0,666	3519,92	391,10	479,56	6,70	6079,42	606,30
200	200	5,0	•	29,9	38,14	0,779	2388,50	238,85	276,72	7,91	3776,96	361,54
200	200	6,0	•	35,8	45,60	0,779	2833,00	283,00	330,00	7,88	4459,00	426,00
200	200	8,0	•	46,5	59,24	0,766	3566,25	356,63	420,86	7,76	5815,18	543,64
200	200	10,0	•	57,0	72,57	0,757	4251,06	425,11	508,08	7,65	7071,73	651,48
200	200	12,5	•	69,4	88,38	0,746	4999,19	499,92	607,32	7,52	8521,22	771,69
250	250	6,0	•	45,2	57,60	0,979	5672,00	454,00	524,00	9,92	8843,00	681,00
250	250	8,0	•	59,1	75,24	0,966	7229,20	578,34	675,77	9,80	11597,77	878,18
250	250	10,0	•	72,7	92,57	0,957	8706,67	696,53	822,00	9,70	14197,22	1061,80
250	250	12,5	•	89,0	113,38	0,946	10378,57	830,29	992,35	9,57	17264,98	1272,42
300	300	6,0	•	54,7	69,6	1,180	9964,00	664,00	764,00	12,00	15434,00	997,00
300	300	8,0	•	71,6	91,24	1,166	12800,69	853,38	990,67	11,84	20311,84	1292,67
300	300	10,0	•	88,4	112,57	1,157	15519,37	1034,62	1210,91	11,74	24965,66	1572,02
300	300	12,5	•	109,0	138,38	1,146	18659,63	1243,98	1471,12	11,61	30529,02	1897,94
300	300	16,0	•	141,0	179,00	1,160	23850,00	1590,00	1890,00	11,50	37620,00	2330,00
350	350	10,0	•	106,0	135,00	1,370	25880,00	1480,00	1720,00	13,90	39890,00	2190,00
350	350	12,5	•	131,0	167,00	1,370	31540,00	1800,00	2110,00	13,70	48930,00	2650,00
350	350	16,0	•	166,0	211,00	1,360	38940,00	2230,00	2630,00	13,60	60990,00	3260,00
400	400	10,0	•	122,0	155,00	1,570	39130,00	1960,00	2260,00	15,90	60090,00	2900,00
400	400	12,5	•	151,0	192,00	1,570	47840,00	2390,00	2780,00	15,80	73910,00	3530,00

- Muita mittoja valmistetaan sopimuksen mukaan.

- 6 mm:n seinämällä poikkileikkausarvot on laskettu standardin EN 10219:n mukaisesti (kulmanpyöristyssäde R=2,0xT)