



KÄÄNTÖPUOMINOSTURIN PYLVÄÄN SUUNNITTELU JA FEM-ANALYYSI

Lassi Vahterinmäki

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2020

Konetekniikan koulutusohjelma
Tuotantotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan koulutusohjelma
Tuotantotekniikka

VAHTERINMÄKI, LASSI:

Kääntöpuominosturin pylvään suunnittelu ja FEM-analyysi

Opinnäytetyö 43 sivua, joista liitteitä 10 sivua
Huhtikuu 2020

Opinnäytetyössä suunniteltiin kääntöpuominosturin pylväs sekä siihen tarvittavat kiinnikkeet lattiakiinnitystä ja puomia varten. Opinnäytetyö tehtiin FVP-autorakenteen käyttöön. Suunniteltavan rakenteen lisäksi opinnäytetyössä toteutetaan FEM-analyysi kestävästä rakenteesta varmistamiseksi ja tutkitaan konedirektiiviä sekä nosturin lainalaisuuksia. Valmistuneen suunnittelun lisäksi toimeksiantajalle toimitettiin tekniset piirustukset ja tarvittavat dokumentit rakenteen kestävydestä.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin tarvittava dokumentaatio nosturin valmistusta varten ja todistus sen kestävydestä. Rakenteesta saatiin suunniteltua tarpeeksi kestävä, toimiva ja turvallinen, jotta yritys voi sellaisen tilata ja ottaa sen käyttöön.

Asiasanat: FEM-analyysi, lujuusoppi, jännitys, tekninen piirustus, staattinen analyysi

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production Engineering

VAHTERINMÄKI, LASSI:
Column Design and FEM Analysis of a Jib Crane

Bachelor's thesis 43 pages, appendices 10 pages
April 2020

The purpose of this thesis was to design a jib crane column, and all the brackets needed for the floor mounting and the boom. The thesis was done for the use of the company FVP-Autorakenne Oy. In addition, a FEM analysis was conducted to ensure a sustainable structure. The study was based on the EU Machinery Directive and legislation related to cranes. In addition to the completed design, technical drawings and documents were created and submitted to the company.

As a result of the thesis, the necessary documentation for the manufacture of the crane and a certificate of its durability were obtained. The structure was designed to be durable, functional and safe enough for the company so they can order and deploy it.

Key words: FEM analysis, strength of materials, technical drawing, static analysis

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	NOSTURI STANDARDIT- JA TYÖTURVALLISUUS	7
	2.1 Konedirektiivi.....	7
	2.2 Nosturiin liittyvät standardit	9
3	TYÖN TOTEUTUS.....	11
	3.1 Esisuunnittelu.....	11
	3.2 Tiedonhaku	14
	3.3 Rakenteen suunnittelu	16
	3.3.1 Kiinnityspisteiden suunnittelu	19
	3.3.2 Pylvään suunnittelu	21
	3.4 Rakenteen analysointi.....	22
4	DOKUMENTOINTI.....	27
	4.1 Teknisen piirustuksen standardit.....	27
	4.2 Tekniset piirustukset	28
	4.3 FEM-analyysin tulokset	31
5	POHDINTA	32
	LÄHTEET.....	33
	LIITTEET	34
	Liite 1. Vahvike levy	34
	Liite 2. Lattialevy	35
	Liite 3. Puomin kiinnityslevy	36
	Liite 4. Puomin kiinnityslevyn hitsauskokoontyö	37
	Liite 5. 406,4 mm ympyräputkipalkki.....	38
	Liite 6. Pylvään päätylevy	39
	Liite 7. Pylvään pohjalevy	40
	Liite 8. Pylvään hitsauskokoontyö.....	41
	Liite 9. Pylvään kokoonpano	42
	Liite 10. FEM-analyysin tulokset	43

ERITYISSANASTO tai LYHENTEET JA TERMIT (valitse jompikumpi)

FEM	Finite element method
A	Poikkipinta-ala
I	Jäyhyysmomentti
W	Taivutusvastus
M	Taivutusmomentti
σ	Normaaljiännitys
VVEH	Vääristymistiheysenergia
Re	Myötöraja
n	Varmuuskerroin

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee kääntöpuominosturin pylvään ja tarvittavien kiinnityksien suunnittelua, sekä FEM-laskentaa. Opinnäytetyö toteutettiin toimeksiantajalle nimeltä: FVP-Autorakenne Oy. Kyseinen yritys toimii kuorma-autojen varustelu -ja alustamuutostöiden parissa. Toimeksiantajalla nostellaan erittäin raskaita metallirakenteita, jolloin nosturin käyttö on välttämätöntä turvallisen työkentelyn takaamiseksi.

Yritykseltä löytyy ennestään yksi kääntöpuominosturi ja yksi siltanosturi, mutta tuotantotilojen laajennuksen vuoksi on yrityksellä tarve yhdelle nosturille lisää. Kyseiseen nosturiin löytyy yläpuomi jo valmiiksi, joka on tyyppihyväksytty ja merkiltään ABUS. Tämän nosturin nostokapasiteetti on 500kg. ABUS LW-malli viittaa seinään kiinnitettävään kääntöpuominosturiin, mutta se on mahdollista kiinnittää pylvääseen sopivien kiinnityspisteiden avulla.

Yrityksellä on tietynlaisia kriteereitä, jotka nosturin tulee täyttää, muun muassa: korkeus, ulottuvuus ja kestävyys. Nosturin rakenteen FEM-laskenta toteutetaan suunnittelun jälkeen käyttäen SolidWorks- simulaatiota. Tämän avulla voidaan tarkastella erilaisia jännityksiä, joita rakenteessa ilmenee. Simulaation avulla voidaan myös selvittää venymiä ja kappaleiden taipuma.

Onnistuneen suunnittelun jälkeen ja hyväksytyin FEM-analyysin jälkeen, toimeksiantajalle toimitetaan tekniset piirustukset pylvään rakenteesta, jotta he voivat laittaa rakenteen tilaukseen.

2 NOSTURI STANDARDIT- JA TYÖTURVALLISUUS

Nostureille on määritelty paljon erilaisia standardeja niiden suunnitteluun, rakenteeseen ja turvallisuuteen liittyen. Tällä pyritään varmistamaan tuotteen soveltuvuus markkinoille.

2.1 Konedirektiivi

Koneiden täytyy täyttää EU:n konedirektiivin 2006/42/EY vaatimukset. Euroopan unionin alueella vaatimukset ovat kaikille samat. Tämänlaisella yhdenmukaisuudella pyritään toteuttamaan tuotteiden vapaampi liikkuvuus ja luoda koneista turvallisia. Suomessa on direktiivi pantu toimeen Valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/2008, jota kutsutaan koneasetuksena. Koneasetuksessa määritellään seuraavanlaisia asioita:

- Valmistajan velvollisuudet.
- Suunnitteluun ja rakentamiseen liittyvät olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset.
- Menettelyt koneen vaatimustenmukaisuuden osoittamiselle ja markkinoille saattamiselle. (Tukes, 2020)

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta sovelletaan seuraavanlaisiin laitteisiin:

- Koneet
- Vaihdeavat laitteet
- Turvakomponentit
- Nostoapuvälineet
- Nostoketjut, -köydet ja -vyöt
- Nivelakseleihin
- Osittain valmiisiin koneisiin (Finlex, 2008)

Tässä opinnäytetyössä käytetään valmistajan hyväksymää ja direktiivien mukaista puomia, joka täyttää konedirektiivissä asetetut vaatimukset. ABUS, joka

on puomin valmistaja, on ennen markkinoille saattamista varmistanut, että kone täyttää olennaiset vaatimukset turvallisuuden ja terveyden suhteen. Valmistaja on varmistanut tarvittavat dokumentit ja asiakirjat tuotteesta ja tehnyt valmistajan ohjeistukset direktiivien mukaisesti. Laitteesta on myös löydyttävä tyyppikilpi, jolla voidaan todentaa koneen merkki, malli ja valmistusvuosi. (Finlex, 2008)

Nosturiin liittyvät tuet ja muut rakenteet käsitellään osana nosturia, koska ne toimitetaan ja suunnitellaan nosturin mukana. Vaikka ne eivät olisi rakenteeltaan kantavia, niin kuuluvat ne silti samojen standardien piiriin. (Finlex, 2008)



KUVA 1. Kuvakaappaus Kääntöpuominosturista (Konecranes 2020)

2.2 Nosturiin liittyvät standardit

Nostureiden valmistusta ja suunnittelua ohjaa standardit, niin kuin mitä tahansa muitakin koneita. Standardien tutkiminen ja niiden seuraaminen on lähes välttämätöntä, jotta tarvittavat direktiivien mukaiset vaatimukset ja työturvallisuusmääräykset täyttyvät. Yläpuomi, joka on oleellinen osa opinnäytetyössä käsiteltävää nosturia, on valmistajan hyväksymä, joten kyseisen puomin CE-merkintä ja muut tekniset ominaisuudet ovat valmistajan vastuulla. (SFS. Standardien suhde direktiiveihin ja muihin asiakirjoihin. n.d.)

Standardissa SFS-EN 13135:2013 + A1:2008, määritellään nosturia koskevat turvallisuus, suunnittelu ja laitteita koskevia vaatimuksia. Standardeja noudattamalla voidaan taata, että nostolaitteesta tulee varmasti turvallinen ja konedirektiivin mukainen. Standardien seuraaminen ei ole pakollista, mutta on suositeltavaa käyttää niissä määriteltyjä tietoja, jotta laite täyttää direktiivin mukaiset vaatimukset. Standardeista on mahdollisuus myös poiketa jossain määrin, mutta tällöin on osoitettava, että tuote on direktiivien olennaisten vaatimuksien mukainen. (SFS. Standardien suhde direktiiveihin ja muihin asiakirjoihin. n.d.)

Uuden lähestymistavan direktiiveissä ei viitata usein yksittäisiin standardeihin, vaan yleensä yhdenmukaistettuihin standardeihin. Vanhoissa direktiiveissä puolestaan viitataan usein useampiin yksittäisiin eurooppalaisiin standardeihin. (SFS. Standardien suhde direktiiveihin ja muihin asiakirjoihin. n.d.)

Työturvallisuuslaissa 738/2002 veloitetaan työnantajaa huolehtimaan, että koneen käyttäminen on turvallista, ja että tarkastukset käytettävään koneeseen suoritetaan vaatimuksien mukaisesti. Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisuudesta käytöstä ja tarkastamisesta (12.6.2008/403) sovelletaan edellä mainittuun 738/202 työturvallisuuslakiin. (Finlex, 2008)

403/2008 standardi velvoittaa työnantajaa huolehtimaan, että työvälineen asennuksessa, käytössä, kunnossapidossa, tarkastuksessa ja muussa toiminnassa, joka liittyy koneeseen, otetaan huomioon valmistajan antamat ohjeistukset. Jos valmistajalla ei ole ohjeita tai ne eivät ole riittävät, tulee työnantajan huolehtia niiden lisäämisestä tai laatia tarvittaessa uudet ohjeet (Finlex, 2008)



KUVA 2. ABUS- nosturin tyyppikilpi (Vahterinmäki 2020)

3 TYÖN TOTEUTUS

Opinnäytetyössä käsiteltävän kääntöpuominosturin suunnittelu voidaan jakaa neljään eri työvaiheeseen:

- Esisuunnittelu
- Tiedonhaku
- Suunnittelu
- Analysointi

3.1 Esisuunnittelu

Ensimmäisessä työvaiheessa perehdytään tilojen määrittämiin rajoituksiin, joita ovat muun muassa korkeus, lisäkiinnityksien mahdollisuus, lattiakiinnitys, sekä pylvään koko. Pylvään koko luokka ei voi olla liian suuri, johtuen valmiista lattiakiinnityksestä, eikä nosturin rakennetta haluta ylivoimittaa liian paljoa. Betoniin on upotettu 6x M24 pinnapultteja, joilla on määrätty pulttijako. Tällöin pylvään profiilin leveys ei voi ylittää tuota pulttijakoa, jotta mahdolliset mutterit ja aluslevyt mahtuvat paikalleen ja niiden kiristäminen on mahdollista.



KUVA 3. Betonivaluun upotetut kierretangot (Vahterinmäki 2020)

Esisuunnittelussa huomioidaan myös muut mahdolliset kiinnityspisteet, joita ovat esimerkiksi erilaiset yläöksät ja pylvään keskivaiheen tuenta. Tässä tapauksessa kumpaakaan lisätuista ei ollut mahdollista toteuttaa, koska seinän vieressä ei ole riittävästi kantavaa rakennetta, johon lisätuki olisi mahdollista kiinnittää. Tuotantotilasta johon nosturi tulee, on hyvä tehdä pienimuotoinen Layout. Layout on hyvä tapa hahmottaa nosturin esteetön liikerata, varsinkin kun hallin katossa on kaatoa toiseen suuntaan reilusti.

Layoutissa nähdään hallin seinien etäisyydet, sekä katon kaatukulma ja erilaiset esteet, jotka rajoittavat pylvään korkeutta. Tämänlaisia ovat esimerkiksi sähkökaapelikourut ja ilmastointi putket. Nosturin puomin kiinnityskorkeudella on myös väliä, koska katon kaatukulma on n. 2 astetta. Puomin ylin kohta jää juurikin katon kaatuvalle puolelle, jolloin kiinnityskorkeus ei saa olla liian korkea, jotta puomi ei ota kattorakenteisiin kiinni. Puomi ei myöskään voi olla liian matala, jotta kuorma-auton on mahdollista ajaa puomin alitse ja nosturin kääntely onnistuu, kun auto on ajettuna sisälle.

Esisuunnittelussa on helppo eliminoida ylimääräiset tarpeet, joiden toteutus ei onnistu ja tällöin niiden pohtimiseen ei tarvitse kuluttaa aikaa varsinaisessa suunnittelussa, vaan rakennetta voidaan lähteä tekemään heti selvältä pohjalta ja riittävän kestäväksi. Tämä myös selkeyttää työtä huomattavasti.

Esisuunnitteluun saatiin myös hyvä referenssi yhdestä valmiiksi käyteenotetusta 500 kg kääntöpuominosturista, joka yrityksen tiloista löytyy. Suurimpana erona tosin on, että kyseinen nosturi on yläpäästä tuettu, jolloin pylväeseen ei kohdistu taivutusmomentin aiheuttamaa rasitusta niin paljoa, mitä pelkästään lattiasta kiinnitetyn nosturin rakenteeseen kohdistuu.

Nosturin puomin ollessa valmiina, voidaan sen geometria mitoittaa ja luoda siitä 3D-malli. Tämä on hyvä tapa hahmottaa kyseisen rakenteen kokonaisuus ja on myös oleellista, jotta yritys näkee rakenteen lopputuloksen. Kyseinen ABUS puomi on tarkoitettu seinään kiinnitettäväksi, mutta sen kiinnitys pylvääseen on mahdollista samalla tavalla, kun se tulisi mihin muuhun tasopintaan kiinni. Puomissa on valmiina kaksi 15mm vahvaa kiinnityslevyä, joiden pulttijaon mitoituksen myötä, voidaan suunnittelussa huomioida pylvääseen tulevat kiinnityspisteet.

Kyseinen ABUS LW malli on pituudeltaan noin 5,25 m metriä pitkä ja painaa noin 180 kg. Nosturin puomin ulottuman ollessa 5,1 m ja puomin alareunan etäisyyden lattiasta ollessa n. 3,8 m, voidaan todeta, että pylvään korkeus tulee olemaan lähelle 4,75 m. Tästä on helposti pääteltävissä taivutusmomentin aiheuttavan suuren taipuman pystyypylvääseen. Tätä taipumaa voidaan ehkäistä materiaalivalinnalla, sekä pylvään geometrialla.



KUVA 4. ABUS LW- nosturin puomin kiinnityslevyt. (Vahterinmäki 2020)

3.2 Tiedonhaku

Toinen kyseisen projektin työvaihe on tiedonhaku. Tiedonhaussa kartoitetaan tarvittavat standardit ja työturvallisuusmääräykset, joita turvallinen työskentely edellyttää opinnäytetyössä käsiteltävältä nostolaitteelta. Tiedonhaussa on hyvä myös tutkia muita valmistajien kääntöpuominostureita ja niiden rakenteita. Tämä on hyvä tapa saada selville erilaisia suunnitteluteknisiä ratkaisuja, joiden avulla valmistajat ovat tehneet rakenteesta riittävän kestävä ja turvallisen.

Nosturin nostokapasiteetin ollessa 500 kg sen vaatimukset ovat pienemmät, kuin ison siltanosturin. Joka tapauksessa myös 500 kg nosturi tulee tarkastaa kerran vuodessa tai jopa useamman kerran, jos olosuhteet edellyttävät niin. Joka 10. vuosi suoritetaan perusteellinen määräaikaistarkastus. (Intolog 2017)

Perusteellisessa tarkastuksessa täytyy käyttää ainetta rikkomattomia tarkastusmenetelmiä. Tällä tarkastuksella pyritään ehkäisemään, ettei materiaalin ikäänntyminen, väsyminen, korroosio ja kulutus aiheuta vaaratilanteita nosturia käytettäessä. Nosturitarkastuksen suorittaa aina sertifioitu nosturitarkastaja. Tarkastuksia valvoo työsuojeluviranomaiset, jotta ne suoritetaan määräajassa ja asianmukaisesti. (Intolog 2017)

Jokaisesta nosturitarkastuksesta tehdään tarkastuspöytäkirja. Pöytäkirjassa on monta tarkastuskohdetta, jotka täytyy läpäistä hyväksytysti, jotta määräaikaistarkastus voidaan suorittaa hyväksytysti ja todeta nosturin olevan käyttökunnossa. Kyseinen nosturi on 500kg kääntöpuominosturi ja sen tarkastuskohtien määrä on huomattavasti pienempi, kuin esimerkiksi 2000kg siltanosturin.

Tarkastuksen piiriin kuuluu muun muassa:

- Nosturin vapaat tilat
- Kantavat rakenteet
- Koeajo
- Mitoitus- ja valmistajatiedot
- Ohjekirjallisuus
- Soveltuvuus (Finlex, 2008)

Opinnäytetyössä suunniteltu kääntöpuominosturin pystyylvään ja sen muun rakenteen tulee läpäistä edellä mainitut kohdat, jotta se voidaan käyttöönottaa hyväksytysti. Tarkastuspöytäkirjasta löytyy paljon muitakin eri tarkastuskohteita, mutta ne koskevat lähinnä yläpuomia ja itse nostomoottoria. Jos tarkastuskohdat eivät täyty, on nosturitarkastajalla mahdollisuus todeta, että nosturi ei ole käyttökunnossa ja määritellä mahdolliset korjaustoimenpiteet ja korjausaika. (Finlex, 2008)

TARKASTUSKOHTEET				K = täyttää vaatimukset, E = ei täytä vaatimuksia, (-) = tarpeeton							
K	E	-		K	E	-		K	E	-	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1. Kulkutiet ja huoltotasot	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12. Sähkölaitteet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	23. Jarrut
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. Nosturin vapaat tilat	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	13. Turvallisuuslaitteet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	24. Valaistus
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3. Rata / vasteet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14. Häätäpysäyttimet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	25. Mitoitus- ja valmistajatiedot
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. Kantavat rakenteet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15. Rajakytkimet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	26. Ohjekirjallisuus
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. Hallinta ja merkintälaitteet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	16. Osoitinlaitteet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	27. Valmistajakilpi
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. Painikeohjaus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	17. Varoituslaitteet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	28. Kuormituskilpi
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	7. Langaton ohjaus	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	18. Ylikuormailmaisu / -esto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	29. Ohje- ja varoituskilvet
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8. Nostokoneistot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	19. Toim.valv.laitteet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	30. Huolto- ja käyttöohjeet
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9. Köydet, ohjaimet, ketjut/pyörät	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20. Koeajo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	31. Soveltuvuus
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10. Kuormausellimet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	21. Koekäyttö _____ kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	32. Korjaukset
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	11. Siirtokoneistot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	22. Koekuormitus _____ kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	33. _____
								<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	34. _____
Perusteellinen määräaikaistarkastus tehty:				Seuraava: _____							
Määräaikaistarkastus tehty: 08.2019				Seuraava: 08.2020							
Koekäyttö tehty: _____				Seuraava: _____							

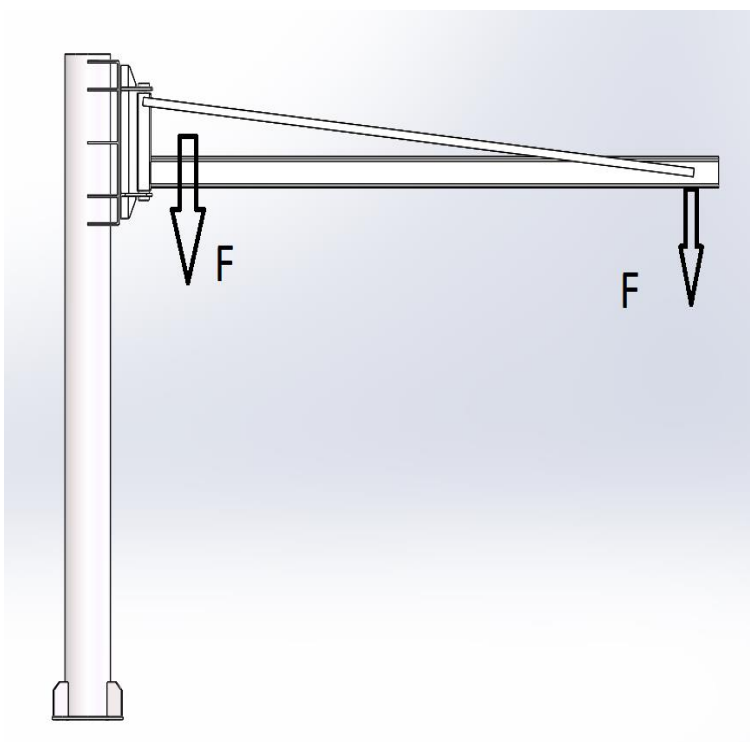
KUVIO 2. Tarkastuspöytäkirja 500 kg nosturin määräaikaistarkastuksesta. (TestPower Oy 2019)

3.3 Rakenteen suunnittelu

Kyseisen rakenteen suunnittelussa täytyy huomioida rakenteeseen kohdistuvat rasiukset, sekä pylvään taipuma. Työtä vaikeuttava tekijä on se, että nosturia ei voida tukea keskeltä pylvästä eikä yläpäästä, jolloin pylvääseen aiheutuu taivutusmomentista suurta taipumaa, sekä jännityksiä eripuolelle rakennetta.

Rakenteeseen kohdistuu kahdenlaista jännitystä: leikkausjännitystä ja normaali-jännitystä. Kyseisen rakenteen omat massat ja nostettava kappale aiheuttavat mekaniikan peruslakien mukaisesti voimat, jotka kohdistuvat rakenteeseen kaava (1) mukaisesti. Rakenteesta on hyvä piirtää vapaakappalekuva, johon osoitetaan kappaleeseen vaikuttavat voimat, jolloin on helpompi tutkia rakenteen aiheuttamia tukireaktioita.

$$F = mg \quad (1)$$



KUVIO 3. Nosturiin kohdistuvat voimat.

Kun taivutusmomentti on tunnettu, voidaan differentiaaliyhtälöllä määrittellä palkkiin kohdistuva taipuma ja millä etäisyydellä taipuma on suurimmillaan. Lattiasta tuetun pylvään taipuman määrittämiseen voidaan käyttää yhdestä päästä tuetun palkin yhtälöä, johon kohdistuu tietynsuuntainen taivutusmomentti. Yksitukisen palkin suurin taipuma on luonnollisesti tässä tapauksessa palkin vapaassa päässä. Suurin taipuma voidaan ratkaista seuraavan yhtälön (2) avulla, kun tiedetään puomin massan aiheuttama voima, nosturin moottorin massasta aiheutuva voima, sekä nostettavan kappaleen aiheuttama voima. (Outinen, Koski & Salmi 2000, 169)

$$v_{max} = -\frac{ML^2}{2EI} \quad (2)$$

Kaavassa (1), M tarkoittaa taivutusmomenttia, joka pylvääseen aiheutuu voimien takia. Yhtälössä L on puolestaan pylvään pituus. Yhtälön nimittäjässä E tarkoittaa kimmokerrointa ja I neliömomenttia. Suuretta EI kutsutaan myös taivutusjäykkyydeksi. Rakenteen taipumaa voidaan ehkäistä materiaalivalinnalla, sekä kappaleen geometrialla. Kasvattamalla neliömomenttia, kappale vastustaa enemmän taipumaa tietyn suuntaisesti. (Outinen, Koski & Salmi 2000, 169)

Neliömomentti (jäyhyysmomentti) on yksi lujuusopin suure, jonka yksikkö on m^4 . Neliömomentti kuvaa poikkileikkaukseltaan homogeenisen kappaleen kykyä vastustaa taipumaa tietyn akselin suhteen. Taipumaa voidaan myös pienentää valitsemalla rakenteelle materiaali, jolla on suurempi kimmokerroin. (Outinen, Koski & Salmi 2000, 177)

Taivutusmomentti aiheuttaa pylvääseen normaalijännityksen, jota kutsutaan myös nimellä taivutusjännitys. Taivutusjännitystä käytetään usein puhtaan taivutuksen aiheuttamista jännityksistä. Pylvääseen kohdistuva suurin normaalijännitys voidaan laskea, kun tiedetään puomin omamassa ja nosturin moottorin massa, sekä lisäkuorman aiheuttava massa. Taivutusjännityksen laskemiseen tarvitaan pylvään taivutusvastus. (Outinen, Koski & Salmi 2000, 180)

Taivutusvastus tarkoittaa taivutusmomentin ja taivutusjännityksen välistä suhdetta. Taivutusvastuksen laskeminen onnistuu, kun tiedetään kappaleen neliömomentti. Taivutusvastus saadaan jakamalla pylvään poikkileikkauksen neliömomentti neutraaliakselin suurimmalla reunaetäisyydellä kaavan (3) mukaisesti. (Outinen, Koski & Salmi 2000, 180)

$$W = \frac{I}{e} \quad (3)$$

Pylvääseen kohdistuva suurin normaalijännitys saadaan laskettua yhtälön (4) avulla.

$$\sigma_{max} = \frac{M_t}{W_z} + \frac{N}{A} \quad (4)$$

Yhtälössä (4) N kuvastaa normaalivoimaa ja A kappaleen poikkipinta-alaa. Saadun tuloksen etumerkki kertoo, että onko kappaleeseen aiheutuva jännitys puristusta vai vetoa. Pylvääseen kohdistuu normaalijännityksen lisäksi myös leikkausjännitystä. Leikkausjännitystä syntyy, kun nivelpiste on ulkona pylvään keskilinjasta ja nostoa tehdään puomin ollessa sivussa. Tällöin sivuttaissuuntainen voima aiheuttaa pylvääseen vääntöä. Tämä tarkoittaa, että pienet elementit pylvään pinnalla alkaa liukumaan salmiakin muotoiseksi. (Outinen, Koski & Salmi 2000, 180)

Liukuman ehkäisemiseksi pylvään päähän suunniteltiin pyöreä 15 mm vahva levy, joka upotetaan osittain pylvään sisälle. Tämä levy hitsataan kauttaaltaan pylvääseen kiinni. Kyseisen levyn on tarkoitus vastustaa pylvään päähän kohdistuvaa rasiusta, sekä toimia myös tulppana rakenteelle.

3.3.1 Kiinnityspisteiden suunnittelu

Tämän rakenteen suunnittelussa yläpuomin kiinnitys määrittyi täysin valmiista pulttijaosta, joka oli ABUS puomissa. Pylvään yläpäähän suunniteltiin yksi särmätty 15mm vahva levy, joka on tuettu vahvikepaloilla pylvääseen. Tämänkaltaisessa vahvassa levyssä, jonka materiaali on: S355J2G3 tarvitsee taivutussäteen olla kappaleen vahvuutta huomattavasti suurempi. Valmiista särmäystaulukoista näkee erilaisille materiaaleille minimi taivutussäteen. Taivutussäteellä on minimi mitta koska, liian pieni taivutussäde aiheuttaa materiaalivaurioita ja levyn särmäyksestä aiheutuu tällöin kappaleeseen murtumia. Kyseiselle 15 mm S355J2G3 materiaalille soveltuva taivutussäde on 36 mm. (Karppinen 1986)

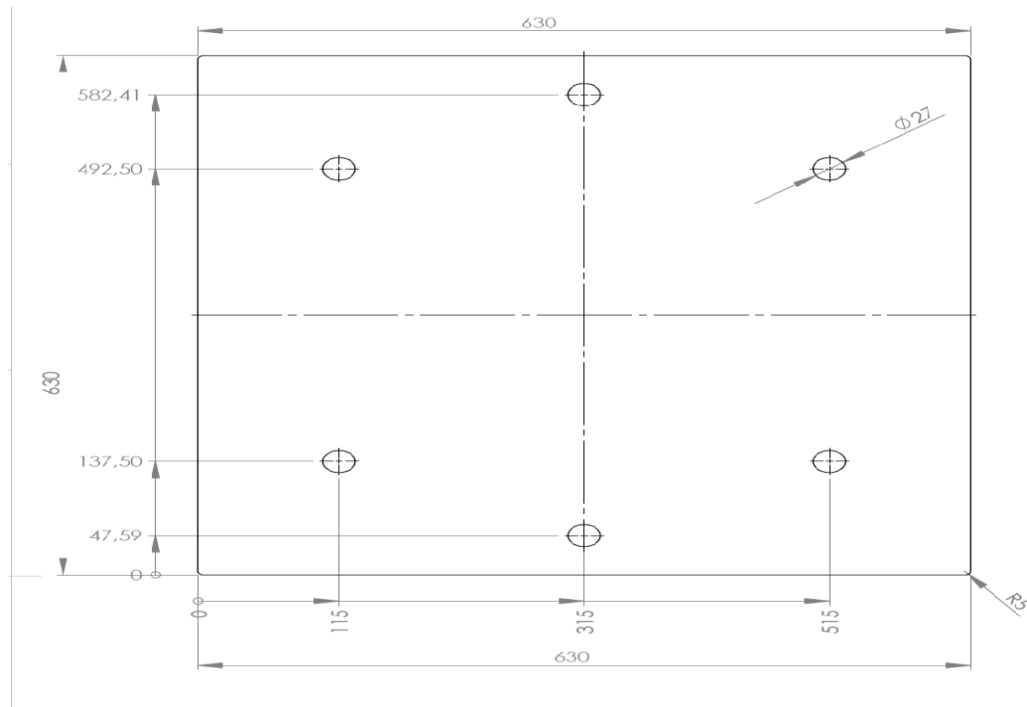
TAULUKKO 1. Särmäystaulukko. (Lepola 2009, s.302)

Teräslaji	Särmävalssaus-suuntaan nähden	Pienin sallittu sisäpuolinen taivutussäde nimellispaksuuksilla mm															
		≤ 2,5	> 2,5 ≤ 3	> 3 ≤ 4	> 4 ≤ 5	> 5 ≤ 6	> 6 ≤ 7	> 7 ≤ 8	> 8 ≤ 10	> 10 ≤ 12	> 12 ≤ 14	> 14 ≤ 16	> 16 ≤ 18	> 18 ≤ 20			
S235JRG2C	poikittain	2,5	3,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	28,0	36,0	40,0			
	pitkittäin	2,5	3,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	28,0	32,0	40,0	45,0			
S275JRC	poikittain	3,0	4,0	5,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	28,0	32,0	40,0	45,0			
	pitkittäin	3,0	4,0	6,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	32,0	36,0	40,0	45,0	50,0			
S355J2G3C	poikittain	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	32,0	36,0	45,0	50,0			
	pitkittäin	4,0	5,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	32,0	36,0	40,0	50,0	63,0			
RAEX PERUSTERÄS	kaikissa suunnissa	2,5	3,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	28,0	36,0	40,0			
RAEX MONITERÄS		4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0			
RAEX 235NL	kaikissa suunnissa	-	-	-	7,5	9,0	10,5	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	27,0	30,0			
RAEX 235NL ARCTIC		-	-	-	7,5	9,0	10,5	12,0	15,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0			
RAEX 275NL	kaikissa suunnissa	-	-	-	7,5	9,0	10,5	12,0	15,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0			
RAEX 275NL ARCTIC		-	-	-	7,5	9,0	10,5	12,0	15,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0			
RAEX 355N	kaikissa suunnissa	-	-	-	7,5	9,0	10,5	12,0	15,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0			
RAEX 355NL		-	-	-	7,5	9,0	10,5	12,0	15,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0			
RAEX 420N	kaikissa suunnissa	-	-	-	7,5	9,0	10,5	12,0	15,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0			
RAEX 420NL		-	-	-	7,5	9,0	10,5	12,0	15,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0			
RAEX OPTIM Nauhatuotteet																	
RAEX 315 MC OPTIM	kaikissa suunnissa	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	3,0	3,5	4,5	5,0	6,0	6,5	-	-			
RAEX 355 MC OPTIM		0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	-	-			
RAEX 420 MC OPTIM		1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	5,5	6,5	8,0	9,5	11,0	-	-	-			
RAEX 460 MC OPTIM		1,2	1,5	2,5	3,5	4,5	6,5	7,5	9,5	11,0	-	-	-	-			
RAEX 500 MC OPTIM		2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	7,0	8,0	10,5	12,0	-	-	-	-			
RAEX 550 MC OPTIM		2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,5	9,5	-	-	-	-	-	-			
RAEX 600 MC OPTIM		2,5	3,0	6,0	7,5	9,0	12,5	14,5	-	-	-	-	-	-			
RAEX 650 MC OPTIM		3,7	4,5	6,0	7,5	9,0	12,5	14,5	-	-	-	-	-	-			
RAEX 700 MC OPTIM		-	4,5	7,0	9,0	11,0	-	-	-	-	-	-	-	-			
RAEX OPTIM Kvarttuotteet																	
RAEX 355 MC OPTIM	kaikissa suunnissa	-	-	-	4,0	5,0	5,5	6,5	8,0	9,5	11,5	13,0	14,5	16,0			
RAEX 420 MC OPTIM		-	-	-	-	-	-	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0			

Tunnukset C merkityt terästen ja RAEX-terästen särmättävyys laitaan taulukon mukaan, ilman C merkitäviä olevien rakenneterästen pienimpänä taivutussäteenä käytetään yhtä levyn paksuusluokkaa suuremmasta sarakkeesta valittua arvoa.

ESIMERKKI TAIVUTUSSÄTEEN MUUTTUMISESTA SAMAN MYÖTÖLUJUUUSLUOKAN TERÄKSILLÄ

Lattiakiinnitys, johon pylväs alun perin oli suunniteltu, vaati pieniä muutoksia. Lattiakiinnityksen alkuperäinen jako näkyy kuvasta 3. Lattiakiinnitykseen pystytettiin hyödyntämään neljä kappaletta alkuperäisiä pinnapultteja, mutta kahden sijaintia tarvitsi muuttaa hieman. Tämä johtui siitä, että pylvään geometrian kasvattaminen ei olisi ollut mahdollista alkuperäisellä jaolla, joten katkaisemalla kaksi pulttia, oli mahdollista saada suurempi ympyräputkipalkki kiinnitettyä lattialevyyn. Alkuperäisen jaon mukaan suurinta geometriaa pylväälle käyttäen, ei pylvään kyky riittänyt vastustamaan taipumaa riittävästi. Tällöin voidaan todeta, että kyseinen nostoväline ei tule olemaan riittävän turvallinen ja se vaatii muutoksia.



KUVIO 3. Uuden levyn pulttijako.

3.3.2 Pylvään suunnittelu

Muutoksien pohjalta lähdettiin suunnittelemaan pylvään rakennetta uudestaan ja todettiin, että pylvään geometriaksi voidaan valita suuri ympyräputkipalkki. Ympyräputkipalkin halkaisija on: 406,4 mm ja sen seinämävahvuus on 8 mm ja materiaali SJ355G2. Geometrialtaan tämänlainen pylväs vastustaa riittävästi taivutusmomentin aiheuttamaa taipumaa, jolloin rakenteesta tulee huomattavasti turvallisempi, eikä nosturi pääse liikkumaan kiskossa vapaasti, sen ollessa maksimikuorman alla. Lisäksi ympyräputkipalkki on hyvä vaihtoehto pylvääksi, koska sen laskenta on yksinkertaisempaa, sillä sen kyky vastustaa taipumaa jokaiseen suuntaan on sama.

Pystytolppaa varten täytyi suorittaa useita laskelmia, jotta pystyttiin toteamaan, että taipuma ei ole liian suuri ja jännitykset eivät kasva liian suuriksi, sekä venymää ei tapahdu missään pisteessä liikaa. Varmuusluvuksi valitsimme yrityksen kanssa yhteispäätöksellä vähintään neljän. Tämä johtuu siitä, että raskaita rakenteita irrottaessa dynaamisen liikkeen alla kuormat saattavat nousta hetkellisesti todella suuriksi ja muutenkin standardit vaativat nostovälineiltä suurta varmuuskerrointa. Tämän lisäksi suureen varmuuskertoimeen vaikutti se, että tuotteelle ei tarvita optimointia, sillä se asennetaan kerran paikalleen ja sen halutaan kestävän pitkään.

Esimerkiksi apurunkojen pois nostamisessa kuorma-auton rungon päältä tulee välillä suuria voimapiikkejä. Runko on saattanut hitsausten aiheuttamista jännityksistä vedellä, jolloin se kiilautuu auton runkoa vasten ja nostaessa saattaa hypähtää paikaltaan, jolloin pylvääseen kohdistuu normaalia suurempi jännityspiikki. Tämä puolestaan aiheuttaa materiaaliin väsymistä ennemmin tai myöhemmin, vaikka 500 kg nosturiin ei tarvitse väsymystarkastelua tehdä, on parempi tehdä kerralla varmasti kestävä rakenne.

Lisäksi dynaaminen kuorma saattaa aiheuttaa hetkellisesti normaalia suurempaa taipumaa, jolloin vapaasti liukuva moottoriyksikkö saattaa karata nopeasti puomin päähän. Tämä puolestaan aiheuttaa suurien kappaleiden nopean liikedinnan ja työturvallisuuden edellyttämät työskentelytavat eivät täyty.

Lattialevyn ja pylvään väliin lisättiin ympäri pylvästä useampi vahvikelevy, jotta jännityksiä saadaan jaettua suuremmalle pinta-alalle. Lisäksi nosturin pohjalevyn alle päätettiin lisätä toinen aluslevy, jotta nosturin suoristaminen tulee olemaan helpompaa simmi levyjen avulla. Tällä myös saadaan lattiaan kohdistunutta rasitusta jaettua suuremmalle alueelle, jolloin jännitykset jakaantuvat tasan. (Salmi, Tapio, Lujuusopin perusteet)

Osia suunnitellessa täytyy ottaa huomioon niiden kiinnitysmenetelmä. Kyseisessä rakenteessa levyt hitsataan pylvääseen kiinni. Lähes kaikki saumat ovat pienen hitsejä, jolloin ne täytyy mitoittaa oikein. Ylikokoinen hitsausseama aiheuttaa suuria jännityksiä rakenteisiin, sekä ei-toivottuja muodonmuutoksia.

3.4 Rakenteen analysointi

Varsinainen suunnittelutyö rakenteen suhteen on saatu valmiiksi, on FEM-laskennan vuoro. FEM-laskennassa määritellään erilaiset komponenttien väliset liitokset ja rakenteeseen kohdistuvat voimat. Laskentaa varten on hyvä luoda erikseen oma laskentamalli. Kyseisessä tapauksessa laskentaa voidaan helpottaa luomalla nosturin rakenteesta yksi kokonainen osa, kokoonpanon sijaan. Laskenta yksinkertaistuu tällöin, eikä laskenta mallissa näy tällöin epäjatkuvuuskohtia niin paljon.

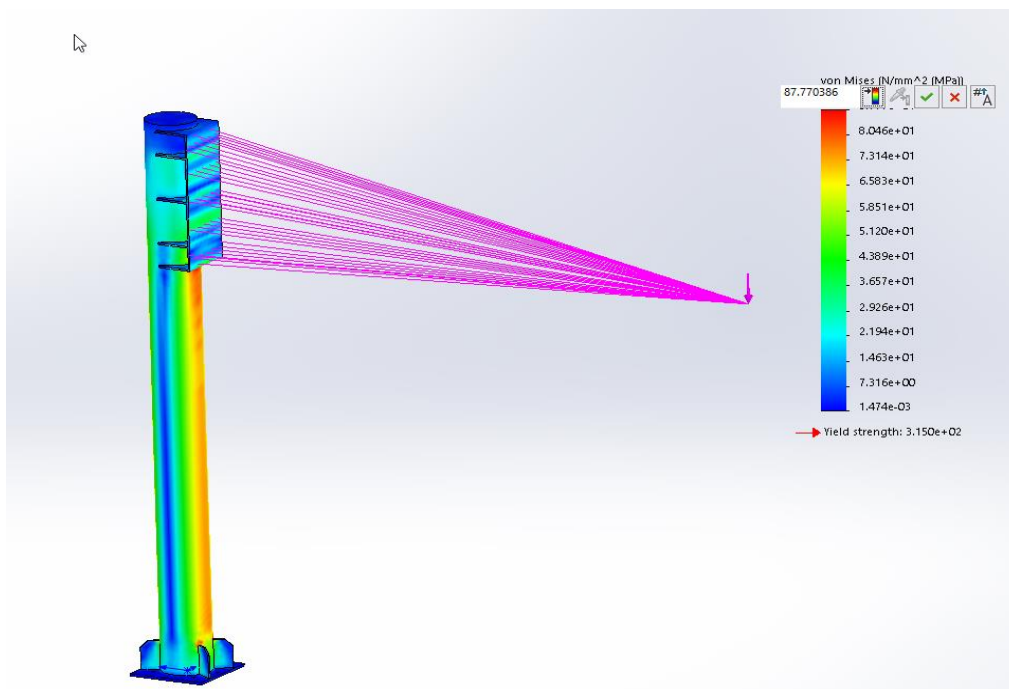
Laskennassa voidaan käyttää voimien sijoitteluun myös yksittäistä voimapistettä, kun tiedetään puomin massan aiheuttama voima, sekä moottorin nosturiyksikön aiheuttama voima. Kyseisessä laskennassa käytettiin voimana 14000N, johon on laskettu kaksinkertaiset voimat. Tällä haluttiin todeta, että taipumaa ei synny liikaa.

Voimapisteen koordinaatit saadaan suoraa rakenteesta mitoittaen. Esimerkiksi etäisyys puomin kiinnityslaipoista, jossa moottoriyksikkö ja sen koukku roikkuu, on 5,1 metriä. Puomin pohjaan etäisyys lattiasta on puolestaan 3,8m. Tällöin tuohon pisteeseen voidaan sijoittaa yksi voima, kun muiden massojen aiheutta-

mat voimat on tiedossa. Kun halutaan lisätä vielä enemmän varmuutta laskentaan, eikä optimoinnille ole tarvetta, niin voidaan siirtää suoraan kappaleiden aiheuttamat voimat suoraan suurimmalle etäisyydelle.

Laskennassa on hyvä huomioida myös se, että laskenta täytyy suorittaa puomin ollessa eri asennoissa. Tämä johtuu siitä, että puomin nivelpiste on ulkona pylvään keskilinjasta ja tällöin sivulta tuleva voima aiheuttaa pylväälle vääntöä, jolloin syntyy leikkausjännitystä.

FEM-laskennassa käytetään usein lujuushypoteesina VVEH lujuushypoteesia, jota kutsutaan myös von mises- hypoteesiksi. Von misesiä käytetään usein sitkeiden teräksien lujuuslaskennassa. VVEH eli vakiovääristymisenergiyahypoteesissa ajatuksena on se, että: Materiaali vaurioituu tietyssä pisteessä, jossa sen vääristymisenergiatiheys saavuttaa kriittisen arvon materiaalille ja vauriotyypille. (Outinen, Koski & Salmi 2000, 403)



KUVIO 4. Pylvään jännitystila.

Kuviosta 4 nähdään rakenteeseen kohdistuva suurin von mises -hypoteesin mukainen jännitys ja sen sijainti. Punaisella värillä olevat alueet ovat ne kohdat, jossa jännitykset ovat suurimmillaan. Laskennassa taulukkoon voidaan syöttää itse jokin raja-arvo ja pylvään väri muuttuu sen mukaiseksi. Esimerkiksi jos halutaan määrittää jokin varmuuskerroin rakenteelle, voidaan taulukkoon määrittää, vaikka materiaalin myötörajan neljäsosa. Tällöin voidaan tutkia saavutetaanko jännityksissä haluttu varmuuskerroin.

Tässä opinnäytetyön laskennassa on huomioitu jo voiman määrittämisessä tupla kuorma. Tällöin jännitykset saisivat nousta 177,5 MPa. Tämänlaisella rakenteella kuitenkin jännitykset nousevat suurimmillaan 88,8 MPa, jolloin haluttu varmuuskerroin saavutetaan helposti. Kuten aikaisemmin on mainittu, niin taipuman hallinta on tämänlaisella rakenteelle haastavampaa, kuin jännityksien.

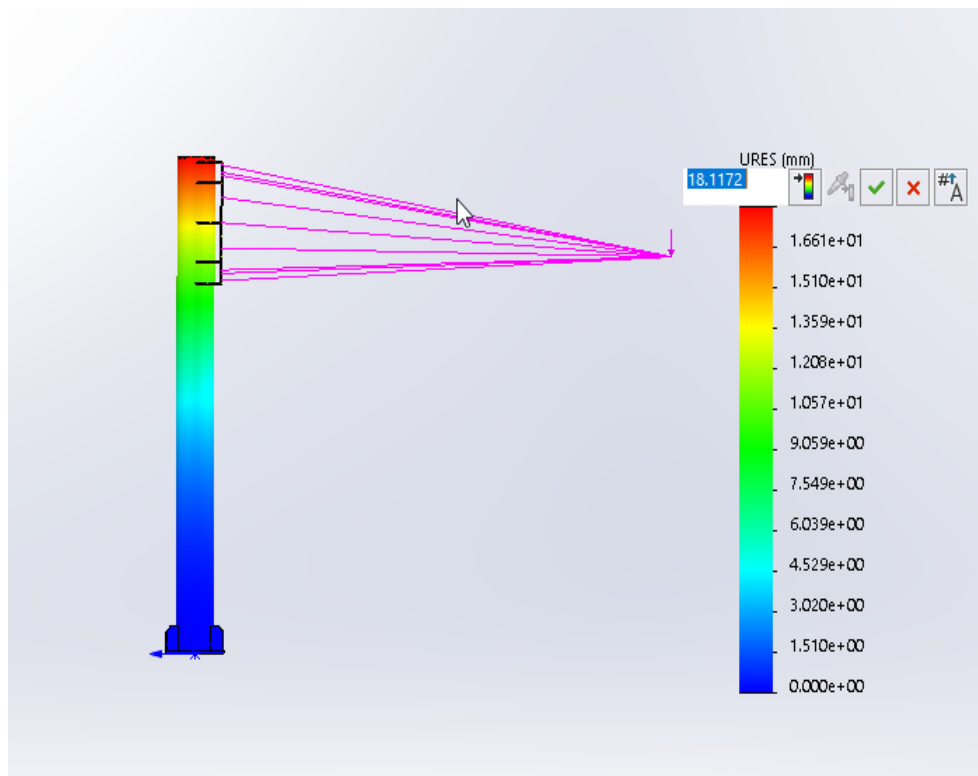
Rakenteen varmuus myötörajaan nähden voidaan laskea yhtälön (5) avulla.

$$n = \frac{R_e}{\sigma} \quad (5)$$

Kaksinkertaisella kuormalla suurin jännitys on 88 MPa, jolloin voidaan todeta, että pylvään varmuudeksi 500kg kuormalla saadaan yhtälön (5) mukaisesti:

$$\frac{355 \text{ MPa}}{44 \text{ MPa}} = 8$$

Varmuuskertoimeksi jännityksien puolesta rakenteelle saadaan 8. Varmuuden puolesta rakenteen kestävyys on todella hyvä ja luotettava, sillä se on ylimitoitettu. Varmuuskertoimeksi sovittiin alun perin vähintään 4, joka kyseisellä rakenteella saavutetaan helposti. Rakenteen tarvitsee olla jäykkä, jotta se kestää taipumaa riittävästi.

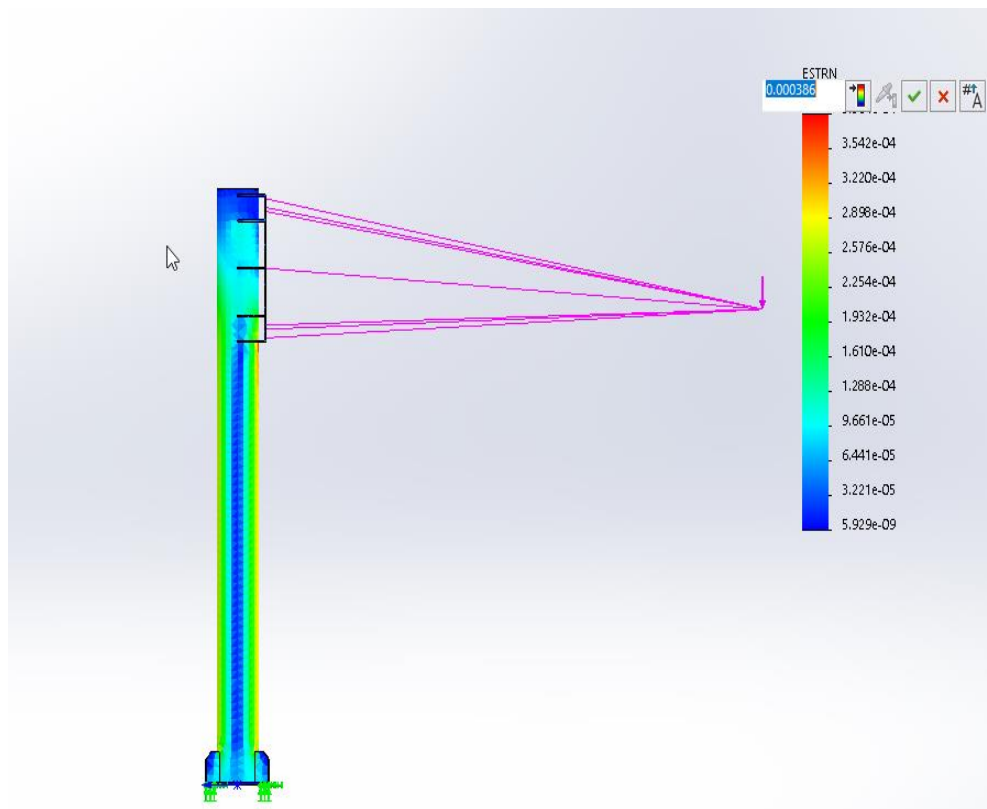


KUVIO 5. Rakenteen taipuma

Rakenteen suurin taipuma on luonnollisesti pylvään päässä, jossa kaksinkertaisella kuormalla pylvään taipumisresultantti on: 18 mm. Taipuman on oltava pystypalkissa pieni, koska puomin päässä siirtymä moninkertaistuu puomin pituuden takia. Liiallinen taipuma puomissa aiheuttaa moottoriyksikön hallitsematonta siirtymistä kuorman alaisena.

Yksi tarkastelukohteista FEM-laskennassa on venymän tarkastelu. Venymä on suhdeluku ja sillä ei ole yksikköä. Se ilmoitetaan usein prosenttilukuna tai mikroina. Venymä syntyy, kun kappaleeseen syntyy aksiaalinen kuormitus ja tämä aiheuttaa pituuden muutoksen kappaleessa. Venymää kutsutaan usein myös suhteelliseksi venymäksi ja sitä merkitään usein kirjaimella: ϵ . Venymän lauseke saadaan laskettua kaavan (6) mukaisesti.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (6)$$



KUVIO 6. Rakenteen venymä.

Kuviosta 6 nähdään rakenteessa tapahtuva venymä. Venymä jää kyseisessä tapauksessa pieneksi, jolloin rakenteessa ei tapahdu pysyviä muodonmuutoksia. Rakenteessa olevat muutokset ovat tällöin elastista muodonmuutosta, eli kuorman poistuessa materiaali palaa takaisin muotoonsa. Joissakin tapauksissa kuormituksen poistuessa on mahdollista, että materiaali ei palaudu alkuperäiseen muotoonsa ja tätä kutsutaan plastiseksi muodonmuutokseksi. (Outinen, Koski & Salmi 2000, 99)

4 DOKUMENTOINTI



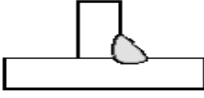

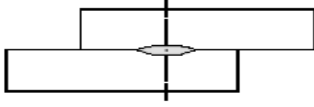



Opinnäytetyössä olevasta pylväästä laadittiin tekniset piirustukset, jonka pohjalta kyseinen tuote valmistetaan. Lisäksi FEM-laskenta tulokset dokumentoitiin. Lisäksi piirustukset on hyvä säilyttää, jos jälkikäteen tarvitsee tehdä muutoksia tai korjauksia.

4.1 Teknisen piirustuksen standardit

Teknisiä piirustuksia koskevat useat standardit ja niiden noudattaminen on suositavaa, jotta piirustuksien lukeminen ja ymmärtäminen on helpompaa. Yleisin standardi koskee piirustussääntöjä ja siinä määritellään hyvän piirustustavan mukaisia merkintöjä. Standardin nimi on SFS-ISO 128.

Tekniseen piirustukseen merkitään usein myös geometrisiä toleransseja ja niitä määrittelee standardit: SFS 4443, SFS-EN ISO 1101 ja SFS-EN ISO 2692. Piirustuksien toleranssimerkinnöillä on todella suuri vaikutus valmistettavan kappaleen tekemiseen, sekä piirustuksen ymmärtämiseen. Varsinkin massatuotantoon valmistettavien kappaleiden piirustuksissa täytyy olla erittäin tarkasti määritellyt toleranssit ja projektiot.

Hitsauspiirustuksissa hitsausmerkinnöillä ja niiden sijoittamisella on iso merkitys. Väärin asetellut ja vääränlaiset hitsausmerkinnät tuottavat usein virheitä valmistettavaan tuotteeseen. Hitsausmerkintöjä käsitellään standardissa: SFS-EN 2253. Hitsausmerkkien on tarkoitus osoittaa, kuinka hitsaus suoritetaan valmistettavaan tuotteeseen ja minkä kokoisella hitsaussaumalla. (SFS 2253 2019)

Hitsilaji	Kuva (katkoviiva kuvaa rillon ennen hitsausta)	Tunnus
J-hitsi		
Pienahitsi		
Saunakehitys		
Päällehitsi		

KUVA 5. Kuvakaappaus hitsausmerkeistä (METSTA 2016, kalvosarja)

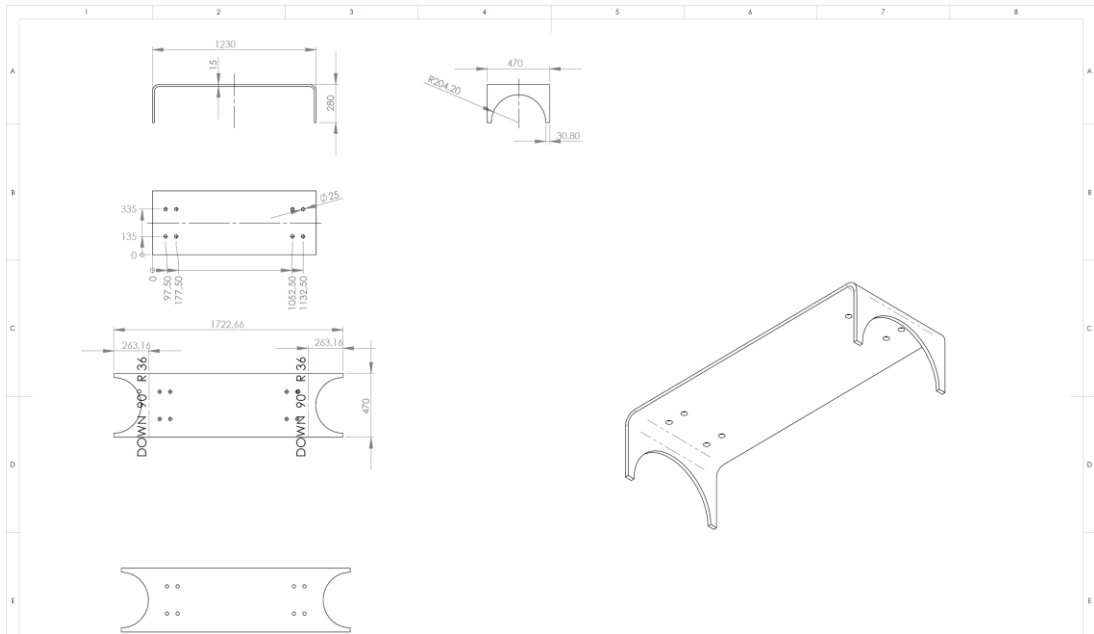
Jos piirustukseen ei ole merkitty erikseen toleransseja mittoihin tai geometrioihin, niin silloin sovelletaan yleistoleransseja. Yleistoleransseja käsitellään standardissa: SFS-EN 22768.

4.2 Tekniset piirustukset

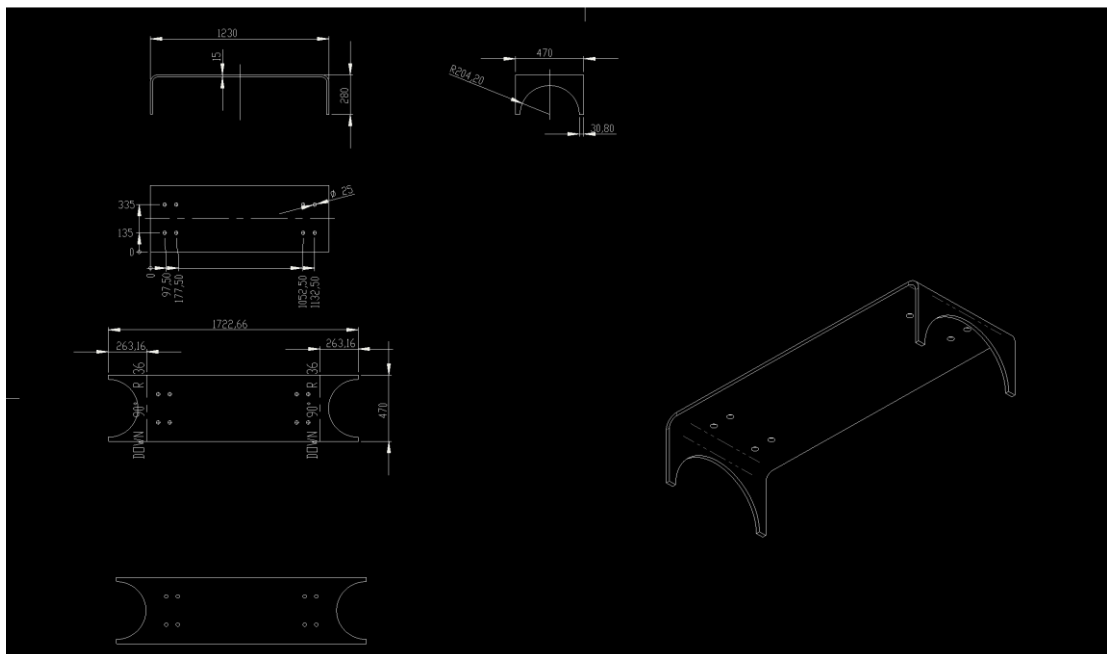
Opinnäytetyössä suunnitellusta nosturin rakenteesta ja sen osista tehtiin tekniset piirustukset, jotta sen valmistaminen on mahdollista. Piirustukset toteutettiin standardeja hyödyntäen. Piirustuksissa ei ole erikseen merkattu toleransseja ja tällöin osien ja hitsauskoonpanojen valmistuksessa voidaan noudattaa yleistoleransseja.

Dokumentteihin, jotka yritykselle luovutetaan kuuluvat: Tekniset piirustukset kahdessa eri formaatissa. PDF ja DXF ja FEM- analyysin tulokset. Levyosista luodaan piirustus pohjalle tarvittavat projektiot mittoineen, jotta kappaleiden valmistus onnistuu. Riippuen kappaleen valmistustavasta, voidaan tarkastella mitkä mitat ovat oleellisia merkitä projektioihin. Joissakin tapauksissa, esimerkiksi suurissa runkolevyissä, joissa on paljon läpäreikiä, ei kaikkia reikiä ja piirteitä tarvitse mitoitaa. Tämä johtuu siitä, että piirustuksen luettavuus kärsii huomattavasti, jos kuvassa on liikaa mittaviivoja.

Piirustus pohjalle on myös hyvä lisätä yksi levityskuva, joka on täysin puhdas mitoituksistaan. Tämä helpottaa DXF tekemistä ja kappaleen valmistusta, kun kappaleet valmistetaan esimerkiksi laserilla. Tällöin DXF tiedosto voidaan ajaa suoraan tietokoneelle, josta kappaleen geometria saadaan kaapattua tyhjästä levityskuvasta.



KUVIO 8. Puomin kiinnityslevyn mittapiirustus.



KUVIO 9. Puomin kiinnityslevyn DXF- tiedosto.

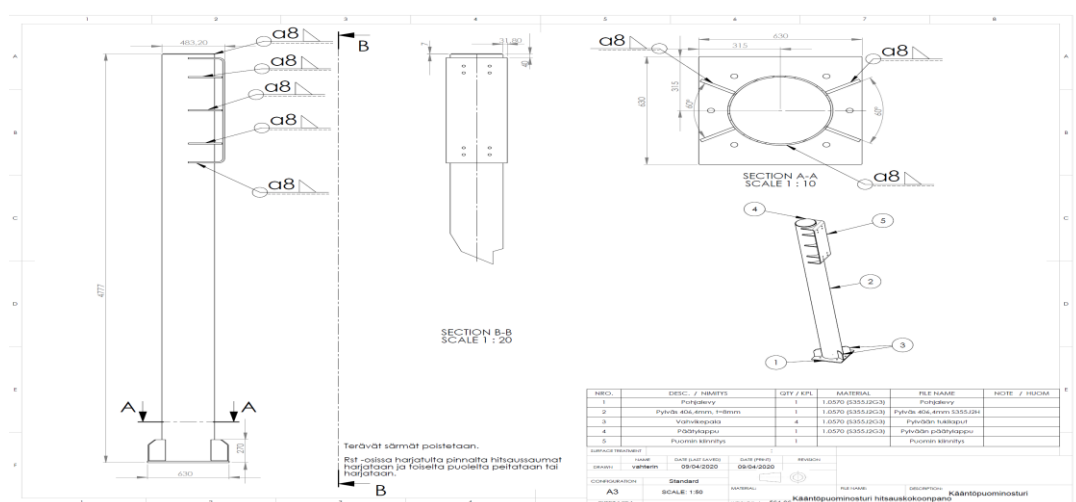
Teknisessä piirustuksessa on usein tarkemmat tiedot oikeassa alalaidassa kyseiselle tuotteelle. Usein valmistava yritys päättää itse, mitä tietoja kuvasta on saatavilla. Useimmiten kuitenkin tiedoista ilmenee kappaleen:

- Nimi
- Massa
- Materiaali
- Pintakäsittely

Usein myös tiedoista selviää:

- Piirtäjän nimi
- Revisio numero
- Kuvan valmistuspäivä
- Arkin koko
- Arkin skaala
- Piirustuksen tarkastaja
- Projisointimenetelmä (Euroopassa käytetään usein yhden käännön menetelmää)

Kokoonpanokuvissa täytyy myös ilmetä arkkipohjalta osaluettelo eli BOM (Bill of materials). Kyseisestä osaluettelosta selviää, mitä osia on kokoonpanossa käytetty ja kuinka monta kappaletta. Piirustukseen osoitetaan oikeat osat pienillä numerointi palloilla. Tällöin selviää helposti, mikä osa on mikäkin.



KUVIO 10. Kääntöpuominosturin hitsauskokoontakuva.

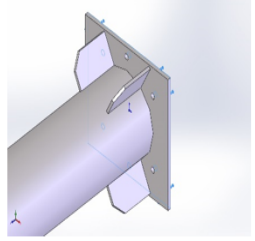
4.3 FEM-analyysin tulokset

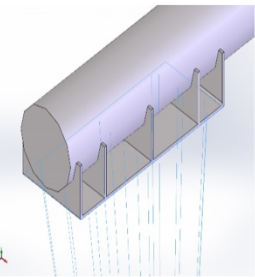
Suoritetuista FEM- analyyseistä voidaan ottaa helposti ruutukaappaus SolidWorksin omilla työkaluilla tai tulostaa tulostaulukko. Opinnäytetyötä tehdessä sovittiin, että kyseisistä laskelmatuloksista toimitetaan kaikki tiedot yritykselle.

Laskentatuloksista ilmenee tarvittavat tiedot rakenteen kestävydestä ja kuinka rakenne reagoi kuorman alaisena. SolidWorks- simulaatiossa on erilaisia skaalavaihtoehtoja, jos haluaa tutkia tarkemmin muodonmuutosta rakenteessa.

Usein muutokset ovat todella pieniä, jolloin niitä voi olla vaikea hahmottaa normaalitilanteesta. Tällöin voidaan skaalaa muuttamalla tuoda muutos selvemmin näkyviin.

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 1 face(s)		
		Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-34.5444	74.7114	14064.4	14064.6
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Load name	Load Image	Load Details
Remote Load (Direct transfer)-2		Entities: 1 face(s)
		Type: Load (Direct transfer)
		Coordinate System: Global cartesian coordinates
		Force Values: ---, ---, -14000 N
		Moment Values: ---, ---, --- N.m
		Reference coordinates: 0 -5100 3812.5 mm
		Components transferred: Force

KUVIO 11. Kappaleen tukireaktiot ja siihen kohdistuvat voimat.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön lopputuloksena onnistuttiin suunnittelemaan kestävä ja turvallinen rakenne nosturin puomin kiinnitystä varten. Yrityksen kanssa keskusteltiin lopputuloksesta ja he olivat tyytyväisiä saamiinsa dokumentteihin ja työn toteutukseen. Saatuaan tarvittavat dokumentit, yritys aikoo laittaa suunnitelmien mukaisen nosturin tilaukseen. Opinnäytetyön aikana ei ollut vielä päätetty minkälainen pintakäsittely rakenteelle tehdään, mutta yritys päättää itse värin ja maalaustavan tuotteelle.

Jälkikäteen ajateltuna opinnäytetyön kohteena olevaa rakennetta olisi voinut optimoida enemmän, jolloin varmuuskerroin ei olisi ollut niin suuri. Mutta tämä olisi vaatinut monimutkaisemman profiilin pystytolpaksi. Monimutkaisempi rakenne puolestaan tuo enemmän kustannuksia ja työmäärää. Lisäksi kaikissa paikoissa ei ole mahdollista särmätä tietynlaisia profiileja, koska ne vaativat erikoistyökaluja.

Opinnäytetyön lopputulokseen voi olla tyytyväinen, koska siitä tuli riittävän kestävä, yksinkertainen ja turvallinen. Opinnäytetyön kirjoitusprosessin aikana nosturin rakennetta ei ole kuitenkaan vielä aloitettu valmistamaan, joten sen toimivuuteen ei pystytä tässä kohtaa ottamaan kantaa.



KUVIO 12. Valmis kääntöpuominosturi

LÄHTEET

Finlex. 2008. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. Luettu 02.04.2020 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2008/20080400#Lidp455303488>

Finlex. 2008. Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta. Luettu 20.02.2020 (<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080403>)

Intolog, 2017. Kysyttyä nostimien ja nostureiden tarkastuksista. Luettu: 07.04.2020. <http://www.xn--sislogistiikka-7hb.fi/sisalogistiikka+12015/kysyttya+nostimien+ja+nostureiden+tarkastuksista/>

Karppinen, A., 1986. Ohutlevyjen taivutus. MET, tekninen tiedotus 23/1986. 48s.

Konecranes n.d., Monipuolinen kääntöpuominosturi. Luettu 25.02.2020 <https://www.konecranes.com/fi/laitteet/rajahdysvaarallisen-ympariston-nosturit-ja-nostimet/ex-kaantopuominosturi>)

Lepola, P., 2009. Hitsausmekaniikat ja teräsrakenteet. WSOY, 4.painos

METSTA, 2016. Hitsausmerkit, kalvosarja 6.4.2016

Outinen, H., Koski, J & Salmi, T. 2000. Lujusopin perusteet. Tampere: Klingendahl Paino Oy)

SFS-EN ISO 2553. 2019. Hitsaus ja sen lähiprosessit. Piirustusmerkinnät. Hitsausliitokset. Luettu 07.03.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/2/805329.html.stx>

SFS-EN ISO 13135:2013 + A1:2018. 2018. Nosturit. Turvallisuus. Suunnittelu. Laitteita koskevat vaatimukset. Luettu 25.03.2020. Vaatii käyttöoikeuden <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/723478.html.stx>

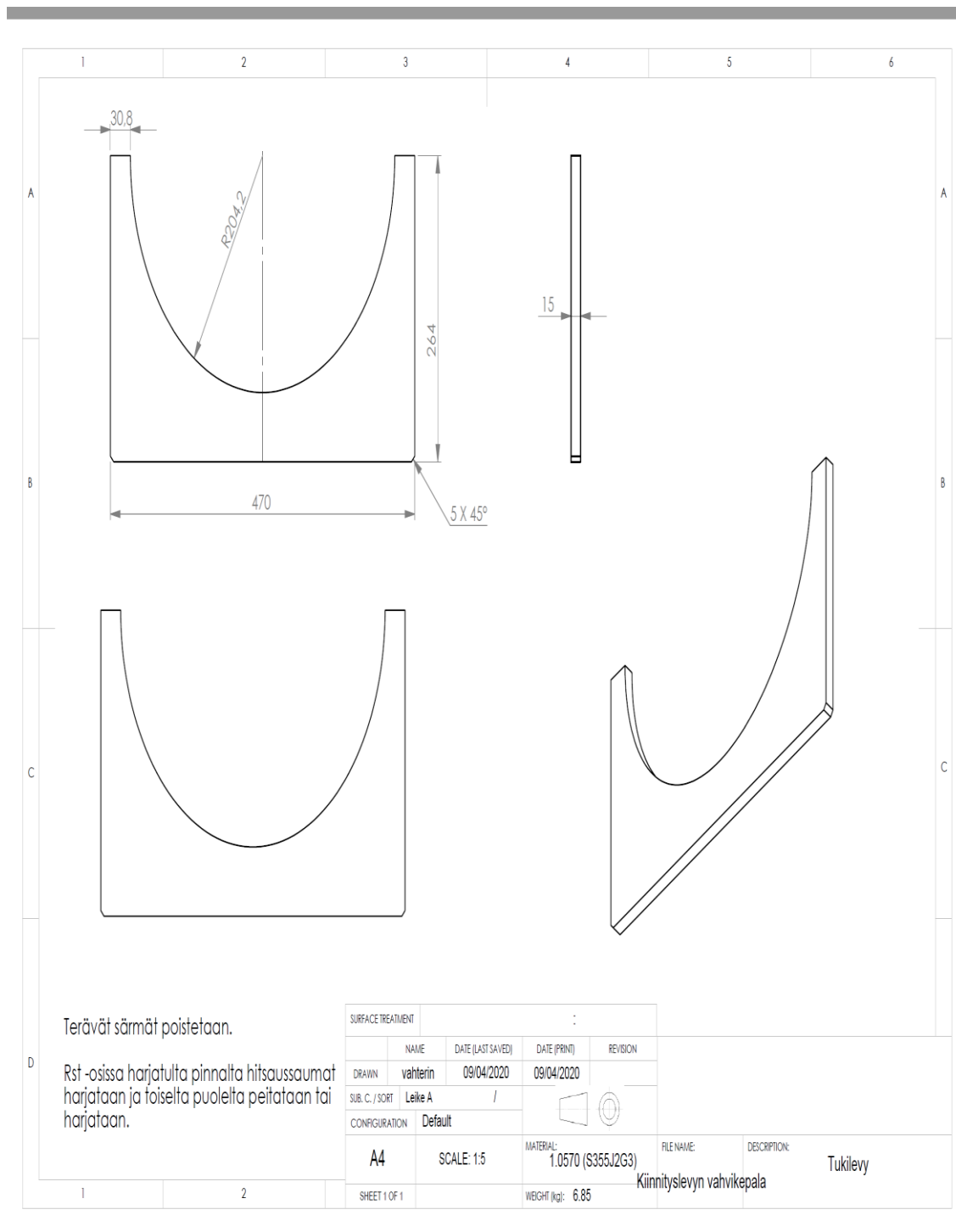
SFS-EN ISO 13920, 1997. Hitsaus. Hitsattuja rakenteita koskevat yleistoleranssit. Pituus- ja kulmamitat. Muoto ja sijainti. Luettu 01.04.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/12309.html.stx>

SFS, n.d., Standardien suhde direktiiveihin ja muihin asiakirjoihin. Luettu 25.02.2020. (https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardit_tutuksi/standardit_direktiivit_ja_ce-merkinta)

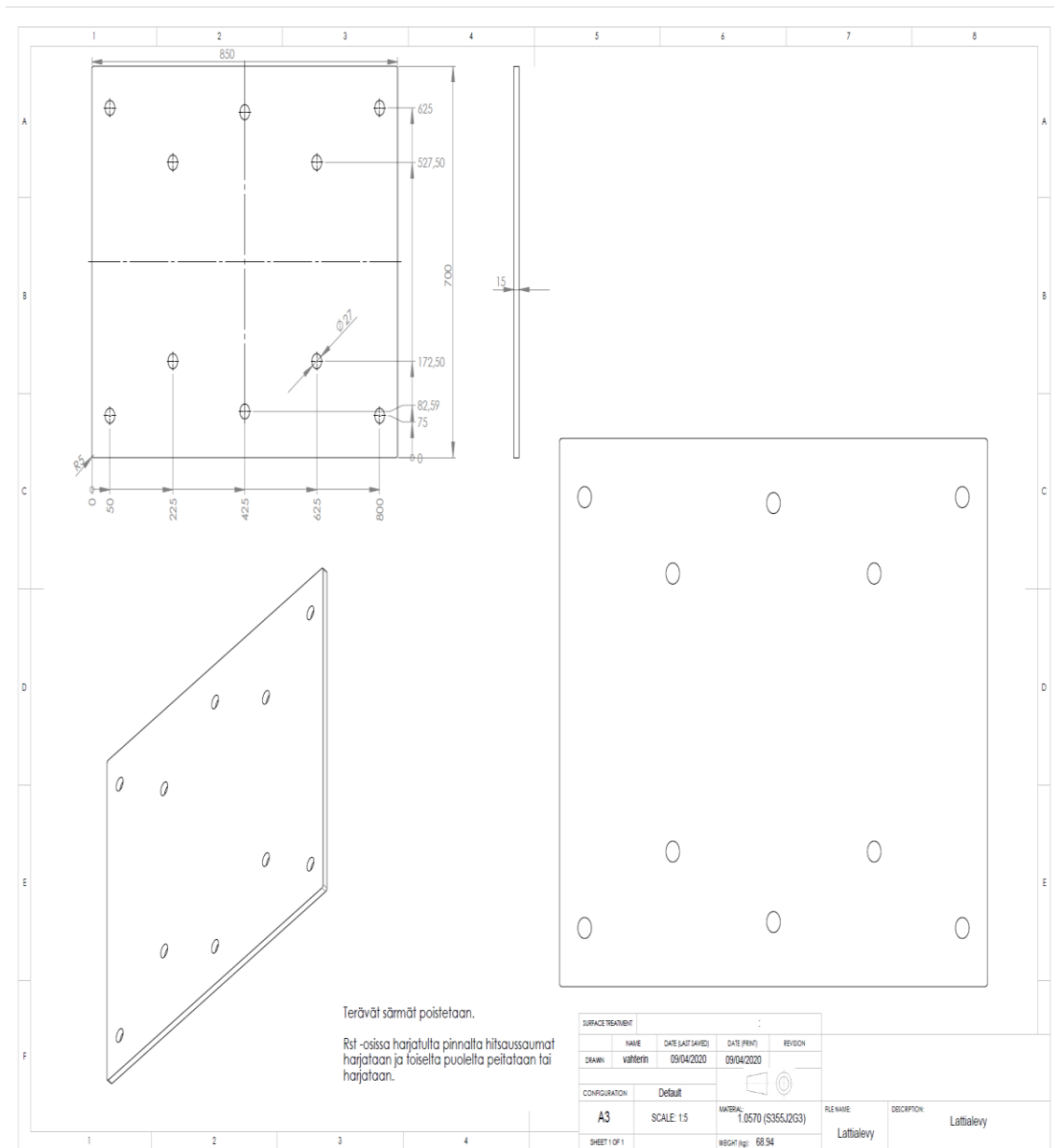
TUKES. 2008. Koneista koskevat vaatimukset. Luettu 27.03.2020 <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet>)

LIITTEET

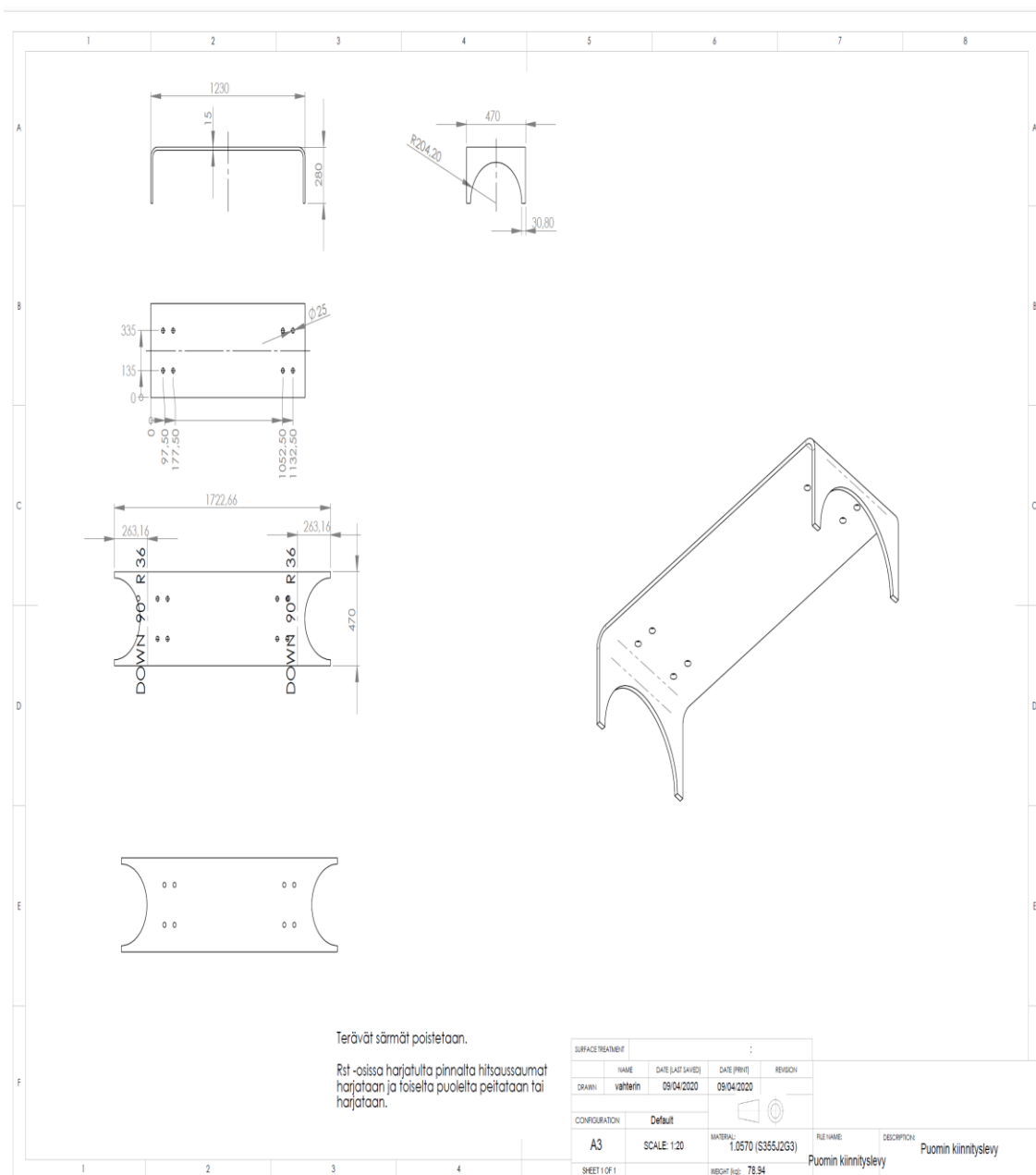
Liite 1. Vahvike levy



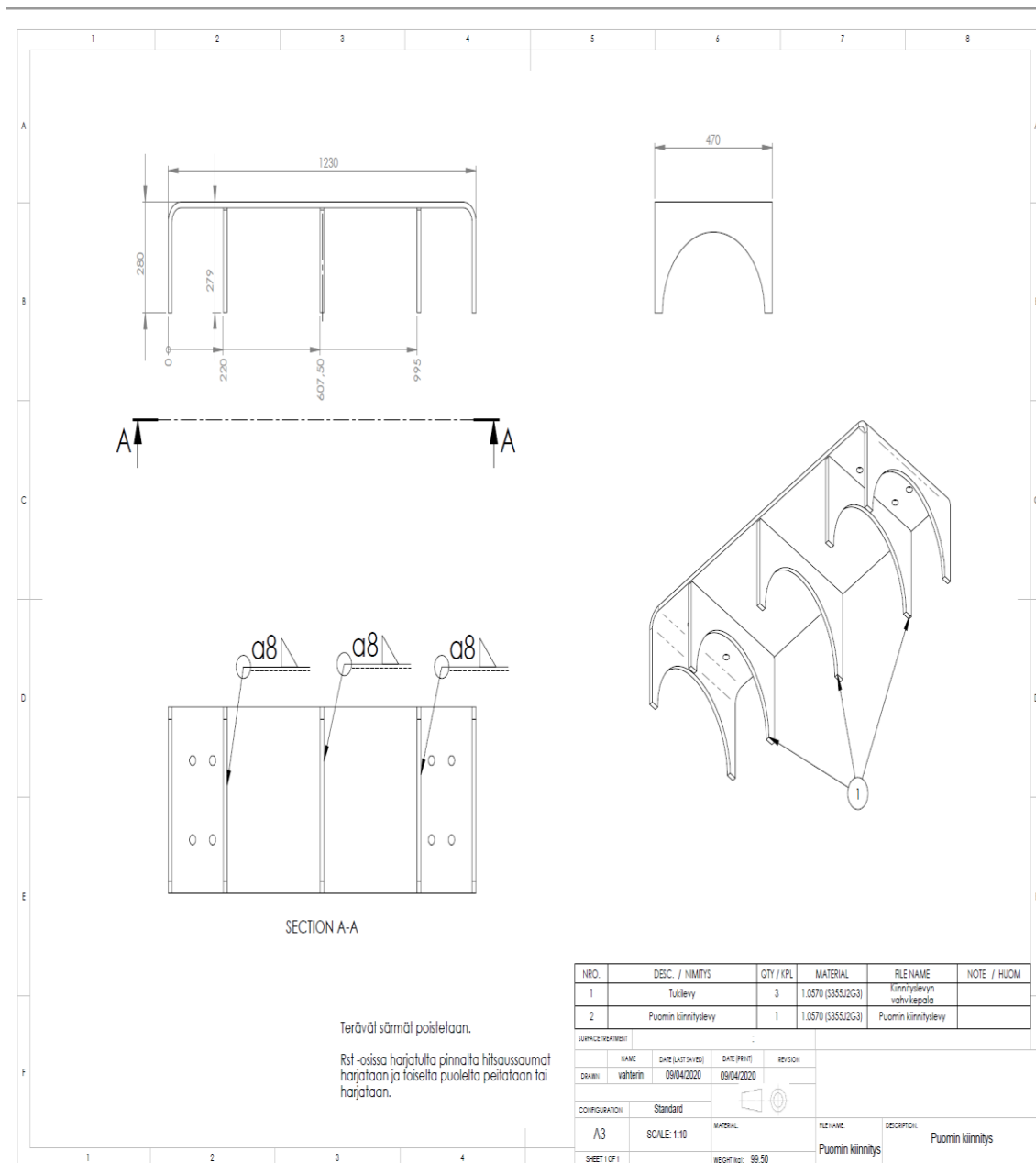
Liite 2. Lattialevy



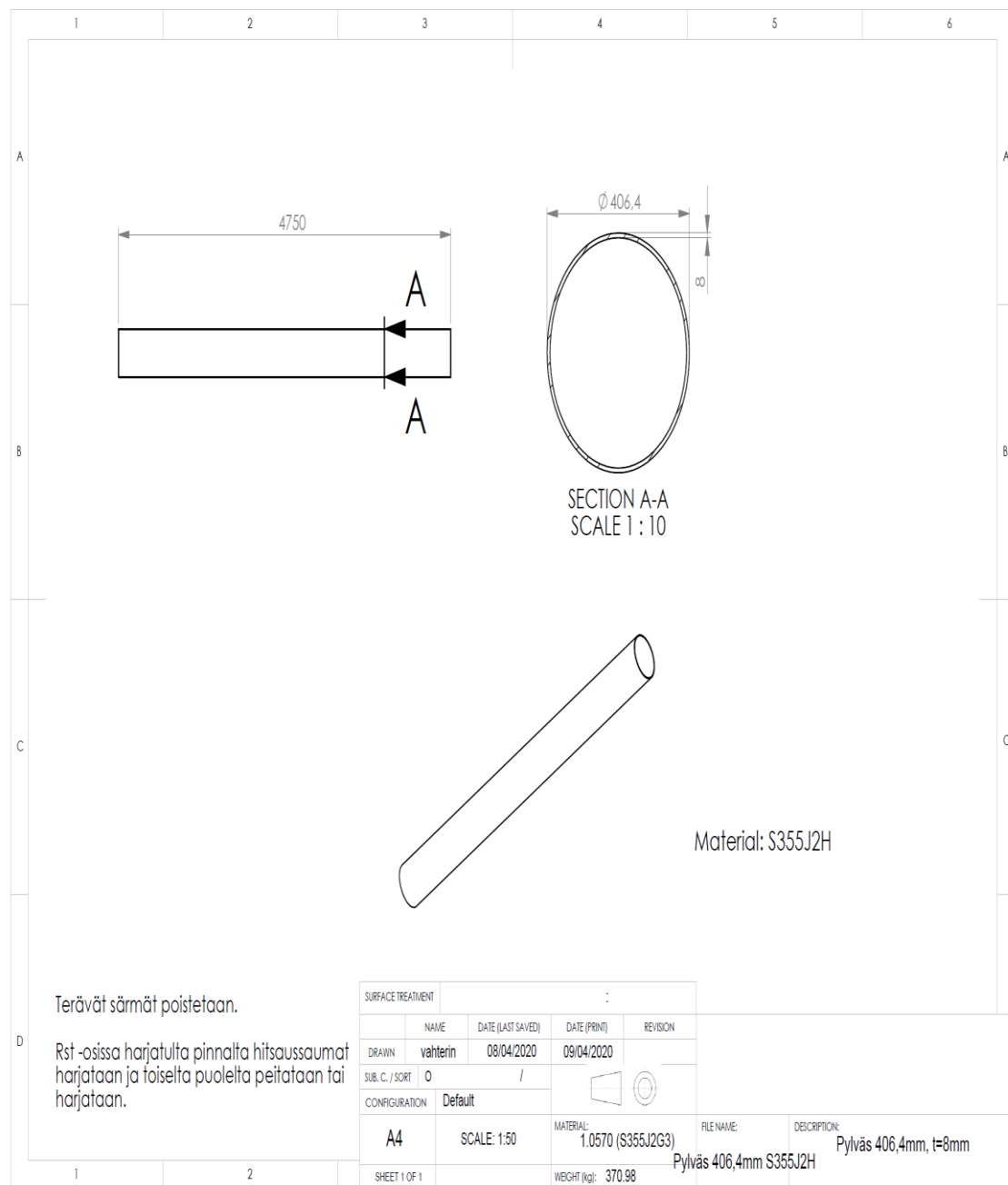
Liite 3. Puomin kiinnityslevy



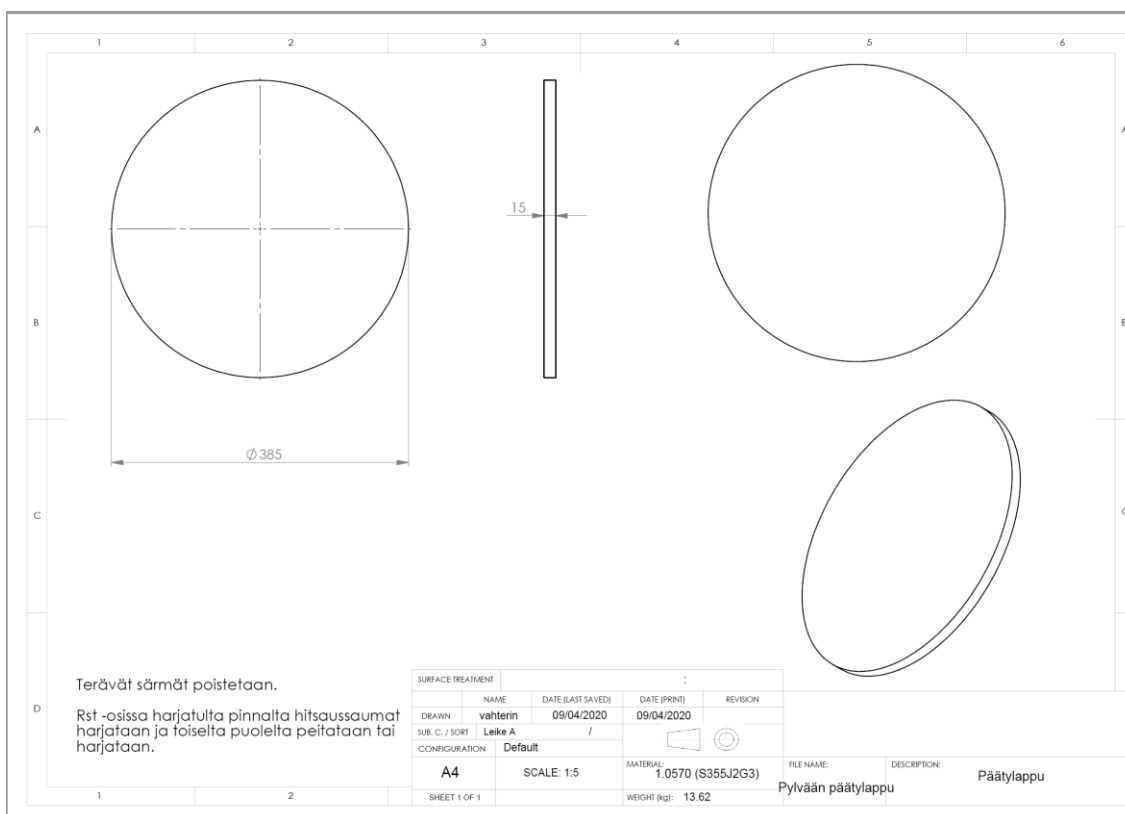
Liite 4. Puomin kiinnityslevyn hitsauskokoontamo



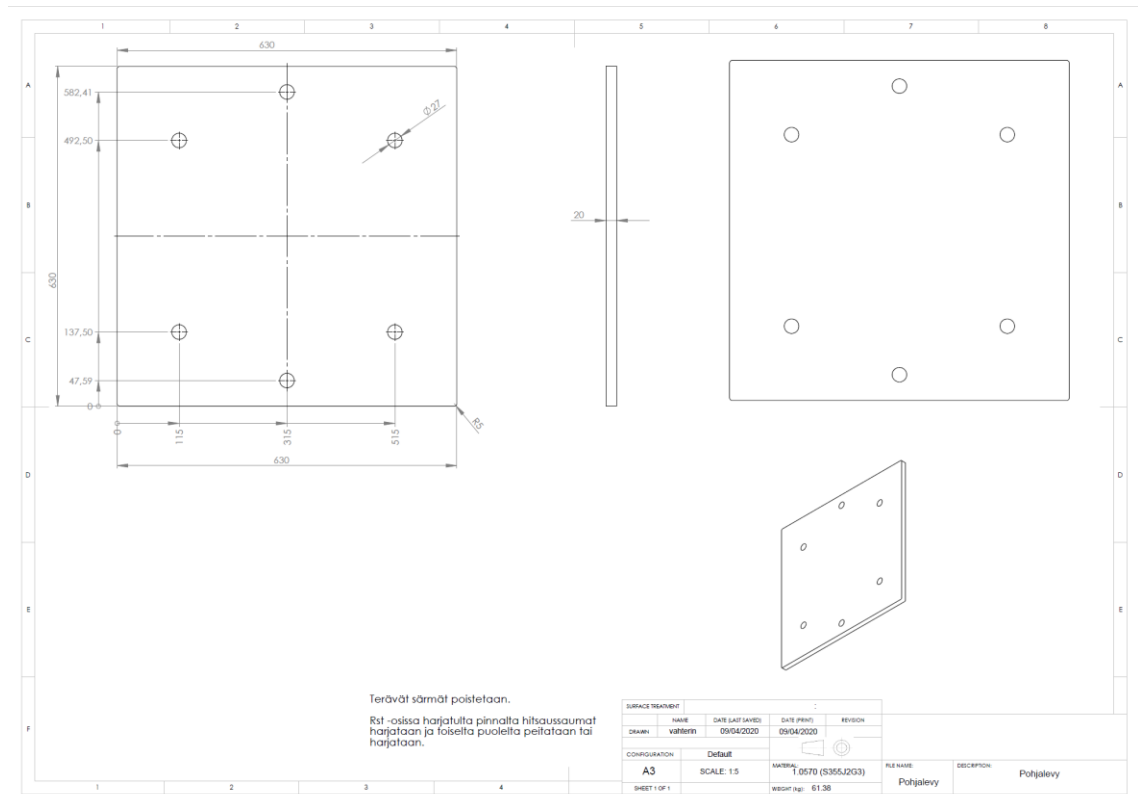
Liite 5. 406,4 mm ympyräputkipalkki



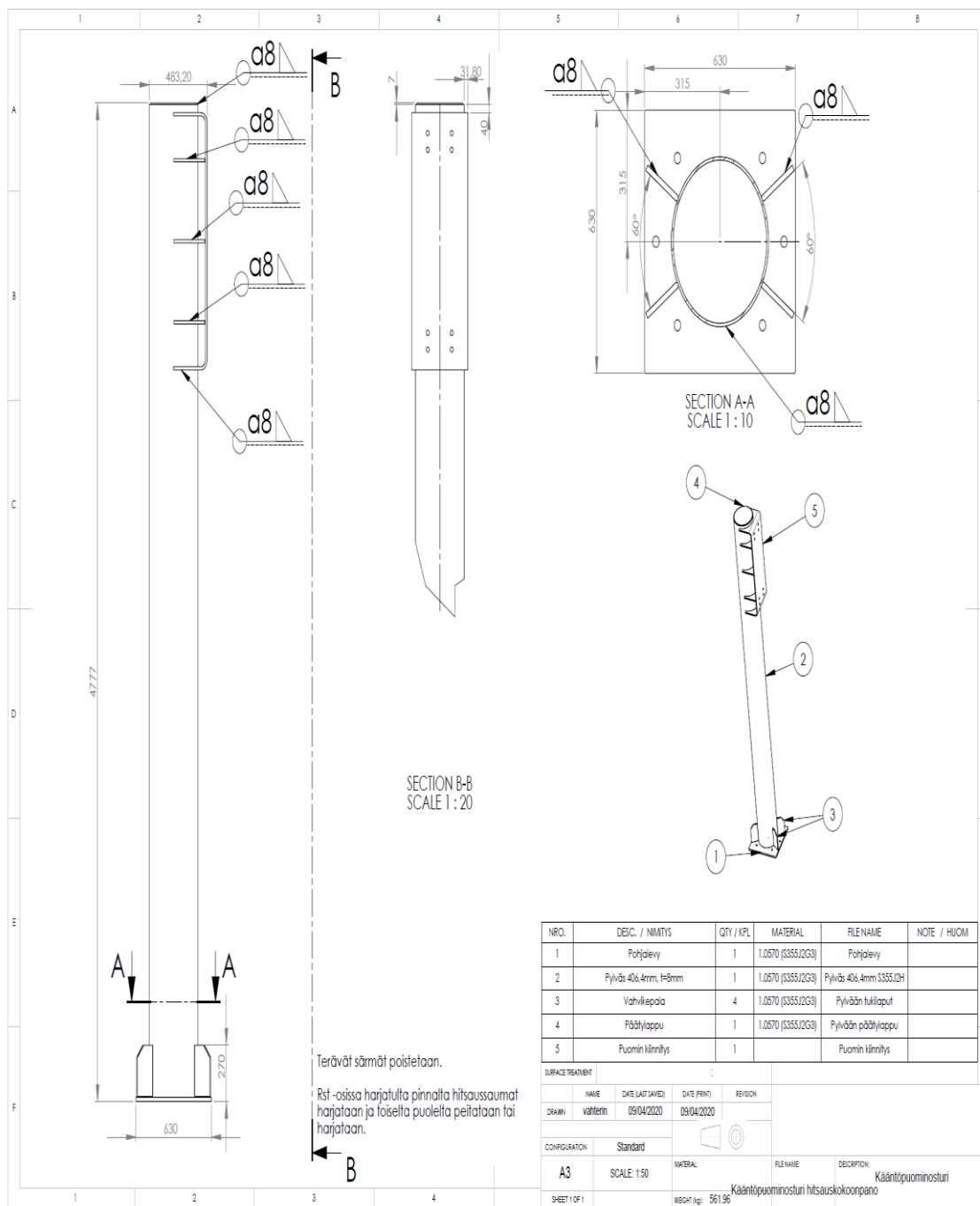
Liite 6. Pylvään päätylevy



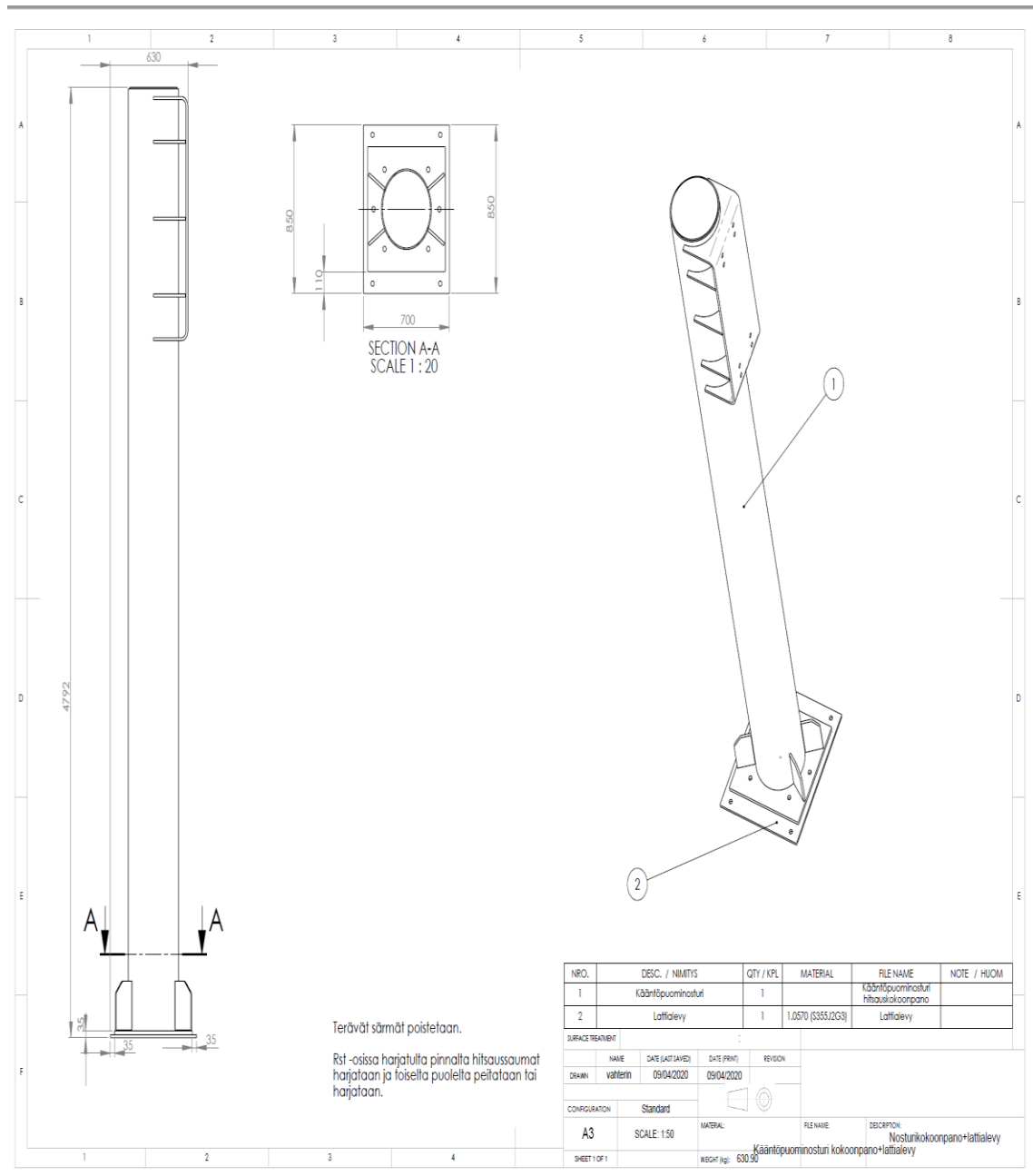
Liite 7. Pylvään pohjalevy



Liite 8. Pylvään hitsauskokoontamo



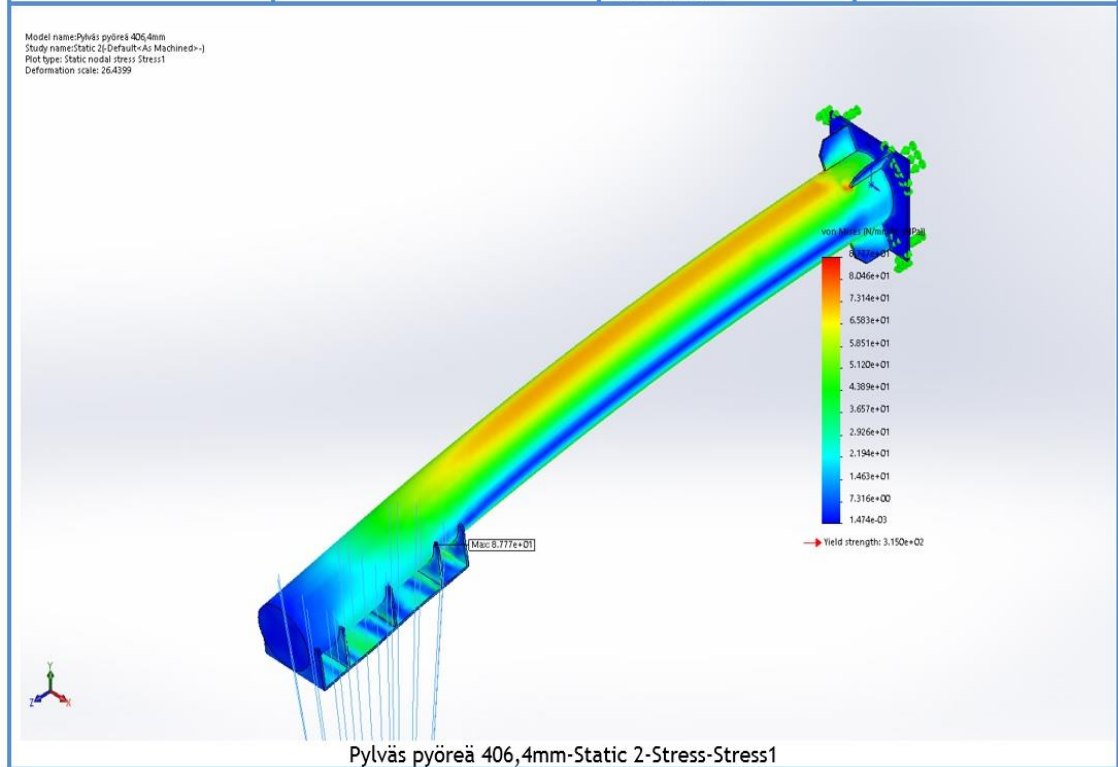
Liite 9. Pylvään kokoonpano



Liite 10. FEM-analyysin tulokset

Study Results

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	1.474e-03 N/mm ² (MPa) Node: 11880	8.777e+01 N/mm ² (MPa) Node: 3238



Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0.000e+00 mm Node: 5	1.812e+01 mm Node: 867