



# **Sellunostimen lujuustarkastelu**

Henri Hyysalo 1005714

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2013  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys

Henri Hyysalo  
Sellunostimen lujuustarkastelu

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 7 sivua  
Toukokuu 2013

---

Stevenel Oy suunnittelee, valmistaa, markkinoi ja myy lastinkäsittelylaitteita kappaleta-varasatamiin ja teollisuustermiinaaleihin. Automaattinen sellunkäsittelylaitteisto on patentoitu ja toimii yhtiössä keihäänkärkituotteena. Volyymituote PU4-EX on valittu opinnäytteen kohteeksi, jota lujuustarkastelun avulla pyritään keventämään ja mahdollisesti moduloimaan tuotesarjaa palvelemaan.

Lujuustarkastelussa on keskitytty pääpalkiston tarkasteluun ja valintoihin. Joilla laitteen kokonaispainoa voitiin alentaa. Palkkivalintojen yhteydessä tarkastellaan myös modulointimahdollisuuksia tuotesarjaan.

Nostolaitedirektiivit ohjaavat palkkivalintoja, jolloin lujuustarkastelu on keskeisessä asemassa. Nostolaitedirektiivin mukaiset varmuuskertoimet on otettu huomioon lujuustarkastelussa.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Machinery design & production technique  
R&D

Henri Hyysalo  
Stress Analysis of Pulp Lifting Device

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 7 pages  
May 2013

---

Stevenel ltd designs, produces, markets and sells cargo handling equipment for general ports and industrial terminals. Automated pulp handling products are patented and are the vital part of Stevenels offering. PU4-EX wich is the volume product of the serie has been selected for stress analysis to be able to possibly lighten the product and to improve the modularity of the product serie.

Focus of the stress analysis has been the main frame of the PU4-EX product. By doing this the weight reduction of the pulp handler can be made with selected options. Viewing the options of the stress analysis gave the possibility of modularization of the product serie.

Lifting device directives guides the beam options by given safety standards, wich were taken into a account in my calculations.

---

Key words: Pulp handling, Stress analysis, Weight decrease, Modularization

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	Nykyisen nostimen lujuuslaskenta ja tulokset.....	9
	<b>2.1 Nykyiset rakenteet ja materiaali.....</b>	<b>9</b>
	2.1.1 Nykyinen pääpalkisto.....	11
	2.1.2 Mallinnuksen kriteerit .....	13
	2.2 Nykyisen pääpalkiston lujuuslaskennan tulokset .....	15
	2.2.1 Pääpalkin laskennan tulokset .....	15
	2.2.2 Poikkipalkin laskennan tulokset.....	16
3	Uuden rakenteen määrittely.....	18
	3.1 Vaihtoehtoiset runkorakenteet .....	18
	3.1.1 Pääpalkki vaihtoehdot .....	18
	<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
	3.2 Modulointimahdollisuudet.....	20
	3.2.1 Pääpalkin modulointi tuotesarjaan .....	20
	3.2.2 Poikkipalkin modulointi tuotesarjaan .....	21
4	Uusien rakenteiden vaikutus painoon ja turvallisuuteen .....	22
	4.1 Painonmuutokset rakenteessa .....	22
	4.1.1 Pääpalkin painonmuutokset .....	22
	4.1.2 Poikkipalkin painonmuutokset.....	22
	4.1.3 Muutoksien vaikutus nostolaitteen kokonaispainoon .....	23
	4.2 Uusien rakenteiden vaikutus käyttöturvallisuuteen .....	23
	4.2.1 Pääpalkin turvallisuusvaikutukset.....	24
	4.2.2 Poikkipalkin turvallisuusvaikutukset .....	24
5	POHDINTA.....	26
	LÄHTEET.....	27
	LIITTEET .....	28
	Liite 1. Pääpalkin laskennan tulokset .....	28
	Liite 2. Pääpalkki käsinlasku .....	29
	Liite 3.Poikkipalkin mallinnus .....	30
	Liite 4. Poikkipalkki käsinlasku .....	31
	Liite 5. Poikkipalkki 200*150*8 .....	33

**LYHENTEET JA TERMIT**

PU-4EX	Sellunostin
SWL	Nostolaitestandardi
FEM	finite element method, elementtiverkkomenetelmä, jolla lasketaan kappaleiden lujuuslaskuja

## 1 JOHDANTO

Stevenel Oy on perustettu 1998. Se suunnittelee, valmistaa, markkinoi ja myy lastinkäsittelylaitteita maailmanlaajuisesti. Viennin osuus on n.80 % ja tällä hetkellä referenssitoimituksia on 16:sta maassa. Yhtiön liikeidea on kappaletavarasatamien lastaus- ja purkamistapojen mekanoisointi erilaisilla lastinkäsittelylaitteilla, jolloin ahtaustyö koneellistetaan. Tuotetarjonnan asiakkaat ovat satamaoperaattorit, nosturivalmistajat, nosturiura-koitsijat, teollisuustermiinaalit ja laivavarustajat.

Tuotetarjonta koostuu seuraavista tuoteryhmistä:

- Sellunostimet



-Sahatavaranostimet



-Paperirullanostimet



-Suursäkinostimet



-Terästuotennostimet



## -Pallettinostimet



Yhtiön johtavia tuotteita ovat sekä puoli-että täysautomaattiset sellunostinlaitteistot. Stevenel Oy on edelläkävijä automaattisessa sellunkäsittelyssä ja on patentoinut tuotteensa. Automaattisesta sellunostinsarjasta voluumentuote on PU4-EX, joka on valittu myös opinnäytetyön kohteeksi. Automatisoitu sellunostinsarja koostuu viidestä tuotteesta (PU2, PU3, PU4, PU5, PU6). Numeroindikaatio tuotenimessä viittaa selluysikköiden käsittelijöiden määrään. Selluysikkö on standardoitu ja painaa 2000kg. SE koostuu 8:sta sellupaalista, jotka on sidottu toisiinsa yksikkölangoilla, joista nosto tapahtuu.

Lujuustarkastelun tavoitteena on arvioida päärakenteiden kevennysmahdollisuutta ja mahdollista modulaarisuuden kehittämistä tuotesarjaa ajatellen. Lujuustarkastelussa käytetään nykyisten ja vaihtoehtoisten rakenteiden mallinnusta FEM-laskentaa varten.

Nostolaitteiden suunnittelua ja valmistusta ohjaavat EU-direktiivit, jotka on huomioitava laitteiden lujuustarkastelussa. Opinnäytetyössä haetaan optimirakennetta EU-direktiivit huomioon ottaen.



## 2 Nykyisen nostimen lujuuslaskenta ja tulokset

Pääpalkiston mallinnus ja lujuuslaskenta on tehty Static Structural -ohjelmalla, joka on osa Ansys Academic(R14.5) ohjelmistokokonaisuutta.

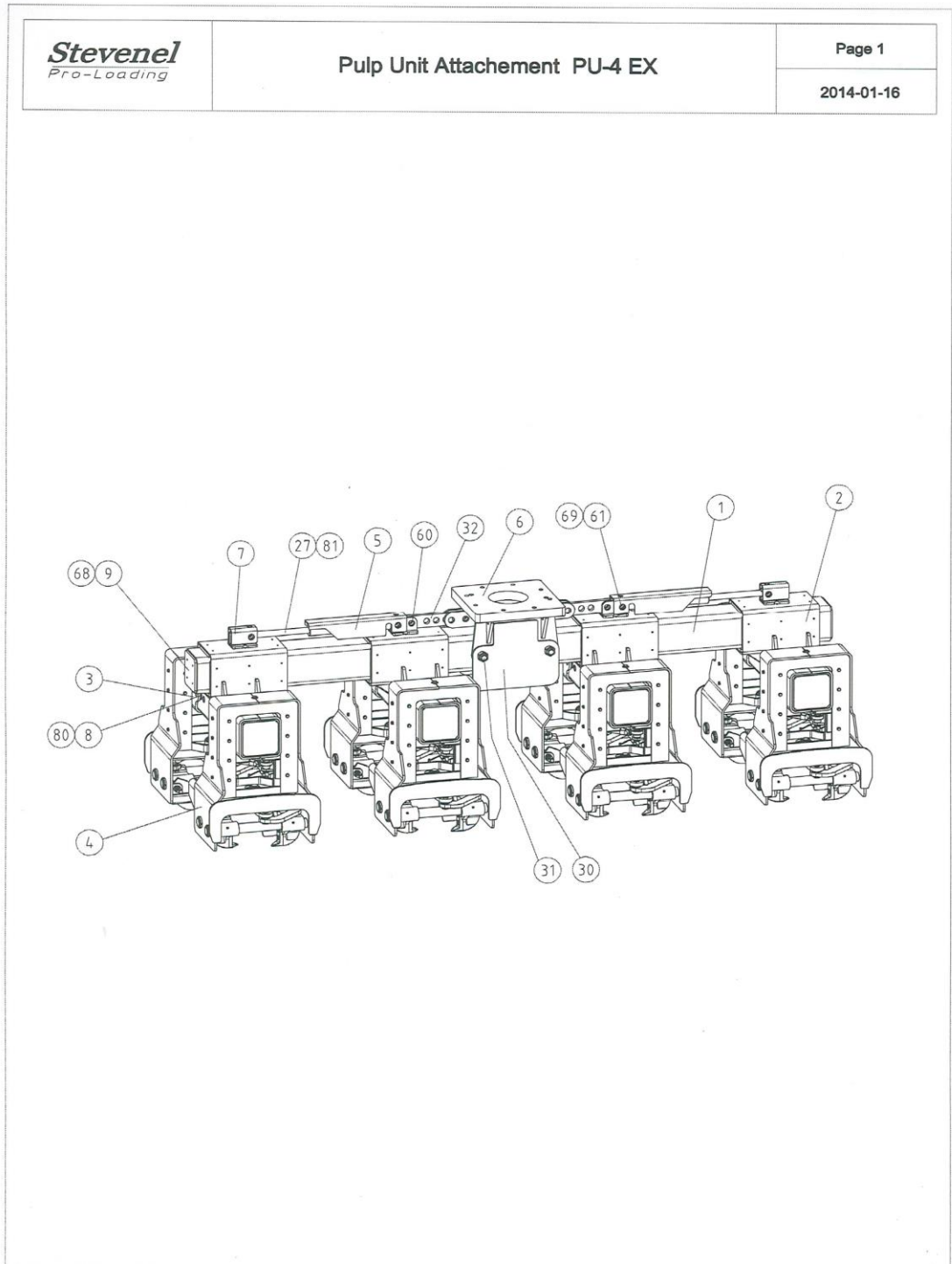
### 2.1 Nykyiset rakenteet ja materiaali

Laitteen rakenteet on suunniteltu hyvin. Helppo huollettavuus ja yksinkertaiset ratkaisut on havaittu erittäin toimivaksi kokonaisuudeksi (kuva 1).

Pääpalkissa on kiinni 4 poikkipalkkia, jotka kaikki ovat siirreltävässä pääpalkkia pitkin. Pääpalkin ja poikkipalkin kiinnitys on suoritettu liukuputkiratkaisulla ja pintoja ympäröi vähäkitkainen liukunailoni estämään kulutusta. Uloimpien poikkipalkkien levitystointi tapahtuu hydraulisyylinterin avulla ja sisempien poikkipalkkien liikuttaminen tapahtuu manuaalisesti lukitteella. Laite on aina kelluvassa tilassa, joten sylinterien ajo on synkronoitu tilavuusvirran jakomoottori läpi, jotta laite on aina tasapainossa. Poikkipalkissa on myös riittävästi säätövaraa täyttämään yleisimmät sellupaalimitat.

Kynsilaatikko on laitteessa alimpana oleva osa. Sen tarkoitus on tarttua sellupaaliin ympärille kerittävään metallilankavyyhtiin hydraulikalla ajettavien kynsien avulla. Sellupaalit ovat standardisoituja ja niiden paketointi tapahtuu samalla tavalla jokaisessa sellutehtaassa. Kynsilaatikat ovat myös kelluvia, joten paaleissa esiintyvät pienet korkeuserot eivät aiheuta ongelmia. Kynsien tarttumaväli on auki ollessaan 180mm.

Materiaalina laitteessa on käytetty yleisimpiä ja helposti saatavilla olevia kaupallisia teräksiä (S355).



KUVA 1. Sellunostin PU-4EX (Stevenel oy), (osanumerointi kuvassa)

### 2.1.1 Nykyinen pääpalkisto

Nykyinen pääpalkki(1) on mitoiltaan 200\*200\*10 mm, ja on pituudeltaan 3330 mm. Pääpalkin materiaalina on käytetty rakenneterästä S355J2G3C+C, jonka murtolujuus on 650-950 MPa, ja myötöraja 520 MPa. Palkkimateriaali on helposti saatavilla ja vaatii erittäin vähän työstöä. Nosturikiinnityksen hitsaaminen palkkiin on isoin työvaihe pääpalkissa.

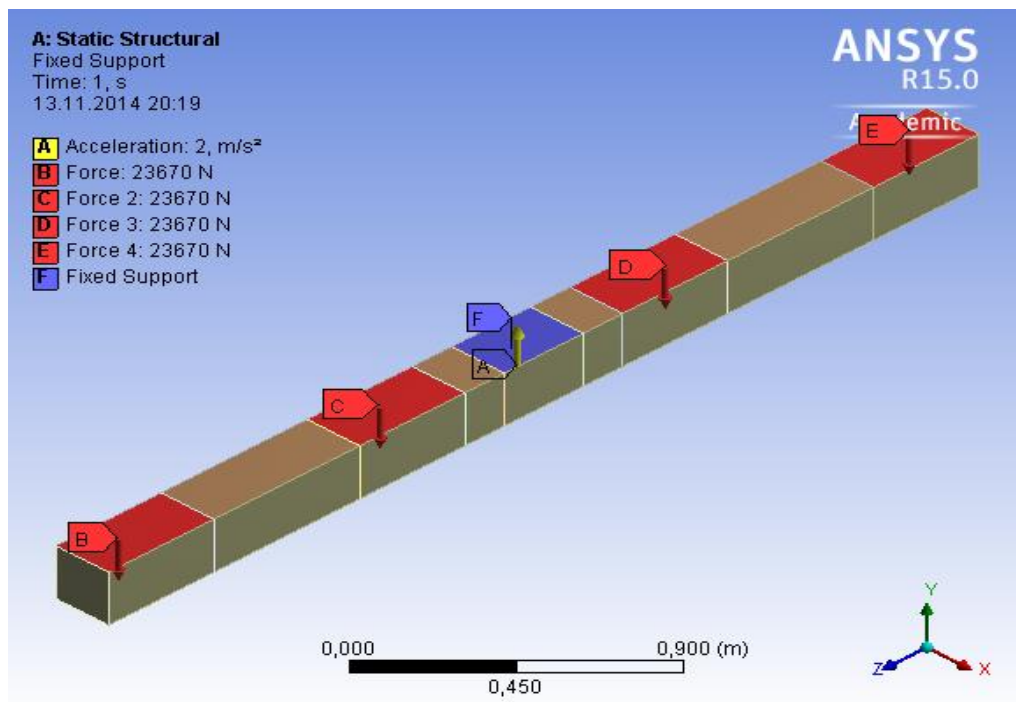
Poikkipalkkina(3) käytetään samaa putkipalkkia kuin pääpalkissa, jonka pituus on 1000 mm. Poikkipalkin säätövara tehdään manuaalisella tappilukitteella. Poikkipalkkiin hitsataan ulkoputki pääpalkkiin kiinnitystä varten (kuva 2).



## 2.1.2 Mallinnuksen kriteerit

Mallinnuksen kriteereinä on ensisijaisesti tietenkin paino. Sellupaalien painotoleranssien ja laitteen oman painon huomioonottaminen ovat pääseikat. Laitteessa on oltava myös tarpeeksi säätövaraa sellupaalien nostamista varten. Sellupaalit saattavat olla hieman liikkuneet varsinkin laivasta purettuna ja säätövaraa on hyvä olla. Laitteen omapaino pyritään pitämään mahdollisimman pienenä, jotta nosturi pystyy nostamaan mahdollisimman isolla säteellä, ilman että nosturin tarvitsee liikkua. Sellunostin laitteessa on oltava viisinkertainen varmuus standardin (SWL) mukaan. Tämä koskee kaikkia nostolaitteita. Suurin kuormitus kohdistuu tietenkin pääpalkkiin, joka kantaa niin laitteen, kuin nostettavan kuorman painon (kuva 3).

Laitteen pituus on määritelty siten että laite pystyy nostamaan neljä selluysikköä. Selluysikön mitat ovat hyvin samanlaisia ympäri maailmaa, mutta suhteellisen isot toleranssit on otettava huomioon sellunostimen säätövarassa ja sen säädeltävyydessä (kuva 4). Yhden selluysikön paino on 2000 kg ja laite nostaa neljä selluysikköä. Painoa tulee siis laitteen omapaino mukaanlukien 10500 kg. Nämä ovat mallinnuksen lähtökriteerit. Mallinnuksen laskenta perustuu tilanteeseen, missä nostolaitteen säädöt ovat ääriarvossa (kuva 4).



KUVA 3. Pääpalkin kuormitus, tuennat ja nostokiihtyvyyys. (ANSYS)

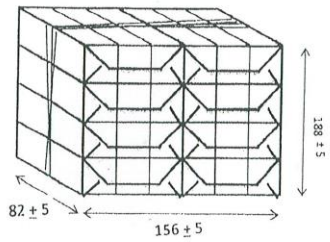


DIRECCIÓN DE VENTAS  
Paseo de la Castellana, 35  
28046 Madrid - ESPAÑA  
Tel: (34) 91 337 8615  
Fax: (34) 91 337 8602  
www.ence.es

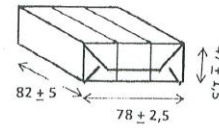
Bleached Kraft Pulp based on *Eucalyptus globulus*

### NAVIA PULP

UNITS  
8 BALES  
GROSS WEIGHT 2,000 KG



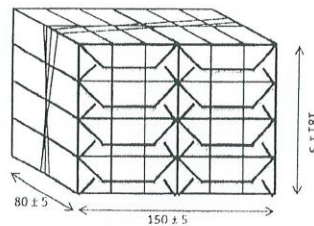
BALES  
GROSS WEIGHT 250 KG



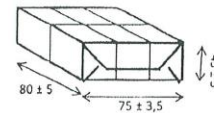
Mill	NAVIA	
	Bale	Units
Wire Number	2	7
Diameter	2,3 ± 0,05	3,0 ± 0,05
Weight, kg/bale-unit	0,25	3,17
Strength, kg/mm	80-100	80-100

### HUELVA PULP

UNITS  
8 BALES  
GROSS WEIGHT 2,000 KG



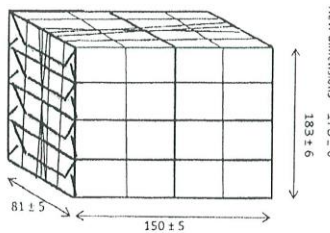
BALES  
GROSS WEIGHT 250 KG



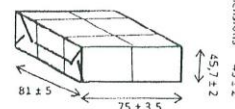
Mill	HUELVA	
	Bale	Units
Wire Number	3	7
Diameter	3 ± 0,05	2,3 +/- 0,03
Weight, kg/bale-unit	0,25	3,17
Strength, kg/mm	95-110	70-90

### PONTEVEDRA PULP

UNITS  
8 BALES  
GROSS WEIGHT 2,000 KG



BALES  
GROSS WEIGHT 250 KG



Mill	PONTEVEDRA	
	Bale	Units
Wire Number	3	7
Diameter	2,3 ± 0,05	3,0 ± 0,05
Weight, kg/bale-unit	0,25	3,17
Strength, kg/mm	80-100	80-100

\* units in cm

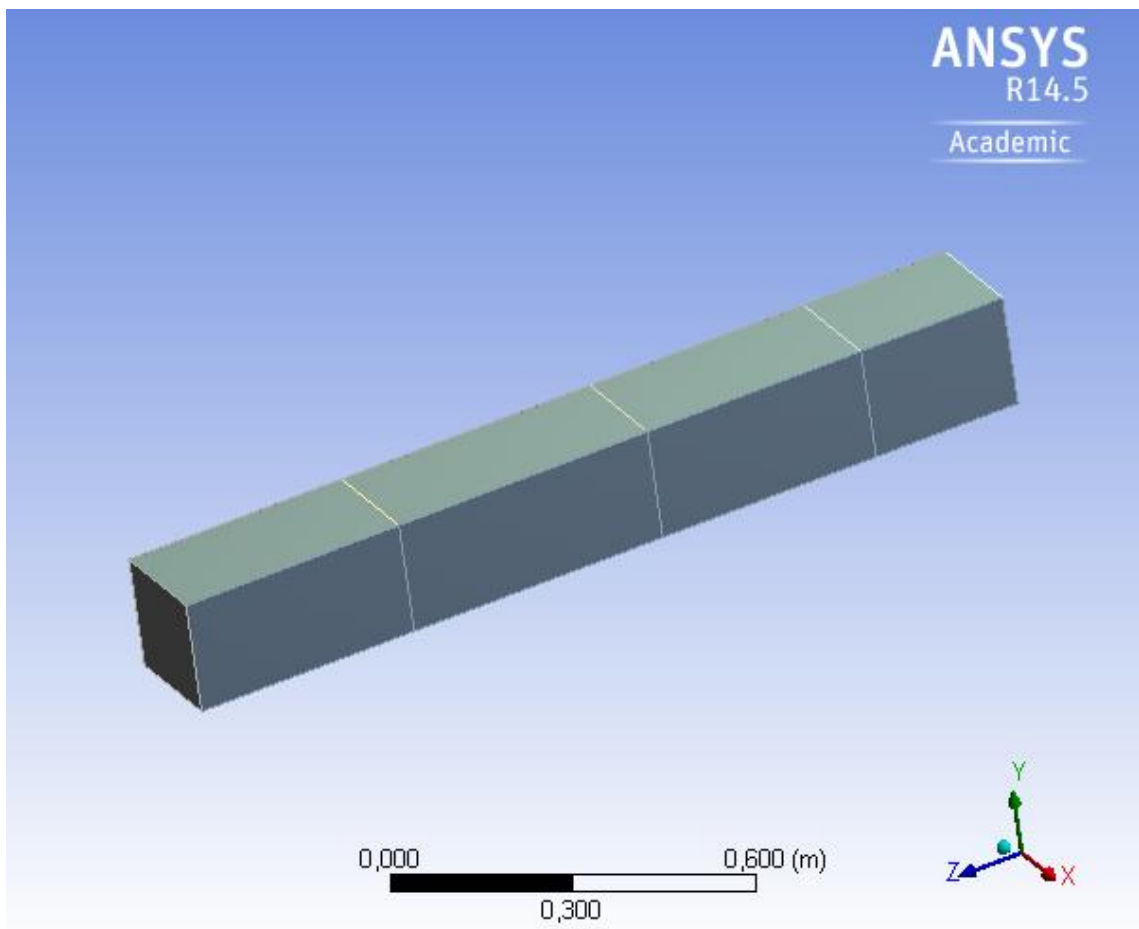
KUVA 4. Sellupaalien yleismitat (Ence, energia&celulosa)

## 2.2 Nykyisen pääpalkiston lujuuslaskennan tulokset

Tarkoituksena oli siis tutkia laitteessa olevia liikalujuuksia ja mahdollisesti keventää sellunostinlaitetta tämän pohjalta. Ilman laskentaa oli jo selvää että poikkipalkeissa oli liikalujuutta ja sen myötä myös keventämisen mahdollisuus. Laskenta suoritettiin Ansys Academic(R14.5) ohjelman Static Structural -ohjelmisto-osuudella. Myös käsinlasku suoritettiin tulosten varmistamiseksi. Koska sellunostinlaitteen rakenne on symmetrinen, niin laitetta ei tarvinnut mallintaa kokonaan, vaan puolitettu kokonaisuus laitteesta antaa saman tuloksen. Laskennoissa oli myös otettava huomioon nosturin nosto- ja jarrutuskiihtyvyys. Nämä tiedot saatiin nosturivalmistajilta.

### 2.2.1 Pääpalkin laskennan tulokset

Nykyisen pääpalkin (RHS 200\*200\*10) materiaaliltaan S355J2G3C+C tuotti laskennassa tuloksen 101.58MPa, mikä täyttää standardin SWL vaatimukset (liite 1), (kuva 5)

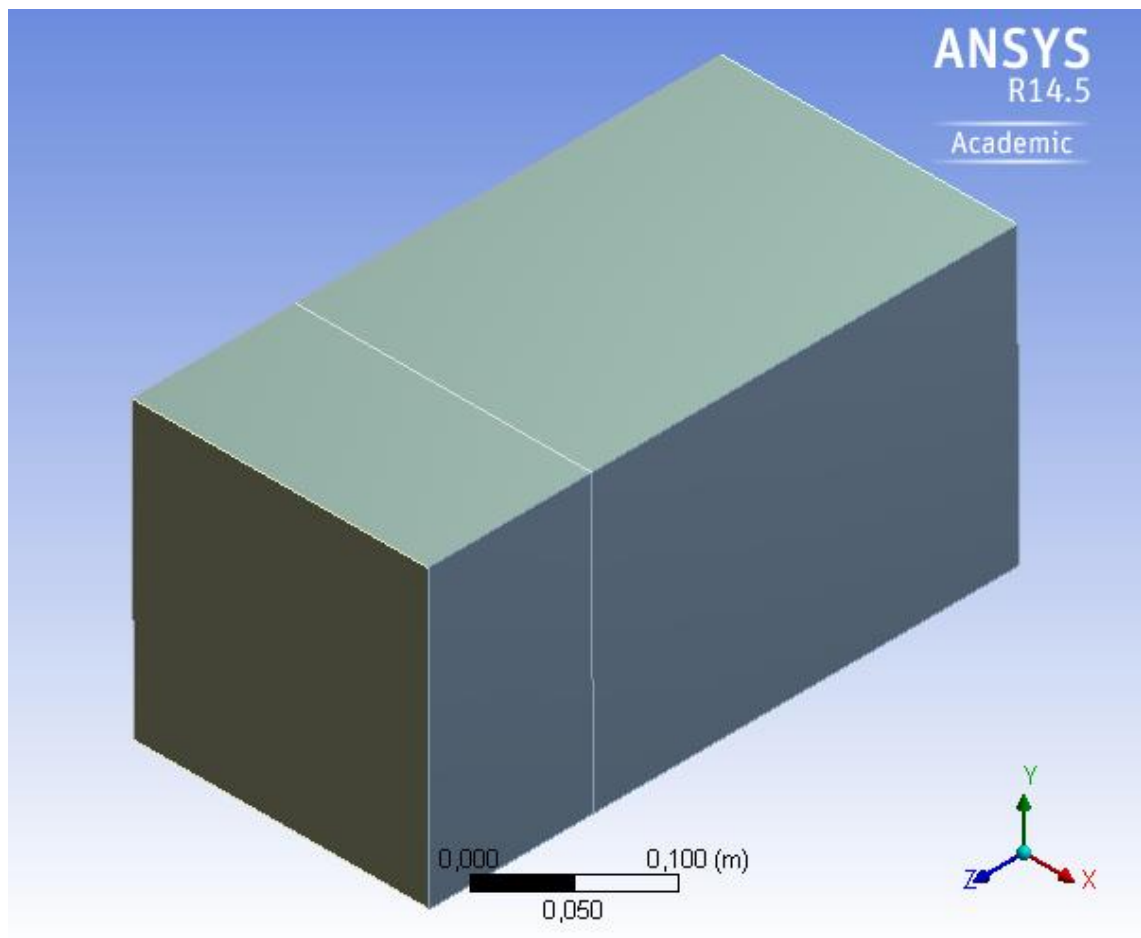


KUVA 5. Pääpalkin mallinnus

Manuaalilaskenta varmisti edellä olevan tuloksen. Jännityksen arvoksi pisteuormaa käytettäessä saatiin 108MPa, mikä osoittaa että suuruusluokat ovat kohdallaan. Palkkia ei kuitenkaan kuormita kaksi pisteuormaa vaan kaksi kuormaa, mitkä ovat jakautuneet 400 mm matkalle. Käsinlasku antoi tasaisenkuormituksen laskuissa suurimman jännityksen arvoksi 44 MPa. Suurimman sallitun jännityksen arvon ollessa 104 MPa. Laskennassa on otettu huomioon nosturin nostokiihtyvyyttä (liite 2).

### 2.2.2 Poikkipalkin laskennan tulokset

Poikkipalkin laskennassa oli jo selvää, että palkissa esiintyy liikalujutta. Tällä hetkellä laitteessa käytettävä palkki (RHS 200\*200\*10) antoi mallinnuksen jälkeen tuloksen 25 MPa, mikä alittaa sallitun maksimijännityksen yli nelinkertaisesti (liite 3) (kuva 6).



KUVA 6. Poikkipalkin mallinnus



Manuaalilaskennan tulos antoi kyseisellä kuormituksella kiihtyvyyden mukaanlaskettuna maksimijännitykseksi 10,6 MPa. Nämä kaksi laskentaa ilmaisevat sen että nostinlaitetta on mahdollista keventää muuttamalla poikkipalkin rakennetta tai palkin paksuutta (liite 4).

### 3 Uuden rakenteen määrittely

#### 3.1 Vaihtoehtoiset runkorakenteet

Uuden rakenteen määrittelyn yhteydessä päätimme että teräslaatu (S355J2G3C+C) pysyy samana. Tämä tietenkin rajasi vaihtoehtoja. Tällöin pinnalle nousi putkipalkin profiilin vaihtaminen suorakaiteen muotoiseksi, mikä lisää taivutusvastusta palkin massan ollessa sama. Taivutusvastus kasvaa vertikaalisessa suunnassa 10.5% (RHS 200\*200\*10 vrt. 250\*150\*10) valittaessa suorakaidepalkki. Molemmat palkkivaihtoehdot ovat mukana lujuustarkastelussa. Palkiston taivutusvastuksen kasvattaminen vertikaalisessa suunnassa ja samalla nostinlaitteen rakenteen painonpudottaminen on siis mahdollista. Nostinlaitteeseen kohdistuvat sivuttaissuuntaiset voimat ovat hyvin pieniä, koska sellunostin on kiinnitetty nosturiin ristikappaleella, mikä mahdollistaa laitteen vapaan liikkumisen.

Nostimen lujuustarkastelu tehdään direktiivien mukaisesti nostettavan kuorman ehdoilla. Suurin syy nostolaitteen vaurioitumiselle on ollut nosturin virhekäyttö. Sellulaitetta käyttävät täyshydrauliset nosturit pystyvät vaurioittamaan nostolaitetta esim. painamalla nostolaitetta liian lujaa nostettavaa kuormaa vasten, mikä aiheuttaa rakennevaurioita pääpalkissa. Täyshydraulisen nosturin puomipaino on pelkästään 15-20t, minkä lisäksi hydraulikasta saatava voima voi kohdistua virhekäytöstä myös työlaitteeseen. Nostolaitteen yleiset käyttöohjeet kieltävät kaiken painamisen maata tai ruuman seiniä vasten. Tällöin suorakaiteen muotoinen palkki lisää lujuutta vertikaalisessa suunnassa ja samalla keventäisi rakennetta.

##### 3.1.1 Pääpalkki vaihtoehdot

Vanhan rakenteen lujuuslaskennan jälkeen oli hyvin miellyttävä tutkia uusia pääpalkkivaihtoehtoja. Potentiaalisiksi vaihtoehtoiksi nousi kolme eri palkkimallia. Neliöpalkki 200\*200\*8, suorakaidepalkki 250\*150\*10 ja suorakaidepalkki 250\*150\*8. Optimaalisin näistä vaihtoehtoista olisi tietenkin 200\*200\*8 tai 250\*150\*8, rakenteen keventämisen kannalta. Valitettavasti optimaalisten palkkien lujuudet eivät täyttäneet sallittua maksimijännitystä 104 MPa, vaan ylittivät sen. Neliöpalkki 200\*200\*8 antoi mallin-

nuksen jälkeen maksimijännityksen 124 MPa ja suorakaidepalkin 250\*150\*8 maksimijännitys oli 108 MPa. Parhaaksi vaihtoehdoksi jäi siis suorakaidepalkki 250\*150\*10 lujuuden kannalta (88MPa). Tämä valinta toisi tietenkin lisää lujuutta laitteeseen, mutta laitteen paino pysyisi samana.

Pääpalkin muuttaminen suorakaidepalkiksi toisi muutoksia pääpalkin ja poikkipalkin kiinnitykseen, mutta kyseessä olisi vain sisä- ja ulkoputkien koon muuttaminen suorakaiteen muotoiseksi. Nämä palkkivaihtoehdot valittiin helpon saatavuuden ja hinnoittelun takia (liite 5).

### 3.1.2 Poikkipalkki vaihtoehdot

Poikkipalkkien vaihtoehtojen määrittäminen oli yksinkertaista vanhassa rakenteessa esiintyvien ylilujuuksien takia. Myös poikkipalkkiin valittiin kolme vaihtoehtoa neliöpalkki 200\*200\*8, 200\*200\*6 ja suorakaidepalkki 200\*150\*8. Tässä vaiheessa jo tiedettiin että näiden vaihtoehtojen maksimijännitykset tulisivat jäämään paljon alle sallitun maksimijännityksen. Laskennan tuloksena palkit saivat maksimijännitysarvot:

- Neliöpalkki 200\*200\*8 maksimijännitys oli 30,5 MPa
- Neliöpalkki 200\*200\*6 maksimijännitys oli 52,8MPa
- Suorakaidepalkki 200\*150\*8 maksimijännitys oli 34,4 MPa

Ohuemman palkkirakenteen käyttö on poissuljettua, vaikka lujuudet sen sallisivat. Nosturin väärinkäytöstä johtuvien iskujen takia. Tiedossa on ollut tapauksia, missä laite on väärinkäytön takia iskeytynyt ruuman seinään, tai se on painettu nosturin puomilla nostettavaa kuormaa vasten. Nykyisen pääpalkin myötöraja ylittyy 28t:n ylikuormitusvoimasta ääritapauksessa, jolloin nosturin puomi painaa palkkia keskeltä palkin ollessa tuettuna uloimmista kynsilaitikoista. Uusimmissa hydraulिनostureissa on alaspäin suuntautuvaa voimaa tarkasteleva painatuksenestojärjestelmä esim. hybrilift, jota säätämällä pystytään rajoittamaan työlaiteeseen kohdistuvaa voimaa. Painatuksenestolla pystytään säätämään alaspäin suuntautuvaa voimaa 3,5-15,7t riippuen nosturin koosta (lähde 1). Parhaaksi vaihtoehdoksi valittiin suorakaidepalkki 250\*150\*8 (liite 6).

## 3.2 Modulointimahdollisuudet

Tällä hetkellä tuotesarja kattaa seuraavat tuotteet automaattiseen sellunkäsittelyyn: PU-2EX, PU-3EX, PU-4EX ja PU-5EX. Numero sellunostinmalleissa tarkoittaa käsiteltävien selluysiköiden määrää. Tällä hetkellä kynsilaatikot ovat kaikissa tuotesarjan tuotteissa samat, mutta pääpalkiston pituudet ja lujuustarpeet vaihtelevat. Toivottavaa on että löytyisi tietty palkkimalli, joka täyttää tuotesarjan lujuusvaatimukset. Pääpalkistossa on tietenkin oltava sama ulkomitta kaikkiin sellunostinmalleihin, jotta modulointikriteerit täyttyvät.

### 3.2.1 Pääpalkin modulointi tuotesarjaan

Modulointimahdollisuutta on lähettävä tarkastelemaan lujuuksien kautta. Suurin sellunostin PU-5EX onkin pohja tälle moduloinnille. Sellunostinaitteessa suurimmat jännitykset kohdistuvat aina pääpalkkiin, joten sen optimoiminen on tärkeää. Tämä tarkoittaa liikalujuuksia pienemmissä sellunostimissa, mutta se on suotavaa aikaisemmin mainittujen nosturin virhekäyttöjen takia.

Pääpalkin modulointi olisi hyvin oleellista varsinkin varaosien ja huollon helpottuvuuden kannalta. Tällöin voisi poikkipalkkeja säilyttää varastossa ja lähettää tarpeen mukaan mikäli virhekäyttöjä sattuu. Aiemmista valinnoista neliöpalkki RHS 200\*200\*6,3, 8,0 10, 12,5, 16,0. Valitsemalla sopiva seinämävahvuus tämän palkkivaihtoehdon käyttö sellunostinsarjassa on mahdollista. Tämä valinta ei aiheuta muutoksia nykyiseen rakenteeseen.

Suorakaidepalkki 250\*150\*6,3, 8,0, 10, 12,5, 16, joten tämän suorakaidepalkin hyödyntäminen sellunostinsarjassa on myös mahdollista. Aiemmista laskuista kävi jo ilmi että suorakaidepalkki kestää jännitystä neliöpalkkia paremmin, joten voisi olla mahdollista päästä pienempään seinämävahvuuteen suorakaidepalkilla. Tämä valinta tarkoittai-

si liukuputkien uudelleensuunnittelua, mitkä kiinnittävät poikkipalkit pääpalkkiin. Kyseessä ei ole suuri muutos.

### **3.2.2 Poikkipalkin modulointi tuotesarjaan**

Vaihtoehtoiset poikkipalkkimallit 200\*150\*8, 200\*200\*8 ja 200\*200\*6,3 täyttävät lujuudelliset kriteerit. Kiinnostavin kyseisistä palkkivaihtoehdoista 200\*150\*8, joka toisaalta muuttaisi nykyisiä kynsilaatikkorakenteita, mutta keventäisi rakennetta. Palkin korkeus toimii liukupintana kynsilaatikoille ja on todettu riittävän korkeaksi ohjauspinnaksi kynsilaatikoiden vertikaaliseen liikkumiseen. Matalampi palkki-profiili heikentäisi kynsilaatikoiden sivuttaissuunnassa tarvittavaa stabiiliutta. Muut vaihtoehtoiset poikkipalkkimallit eivät muuttaisi nykyistä kynsilaatikkorakennetta.

Mikäli valinta on suorakaidepalkki 200\*150\*8, se riittäisi täyttämään kaikkien nykyisen sellunostintuotesarjan lujuusvaatimukset. Tällä vaihtoehdolla saataisiin laitetta myös kevennettyä.

## **4 Uusien rakenteiden vaikutus painoon ja turvallisuuteen**

### **4.1 Painonmuutokset rakenteessa**

Sellunostimen painon määritteleen EU-direktiivien mukaiset varmuuskertoimet. Rakenteessa on myös otettava huomioon nosturin mahdolliset virhekäytöt, jolloin mitään rakennetta ei pidä jättää liian heikoksi. Nämä rajoittavat tekijät otettiin huomioon.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella ensisijaisesti sellunostimen lujuudet suurimmilta rasitusalueilta. Lujuustarkastelun jälkeen oli myös mahdollista pudottaa laitteen painoa palkkirakenteita muuttamalla, ottaen tietysti edellämainitut kriteerit huomioon. Painon pudotus mahdollistaa nosturin nostokyvyn paranemisen äärietaisyyksille, mikä lisää tehokkuutta, koska nosturia ei tarvitse liikutella.

#### **4.1.1 Pääpalkin painonmuutokset**

Vaihtoehtoinen palkkirakenne 250\*150\*10 ilmeni laskennoissa riittävän lujaksi ja antoi maksimijännitysarvoksi 88MPa, kun taas käytössä ollut palkkirakenne 200\*200\*10, jonka maksimijännitys oli 101,5 MPa. Molemmat palkkimallit alittivat sallitun maksimijännityksen 104 MPa.

Valittaessa palkkimalli 250\*150\*10 painonpudotusta ei tapahdu, mutta lujuudellisista, sekä paremmista modulointimahdollisuuksista johtuen tämä palkkimalli on järkevää valita. Valitun suorakaidepalkkimallin seinämävahvuudet (6.3, 8, 10, 12.5, 16) antavat mahdollisuuden käyttää ko. palkkimallia kaikissa tuotesarjan nostimissa seinämävahvuutta muuttamalla. Tällöin on valmistuskuvissa oltava selkeät palkin seinämävahvuusmerkinnät kullekin tuotteelle.

#### **4.1.2 Poikkipalkin painonmuutokset**

Vaihtoehtoisista palkkimalleista valitun suorakaidepalkki 200\*150\*8 alitti sallitun jännitystason (34 MPa). Lujutta on selkeästi liikaa, mutta aiemmin mainittu kynsilaatikoiden stabiilisuustarpeiden johdosta palkin on oltava vähintään 200 mm korkea. Suorakaidepalkin on myös oltava ylimitoitettu nosturin virhekäyttömahdollisuuden takia.

Valitulla palkkimallilla syntyy sellunostimeen painonpudotusta 69.6 kg, verrattuna nykyiseen palkkimalliin 200\*200\*10.

#### **4.1.3 Muutoksien vaikutus nostolaitteen kokonaispainoon**

Pääpalkin osalta painonpudotusta ei voitu toteuttaa lujuusarvot huomioonottaen, mutta lujutta pystyttiin lisäämään.

Poikkipalkiston osalta painonpudotus on 69,6 kg ja seurannaisvaikutuksena kynsilaatikorakenteiden kaventaminen tuo lisää painonpudotusta yhteensä n.5-7 kg. Käyttämällä lujempia teräslaatuja kuten Hardox, Raex ja Weldox ( Re 700-1300 MPa), voidaan painoa alentaa, koska kyseinen teräs on lujuusarvoltaan huomattavasti parempi, kuin nyt valitun teräksen (Re 520 MPa). Valittaessa lujempi teräslaatu laitteen kustannukset nousevat, joten on päätetty pysyä tutkittavassa teräslaadussa. Perusteena on teräksen hinta, joka valitulle teräkselle (S355J2G3C+C) on 0,85€/kg ja Hardox 400/Raex 400 on 1,6-1,7€/kg. Erikoisteräslaatuja ei ole saatavana palkkitavarana, joten lujempi teräs olisi kantattava ja hitsattava, mikä lisäisi kustannuksia entisestään.

Valittujen palkkien johdosta nykyisen sellunostimen kokonaispaino 2050 kg putoaa n.75 kg ja uudeksi painoksi tulee tällöin n.1975 kg.

#### **4.2 Uusien rakenteiden vaikutus käyttöturvallisuuteen**

Nostolaitteiden rakenteiden suunnittelua ohjaa aiemmin mainitut EU-direktiivit. Nostolaitteen sertifiointien yhteydessä tehdään pakolliset ylikuormaustestit, mitkä tekee valtuutetut tarkastuslaitokset, Pohjoimaissa esim. Inspecta on yksi suurimmista toimijoista. Ylikuormitustestissä nostolaite nostaa kuorman, joka on vähintään 25 % yli sallitun nostorajan. Tätä kuormaa pidetään ilmassa, jotta varmistutaan rakenteiden hitsauksista ja

mekaanisita liitoksista. Tällöin laite saa onnistuneessa tarkastuksessa annettavan CE-merkinnän. Kyseinen merkintä on pakollinen nostolaitteissa.

Sellunostimen palkkirakenteet on suunniteltu näiden kriteerien pohjalta. Palkkirakenteet ja sisäputkiratkaisut ovat tarpeeksi lujia ja tukevat rakennetta. Rakenne on ollut kauan käytössä ja onnettomuuksia ei ole sattunut. Uusien palkkirakenteiden myötä sellunostimeen on mahdollista lisätä lujuutta sekä keventää rakennetta.

Sellunostinlaitteen hydrauliiikka on myös suunniteltu turvalliseksi. Kuorman noustessa irti maasta lukkoventtiilit katkaisevat öljynsyötön ja lukitsevat kynsilaatikon kynnet, mitkä tarttuvat sellupaalissa olevaan metallilankavyyhtiin.

#### **4.2.1 Pääpalkin turvallisuusvaikutukset**

Pääpalkkiin kohdistuu sellunostinlaitteessa suurin kuorma, koska palkki kantaa niin laitteen kuin nostettavan kuorman painon. On erittäin tärkeää että pääpalkki on mitoitettu oikein ja suunniteltu kestävä.

Uuden pääpalkkirakenteen avulla nostolaitteen lujuutta voitiin kasvattaa ja täten turvallisuutta pystyttiin lisäämään. Vanha käytössä ollut pääpalkkimalli RHS 200\*200\*10 antoi mallinnuksessa tuloksen 101,5 MPa, kun taas uusi suorakaidepalkki RHS 250\*150\*10 antoi tuloksen 88,7 MPa. Kyseessä on siis lujuudellinen parannus, ja täten myös turvallisuuden kehittäminen. Parantunut lujuus vähentää myös käyttövirheistä johtuvia vaurioitumisriskejä. Uuden palkin tuoma lisäkorkeus tuo myös vakautta laitteessa oleviin sisäputkikiinnityksiin.

#### **4.2.2 Poikkipalkin turvallisuusvaikutukset**

Valittu palkkimalli 200\*150\*8 täyttää tarvittavat lujuusvaatimukset maksimijännityksen ollessa 34.4 MPa. Tällä palkkimallilla pystyttiin myös keventämään rakennetta. Palkkimallia voidaan käyttää jokaisessa tuotesarjan sellunostimessa turvallisesti. Nosturikuljettajien käyttövirheiden vaikutus näkyy pääasiassa pääpalkissa, ei niinkään poikkipalkissa. Täten keventämisen tuoma lujuuden väheneminen ei tuota turvallisuutta koskevia ongelmia.





## 5 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja tarkastella sellunostimen (PU-4EX) lujuuutta ja sitä kautta mahdollista painonkevennystä. Jos laitteessa ilmenee suuria liikalujuuksia, niin painonkeventäminen on tällöin mahdollista.

Työn edetessä ilmeni muutama mahdollinen rakenteellinen muutos, mikä keventäisi laitetta lujuuksien pysyessä silti sallituissa rajoissa. Työnantaja otti tietenkin uusia ideoita mielellään vastaan ja rakentavien keskusteluiden kautta opinnäytetyö eteni mallikkaasti. Laitteelle suunniteltu mahdollinen painonpudotus olisi hyvin suotavaa. Tällöin saataisiin laitteen valmistuskustannuksia laskettua, sekä saataisiin satamanostureiden toimintakykyä kasvatettua.

Työn ja laskentojen edetessä oli muistettava pitää turvallisuus silti etusijalla, koska kyseessä on nostolaite, minkä pitää noudattaa tiukkoja standardeja (SWL). Suurimmat nostosta aiheutuvat voimat kohdistuivat pääpalkkiin, joka kantaa niin laitteen, kuin nostettavan kuorman painon. Huomioon on myös otettava mahdolliset virheikäytöt, kuten laitteen osuminen ruuman seinään yms... Tämä tarkoitti sitä että laitteen teräsrakenteet oli pidettävä liikalujuuksista huolimatta tarpeeksi paksuina iskeytymisen ja sitä kautta rakenteen pettämisen kannalta.

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet täyttyivät ja paljon uusia ideoita syntyi työtä tehdessä. Laite täyttää vaaditut nostolaitestandardit ja haluttua painonpudotusta syntyi myös. Opinnäytetyölle suunniteltu aikataulu ei pitänyt ja työ venyi, mutta halutut tulokset saatiin. Suurimmat syyt työn aikataulun venähtämiseen oli mallinnuksessa esiintyvät virheet ja niiden korjaaminen. Kun mallinnus saatiin kuntoon, monen tarkastamisen jälkeen ja mahdolliset virheet saatiin suljettua pois, niin työ sujui hyvin mukavasti.

Työ itsessään oli hyvin mielenkiintoinen ja sängen haastava. Mallinnuksen, voimien ja massojen oli oltava oikeat oikeiden tulosten saamiseksi. Eniten aikaa meni varmasti tulosten tarkistamiseen ja virheiden poissulkemiseen. Mallinnuksen tueksi tein käsinlaskut jotka tukevat mallinnuksella suoritettua laskentaa. Työnantaja oli tyytyväinen laskettuihin tuloksiin ja uudet rakenteet tullaan ottamaan tulevaisuudessa käyttöön.

**LÄHTEET**

Mantsine OY

Salmi Tapio & Pajunen Sami. Lujuusoppi. 2010. Pressus

Ence, energia & celulosa.

**LIITTEET**

Liite 1. Pääpalkin laskennan tulokset

[Palkki 200x200x10.docx](#)

## Liite 2. Pääpalkki käsinlasku

Käsinlasku: Manuaalilaskenta RHS 200x200x10 piste-kuormitus

Alkuarvot:

Taivutusvastus  $w := 447$

Massat  $m_1 := 2367\text{kg}$   $m_2 := 2367\text{kg}$

Kiihtyvyys  $a_1 := 2 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

kuorman etäisyydet palkissa  $l_1 := 407\text{mm}$   $l_2 := 1376\text{mm}$

Kiihtyvyys:

$$F_k := 2 \cdot m_1 a_1$$

Tämä on kuorman koko kiihtyvyyssmassa

$$F_k = 9.468 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\frac{F_k}{2} = 4.734 \times 10^3 \text{ N} \quad m_{\text{kok}} := 28404 \text{ N}$$

Momentti kiihtyvyykuorma mukaanlaskettuna

$$M_t := l_1 \cdot m_{\text{kok}} + l_2 \cdot m_{\text{kok}} \quad M_t = 5.064 \times 10^4 \text{ J}$$

$$\sigma_{\text{sall}} := \frac{M_t}{w} \quad \sigma_{\text{sall}} = 113.298$$

$$\sigma := 113 \text{ MPa}$$

Yhteenveto:

Pistekuormalla laskiessa Kuorma antaa laskennassa arvon 113MPa, kun suurin sallittu kuormitus on 104MPa. Kyseessä ei ole kuitenkaan pistekuormitus vaan kaksi tasaista kuormaa 400mm alueella palkissa. Lasketaan tasaisen kuormituksen esimerkki.

## Manuaalilaskenta palkki 200x200x10 tasainen kuormitus

Alkuarvot:

$$\text{Taivutusvastus} \quad w := 447$$

$$\text{Massat} \quad m_1 := 2367 \text{ kg} \quad m_2 := 2367 \text{ kg}$$

$$\text{Kiihtyvyys} \quad a := 2 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{kuorman etäisyydet palkissa} \quad l_1 := 407 \text{ mm} \quad l_2 := 1376 \text{ mm}$$

Kiihtyvyys:

$$F_k := 2 \cdot m_1 \cdot a$$

Tämä on kuorman koko kiihtyvyyssmassa

$$F_k = 9.468 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\frac{F_k}{2} = 4.734 \times 10^3 \text{ N} \quad m_{\text{kok}} := 28404 \text{ N}$$

Tasaisenkuormituksen kaava:

$$q := 2840.4 \text{ kg}$$

$$b_1 := 607 \text{ mm} \quad a_2 := 207 \text{ mm} \quad b_2 := 1571 \text{ mm} \quad a_{21} := 1171 \text{ mm}$$

$$M_{t_{\text{max}1}} := \frac{q \cdot (b_1^2 - a_2^2)}{2} \quad M_{t_{\text{max}1}} = 462.417 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

$$M_{t_{\text{max}2}} := \frac{q \cdot (b_2^2 - a_{21}^2)}{2} \quad M_{t_{\text{max}2}} = 1.558 \times 10^3 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

$$M_{t_{\text{kok}}} := M_{t_{\text{max}1}} + M_{t_{\text{max}2}} \quad M_{t_{\text{kok}}} = 2.02 \times 10^3 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

$$\sigma_{tk} := \frac{M_{t_{\text{kok}}}}{w} \quad \sigma_{tk} = 4.519 \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \quad 45.19 \text{ MPa}$$

Tasaisen kuormituksen laskennassa rasitus palkkiin osottoittautui huomattavasti pienemmäksi. Antaen tulokseksi 45.2MPa. Tämä alittaa selvästi suurimman sallitun kuorman 104MPa kuormituksen.

Liite 3. Poikki-palkin mallinnus

[Poikki-palkki200x200x10.docx](#)

## Liite 4. Poikkipalkki käsinlasku

Käsinlasku: Manuaalilaskenta poikkipalkki RHS  
200x200x10 pistekuormitus

Alkuarvot:

$$\text{Taivutusvastus} \quad w := 447$$

$$\text{Massat} \quad m_1 := 1144 \text{ kg}$$

$$\text{Kiihtyvyys} \quad a_1 := 2 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{kuorman etäisyys palkissa} \quad l_1 := 345 \text{ mm}$$

Kiihtyvyys:

$$F_k := m_1 a_1$$

Tämä on kuorman koko kiihtyvyyssmassa

$$F_k = 2.288 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_k = 2.288 \times 10^3 \text{ N}$$

$$M_{\text{kok}} := 13728 \text{ N}$$

Momentti kiihtyvyykuorma mukaanlaskettuna

$$M_t := l_1 \cdot M_{\text{kok}}$$

$$M_t = 4.736 \times 10^3 \text{ J}$$

$$\sigma_{\text{sall}} := \frac{M_t}{w}$$

$$\sigma_{\text{sall}} = 10.595$$

$$\sigma := 10.6 \text{ MPa}$$

Yhteenveto:

Pistekuormalla laskiessa Kuorma antaa laskennassa arvon 10.6MPa, kun suurin sallittu kuormitus omn 104MPa. Kyseessä on suuri ylilujuus.



Liite 5. Poikkipalkki 200\*150\*8

[Poikkipalkki 200x150x8.docx](#)