

Riku Övermark

**Henkilönostimen turvallisuus ja runkorakenteen lujuus-  
tarkastelu**

Käyttöauto Oy

Opinnäytetyö

Kevät 2013

Tekniikan yksikkö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Riku Övermark

Työn nimi: Henkilönostimen turvallisuus ja runkorakenteen lujuustarkastelu

Ohjaaja: Matti Tervonen

Vuosi: 2013

Sivumäärä: 49

Liitteiden lukumäärä: 4

---

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Seinäjoen Käyttöauto Oy. Käyttöauton raskaan kaluston korjaamalla oli tarve selvittää heillä käytettävien henkilönostinten turvallisuutta sekä niiden kestävyyttä. Henkilönostimia käytetään pääasiassa kuorma-autojen ja niiden perävaunujen korjaamiseen ja kasaamiseen. Henkilönostinten pituutta on jouduttu lisäämään, koska uusien standardien myötä kuorma-autojen perävaunut ovat kasvaneet pituutta. Tämä on aiheuttanut sen, että nostimet eivät ole enää tasapainossa keskituista katsottuna. Kyseisistä henkilönostimista ei ole olemassa dokumentointia.

Tämä opinnäytetyö rakentuu pääosin kahdesta pääkohdasta.

Ensimmäisessä osassa käsitellään henkilönostinten ja henkilönostojen yleistä turvallisuutta. Teoriaosassa esitellään standardien ja asetusten mukaisia toimintatapoja turvallisuuden osalta. Lisäksi nostimille laadittiin teorian pohjalta turvallisuusanalyysi, jossa ilmeni joitakin puutteita, mutta pääosin nostimia on turvallista käyttää. Turvallisuusanalyysi on liitteenä opinnäytetyön lopussa (LIITE 2).

Toisessa osassa esitellään lujuusopin yleisimmät ja tärkeimmät rasiustapaukset. Ne ovat myös hallitsevia tässä rakenteessa. Henkilönostinten runkorakenteelle suoritettiin lujuustarkastelu Autodesk Inventor-ohjelmistolla. Tuloksena saatiin määritettyä rakenteelle varmuusluku 2.05 myötörajan suhteen epäedullisimmassa kuormitustilanteessa, joka on tarpeeksi riittävä standardien osalta. Kyseisissä nostimissa varmuusluku täytyy olla vähintään 1.5 standardien mukaan.

Avainsanat: henkilönostin, turvallisuus, varmuusluku

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Author: Riku Övermark

Title of thesis: Safety of a man lift with the frame strength analysis

Supervisor: Matti Tervonen

Year: 2013

Number of pages: 49

Number of appendices: 4

---

This thesis was done to Käyttöauto Oy. They have two similar man lifts in their truck garage. They wanted to figure out the safety and strength of man lifts. The man lifts are mainly used for fixing and building the trucks and trailers. The lengths of the man lifts have grown up because of the new standards. In the new standards the trailer lengths have grown up over two meters so that is why the length is increased. There are no documentation of the man lifts.

This thesis is based on the two main things.

The first section deals with the man lifts and common safety of lifting. In the theory part the working habits based on the standards are introduced. The safety analysis of man lifts is also made. Some lacks appear in that analysis but mainly it is safe to use man lifts. You can find the safety analysis in appendix of the bachelor thesis (appendix 2).

The second part introduces the most common stress and strain cases. Those are also dominating these man lifts structures. The stress analysis of man lifts frame structure is done by using program called Autodesk Inventor. In the unfavourable load situation the safety factor was 2.05 which is enough based on the standards. In these types of man lifts the safety factor must be 1.5 or higher.

Keywords: man lift, safety, safety factor

## SISÄLLYS

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
Kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
1 JOHDANTO .....	8
2 YRITYSESITTELY .....	10
2.1 Toimipisteet .....	11
2.2 Arvot .....	11
2.3 Historia .....	12
2.4 Ympäristö .....	12
3 HENKILÖNOSTINTEN TYYPIT.....	14
3.1 Siirrettävät henkilönostimet .....	14
3.1.1 Puomilavanostin.....	14
3.1.2 Saksilavanostin .....	15
3.1.3 Mastolavanostin .....	15
3.2 Paikallaan pysyvät henkilönostimet .....	16
3.2.1 Maston varassa kiipeävät työtasot .....	16
3.2.2 Nostotasot .....	17
4 HENKILÖNOSTINTEN TURVALLISUUS .....	18
4.1 Nostimen käyttäjän opastus .....	18
4.2 Nostimen käyttöohjeet .....	19
4.3 Nostimen määräaikaistarkastukset.....	20
4.4 Nostimessa työskentely .....	21
4.5 Nostimen työtasot.....	22
4.5.1 Työtason kaiteet .....	22
4.5.2 Kulkutiet työtasolle.....	23
5 LUJUUSOPIN TEORIA .....	24
5.1 Veto, puristus ja leikkaus.....	24
5.1.1 Normaalijännitys .....	24

5.1.2	Leikkausjännitys .....	25
5.1.3	Venymä .....	25
5.1.4	Jännityksen ja venymän yhteys .....	26
5.2	Taivutus.....	27
5.2.1	Puhdas suora taivutus .....	27
5.2.2	Samanaikainen veto tai puristus ja suora taivutus.....	28
5.2.3	Vino taivutus.....	29
5.3	Elementtimenetelmä.....	30
5.4	Varmuusluku .....	32
6	LUJUUSTARKASTELU .....	34
6.1	Tarkasteltava rakenne .....	34
6.2	Jännitys jakauma omasta painosta.....	35
6.3	Jännitys jakauma normaalissa kuormitustilanteessa .....	38
6.4	Jännitys jakauma epäedullisimmassa tilanteessa .....	40
7	TULOSTEN ANALYSOINTI.....	44
8	YHTEENVETO .....	47
	LÄHTEET .....	49
	LIITTEET .....	50

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Käyttöauton toimipisteet.....	11
Kuvio 2. Puomilavanostimet.....	14
Kuvio 3. Saksilavanostin .....	15
Kuvio 4. Mastolavanostin .....	16
Kuvio 5. Käyttöauton korjaamon henkilönostin .....	17
Kuvio 6. Yleisohjeet nostimen turvalliseen käyttöön .....	20
Kuvio 7. Henkilönostimilla sattuneet tapaturmat 1997 – 2006 .....	22
Kuvio 8. Normaalijännitys sauvassa .....	25
Kuvio 9. Teräksen venymäpiirros.....	27
Kuvio 10. Alumiinin venymäpiirros .....	27
Kuvio 11. Palkin pääjäyhyysakselit y ja z .....	28
Kuvio 12. Vedon ja taivutuksen yhteisvaikutus .....	29
Kuvio 13. Taivutusmomentin jako komponentteihin .....	30
Kuvio 14. Runkorakenne mallinnettuna .....	35
Kuvio 15. Siirtymät omasta painosta johtuen .....	36
Kuvio 16. Maksimijännitykset omasta painosta.....	36
Kuvio 17. Minimijännitysten itseisarvot omasta painosta johtuen .....	37
Kuvio 18. Siirtymät normaalissa kuormitustilanteessa .....	38
Kuvio 19. Maksimijännitykset normaalissa kuormitustilanteessa .....	39
Kuvio 20. Minimijännitysten itseisarvot normaalissa kuormitustilanteessa.....	40
Kuvio 21. Siirtymät epäedullisimmassa tilanteessa.....	41
Kuvio 22. Maksimijännitykset epäedullisimmassa tilanteessa .....	41
Kuvio 23. Minimijännitysten itseisarvot epäedullisimmassa kuormitustilanteessa	42
Taulukko 1. Rakenteessa käytettyjen putkipalkkien mittoja .....	44
Taulukko 2. Terästen arvoja .....	45
Taulukko 3. MVKT:lle määritellyjä varmuuslukuja.....	45

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Autodesk Inventor</b>	3D-mallinnus- ja simulointiohjelmisto
<b>FEM</b>	Finite element method, elementtimenetelmä
<b>Frame analysis</b>	Kehärakenteiden simulointityökalu Autodesk Inventor-ohjelmistossa
<b>Mathcad</b>	Matematiikkaohjelma symboliseen ja numeeriseen laskentaan
<b>MVKT</b>	Maston varassa kulkeva työtaso
<b>Pascal</b>	Jännityksen yksikkö
<b>SI-järjestelmä</b>	Kansainvälinen mittayksikköjärjestelmä

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään Seinäjoella sijaitsevalle Käyttöauto Oy:lle, koska heillä on tarve selvittää raskaan kaluston puolella käytettävien henkilönostinten turvallisuutta ja kestävyyttä. Käytössä heillä on kaksi identtistä henkilönostinta, joista ei ole olemassa dokumentteja. Nostimet ovat olleet käytössä 90-luvulta lähtien. Nostimia käytetään kuorma-autojen sekä niiden perävaunujen kasaamiseen ja korjaamiseen.

Uusien standardien ja asetusten myötä kuorma-autojen perävaunut ovat kasvaneet pituutta yli kaksi metriä, joka on aiheuttanut sen, että Käyttöautolla päädyttiin aikoinaan jatkamaan molempien nostimien pituutta työn helpottamiseksi. Nostimia jatkettiin keskituista katsottuna ainoastaan toisesta päädyistä, joka on aiheuttanut sen, että silmämääräisesti katsottuna nostimien pidemmän puolen pääty on hie- man enemmän taipuneena kuin toinen puoli.

Lähtökohtana tässä opinnäytetyössä on laatia nostimille turvallisuusanalyysi, jossa käsitellään nostimien turvallisuutta ja mahdollisia puutteita standardien osalta. Lisäksi nostimien runkorakenteelle suoritetaan lujuustarkastelu, joka osaltaan liittyy olennaisesti nostimien turvallisuuteen. Opinnäytetyössä rajoitutaan käsittelemään henkilönostinten runkorakenteen turvallisuutta ja lujuutta. Täten tässä opinnäytetyössä ei käsitellä nostinten sähköjärjestelmiä eikä nostinten nostojärjestelmää.

Tarve nostinten selvitystyölle ilmeni toisen opinnäytetyön ansiosta, missä selvitettiin erinäköisiä puutteita ja turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä Käyttöauto Oy:n Seinäjoen yksikössä. Opinnäytetyön tuloksena ilmeni, että raskaan kaluston korjaamalla olevista henkilönostimista ei ole olemassa lujuuslaskelmia, minkä vuoksi he halusivat varmistua nostimien runkorakenteen kestävydestä. Nostimista ei myöskään ole olemassa muitakaan dokumentteja. Käyttöautolla on käytössä ISO 9001 sertifioitu laatujärjestelmä, jonka vuoksi he haluavat parantaa ja korjata mahdollisia puutteita dokumenteissa sekä turvallisuudessa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on käsitellä henkilönostinten yleistä turvallisuutta ja käyttöä sekä tarkastella Käyttöauto Oy:n raskaan kaluston korjaamalla olevien henkilönostinten runkorakenteen lujuutta ja kestävyyttä. Opinnäytetyön ensisijai-



nen tavoite on varmistaa henkilönostinten kestävyys sekä tätä kautta niiden turvallinen käyttö. Yleinen turvallisuus on myös tärkeää asia käytettäessä henkilönostimia ja se ennaltaehkäisee mahdollisia henkilövahinkoja. Opinnäytetyön teoriaosa sisältää turvallisuusnäkökohtien lisäksi myös lujuusopin keskeisimmät jännityspauket ja kaavat niiden laskentaan.

## 2 YRITYSESITTELY

Käyttöauto Oy on vakavarainen ja tasaisesti kasvava perheyritys, jonka kotipaikka on Seinäjoki. Yhtiössä työskentelee yli 500 henkilöä eri puolella Suomea. Käyttöauto Oy on perinteitä kunnioittava autotalo ja monimerkkiedustuksen edelläkävijä Suomessa. Tavoitteena heillä on olla laadullisesti arvostetuin ja monipuolisesti palveleva autotalo.

Nykyisin Käyttöauto Oy edustaa yhteensä 20 automerkkiä 13 eri toimipisteessä. Edustukseen kuuluu Alfa Romeo, Audi, BMW, Chevrolet, Citroen, Dacia, Fiat, Ford, Honda, Jaguar, Jeep, Land Rover, Mercedes-Benz, Mitsubishi, Nissan, Opel, Renault, SEAT, Volkswagen ja Volvo. Lisäksi edustukseen kuuluu Volvo kuorma- ja linja-autoja sekä BMW-moottoripyöriä.

Ammattitaitoiset huolto- ja varaosapalvelut, monipuoliset oheispalvelut ja osaava henkilökunta tekevät Käyttöautosta enemmän kuin pelkän autokaupan. Oheispalvelut on luotu helpottamaan autoilijan arkea. Käyttöautolla voi myös pestä, tankata ja katsastaa auton sekä tehdä rengasostoksia.

Käyttöauto Oy:n perustietoja (Käyttöauto 2013.)

- 13 toimipistettä
- 20 automerkin edustus
- liikevaihto 288 miljoonaa € (vuonna 2011)
- henkilöstöä yli 500
- yhteensä noin 13 000 myytyä ajoneuvoa vuodessa (vuonna 2011)
- ISO 9001-sertifioitu laatu järjestelmä
- ISO 14001-sertifioitu ympäristöhallintajärjestelmä.

## 2.1 Toimipisteet

Käyttöauto toimii 11 eri paikkakunnalla. Seinäjoella ja Vaasassa Käyttöauto palvelee kahdessa eri yksikössä. (Käyttöauto 2013.)



Kuvio 1. Käyttöauton toimipisteet (Käyttöauto 2013.)

## 2.2 Arvot

Käyttöauton johto ja henkilökunta ovat yhdessä määritelleet päivittäisiä toimia ohjaavat arvot, jotka ovat myös toiminnan perusta. Arvoja on yhteensä viisi kappaletta ja ne ovat (Käyttöauto 2013.)

- asiakaslähtöisyys

- halu menestyä yhdessä
- sitoutuminen
- vastuullisuus
- ratkaisukeskeinen toiminta.

## **2.3 Historia**

Käyttöauto Oy on ollut monimerkkikonseptinen uranuurtaja Suomessa. Yritys on pitkän historiansa aikana saavuttanut mainetta ja kunniaa. Vuonna 1970 Jaakko Viitala perusti vaimonsa sekä tuttavapariskuntansa kanssa Seinäjoen Käyttöauto Oy:n. Muutama vuosi myöhemmin yrityksen koko osakekanta siirtyi Jaakko ja Kaisa Viitalalle.

Toiminta alkoi vuokratiloissa Seinäjoella Vapaudentien varressa Datsunin edustuksella. Nykyiselle toimipaikalleen Pohjankaaren liikealueelle yritys siirtyi vuonna 1986. Sittemmin näitäkin toimitiloja on laajennettu useampaakin kertaan ja uusia toimipisteitä on liittynyt vuosien varrella toimintaan mukaan.

Käyttöauto sai tunnustuksena toiminnastaan vuonna 2001 Suomen Yrittäjien myöntämän Valtakunnallisen Yrittäjäpalkinnon. Yrittäjäyys on kulkenut Viitaloiden suvussa perintönä. Jyrki Viitala siirtyi toimitusjohtajaksi vuonna 1988 ja myös vaimo Mari on mukana toiminnassa. Jyrki Viitalan sisar ja hänen miehensä työskentelevät myös yrityksen palveluksessa. (Käyttöauto 2013.)

## **2.4 Ympäristö**

Käyttöauton tavoitteena on kehittää toimintoja ympäristöystävällisempään suuntaan. Tähän päästään lisäämällä kierrätystä ja vähentämällä kaatopaikalle päätyvän jätteen määrää sekä käyttämällä ympäristöä vähiten rasittavia raaka-aineita ja toimintatapoja.

Käyttöauto ohjaa toimintaa ympäristöystävällisempään suuntaan jokapäiväisillä valinnoilla. Yhteistyökumppaneiden valinnoissa suositaan ympäristöasioiden hoitoon sitoutuneita toimijoita ja omaa päivittäistä toimintaa ohjaa ISO 14001-ympäristöohjelma.

Uusien henkilöautojen energiatehokkuus on parantunut merkittävästi ja uusien autojen hiilidioksidipäästöjen tasot ovat alentuneet huomattavasti. Tekniset ratkaisut ovat yksi askel oikeaan suuntaan, mutta vähintäänkin yhtä tärkeää on saada auton käyttäjä ja asiakas tiedostamaan ajokäyttäytymisen ja säännöllisten huoltojen merkitys polttoaineen kulutuksen ja päästöjen kannalta.

Myös huolto- ja korjaustoimenpiteet synnyttävät väistämättä jätettä. Käyttöauto hoitaa jätteet turvalliseen jatkokäsittelyyn ja syntyvät jätteet lajitellaan kierrätys- ja polttokelpoisuuden mukaan. Toimintaa kehitetään jatkuvasti ympäristön ehdoilla. (Käyttöauto 2013.)

### 3 HENKILÖNOSTINTEN TYYPIT

Tässä luvussa esitellään erityyppisiä henkilönostimia. Nostimet jaetaan yleensä karkeasti kahteen eri luokkaan eli liikuteltaviin sekä liikkumattomiin henkilönostimiin. Luvun 3 kuvioista (2,3,4,5) selviää tarkemmin niiden rakenne ja toiminta.

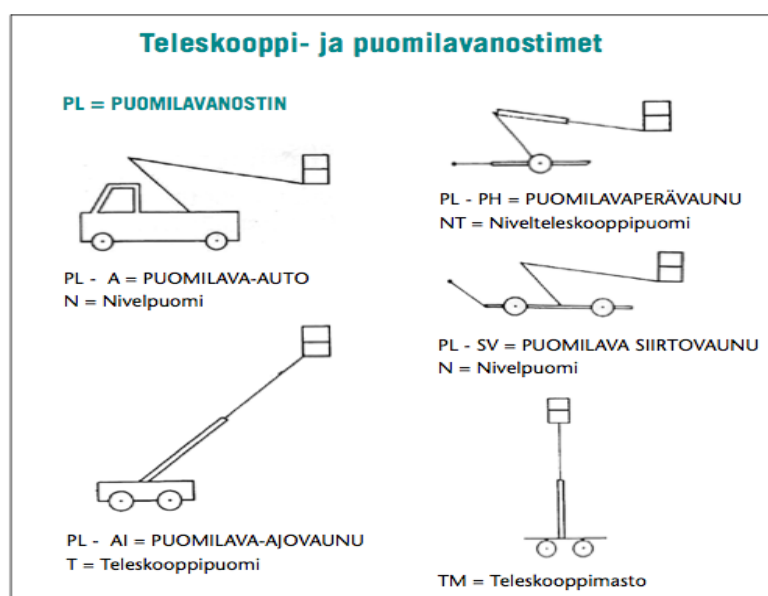
#### 3.1 Siirrettävät henkilönostimet

##### 3.1.1 Puomilavanostin

Puomilavanostimia on kahden mallisia. Ne erottuvat toisistaan nostotekniikan avulla. Toisessa nostorakenteena on teleskooppipuomi ja toisessa nivelpuomi.

Teleskooppimallissa nosto tapahtuu hydraulisesti teleskooppipuomin avulla. Kääntökehän avulla puomi saadaan haluttuun asentoon. Teleskooppipuomin työskentelyalue on täten todella laaja.

Nivelpuomimallissa nostokorkeus saavutetaan erillisen nivelen avulla nostovarresssa. Tämä ratkaisu sopii paremmin ahtaisiin tiloihin kuin teleskooppimalli. Voimanlähteenä on usein akku, jolla käytetään sähkömoottoreita.



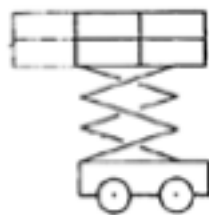
Kuvio 2. Puomilavanostimet (Työsuojeluhallinto 2010, 5.)

### 3.1.2 Saksilavanostin

Saksilavanostimessa on nimensä mukaisesti saksimaisesti aukeavat nostoelimet. Haittana saksilavanostimessa on se, että sillä pystytään toteuttamaan ainoastaan pystysuoraa liikettä. Kyseinen nostin on todella käyttökelpoinen, kun työtä pitää tehdä korkealla ja samalla liikkua sivusuuntaan.

Saksilavanostimia käytetään etenkin sisätiloissa, kun katon rajaan joudutaan asentamaan sähköjohtoja, listoja tai putkia. Nostimessa pystyy työskennellä samaan aikaan useitakin ihmisiä.

**SL = SAKSILAVANOSTIN**



**SL - AI = SAKSILAVA-AJOVAUNU**

**S = Saksi**

Kuvio 3. Saksilavanostin (Työsuojeluhallinto 2010, 5.)

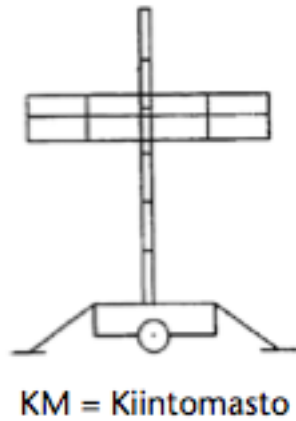
### 3.1.3 Mastolavanostin

Mastolavanostin on kyseisistä nostimista toiminnaltaan yksinkertaisin. Kun se vietään työmaalle, tuenta tapahtuu maata vasten erillisillä tukijaloilla, jolloin se ei pääse liikkumaan muuta kuin ylös ja alas. Tästä seuraa se, että nostin on epäkäytännöllisin, koska liikesuuntia on vain yksi. Vastaavasti se on kuitenkin turvallisin, sillä se ei pääse liikkumaan sivusuunnassa maston suhteen.

Joissain tapauksissa mastolavanostin on käytännöllinen, mutta saksilavanostin on huomattavasti parempi, johtuen sen mahdollistamasta sivuttaisliikkeestä. Mastolavanostinta käytetään yleensä, jos alusta ei ole aivan tasainen. Sen tukijalat mah-

dollistavat maston saamisen pystysuoraan ja täten nostokorin pystysuoran nousun ja laskun.

### ML = MASTOLAVANOSTIN



Kuvio 4. Mastolavanostin (Työsuojeluhallinto 2010, 5.)

## 3.2 Paikallaan pysyvät henkilönostimet

### 3.2.1 Maston varassa kiipeävät työtasot

Maston varassa kiipeäviä työtasoja käytetään yleensä erilaisissa halleissa, joissa nostopaikka halutaan olevan aina sama. Näin on myös Käyttöauton raskaan kaluston rakennus- ja korjauspuolella. Hallissa on kaksi samanlaista nostinta, joita käytetään kuorma-autojen perävaunujen rakentamiseen ja korjaamiseen. Nostimet ovat paikoillaan, koska perävaunut ovat standardien mukaan samanlevyisiä.

Haittana liikuteltaviin nostimiin verrattuna on tietysti se, että nostimia ei pysty helposti siirtämään, jos siihen tulee tarvetta. Nostin täytyisi aluksi purkaa, jotta sitä voisi lähteä siirtämään paikasta toiseen.

Etuna on taas vastaavasti nostimen jäämäkkä tuenta. Nostin pystytään helposti kiinnittämään hallin lattiaan luotettavasti ja varmasti. Nostimen koko on myös etu, sillä perävaunun mittaista siirrettävää nostinta ei mitenkään pystyisi tekemään samalla luotettavaksi ja helposti liikuteltavaksi.





Kuvio 5. Käyttöauton korjaamon henkilönostin

### 3.2.2 Nostotasot

Erilaisia nostotasoja käytetään muun muassa tehtaissa tuotantolinjoilla. Tällä mahdollistetaan ihmiselle ergonominen työasento, sillä nostotason avulla saadaan helposti säädettyä korkeus sopivaksi. Liikkeet tapahtuvat siis pystysuoraan lattiaan nähden ja liikerata on yleensä korkeintaan metrin luokkaa. Nostotasossa tulee olla lisäksi liukastumisen estävä pinta, jotta työskentely sen päällä olisi turvallista.

Nostotasoja käytetään myös monissa muissakin paikoissa, joista yksi sovellus on pyörätuolien nostotaso, kun käytössä ei ole muuta keinoa päästä rappuja ylös. Tämä on todella käytännöllinen, sillä se helpottaa huomattavasti pyörätuolissa olevan ihmisen pääsyä ylös- ja alaspäin.

## 4 HENKILÖNOSTINTEN TURVALLISUUS

Tässä luvussa käsitellään henkilönostinten yleistä turvallisuutta. Turvallisuus on todella tärkeä asia, sillä sen avulla pystytään usein välttymään henkilövahingoilta. Luvussa esitellään standardien ja asetusten mukaisia ohjeistuksia, miten nostimia tulisi käyttää. Teorian pohjalta laadittiin myös nostimille turvallisuusanalyysi, joka on liitteenä (LIITE 2) opinnäytetyön lopussa.

### 4.1 Nostimen käyttäjän opastus

Henkilönostimen käyttäjä tulee aina olla opastettu nostimen turvalliseen käyttöön. Turvallinen käyttö edellyttää, että työntekijä osaa oikeat ja turvalliset työmenetelmät ja annettu opastus sekä ohjaus on ollut riittävää.

Erityisesti työnantajan tulee antaa työntekijöille opastusta ja ohjausta henkilönostimen

- turvallisesta käytöstä
- asentamisesta
- käyttöönotosta
- tarkastamisesta ja toimintakokeilusta
- tarvittaessa säädöstä, vianetsinnästä ja testaamisesta
- korjaamisesta ja kunnossapidosta.

Opastusta voidaan kuitenkin pitää riittävänä, kun

- työntekijä osaa käyttää henkilönostinta oikein
- työntekijä tunnistaa henkilönostimen käytöstä aiheutuvat vaaratekijät
- työntekijä tietää, miten tulee toimia henkilönostimesta aiheutuvassa häiriötilanteessa

- työntekijä osaa tarvittaessa hakea lisätietoa (esim. käyttöohjeet).

Opastuksen yhteydessä selvitetään käyttäjille myös henkilönostotyön yleiset edellytykset. Henkilönostimen käyttäjät opastetaan henkilönostimen hallintalaitteiden käyttöön. Samoin selvitetään henkilönostimen käyttörajoitukset sekä turvalaitteiden ja varalaskun toiminta.

Ohjeiden tulee yleensä olla kirjalliset. Kirjallisen ohjeen tarve riippuu ohjeiden laajuudesta ja yksityiskohtaisuudesta. Kirjallisten ohjeiden tieto tulee olla sellaisessa muodossa, että työntekijät ymmärtävät ne helposti. (Tapaturmavakuutuslaitosten liitto 2003, 18.)

## **4.2 Nostimen käyttöohjeet**

Käyttöohjeet tulee olla selkeitä ja niistä pitää myös ilmetä yleisohjeet nostimen käyttäjälle. Kuviossa (6) on esitetty yleisohjeita nostimen käyttäjälle, joilla pyritään varmistamaan turvallinen työskentely nostimen parissa. Kyseisestä kuvasta ilmenee myös nostimelle suoritettavat päivittäiset tarkastukset.

Henkilönostimen käyttöohjeista tulee myös ilmetä seuraavia asioita (SFS-käsikirja 159-2 2011, 82.)

- käyttötoimenpiteet sisältäen ohjeet turvaetäisyyksistä, esimerkiksi sähköjohtoihin ja muihin yläpuolisiin rakenteisiin
- hätätilannetoimenpiteet sisältäen turvalaitteiden toiminnan, pätevän henkilön suorittaman uudelleen käynnistykseen ja energiakatkoksen yhteydessä tarvittavat toimenpiteet sisältäen varalaskulaitteiden turvallisen käytön
- asianmukaisten henkilösuojainten, kuten esim. turvakypärän, turvajalkineiden ja silmäsuojainten käyttö.

YLEISOHJE NOSTIMEN KÄYTTÄJÄLLE	PÄIVITTÄINEN TARKASTUS
<p>Käyttäjän on oltava vähintään 18 (16)-vuotias  Tutustu laitteen käyttöohjeisiin  Noudata tinkimättä turvallisuusohjeita  Totea maapohjan kantavuus  Laita tukijalat tuenta-asentoon  Käytä lisätukilevyjä varmuudeksi  Säädä nostin vaakasuoraan  Älä ylitä nostimen sallittua kuormaa  Älä aiheuta nostimelle sivuttaisvetoa  Älä käytä nostinta kovalla tuulella  Huomioi sallittu käyttölämpötila  Vältä äkkinäisiä liikkeitä  Varo ympäristön sähköjohtoja  Varo työalueella olevia esteitä  Älä käytä viallista nostinta  Ilmoita havaitsemasi viat  Suorita päivittäiset tarkastukset  Huolehdi työpaikkasi järjestyksestä  Estä nostimen asiaton käyttö</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- maapohja</li> <li>- tuenta</li> <li>- vaakasuoruus</li> <li>- hätäpysäytin</li> <li>- varalasku</li> <li>- valot</li> <li>- hallintalaitteet</li> <li>- kulkutiet</li> <li>- työkori</li> <li>- rajakytkimet</li> <li>- öljyvuodot</li> <li>- jarrut</li> <li>- työalue</li> </ul>

Kuvio 6. Yleisohjeet nostimen turvalliseen käyttöön (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2011, 20.)

### 4.3 Nostimen määräaikaistarkastukset

Konekäyttöisen henkilönostimen käyttöönotto- ja määräaikaistarkastusten suorittajana voi olla toinen seuraavista

- asiantuntijayhteisö, joka on vaatimusten mukaisuuden arviointipalvelujen pätevyyden toteamisesta annetun lain (920/2005) 4 §:ssä tarkoitetun arviointielimen päteväksi toteama
- asiantuntija, joka on arviointielimen päteväksi toteama sertifiointielimen hyväksymä.

Edellä mainitun pätevyysvaatimuksen lisäksi käyttöönotto- ja määräaikaistarkastusten suorittajan on oltava tarkastettavan nostimen rakenteeseen, käyttöön, tarkastusvaatimukseen ja valmistajan antamiin ohjeisiin perehtynyt henkilö, joka pystyy havaitsemaan nostimen mahdolliset viat ja puutteet. Tarkastusten suorittajan tulee itsenäisesti turvallisuusteknisten seikkojen perusteella pystyä arvioimaan nostimessa havaittujen vikojen ja puutteiden vaikutukset työturvallisuuteen. Tarkastusten suorittajan on käytettävä asiantuntija-apua erityisesti ainetta rikkomattomien

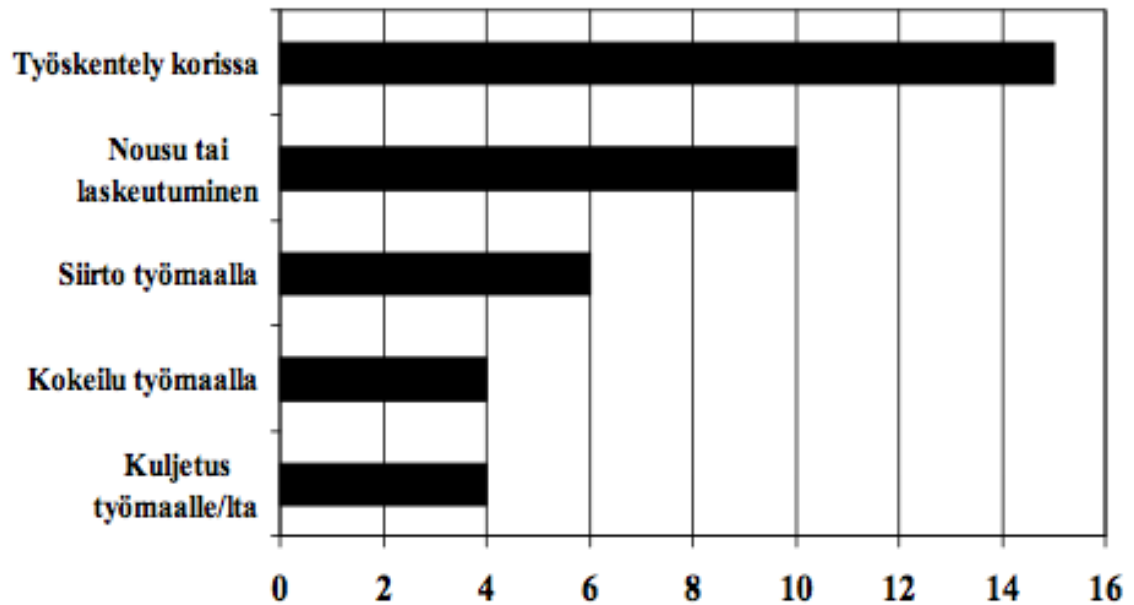
tarkastusmenetelmien käytössä sekä sähköstä aiheutuvien vaarojen arvioinnissa, mikäli hänellä itsellään ei ole näihin pätevyyttä.

Se, joka toimeksiannosta suorittaa käyttöönotto- ja määräaikaistarkastuksia on velvollinen huolehtimaan siitä, että tarkastus tehdään asianmukaisesti ja että havaituista työvälineiden turvallisuuteen vaikuttavista vioista ja puutteellisuuksista sekä tarvittaessa niiden korjaamisesta tai poistamisesta annetaan tarpeelliset ohjeet. Tarkastuksen tarkoituksena on osaltaan varmistua käytön aikaisesta turvallisuudesta. Mikäli tarkastuksessa todetaan, että nostin ei vastaa turvallisuusvaatimuksia, on tarkastaja velvollinen antamaan nostimen haltijalle tai omistajalle selvityksen havaitsemistaan puutteista. Tarkastuksessa tulee tarpeellisessa laajuudessa ottaa huomioon valmistajan antamat ohjeet, jotka yleensä löytyvät nostimen käsikirjasta. (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2011, 10.)

#### **4.4 Nostimessa työskentely**

Henkilönostinta käytetään sen käyttöohjeiden, annetun opastuksen ja perehdytyksen mukaisesti harkiten ja rauhallisesti. Työssä tulee varoa puristumiskohtia ja samalla tulee välttää työskentelyä henkilönostimen ulottuma-alueen äärirajoilla. Henkilönostimesta ei poistuta henkilönostotyön aikana ja henkilönostinta ei saa käyttää myöskään hissinä. Kuviossa (7) on listattu henkilönostimilla sattuneet tapaturmat vuosina 1997-2006.

Henkilönostoissa keskeisiä vaaroja ovat työntekijöiden putoamiset, henkilönostinten kaatumiset sekä putoavat ja kaatuvat esineet. Työntekijöiden putoamisvaarojen syitä ovat turvavaljaiden käyttämättömyys, nostokorista poistuminen työn aikana, työskentely nostokorin kaiteella, työskentelytason puutteellinen putoamissuojaus tai henkilönostoon sopimattoman nostolaitteen käyttäminen. Turvavaljaiden käyttö henkilönostotyön aikana on osa työntekijöiden putoamissuojausta. Turvavaljaat on kiinnitettävä luotettavasti. Henkilönostimen kaatumiset johtuvat usein nostimen virheellisestä käytöstä tai puutteellisesta tuennasta. (Tapaturmavakuutuslaitosten liitto 2003, 5,8.)



Kuvio 7. Henkilönostimilla sattuneet tapaturmat 1997 – 2006 (Laitinen 2009, 2.)

#### 4.5 Nostimen työtaso

Nostimen työtason on pysyttävä vaakasuorassa 2 asteen tarkkuudella työtason normaaliliikkeiden aikana sekä muiden normaalikäytössä syntyvien voimien vaikuttaessa. Suurin sallittu poikkeama on 5 astetta varalaskun aikana.

Työtasossa olevat lattialuukut on oltava luottavasti kiinnitettyjä eivätkä ne saa aueta alaspäin. Lattiapäällysteen on oltava liukastumista estävää materiaalia. Sen on oltava helposti puhdistettavissa ja itsestään kuivuva. Kaikkien lattiassa olevien aukkojen on oltava niin mitoitettuja, että ne estävät halkaisijaltaan yli 15 mm suuruisen kuulan läpipääsyn. Päällysteen on oltava luotettavasti kiinnitetty työtasoon. Kaikissa jatkeissa on oltava lattiapäällysteen kiinnitysmahdollisuus. (SFS-käsikirja 159-2 2012, 51.)

##### 4.5.1 Työtason kaiteet

Kaikki päätytason työtason jatkeiden sivut on suunniteltava varustettaviksi suoja-kaiteilla ja jalkalistoilla, jotka voidaan kiinnittää luotettavasti paikoilleen. Seinää vasten pystytettyä työtasoa lukuun ottamatta kaikki päätytason ja työtason jatkei-

den sivut on varustettava vähintään 1,1 metriä korkealla suojakaiteella, jossa on välijohde, jonka etäisyys käsijohteesta tai jalkalistasta on enintään 0,5 metriä.

Suojakaiteet on mitoitettava kestäämään jokaista työtasolle sallittua henkilöä kohti 300 N suuruinen pistevoima, joka vaikuttaa vaakasuunnassa ulospäin 0,5 metrin välein. Lisäksi jokainen käsijohde on mitoitettava kestäämään yksittäinen 100 kg suuruinen pystyvoima, joka vaikuttaa epäedullisimmassa kohdassa, ei kuitenkaan samanaikaisesti vaakasuuntaisen voiman kanssa.

Ketjuja tai köysiä ei saa käyttää suojakaiteena. (SFS-käsikirja 159-2 2012, 52.)

#### **4.5.2 Kulkutiet työtasolle**

Käytettävissä on oltava vähintään yksi kulkuportti, joka ei saa aueta ulospäin. Kaikkien kulkuporttien on oltava rakennettu niin, että ne joko sulkeutuvat automaattisesti tai ovat sähköisesti niin lukittuja, että työtason käyttö on estetty, elleivät ne ole kiinni. Kulkuportin tahaton aukeaminen ei saa olla mahdollista. Ketjuja tai köysiä ei saa käyttää kulkuporteina.

Jos etäisyys kulkutason ja työtason lattian välillä kulkuasennossa ylittää arvon 0,5 metriä, on MVKT varustettava kulkuporttiin nähden symmetrisillä kulkutikkailla tai -portailla. Askelmien ja tikkaiden puolien on jakauduttava tasaisesti kulku- ja työtason välille eikä askelkorkeus missään tapauksessa saa olla suurempi kuin 0,3 metriä. Askelmien tai tikkaiden puolien etureunat on järjestettävä siten, että käytössä on vähintään 0,15 metrin suuruinen jalkatila. Työtasolle tikkaita pitkin nousemisen helpottamiseksi on käytettävä kädensijoja, käsijohteita tai vastaavia laitteita. (SFS-käsikirja 159-2 2012, 52.)

## 5 LUJUUSOPIN TEORIA

Tässä luvussa käsitellään lujuusopin teoriaa. Luvussa esitellään yleisimmät rasi-  
tustapaukset, joita tarkasteltavassa rakenteessa esiintyy sekä kaavat jännitysten  
laskemiseksi. Luvussa esitellään myös elementtimenetelmän teoriaa lyhyesti.  
Elementtimenetelmän teorian yhteydessä käsitellään myös lujuusanalyysissä käy-  
tettyä elementtityyppejä.

### 5.1 Veto, puristus ja leikkaus

#### 5.1.1 Normaalijännitys

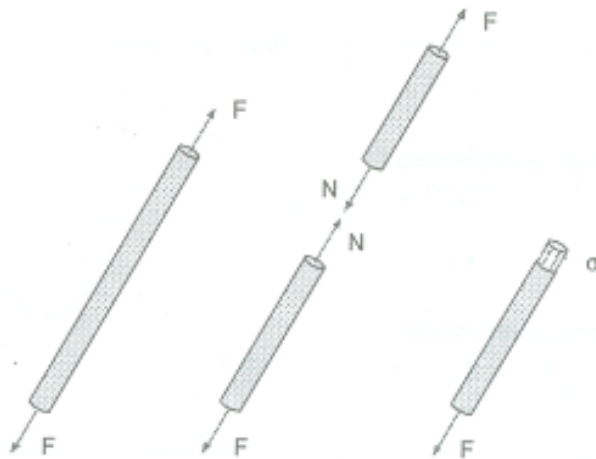
Normaalijännitys on yksi lujuusopin tärkeimmistä käsitteistä ja sen yhteys muo-  
donmuutoksiin on merkittävä. Jos sauvaa kuormitetaan voimalla  $F$ , sauvan poikki-  
leikkaukseen syntyy rasitukseksi normaalivoima  $N$  (Kuvio 8), joka on tasapainoyh-  
tälöiden mukaan yhtä suuri kuin voima  $F$ . Todellisuudessa normaalivoima ei vaiku-  
ta poikkileikkauksessa yhdessä pisteessä, vaan leikkauspintaan syntyy voimaja-  
kauma, jonka yhteistulos on normaalivoima  $N$ . Jakautuneen voiman kuormitusti-  
heyttä  $N/A$  kutsutaan jännitykseksi.  $A$  on poikkileikkauksen pinta-ala. Normaali-  
voimaa vastaavasta jännityksestä käytetään nimitystä normaalijännitys  $\sigma$ :

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (1)$$

Normaalijännityksen merkki valitaan normaalivoiman mukaisesti. Jos normaali-  
voima on leikkauspinnasta poispäin (veto), normaalijännitys on positiivinen ja jos  
normaalivoima on leikkauspintaan päin (puristus), normaalijännitys on negatiivi-  
nen.

Jännityksen yksikkö SI-järjestelmässä on  $N/m^2$  eli pascal, Pa. Pascal on kuitenkin  
niin pieni yksikkö, että lujuusopissa esiintyvät tavallisesti sen kerrannaiset MPa  
( $N/mm^2$ ) ja GPa ( $kN/mm^2$ ). (Karhunen ym. 2006, 9-10.)





Kuvio 8. Normaalijännitys sauvassa (Karhunen ym. 2006, 10.)

### 5.1.2 Leikkausjännitys

Leikkauspinnassa vaikuttaa jännitysjakautuma, jonka yhdistystulos on leikkausvoima  $Q$ . Pinnan suuntaista jännitystä kutsutaan leikkausjännitykseksi ja sitä merkitään symbolilla  $\tau$ . Leikkausjännitys lasketaan kaavasta

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

missä  $A$  on poikkileikkauksen pinta-ala. Tulokseksi saadaan keskimääräinen leikkausjännitys, sillä todellisuudessa jännitys ei jakaannu pintaan tasaisesti.

Normaalijännityksellä ja leikkausjännityksellä on tärkeä ero. Normaalijännitys vaikuttaa kohtisuorassa leikkauspintaa vasten, kun taas leikkausjännitys vaikuttaa pinnan suunnassa. (Karhunen ym. 2006, 12.)

### 5.1.3 Venymä

Kuormitus aiheuttaa kappaleeseen muodonmuutoksia. Esimerkiksi, jos sauvaa vedetään voimalla  $F$ , se pitenee vetävän voiman vaikutuksesta. Sauvan venymä määritellään pituuden muutoksen  $\Delta L$  ja sauvan alkuperäisen pituuden  $L$  suhteena,

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (3)$$

Venymä on positiivinen, jos sauva pitenee, ja negatiivinen, jos sauva lyhenee. Kahden pituuden suhteena venymä on paljas luku. Käytännössä esiintyvät venymät ovat yleensä pieniä, esimerkiksi terässauvoissa suuruusluokkaa promille.

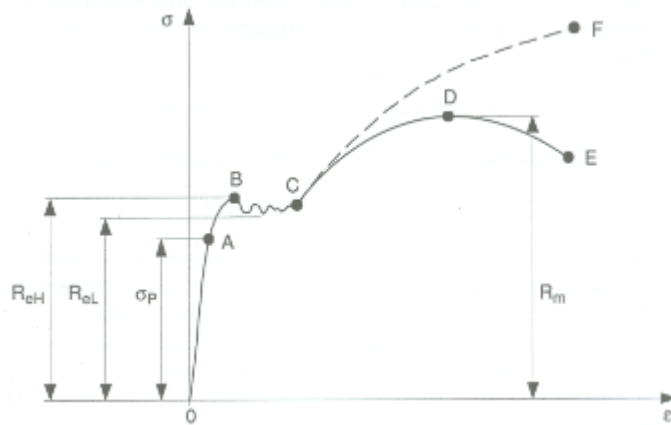
Kaava (3) määrittelee itse asiassa sauvan keskimääräisen venymän. Jos päistään kuormitetun sauvan poikkileikkauksen pinta-ala on vakio ja sauvan aine on homogeenista (eli joka kohdassa samanlaista), venymä on sama jokaisessa sauvan pisteessä ja lasketaan kaavasta (3). Jos sauvan ominaisuuksissa tapahtuu muutoksia, venymäkin on erilainen eri pisteissä. (Karhunen ym. 2006, 15.)

#### **5.1.4 Jännityksen ja venymän yhteys**

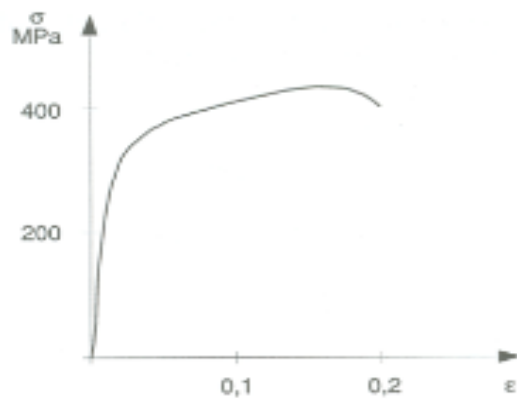
Jännityksen ja venymän välistä riippuvuutta tutkitaan vetokokeella. Vetokokeessa tutkittavasta materiaalista valmistettuun sauvaan kohdistetaan voima, jonka suuruutta lisätään hitaasti. Voimaa ja sauvan pituuden muutosta mitataan samanaikaisesti. Tuloksista saadaan jännityksen ja venymän välinen yhteys. Vetokokeet tehdään standardien mukaisesti.

Vetokokeen tulokset esitetään venymäpiirroksena. Kuviossa (9) on hahmoteltuna tyypillinen sitkeän teräksen venymäpiirros ja kuviossa (10) on erään alumiiniseoksen venymäpiirros.

Useiden materiaalien venymäpiirroksen alussa on lineaarinen osa. Jännitystä, jonka kohdalla lineaarinen osa päättyy, kutsutaan suhteellisuusrajaksi. Kimmoisalla alueella eli kimmorajaan saakka venymä on täysin palautuva. Jos jännitys kasvaa kimmorajaa suuremmaksi, sauvaan jää pysyvä venymä kuormituksen poiston jälkeen. (Karhunen ym. 2006, 18-21.)



Kuvio 9. Teräksen venymäpiirros (Karhunen ym. 2006, 19.)



Kuvio 10. Alumiinin venymäpiirros (Karhunen ym. 2006, 19)

## 5.2 Taivutus

### 5.2.1 Puhdas suora taivutus

Puhtaassa taivutuksessa palkkia rasittaa ainoastaan vakiosuuruinen taivutusmomentti. Taivutus on suora, jos taivutusmomenttivektori on palkin poikkileikkauksen pääjäyhyysakselin suuntainen, jolloin toinen pääjäyhyysakseli kuuluu taivutustasoon.

Kuviossa (11) tutkitaan suoran särmiön muotoista palkkia, jonka poikkileikkaus on y-akselin suhteen symmetrinen. Kuviossa (11) symmetria-akseli y ja sen normaali

z ovat pääjäyhyysakselit. Kun kuormitukseksi valitaan ainoastaan z-akselin suuntainen taivutusmomentti, saadaan palkille puhdas suora taivutus.

Palkin yläosan säikeet puristuvat ja alaosan säikeet venyvät kuormituksen johdosta. Jossakin on kohta, jossa säikeiden pituus ei muutu. Tätä kutsutaan palkin neutraalitasoksi. Poikkipintatason z-akselia kutsutaan poikkipinnan neutraaliakseliksi. Tästä päästään puhtaan taivutuksen yhtälöön

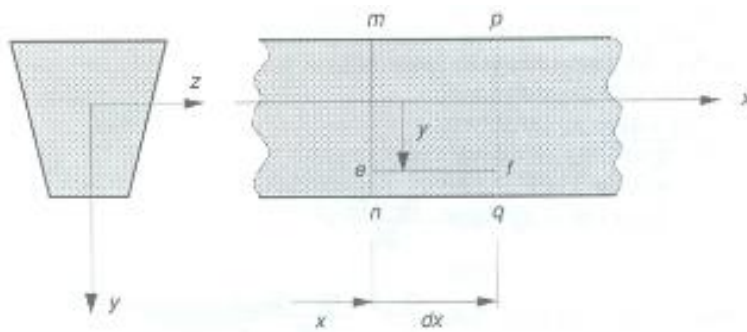
$$\sigma_x = \frac{M}{I} * y \quad (4)$$

M = Momentin maksimiarvo

I = Jäyhyysmomentti neutraaliakselin suhteen

y = Neutraaliakselin etäisyys tarkasteltavaan pituusleikkaukseen eli neutraalitasoon suuntaiseen tasoon

Lauseke (4) antaa jännityksen merkkeineen, joten on tärkeää muistaa laittaa etumerkit kaavaan. Kannattaa myös tarkistaa, että palkin kuperalle puolelle tulee positiivinen eli vetojännitys ja koveralle puolelle negatiivinen eli puristusjännitys. (Karhunen ym. 2006, 90-94.)



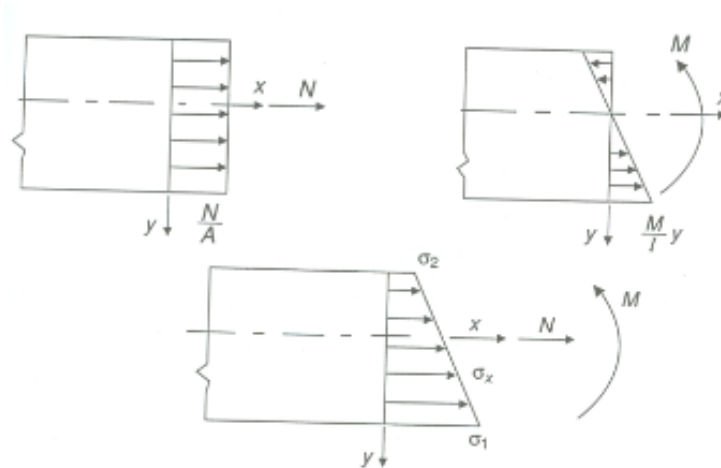
Kuvio 11. Palkin pääjäyhyysakselit y ja z (Karhunen ym. 2006, 90.)

### 5.2.2 Samanaikainen veto tai puristus ja suora taivutus

Jos palkkia rasittaa taivutusmomentin lisäksi normaalivoima, saadaan poikkipinnan jännitys jakauma suoraan laskemalla näiden vaikutukset yhteen

$$\sigma_x = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} * y \quad (5)$$

Suureet  $y$ ,  $N$ , ja  $M$  sijoitetaan aina merkkeineen jännityksen lausekkeeseen ja niin jännitykselle tulee automaattisesti oikea merkki eli vedolle  $+$  ja puristukselle  $-$ . Kuviossa (12) on havainnollistettu rasitusten yhteisvaikutus kappaleessa. (Karhunen ym. 2006, 95.)



Kuvio 12. Vedon ja taivutuksen yhteisvaikutus (Karhunen ym. 2006, 95)

### 5.2.3 Vino taivutus

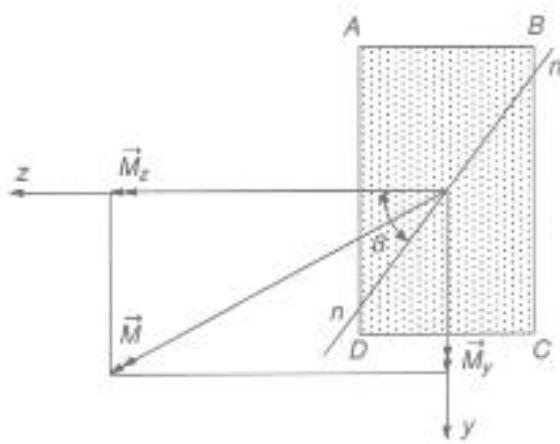
Edellä on käsitelty tapausta, jossa taivutusmomenttivektori on  $z$ -akselin suuntainen eli taivutustasona on  $xy$ -taso. Jos taivutusmomenttivektori on  $y$ -akselin suuntainen, lasketaan vastaavalla tavalla. Kun taivutusmomenttivektorin suunta poikkeaa pääakselien suunnista, kysymyksessä on vino taivutus.

Vino taivutus palautuu aina taivutukseksi pääakseleiden ympäri. Taivutusmomentti jaetaan komponentteihin  $M_z$  ja  $M_y$ . Jännityksen lausekkeeksi saadaan kuvion (13) merkinnöillä

$$\sigma_x = \frac{M_z}{I_z} * y - \frac{M_y}{I_y} * z \quad (6)$$

Jos rasituksina on lisäksi normaalivoima, normaalijännitys määritellään yhteenlaskuperiaatteella (Karhunen ym. 2006, 113-114.)

$$\sigma_x = \frac{N}{A} + \frac{M_z}{I_z} * y - \frac{M_y}{I_y} * z \quad (7)$$



Kuvio 13. Taivutusmomentin jako komponentteihin (Karhunen ym. 2006, 113)

### 5.3 Elementtimenetelmä

Elementtimenetelmä on selkeästi käytetyin numeerinen laskentamenetelmä lujuusopin ongelmien ratkaisuun. Sana elementtimenetelmä tulee englannin kielen termistä Finite Element Method eli yleisesti lyhennettynä FEM. Myös suomenkielisessä kirjallisuudessa käytetään yleisesti samaa lyhennettä FEM. Lyhennettä FEA (Finite Element Analysis) käytetään myös.

Kun esim. ristikkorakenteen statiikka (siirtymät, venymät, tukireaktiot, jännitykset) analysoidaan FEM:llä, päädytään tyypillisesti yhtälöryhmään, jossa on tuntemattomia siirtymäsuureita ja tunnettuja kuormituksia. Nämä kytkeytyvät yhtälöissä toisiinsa rakenteen osasten jäykkyyksien kautta. Rakenne on tuettu niin, että sen jäykän kappaleen liike ei ole mahdollinen. Kuormat voivat olla pistemäisiä voimia tai momentteja tai jakautuneita kuormia.

Elementtimenetelmän perusyhtälö käsin laskettaessa on mukavinta esittää matriisimuodossa

$$\{P\} = [K] * \{U\} \quad (8)$$

$\{P\}$  = rakenteen voimavektori

$[K]$  = rakenteen jäykkyyismatriisi

$\{U\}$  = rakenteen siirtymävektori

Kun isoa tai monimutkaista rakennetta lähdetään analysoimaan, se jaetaan ensin pieniin osiin eli elementteihin. Elementit ovat kyseisen rakenteen tiettyjä osia, joista yhdessä koko rakenne muodostuu. (Tervonen 2011, 8,10.)

Nykypäivänä elementtimenetelmää hyödyntävät monet eri ohjelmistot. Tietotekniikan kehitys ja niiden laskentatehon lisääntyminen ovat mahdollistaneet elementtimenetelmän tehokkaan käytön.

Yksi tällainen ohjelmisto on Autodesk Inventor. Inventorissa on kaksi eri mahdollisuutta analysoida rakenteita, jotka ovat Stress Analysis- sekä Frame Analysis-toiminto. Erona näillä on käytettävä elementtityyppi. Stress Analysis käyttää tetraedri elementtiä ja Frame Analysis palkkielementtiä. Muita mahdollisia elementtityyppejä ovat esimerkiksi kuorielementti, laattaelementti sekä sauvaelementti.

Tässä opinnäytetyössä käytetään apuna Frame Analysis-toimintoa. Frame analysis on tehokkaampi tapa analysoida mallinnettua runkorakennetta, sillä yleisesti tetraedrielementillä tulee ongelmia elementtiverkon luonnissa, jos rakenteessa on ohuita kohtia. Tällöin on syytä käyttää toista elementtityyppiä. Analysoitavassa runkorakenteessa ohuimmat kohdat ovat paksuudeltaan 2 mm, joten on järkevämpää käyttää rakenteen analysointiin palkkielementtiä eli Frame Analysis-toimintoa.

Toinen asia, joka puoltaa palkkielementin käyttöä on pituuden ja poikkileikkauksen suhde. Yleisesti jos tämä suhde on suurempi kuin 10, on edullisempaa käyttää palkkielementtiä rakenteen analysointiin (Tutorials 2013). Mallinnetussa runkorakenteessa pituuksien ja poikkileikkauksien suhde on joissain palkeissa huomattavasti suurempi kuin 10.

Opinnäytetyön lopussa on liitteenä (LIITE 1) esimerkki laskentatarkkuuksista Stress Analysis-toiminnolla, Frame Analysis-toiminnolla sekä käsikaavoilla Mathcad-laskentaohjelmiston avulla. Tuloksista voidaan nähdä, että lasketut jännitykset ovat todella lähellä toisiaan ja poikkeamaa tuloksissa on todella vähän, noin 4 %.

Täytyy kuitenkin muistaa, että elementtimenetelmä on likimääräismenetelmä eli vaikka elementtiverkon tiheys on kuinka suuri tahansa, tulokset eivät ole koskaan täysin tarkkoja. Käytännössä kuitenkin laskettaessa erilaisilla laskentaohjelmistoilla rakenteiden rasituksia, tuloksia voidaan pitää riittävän tarkkoina rakenteiden mitoituksen kannalta.

## 5.4 Varmuusluku

Suunnittelutehtävän tavoitteena on saada aikaan rakenne, joka kestää siihen kohdistuvan kuormituksen. Esimerkiksi vetorasituksen alainen sauva alkaa myötää, jos jännitys saavuttaa myötörajan ja sauva murtuu, jos jännitys ylittää murtolujuuden.

Suunnittelun lähtökohdaksi ei voida ottaa rakenteen kestävä suurinta kuormitusta eli kriittistä kuormitusta  $F_{kr}$  tai kriittistä jännitystä  $\sigma_{kr}$ . Lujuusopin laskentamallit sisältävät aina yksinkertaistuksia ja epätarkkuuksia. Valmistusmenetelmät ja käyttöolosuhteet sisältävät myös epävarmuustekijöitä. Rakenteen toimivuus varmistetaan käyttämällä varmuuslukua  $n$ , joka määritellään joko kuormituksen avulla

$$n = \frac{F_{kr}}{F_{sall}} \quad (9)$$

tai jännityksen avulla

$$n = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_{sall}} \quad (10)$$

$F_{sall}$  ja  $\sigma_{sall}$  ovat suunnittelussa rakenteelle sallittava suurin kuorma ja suurin jännitys.

Vedossa ja puristuksessa sallittu normaalijännitys lasketaan käyttäen kriittisenä jännityksenä murtolujuutta tai tavallisemmin myötörajaa. Samoin lasketaan sallittu leikkausjännitys. Jos kuormitus aiheuttaa erisuuntaisia jännityksiä, sallittu jännitys lasketaan jännityksiä yhdistelemällä.



Käytettävä varmuusluvun arvo vaihtelee suunnittelukohteen mukaan. Varmuusluvun valinnassa on otettava huomioon esimerkiksi laskentatarkkuus, kuormituksen tyyppi ja kuormituskertojen lukumäärä, rakenteen käyttöikä, materiaaliominaisuuksien vaihtelu jne. Siihenkin on kiinnitettävä huomiota, kuinka suuria vahinkoja mahdollinen vaurio saisi aikaan. Varmuusluku ei myöskään saa olla liian suuri, koska tällöin rakenteesta tulee kallis ja epäkäytännöllinen, esimerkiksi liian painava. Tavallisiin suunnittelutehtäviin käytettävä varmuusluku tai sallittu jännitys löytyy standardeista. (Karhunen ym. 2006, 28.)

## 6 LUJUUSTARKASTELU

Tässä osiossa tarkastellaan henkilönostimen runkorakenteen staattista käyttäytymistä sekä lujuutta ja varmuutta teräksen myötörajaan nähden. Työ tehdään Autodesk Inventor-ohjelmistolla, jolla mallinnetaan rakenne, analysoidaan rakenteen kestävyyttä ja selvitetään kriittisimpiä kohtia rakenteessa. Lujuustarkastelu suoritetaan Frame Analysis-työkalulla.

### 6.1 Tarkasteltava rakenne

Tarkasteltava rakenne on alun perin ollut symmetrinen eli keskituista katsottuna molempiin suuntiin yhtä pitkä. Uusien standardien ja asetusten myötä kuorma-autojen perävaunut ovat kasvaneet pituutta ja tämän johdosta myös henkilönostimia on pidennetty Käyttöautolla työn helpottamiseksi ja tehostamiseksi. Nostimia on pidennetty ainoastaan toisesta päästä, mikä on aiheuttanut sen, että nyt kuormitukset eivät enää jakaannu tasan keskirungosta katsottuna.

Työ aloitettiin mittaamalla henkilönostin mahdollisimman tarkasti ja samalla selvitettiin putkipalkkien poikkileikkaussuureet. Kun mittaukset oli saatu valmiiksi, rakenteesta piirrettiin lankamalli eli ns. frame-malli Autodesk Inventor-ohjelmistolla. Lankamallin ideana on mallintaa rakenne mahdollisimman tarkasti pelkkinä viivoina ja mahdollisia korjauksia ja mittojen muutoksia pystyy myöhemmin tekemään helposti.

Kun lankamalli oli valmis, mallin lankoihin lisättiin Autodesk Inventor-ohjelmiston standardikirjastosta tarvittavat putkipalkit. Malliin tuodut putkipalkit sisältävät jo valmiiksi kaikki lujuusanalyysissä tarvittavat suureet, kuten jäyhyysmomentin, poikkipinta-alan ja kimmokertoimen.

Kuviossa (14) on mallinnettu rakenne valmiina jatkokäsittelyä varten. Rakenteesta puuttuu nostimen taso, mutta sen aiheuttama kuormitus otetaan huomioon lujuustarkastelussa jatkuvana kuormituksena. Taso on terästä, jonka paksuus on 2 mm, pituus 15.75 m ja leveys 0.795 m. Kun tiedetään tason tilavuus ja teräksen tiheys ( $7850 \text{ kg/m}^3$ ), tästä saadaan laskettua tason massa

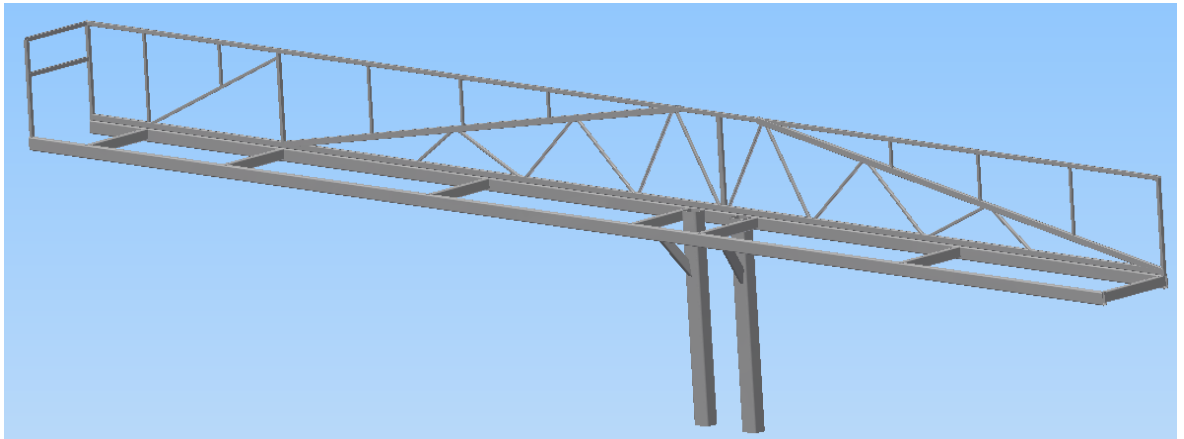
$$0.002\text{m} * 15.75\text{m} * 0.795\text{m} * 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 196 \text{ kg} \quad (11)$$

Massa saadaan muutettua voimaksi kun saatu massa kerrotaan putoamiskihti-  
vyydellä g, jonka arvo on  $9.81 \text{ m/s}^2$

$$F = 196 * 9.81 = 1922\text{N} \quad (12)$$

Eli tason aiheuttama kuorma on 1922 N. Tämä jaetaan vielä tasaisesti palkkien  
pituudelle, jotka ottavat kuormitusta vastaan, jolloin jatkuvaksi kuormitukseksi met-  
riä kohden tulee

$$\frac{1922\text{N}}{2*15.75\text{m}+7*0.82\text{m}} = 51,6 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (13)$$



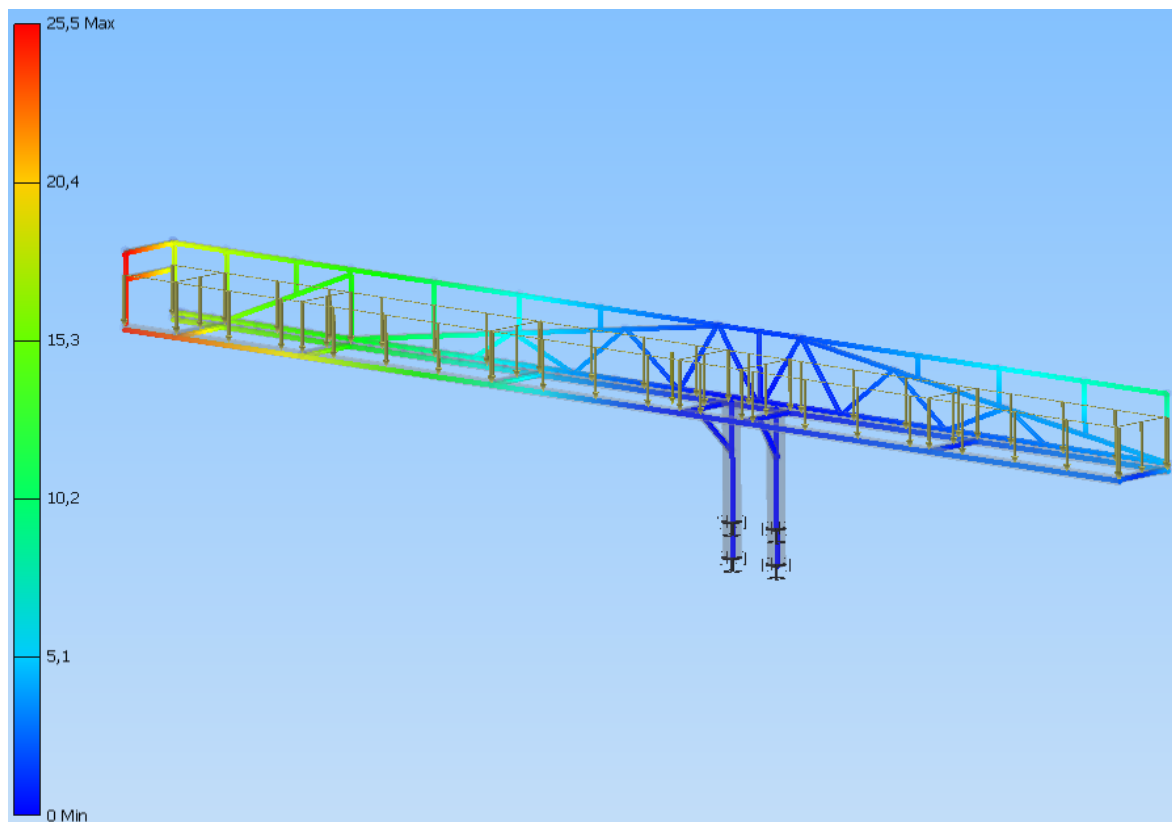
Kuvio 14. Runkorakenne mallinnettuna

## 6.2 Jännitysjauma omasta painosta

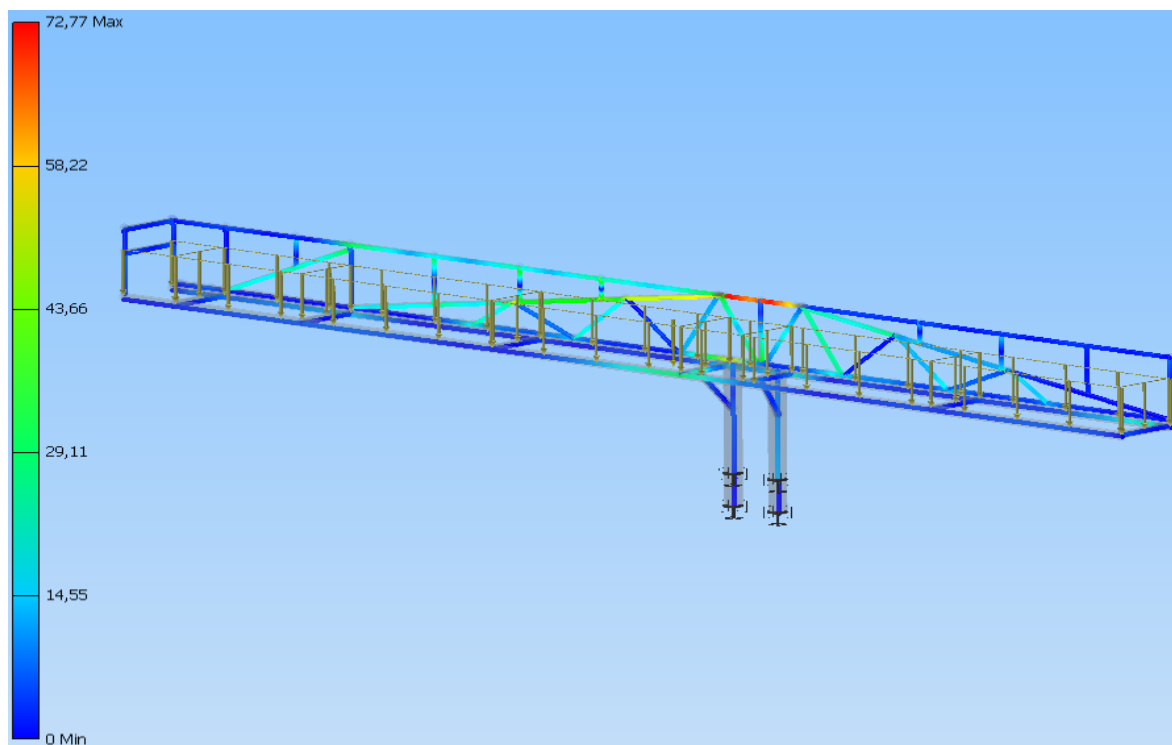
Tarkastellaan aluksi tilannetta, jossa kuormituksina on ainoastaan nostimen oma  
massa. Kuormituksena on nostimen oma paino, jonka Frame Analysis-työkalu ot-  
taa huomioon automaattisesti. Lisäksi kuormana on kaavassa (13) laskettu tason  
aiheuttama voima metriä kohden, joka otetaan huomioon jatkuvana kuormitukse-  
na. Nostin on kiinnitetty jäykästi tukijalkojen juuresta, joka näkyy analysoitavissa  
kuvissa.

Kuviosta (15) huomataan, että rakenne taipuu nostimen pidemmän puolen pää-  
dyssä noin 25 mm omasta painosta johtuen. Tämä pitää hyvin paikkaansa, sillä

silmämääräisestikin katsottuna nostimen taso on hieman taipuneena. Toisessa päädyssä taipumaa on alle 10 mm eli noin kolmasosa vähemmän.



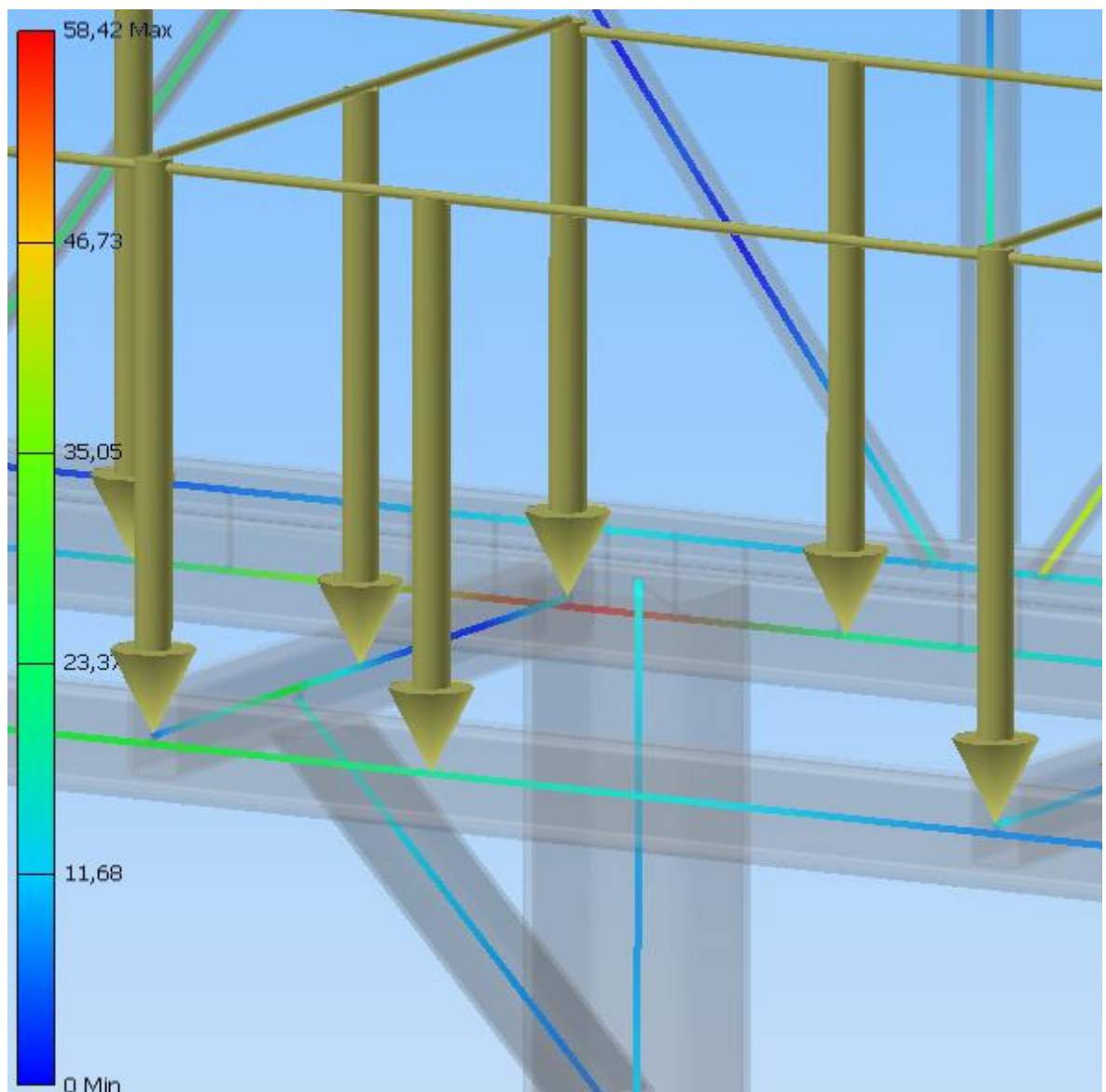
Kuvio 15. Siirtymät omasta painosta johtuen



Kuvio 16. Maksimijännitykset omasta painosta

Kuviosta (16) nähdään rakenteeseen kohdistuvat maksimijännitykset rakenteen omasta painosta johtuen. Suurin jännitys tulee ristikon keskivaiheille ja suuruus on noin 73 MPa. Maksimi ja minimijännitykset sisältävät taivutuksesta ja normaali-voimista syntyvät jännitykset. Analysoitavissa tapauksissa syntyvät jännitykset ovat normaali-jännityksiä.

Kuviosta (17) nähdään minimijännitysten itseisarvot eli miinusmerkkisten jännitysten arvot positiivisina. Pienin jännitys kohdistuu runkorakenteen putkipalkkiin, joka on liitetty rakenteen pystytukiin. Mitoitus tapahtuu itseisarvoltaan suurimman jännityksen mukaan, minkä vuoksi pienimmät jännitykset esitetään kuvissa positiivisina.



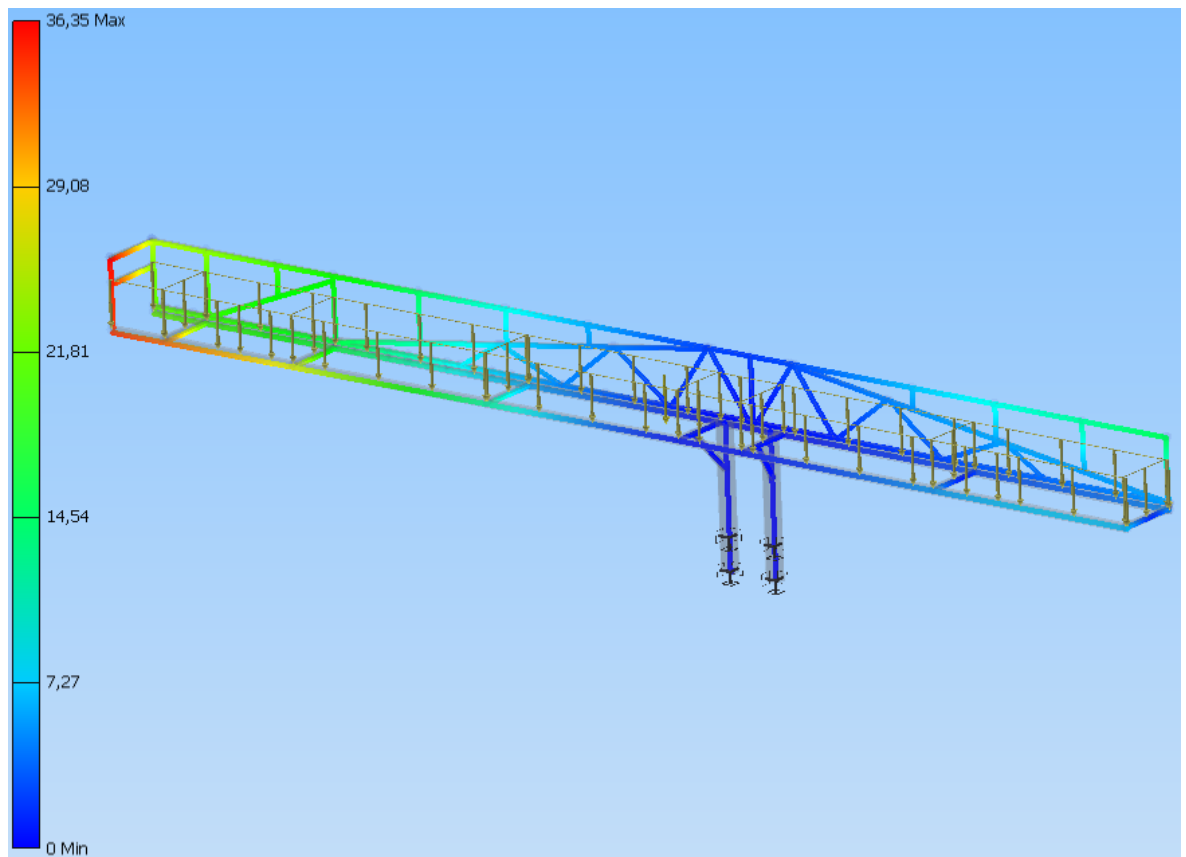
Kuvio 17. Minimijännitysten itseisarvot omasta painosta johtuen

### 6.3 Jännitysjaakauma normaalissa kuormitustilanteessa

Kokemuksen mukaan henkilönostimessa työskentelee normaalisti samaan aikaan kaksi ihmistä, mutta korkeintaan työtasolla on samaan aikaan kolme ihmistä. Tarkastellaan runkoon syntyviä jännityksiä kun oletetaan, että tasolla työskentelee kaksi 90-kiloista ihmistä. Oletetaan, että toinen työskentelee nostimen keskivaiheen oikealla puolella ja toinen vasemmalla. Lisäksi molemmat ovat kahden metrin etäisyydellä nostimen päädyistä. Yhdestä henkilöstä aiheutuva kuormitus on täten

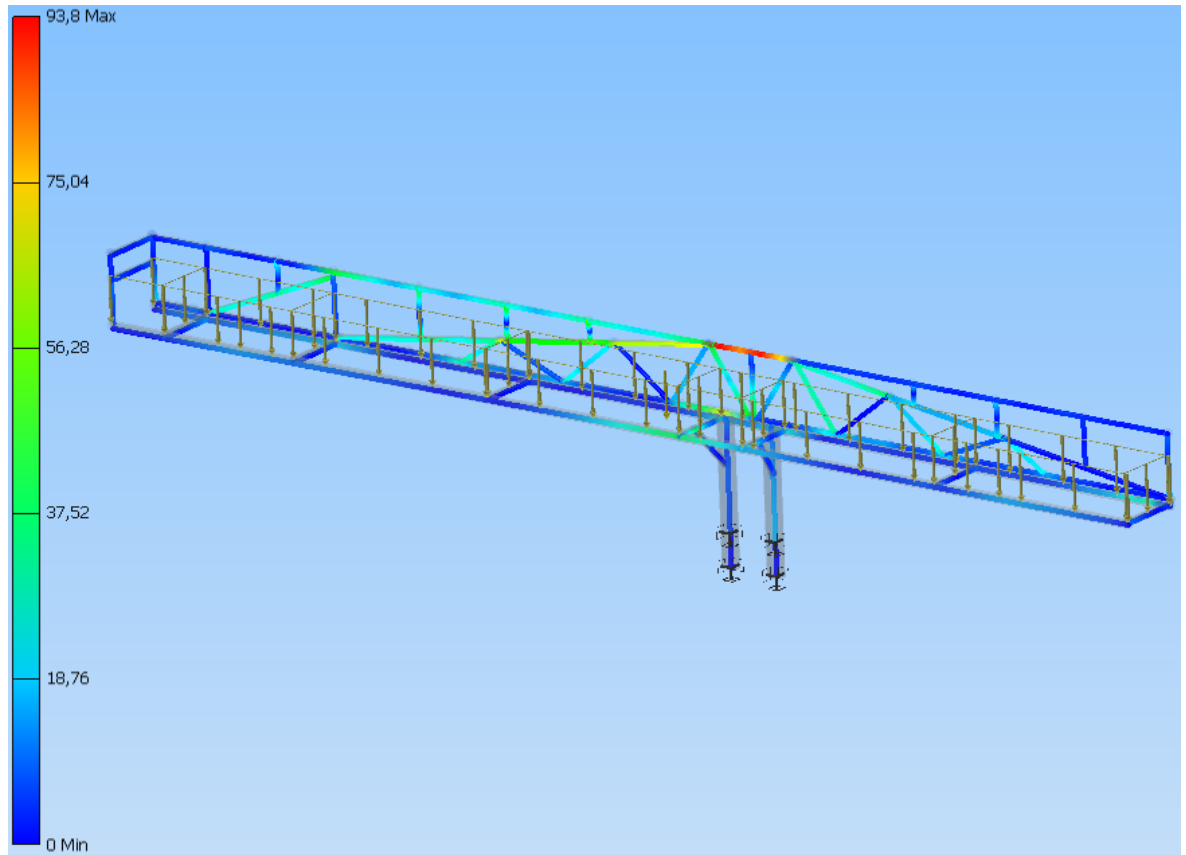
$$F = 90\text{kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 883\text{N} \quad (14)$$

Lisätään tarkasteltavaan malliin pistevoimina kaksi kaavan (14) tuloksena saatua voimaa. Kuviosta (18) huomataan, että siirtymä kasvaa nostimen pidemmällä puolella noin 12 mm. Toisessa päädyssä siirtymä on noin 10 mm, joten siirtymien välinen ero nostimen päissä on jo noin nelinkertainen.



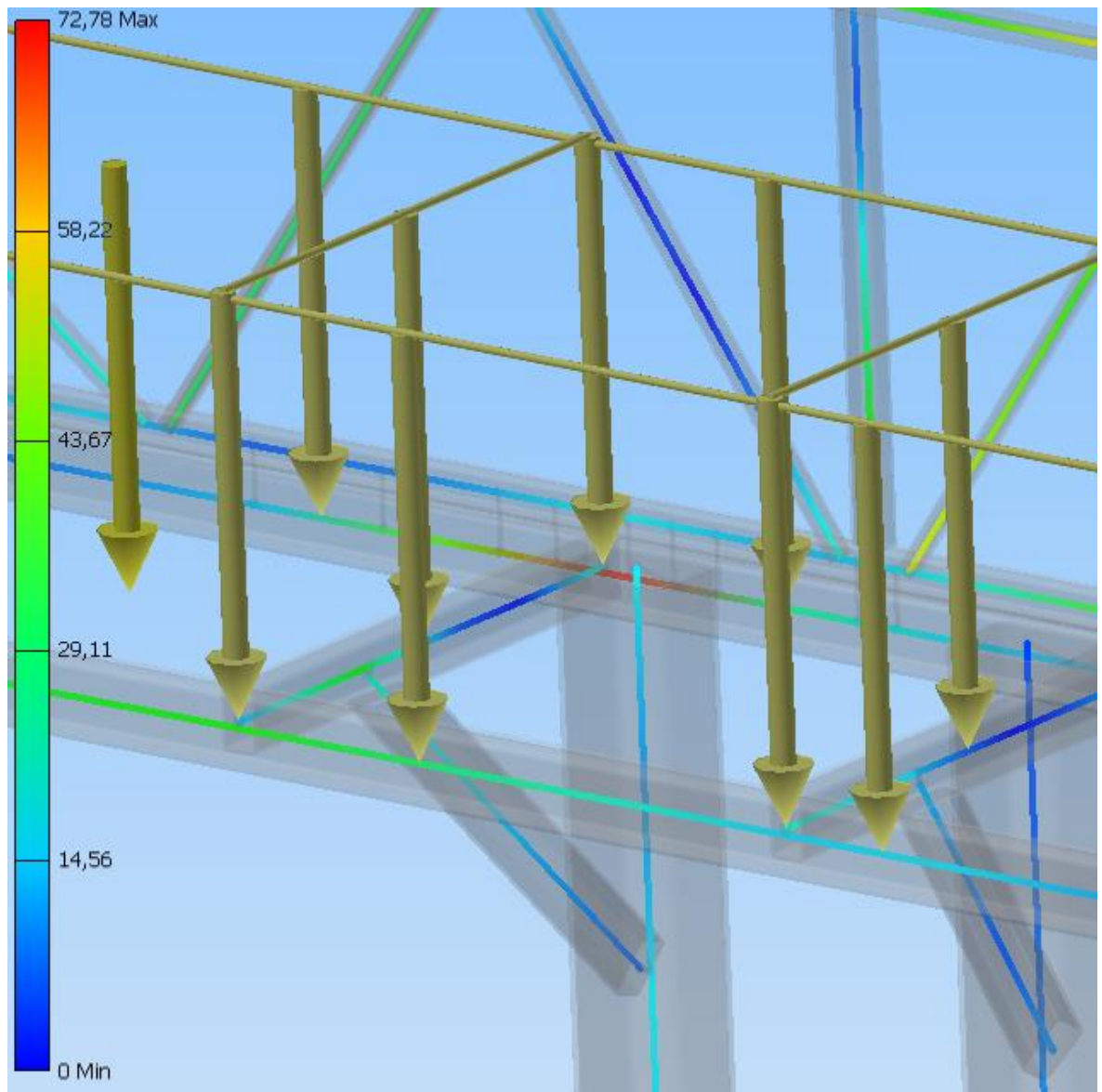
Kuvio 18. Siirtymät normaalissa kuormitustilanteessa

Nyt myös maksimijännitys ristikon keskellä on noin 95 MPa:n luokkaa, kuten kuvista (19) voidaan havaita. Jännitys näyttää keskittyvän pystytukien paikkeille, mikä on normaalistikin luonnollinen asia, sillä rakenne on eniten tuettuna keskivaiheilta.



Kuvio 19. Maksimijännitykset normaalissa kuormitustilanteessa

Minimijännitys kasvaa myös pystytukien ja runkorakenteen putkipalkin liitoskohdassa. Kuviosta (20) havaitaan, että jännitys tällä alueella on noin 77 MPa:n luokkaa.

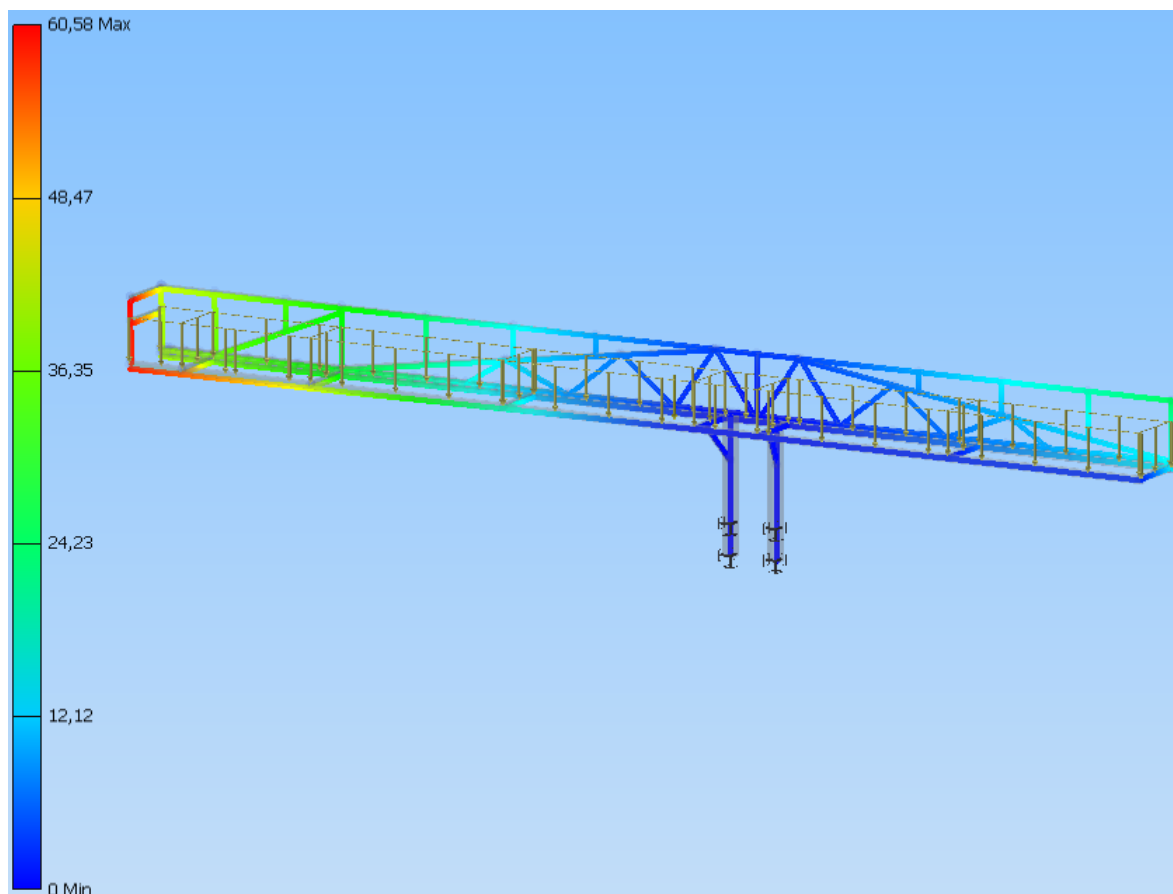


Kuvio 20. Minimijännitysten itseisarvot normaalissa kuormitusilanteessa

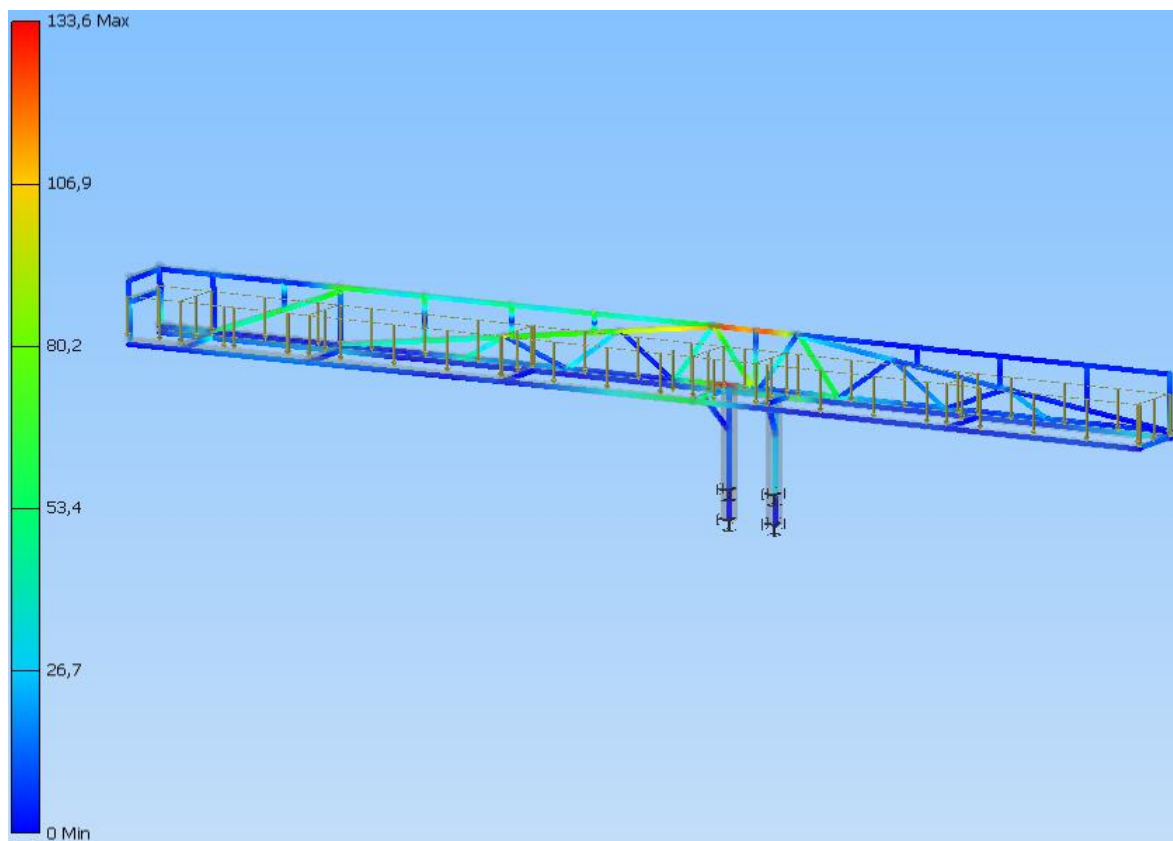
#### 6.4 Jännitysjauma epäedullisimmassa tilanteessa

Tarkastellaan seuraavaksi jännityksiä epäedullisimmassa tilanteessa. Tämä on tilanne, joka määrää myös varmuusluvun rakenteelle. Oletetaan, että nostimella työskentelee samaan aikaan kaikki kolme ihmistä ja he kaikki ovat nostimen pidemmän puolen päädyssä. Ensimmäinen on puolen metrin päässä päädyistä ja kaksi muuta ovat metrin välein työskentelemässä nostimella. Lisätään analysoitavaan malliin vaikuttamaan kolme kaavan (14) suuruista pistevoimaa rakenteen omasta painosta johtuvien kuormitusten lisäksi.





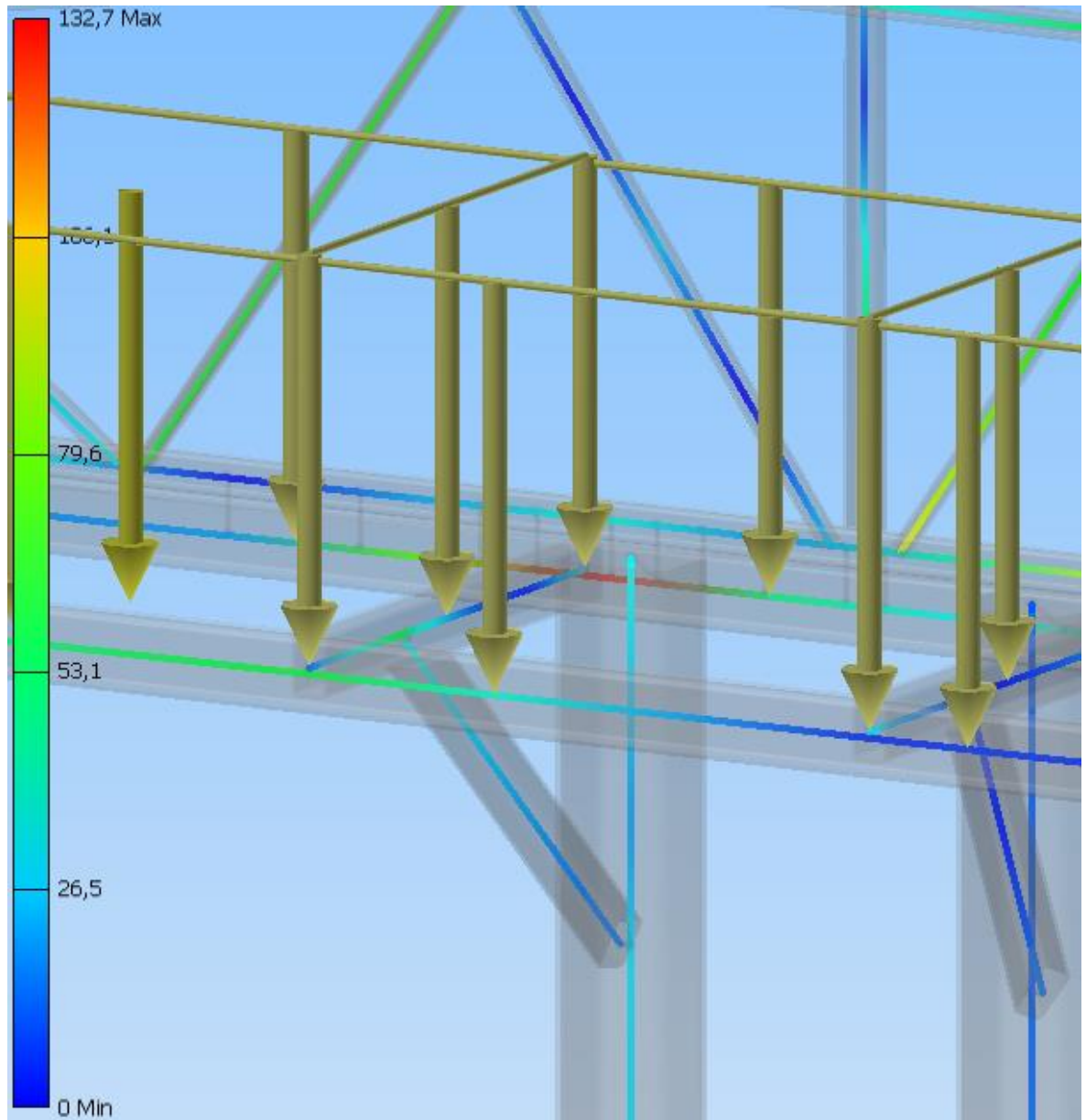
Kuvio 21. Siirtymät epäedullisimmassa tilanteessa



Kuvio 22. Maksimijännitykset epäedullisimmassa tilanteessa

Kuviosta (21) huomataan, että nyt rakenne taipuu jo noin 60 mm. Tämä on kuitenkin todella harvinainen tilanne, että kaikki kolme ovat samassa päädyssä lähekkäin. Silti tämä täytyy ottaa huomioon varmuuslukua määritettäessä.

Kuviosta (22) ilmenee pahimmassa kuormitustilanteessa aiheutuvat maksimijännitykset rakenteelle. Suurin jännitys kohdistuu edelleen ristikon keskivaiheen ylimpään putkipalkkiin. Maksimijännityksen suuruus on noin 134 MPa:n luokkaa.



Kuvio 23. Minimijännitysten itseisarvot epäedullisimmassa kuormitustilanteessa

Nyt myös minimijännityksen suurin itseisarvo kasvaa lähes yhtä suureksi kuin maksimijännitys. Kuviosta (23) havaitaan, että pystytukien ja runkorakenteen liitoskohdassa jännitys on noin 133 MPa:n luokkaa.

Kuvista voidaan nähdä, että rakenteen kriittisimmät paikat ovat ristikon keskellä ylimmässä putkipalkissa sekä pidemmän puolen runkorakenteen ja pystytuen liitoskohdassa. Saadut tulokset eivät ole täysin tarkkoja, sillä laskettaessa simulointiohjelmistoilla tuloksissa esiintyy aina muutaman prosentin epätarkkuuksia. Mitoituksen ja varmuusluvun määrittämisen kannalta tuloksia voidaan kuitenkin pitää riittävän tarkkoina.

## 7 TULOSTEN ANALYSOINTI

Rakenteen lujuustarkastelusta havaitaan, että rakenteella on kaksi kohtaa, johon syntyy suurimmat jännitykset. Määräävä jännitystapaus on normaalijännitys, joka tarkastelussa sisältää taivutusjännityksen sekä vedosta tai puristuksesta tulevan jännityksen rakenteeseen. Epäedullisimmassa tilanteessa suurin jännitys on noin 134 MPa.

Putkipalkit (Taulukko 1.), joita rakenteessa käytetään, ovat terästä. Teräksen luokasta ei ole täyttä varmuutta. Se kuitenkin tiedetään, että teräs on joko S275 tai S355. Kun täyttä varmuutta ei ole, niin varmuusluvun määrittämiseen joudutaan käyttämään heikompaa terästä ja sen arvoja taulukon (2) mukaan.

Taulukko 1. Rakenteessa käytettyjen putkipalkkien mittoja

Koko (mm)	Määrä (kpl)
200 * 150 * 8	2
120 * 60 * 6	2
100 * 60 * 5	7
100 * 50 * 5	2
60 * 40 * 4	2
60 * 40 * 2	2
40 * 40 * 2	7
30 * 30 * 3	13
30 * 30 * 2	9

Taulukko 2. Terästen arvoja (Valtanen 2010, 1113.)

<b>Teräs</b>	<b>Myötöraja (MPa)</b>	<b>Murtolujuusalue (MPa)</b>	<b>Kimmokerroin <math>\approx</math> (GPa)</b>
<b>S235</b>	235	360 - 510	210
<b>S275</b>	275	410 - 560	210
<b>S355</b>	355	470 - 630	210

Varmuusluku rakenteelle saadaan määritettyä kaavan (10) avulla, kun tiedetään rakenteeseen kohdistuva suurin jännitys sekä materiaalin myötöraja

$$n = \frac{275 \text{ MPa}}{134 \text{ MPa}} = 2,05 \quad (15)$$

Varmuus myötörajaan nähden on noin kaksinkertainen pahimmassa kuormitustapauksessa. Taulukossa (3) on esitetty standardien mukaisia vaatimuksia MVKT:n varmuusluville.

Taulukko 3. MVKT:lle määritellyjä varmuuslukuja (SFS-käsikirja 159-2 2012, 40.)

<b>Kuormitustapaus</b>	<b>Varmuusluku</b>
<b>A1, A2</b>	1,5
<b>B1, B2, B3, B4</b>	1,33
<b>C1, C2, C3</b>	1,25

Taulukon (3) kuormitustapaukset on määritetty standardissa seuraavasti (SFS-käsikirja 159-2 2012, 40-41.)

- A1: MVKT käytössä ilman tuulta, staattinen
- A2: MVKT käytössä ilman tuulta, dynaaminen

- B1: MVKT käytössä tuulella, staattinen
- B2: MVKT käytössä tuulella, dynaaminen
- B3: MVKT pystytyksen ja purkamisen aikana
- B4: MVKT siirron aikana
- C1: MVKT osuminen puskuriin käytön aikana
- C2: MVKT turvalaitteen toimiessa käytön aikana
- C3: MVKT pois käytöstä

Kun tiedetään, että Käyttöauton henkilönostimet sijaitsevat hallissa, johon ei vaikuta tuuli lainkaan ja tarkasteltavana on nostimen staattinen käyttäytyminen, niin kuormitustapaus, joka tulee tässä rakenteessa ottaa huomioon, on A1. Taulukosta (3) nähdään, että standardin mukainen vaatimus varmuusluvulle on 1,5. Kun tätä verrataan kaavan (15) tulokseen, voidaan todeta, että nostimella on tarvittava varmuus myötörajaan nähden epäedullisimmassa kuormitustilanteessa.

Varmuusluvun määrittämisessä ei ole otettu huomioon rakenteessa esiintyviä leikkaus- ja vääntöjännityksiä. Lisäksi huomioon ei ole otettu laskennassa esiintyviä muutaman prosentin epätarkkuuksia. Leikkaus- ja vääntöjännityksistä aiheutuu myös jännityksiä, mutta ne ovat todella pieniä verrattuna normaalijännityksiin rakenteen kriittisimmissä kohdissa. Vääntöjännitykset kriittisimmissä kohdissa jäivät alle 10 MPa:n ja leikkausjännitykset myös alle 10 MPa:n. Näin voidaan todeta, että saatu varmuusluku on riittävä, vaikka leikkaus- ja vääntöjännitykset otettaisiin mukaan tarkasteluihin. Myöskään muutaman prosentin epätarkkuudella laskentatuloksissa ei ole merkittävää merkitystä lopputuloksessa.

## 8 YHTEENVETO

Työn pääasiallinen lähtökohta oli selvittää Käyttöauton korjaamolla olevien henkilönostinten runkorakenteen kestävyyttä. Nostimet ovat ennen olleet symmetrisiä, mutta perävaunujen kasvamisen myötä myös nostimien pituutta on jouduttu jatkamaan. Tämä on aiheuttanut rakenteeseen lisäkuormituksia ja korjaamolla haluttiin varmistua rakenteen kestävydestä.

Työn tuloksena saatiin selvitettyä henkilönostinten runkorakenteen kriittisimmät kohdat. Vertaamalla kriittisimpiä kohtia rakenteessa teräksen myötörajaan, saatiin varmistus, että nostimet ovat edelleen turvallisia käyttää lujuusopin kannalta, vaikka niiden pituus on kasvanut yli 2 metriä. Nostimia ei kuitenkaan ole tuettu lisää, vaikka niiden pituutta on lisätty. Voidaan myös todeta, että lisätuenta ei ole välttämätöntä, sillä rakenteella on pahimmassa kuormitustapauksessa tarpeeksi varmuutta myötörajaan nähden.

Lisätuennalla saataisiin kuitenkin vähennettyä nostimen värähtelyjä, joka myös hieman lisäisi turvallisuutta työskenneltäessä henkilönostimen tasolla. Tässä opinäytetyössä ei ole käsitelty värähtelyjen vaikutusta turvallisuuteen ja rakenteeseen, sillä värähtelyä syntyy ainoastaan, kun nostinta nostetaan tai lasketaan sekä kun ihminen kävelee nostimen tasolla. Värähtelyt ovat kuitenkin niin pieniä, että turvallisuuteen niillä ei ole suurtakaan vaikutusta. Lisäksi lisätuennalla saataisiin nostimen taso pysymään paremmin suorassa, mutta tämäkään ei ole välttämättä tarpeellista, sillä taipumat olivat muutaman senttimetrin luokkaa pahimmassakin kuormitustapauksessa.

Lisäksi tässä työssä paneuduttiin turvallisuusnäkökohtiin työskenneltäessä henkilönostimilla. Nykypäivänä turvallisuus on työelämässä yksi avainasia, sillä sen avulla saadaan vähennettyä työtapaturmia ja tätä kautta syntyviä kustannuksia yritykselle. Onkin tärkeää muistaa turvalliset työtavat työskenneltäessä henkilönostimilla. Yhtä tärkeänä voidaan myös pitää tarvittavaa opastusta ja ohjeistusta, kuinka nostimilla tulisi työskennellä ja kuinka niitä on turvallista käyttää.

Opinnäytetyön tekijälle tämä työ tarjosi monipuolisen aihealueen. Työssä joutui paneutumaan teoriaan sekä hankkimaan täsmällistä tietoa eri lähteistä. Työssä oli

monia eri elementtejä, kuten rakenteen mallinnus, rakenteen lujuusanalyysi, teorian hankinta sekä turvallisuuden käsittely. Varsinkin rakenteen mallinnus ja lujuusanalyysi veivät paljon aikaa, sillä Frame Analysis-työkalun käytön joutui opettelemaan itsekseen ja mallin analysoinnissa oli aluksi hieman hankaluuksia. Kokonaisuudessaan Frame Analysis on kuitenkin todella kätevä työkalu, joka antaa riittävän tarkat vastaukset lyhyessä ajassa. Käytettäessä kyseistä analysointityökalua huomiota pitää muistaa kiinnittää rakenteen tuentaan sekä solmupisteisiin, joilla rungon eri osat yhdistyvät toisiinsa. Mitä tarkemmin mallinnuksen, tuennan ja solmupisteet rakenteelle määrittää, sitä tarkempiin lopputuloksiin simuloinnissa päästään.



## LÄHTEET

- Etelä-Suomen aluehallintovirasto. 2011. Henkilönostimet. Määräaikaistarkastus. Päivitysversio. [PDF-tiedosto]. [Viitattu 12.2.2013]. Saatavana: [www.tyosuojelu.fi/fi/forward/file/183](http://www.tyosuojelu.fi/fi/forward/file/183)
- Laitinen, H. 2009. 3T Ratkaisut Oy. Henkilönostimen turvallinen käyttö. [www-dokumentti]. [Viitattu 17.2.2013]. Saatavana: <http://www.turvallisuusutiset.fi/binary/file/-/id/38/fid/1106/>
- Karhunen, J., Lassila, V., Pyy, S., Ranta, A., Räsänen, S., Saikkonen, M., Suosara, E. 2006. Lujuusoppi. 10. muuttumaton painos. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Käyttöauto. 2013. Yritysesittely. [www-dokumentti]. [Viitattu 15.1.2013]. Saatavana: <http://www.kayttoauto.fi/yritysesittely>
- SFS-Käsikirja 159-1. 2011. Nostolavat. Osa 1. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.
- SFS-Käsikirja 159-2. 2012. Nostolavat. Osa 2. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.
- SFS-Käsikirja 32-2. 2009. Nosturit. Osa 2: Suunnittelu, Käyttö, Testaus ja Kunnonvalvonta. 1. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.
- Tapaturmavakuutuslaitosten liitto. 2003. Henkilönostojen turvallisuuden varmistaminen. [PDF-tiedosto]. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö/työsuojeluosasto. [Viitattu 3.3.2013]. Saatavana: [www.tvl.fi/templates/vinha/services/download.aspx?fid=194721](http://www.tvl.fi/templates/vinha/services/download.aspx?fid=194721)
- Tervonen, M. 2011. Finite Element Method: Elementtimenetelmät. Luentomoniste. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Julkaisematon.
- Tutorials. 2013. Autodesk WikiHelp. [www-dokumentti]. [Viitattu 25.3.2013]. Saatavana: <http://wikihelp.autodesk.com/Inventor/enu/2013>
- Työsuojeluhallinto. 2010. Siirrettävät henkilönostimet. Turvallisen käytön ohjeet. [PDF-tiedosto]. [Viitattu 27.2.2013]. Saatavana: [tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2010/06/TSO\\_31.pdf](http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2010/06/TSO_31.pdf)
- Valtanen, E. 2010. Tekniikan taulukkokirja. 18. painos. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy.

## **LIITTEET**

LIITE 1. Laskentatarkkuudet eri menetelmillä

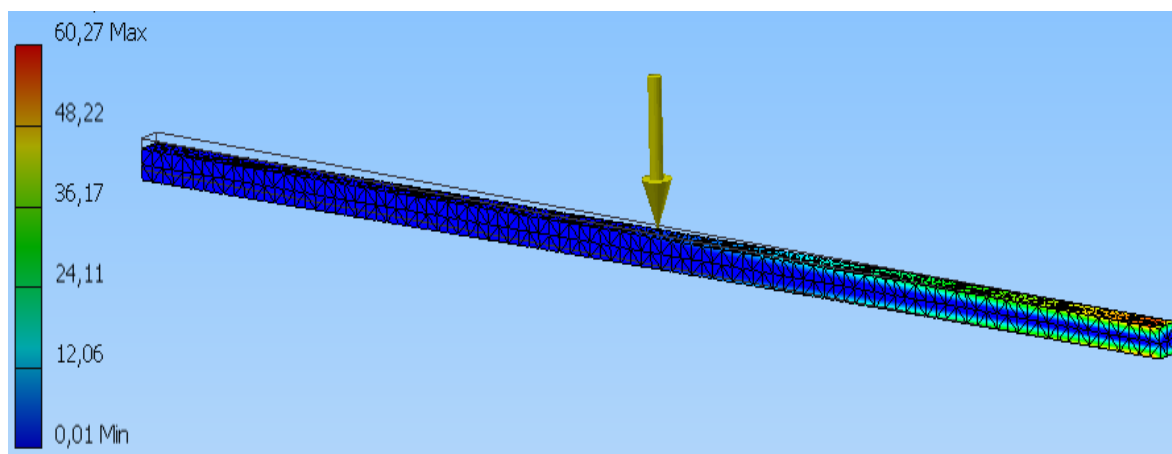
LIITE 2. Nostimien turvallisuusanalyysi

LIITE 3. Runkorakenteen päämitat

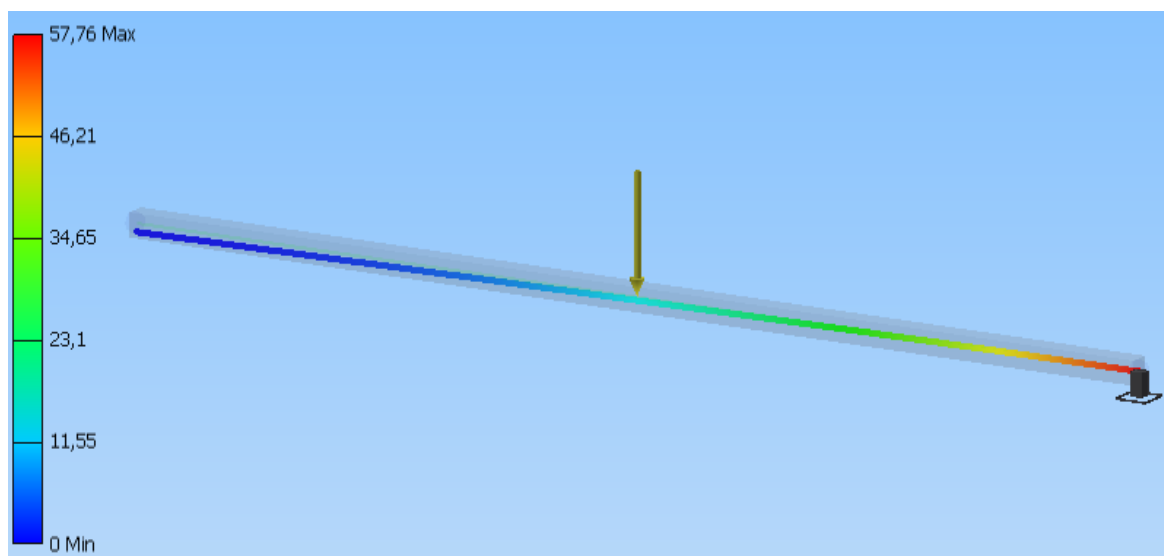
LIITE 4. Jännitysten karkea arviointi käsikaavoilla

## LIITE 1. Laskentatarkkuudet eri menetelmillä

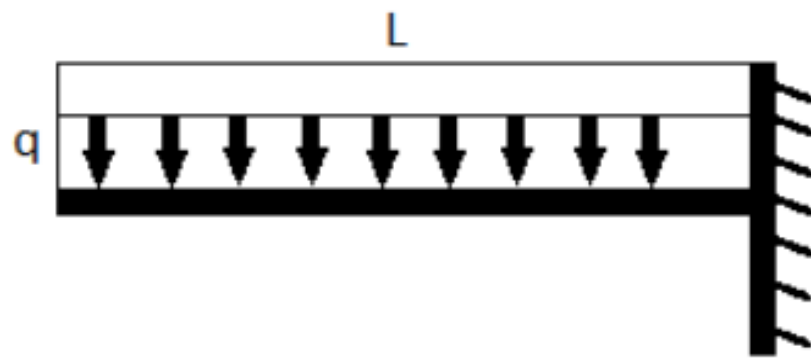
Laskennassa on käytetty esimerkkinä 5 metriä pitkää teräspalkkia, joka on kiinnitetty jäykästi (Fixed constraint) oikean puolen päädyssä. Kuormituksena on ainoastaan palkin oma paino. Palkin poikkileikkaus on 100\*100 millimetriä. Laskentatulokset on esitetty jokaisessa kohdassa megapascalina (MPa).



Laskentatulokset Stress Analysis-toiminnolla. Mallissa on 2783 elementtiä ja 5522 solmupistettä.



Laskentatulokset Frame Analysis-toiminnolla. Mallissa on yksi palkkielementti ja solmupisteet palkin molemmissa päädissä.



$e := 0.05$	Etäisyys palkin pinnalle neutraaliakselilta, m
$\rho := 7850$	Teräksen tiheys, kg/m <sup>3</sup>
$A := 0.1 \cdot 0.1 = 0.01$	Palkin ala, m <sup>2</sup>
$L := 5$	Palkin pituus, m
$I := \frac{0.1^4}{12} = 8.333 \cdot 10^{-6}$	Palkin jäyhyysmomentti, m <sup>4</sup>
$m := \rho \cdot A \cdot L = 392.5$	Palkin massa, kg
$F := 9.81 \cdot m = 3.85 \cdot 10^3$	Kappaleen aiheuttama voima, N
$q := \frac{F}{L} = 770.085$	Jatkuva kuorma omasta painosta, N/m
$M := \frac{q \cdot L^2}{2} = 9.626 \cdot 10^3$	Suurin momentti, Nm
$\sigma_x := \frac{M}{I} \cdot e = 5.776 \cdot 10^7$	Suurin jännitys palkin pinnalla, Pa
$\frac{\sigma_x}{10^6} = 57.756$	Suurin jännitys, MPa

Laskentatulos käsikaavoilla Mathcadin avulla. Huomataan, että tulos on täsmälleen sama kuin Frame Analysis-toiminnolla.

## **LIITE 2. Nostimien turvallisuusanalyysi**

### **Nostimen työtaso:**

Nostimen työtasossa ei ole lattialuokkuja, joten aukeamisvaaraa alaspäin ei ole. Tasolla ei ole liukastumista estävää lattiapäällystettä, mutta itse tason pinta on valmistettu estämään liukastumisia. Tasossa ei ole reikiä eikä aukkoja, joten esimerkiksi työkaluilla ei ole putoamisvaaraa tason läpi. Tason jatkeissa ei ole lattiapäällysteen kiinnitysmahdollisuuksia. Näitä ei tarvita, koska itse tason pinta on valmistettu estämään liukastumisia.

Työtaso on varustettu hieman liian matalilla suojakaiteilla. Vaadittu korkeus on 1,1 metriä ja kaiteet ovat 1,0 metriä korkeita. Täten suojakaiteiden korkeutta tulisi lisätä 0,1 metriä. Yhdellä sivulla kaiteet saa irrotettua kokonaan. Yleensä tämä sivu nostimesta on kokonaan ilman kaiteita, koska tältä sivulta työskennellään kasattaessa perävaunuja. Tämä on sallittua, sillä perävaunun sivu muodostaa tarvittavan seinän nostimelle, joka voidaan ajatella suojakaiteeksi. Täten putoamisvaaraa nostimesta ei ole. Täytyy kuitenkin muistaa, että nostinta ei saa missään nimessä käyttää, jos kaiteet ovat poissa ja työalueella ei ole kasattavaa perävaunua. Tällöin putoaminen nostimesta on todennäköistä ja liikkuminen nostimella on hengenvaarallista.

Kaiteissa on muutoin riittävästi välijohteita, paitsi pitkillä sivuilla molemmissa päädyissä, joissa kaiteiden vinotuki yhdistyy liian alas runkoon toimiakseen välijohteenä. Rakenteen molempiin päätyihin tulisi lisätä putkipalkit poikittain. Etäisyys tulisi olla korkeintaan 0,5 metriä käsijohteeseen tai jalkalistaan. Muutoin rakenteessa on riittävästi välijohteita estämässä putoamista suojakaiteen ja työtason välistä. Kaikki suojakaiteet on tehty putkipalkeista, joten ketjuja ja köysiä ei ole käytössä suojakaiteina.

Nostimen työtasolle on olemassa yksi kulkureitti toisesta päädyistä. Kyseisessä päädyssä on kiinteät portaat, joiden nousukulma säätyy automaattisesti nostinta nostettaessa tai laskettaessa. Portaiden askelkorkeus on sallittu (0,27 m), eli alle 0,3 metriä. Myös jalkatilaa askelmilla on riittävästi (0,15 m), eli 0,15 metriä tai enemmän. Portaat on myös varustettu tarvittavilla ja asianmukaisilla käsijohteilla.

Työtasolle ei ole olemassa kulkuporttia portaiden yläpäässä. Tämä on yksi selvä puute, sillä standardien mukaan kulkuportti täytyisi olla portaiden yläpäässä. Kyseisessä päädyssä ei siis ole minkäänlaisia suojakaiteita. Kulkuportti tulisi olla varustettu siten, että nostinta ei voi käyttää, ennen kuin portti on lukittu ja kiinni. Portti ei myöskään saa aueta ulospäin. Myös tahaton aukeaminen tulee estää.

Tarkastetaan vielä teoriassa esiintynyt 100 kilon suuruinen pystyvoima käsijohteelle epäedullisemmassa tilanteessa. Käsijohteiden pisin jänneväli rakenteessa on 1,9 metriä (laskelmissa merkataan L). Epäedullisimmassa tilanteessa voima vaikuttaa palkin keskellä. Putkipalkin poikkileikkaus, joka toimii käsijohteena, on 60\*40\*2 millimetriä. Kun voima vaikuttaa pystysuunnassa niin palkki on asennettu tästä katsottuna edullisemmin. Täten voidaan määrittää jäyhyysmomentti palkille

$$I = \frac{40 \cdot 60^3 - 36 \cdot 56^3}{12} = 193152 \text{ mm}^4$$

Muutetaan 100 kiloa voimaksi

$$F = m \cdot g = 100 \cdot 9.81 = 981 \text{ N}$$

Kun molemmat päät ovat jäykästi tuettuja, niin momentin maksimiarvo saadaan suoraan Tekniikan taulukkokirjasta (Valtanen 2010, 411) tapauksesta 18

$$M = \frac{F \cdot L}{8} = 232988 \text{ Nmm}$$

Tästä pystytään laskemaan käsijohteen rasitus opinnäytetyössä esiintyneen kaavan (4) avulla. Suurin jännitys esiintyy palkin pinnalla. Etäisyys y on tässä palkin pinnalle 30 mm palkin symmetrisyyden vuoksi.

$$\sigma_x = \frac{M}{I} \cdot y = 36.2 \text{ MPa}$$

Kun tätä verrataan rakenteen teräksen myötörajaan 275 MPa, niin voidaan todeta, että käsijohteet ja suojakaiteet ovat riittävän kestäviä koko rakenteessa, sillä jännitys jää todella alhaiseksi.

*Nostimeen on asennettava tarvittava ja asianmukainen kulkuportti, lisättävä pari välijohdetta suojakaiteisiin ja korotettava suojakaiteita.*

**Nostimen käyttöohjeet:**

Nostimista ei ole olemassa käyttöohjeita. Nostimille pitää laatia käyttöohjeet, joista ilmenee mm. seuraavia asioita: käyttötoimenpiteet sisältäen ohjeet turvaetäisyyksistä, hätätilannetoimenpiteet sisältäen turvalaitteiden toiminnan sekä asianmukaisen henkilösuojainten käytön, kuten esim. turvakypärä ja turvajalkineet. Käyttöohjeet täytyy dokumentoida asianmukaisesti ja ne tulee olla kaikkien nostinta käyttävien saatavilla. Käyttöohjeista tulee myös ilmetä, kuinka nostimella tulee työskennellä. Myös kaikki vaarat ja oikeat työtavat tulee ilmetä nostimen käyttöohjeista.

*Nostimille laadittava kattavat käyttöohjeet.*

**Nostimen käyttäjien perehdytys/opastus:**

Nostimien käyttäjiä on opastettu, mutta ei aivan tarpeeksi vaadituilla tavoilla. Kun uusi työntekijä on aloittanut työt, niin hän on perehdytetty nostimien käyttöön. Perehdytyksessä on kerrottu pääkohdat nostimen käytöstä eli kuinka nostin toimii ja kuinka sitä käytetään oikein, hallintalaitteiden käyttö on opastettu, työntekijä tietää kuinka toimia häiriötilanteessa ja kuinka nostimella työskennellään turvallisesti. Puutteita on esimerkiksi siinä, että opastuksesta täytyisi löytyä kirjallisia ohjeita. Näillä tarkoitetaan yleensä käyttöohjeita, joista selviää kaikki nostimen käyttöön vaaditut asiat. Ohjeiden tulee olla selkeitä ja helppolukuisia. Käyttäjien opastuksesta henkilönostimille olisi myös hyvä laatia erillinen lomake, josta selviää opastetut asiat. Jos henkilöä ei ole opastettu nostimen käyttöön, niin tällöin nostinta ei saisi käyttää.

*Perehdytystä lisättävä, laadittava selkeitä ohjeita nostimen käytöstä (käyttöohjeet) ja laadittava opastuslomake.*

**Nostimen määräaikaistarkastukset:**

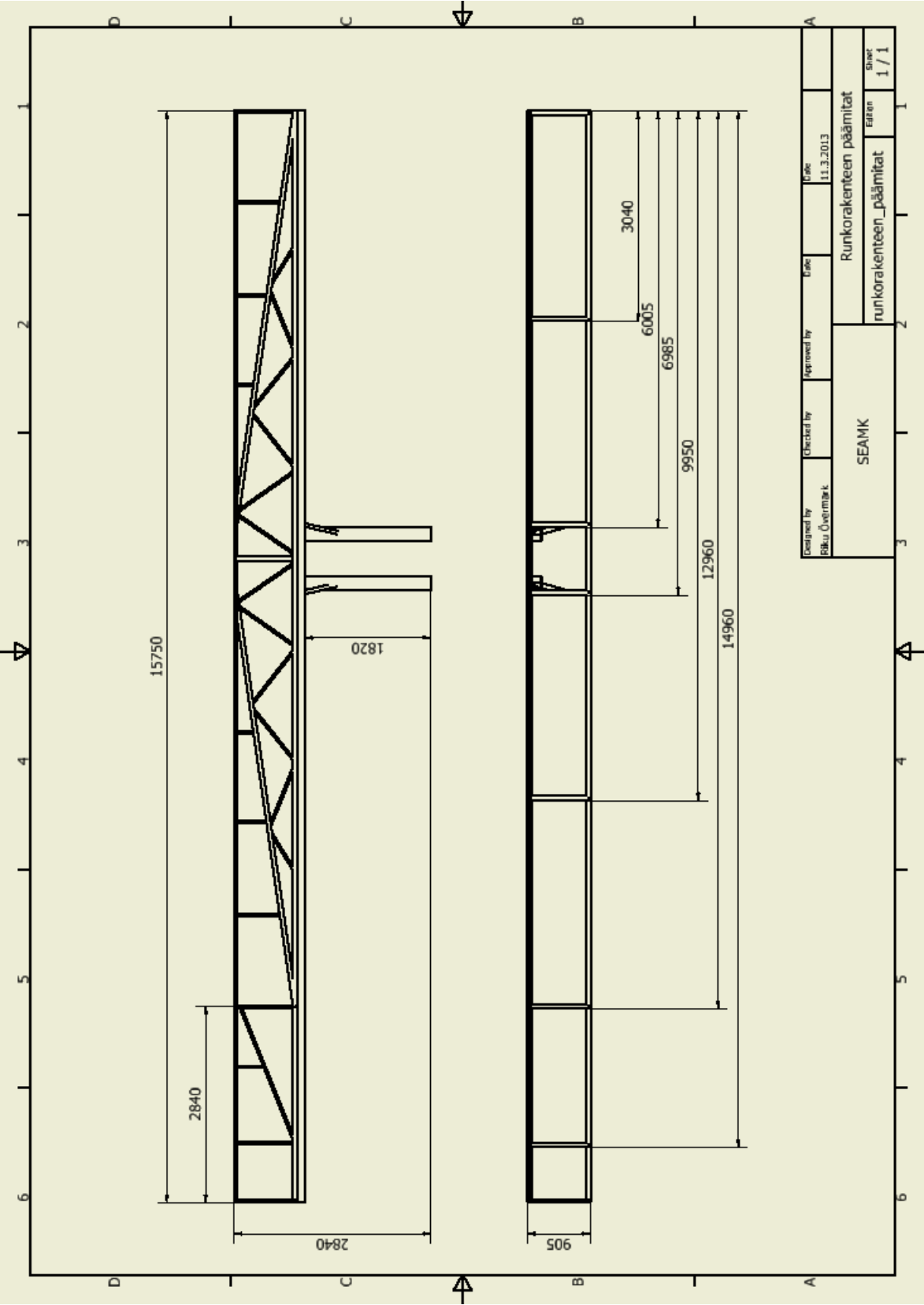
Nostimelle ei ole suoritettu tarvittavia määräaikaistarkastuksia. Tarkastajana täytyy olla asiantuntija tai asiantuntijayhteisö, joka tarkastaa nostimen mahdolliset viat ja puutteet, jotka vaikuttavat olennaisesti työturvallisuuteen. Tällaisia ovat esim. turvalaitteiden toimimattomuus, mahdolliset öljyvuodot, rakenteelliset viat ja sähköstä aiheutuvat vaarat. Se, joka tarkastuksen suorittaa, on velvollinen huolehtimaan

asianmukaisesta tarkastuksesta ja antamaan ohjeet mahdollisten vikojen ja puutteiden korjaamisesta. Tarkastuksen pääasiallinen tarkoitus on taata työntekijöille henkilönostimen turvallinen käyttö.

*Määräaikaistarkastusten aloittaminen.*

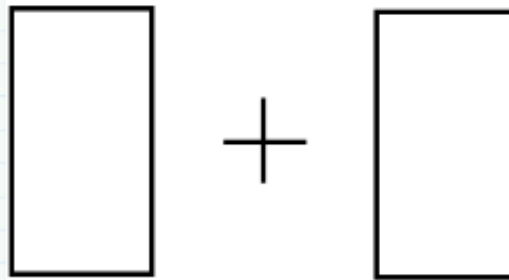
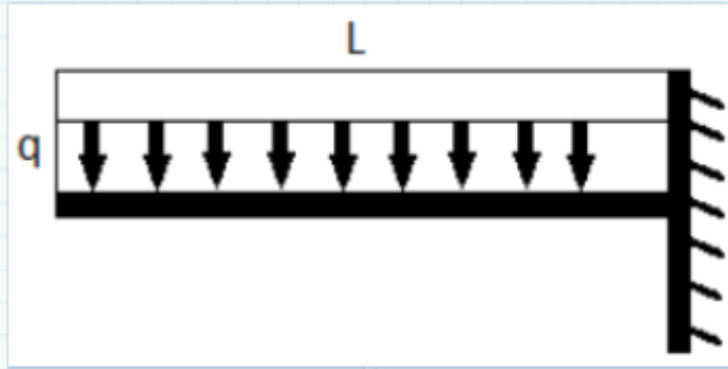


LIITE 3. Runkorakenteen päämitat



## LIITE 4. Jännitysten karkea arviointi käsikaavoilla

Tarkastellaan jännityksiä taivutuksen käsikaavoilla karkeasti tapauksessa, jossa kuormituksena on ainoastaan nostimen oma rakenne eli ulokepalkkien aiheuttamat kuormat ja verrataan tulosta sivun (36) tulokseen (72 MPa). Kuvitellaan nostimen pidemmän puolen pääty ulokepalkiksi. Rakenteesta jätetään huomioimatta kaikki kaiteet pois.



Profiili päädyistä katsottuna. Palkkien taivutusvastukset  $W$  ja poikkileikkauksien pinta-ala  $A$  saadaan suoraan inventor-mallista.

$$A := 0.001924$$

Palkin poikkileikkauksen pinta-ala,  $\text{m}^2$

$$L := 8.8$$

Pidemmän puolen pituus, m

$$W := 54669$$

Yhden palkin taivutusvastus,  $\text{mm}^3$

$$W_{\text{kok}} := 2 \cdot W \cdot 10^{-9} = 1.093 \cdot 10^{-4}$$

Kokonais taivutusvastus,  $\text{m}^3$

$$\rho := 7850$$

Teräksen tiheys,  $\text{kg}/\text{m}^3$

$$g := 9.81$$

Putoamiskiihtyvyys,  $\text{m}/\text{s}^2$

$$q := A \cdot g \cdot \rho = 148.2$$

Yhden palkin aiheuttama kuorma,  $\text{N}/\text{m}$

$$q_{\text{taso}} := 51.6$$

Nostimen tason aiheuttama kuorma yhdelle palkille, kaava (13),  $\text{N}/\text{m}$

$$q_{\text{kok}} := 2 \cdot q + 2 \cdot q_{\text{taso}} = 399.5$$

Kokonaiskuormitus,  $\text{N}/\text{m}$

$$M_{\text{max}} := \frac{q_{\text{kok}} \cdot L^2}{2} = 1.547 \cdot 10^4$$

Momentin maksimiarvo,  $\text{Nm}$

$$\sigma_x := \frac{M_{max}}{W_{kok}} \cdot 10^{-6} = 141.5$$

Suurin jännitys palkissa, MPa

Kuten tuloksesta huomataan, saatu jännitys (141.5 MPa) on huomattavasti suurempi, kuin inventor-mallin jännitys (72.7 MPa) perustapauksessa. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että tässä ei ole otettu huomioon rakenteen kaiteita, jotka myös osaltaan ottavat kuormituksia vastaan ja näinollen pienentävät pääpalkkien rasituksia olennaisesti.

Tarkastellaan vielä rakennetta ilman kaiteita inventorilla. Tuloksesta nähdään, että jännitys (125.9 MPa) on lähes sama kuin käsikaavoilla laskettu tulos. Tulos on hieman pienempi ja tämä johtuu siitä, että mallissa on huomioitu ainoastaan runkorakenteen oma kuormitus. Analysoitavasta rakenteesta puuttuu tason aiheuttama kuormitus kokonaan, joka luonnollisesti suurentaisi jännitystä jonkin verran.

