

Heikki Korpela

NOSTURIRADAN SUUNNITTELU

**Opinnäytetyö
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Marraskuu 2012**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieska	Aika Marraskuu 2012	Tekijä Heikki Korpela
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn nimi NOSTURIRADAN SUUNNITTELU		
Työn ohjaaja Tapio Malinen		Sivumäärä 41+8
<p>Opinnäytetyön aiheena oli nosturiradan suunnittelu. Työn tarkoituksena oli suunnitella siltanosturirata, jonka keskeisimpänä tehtävänä oli ratapalkkien mitoittaminen. Tuloksien pohjalta tiedetään nopea ja hyvä mitoitusmenetelmä, jota voidaan mahdollisesti hyödyntää muissakin projekteissa.</p> <p>Nosturiradan suunnittelutyössä, rasiusten määrittelyssä ja lujuuslaskelmissa käytettiin nosturin toimittajan ilmoittamia teknisiä tietoja. Lisäksi käytettiin osia standardeista SFS-EN 1993-6 (nosturia kannattavat rakenteet) ja SFS-EN 1991-3 (nostureista ja muista koneista aiheutuvat kuormat). Opinnäytetyössä hyödynnettiin myös kansallista liitettä SFS-EN 1991-3 liite 38:aa.</p> <p>Lujuuslaskelmat tehtiin käsin laskennalla ja MITCalc-palkkilaskentaohjelmalla, joiden tuloksia verrattiin toisiinsa. Tuloksien pohjalta tehtiin lopulliset nosturiradan teräspalkkivalinnat.</p>		

Asiasanat

lujuuslaskenta, MITCalc, nosturirata

ABSTRACT

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date November 2012	Author Heikki Korpela
Degree programme Mechanical and Production Engineering		
Name of thesis Designing a Crane Line		
Instructor Tapio Malinen		Pages 41+8
<p>The objective of this thesis was to design a crane line. The purpose was to design a bridge crane line, whose central of purpose was sleeper dimensioning. On the basis of results a fast and good measuring method was designed to be also exploited possibly in other projects.</p> <p>In the crane runway design work, burden in the definition and strength calculations was by crane supplier's reported technical information was used in addition to used parts from standards SFS-EN 1993-6 (Crane supporting structures) and SFS-EN 1991-3 (Actions induced by cranes and machinery). Thesis also utilized in national annex SFS-EN 1991-3 appendix 38.</p> <p>Strength calculations were made by hand calculations and MITCalc beam analysis program. These results were compared to each other. The results gave the final crane line steel bar options.</p>		

Key words
Strength calculation, MITCalc, crane line

φ	dynaaminen suurennoskerroin
$\varphi_1- \varphi_7$	nostureiden aiheuttamien kuormien dynaamiset suurennuskertoimet
Q_e	väsyttävä kuorma
Q_{max}	pystysuuntaisen pyöräkuorman ominaisarvon yläraja
Q	leikkausvoima
φ_{fat}	vaurion suhteen ekvivalentti sysäyskerroin
λ_i	ekvivalentti vauriokerroin
M_{max}	maksimi taivutusmomentti
W	taivutusvastus
δ	normaali jännitys
f	taipuma
I	neliömomentti
A_w	uuman poikkileikkauspinta-ala
τ	leikkausjännitys
H_{Li}	pitkittäiskuorma
K	ajovoima
n_r	ratapalkkien lukumäärä
i	ratapalkin numero
$H_{T,1}$	poikittainen vaakakuorma
$\sum Q_{r,max}$	kuormitetun nosturin samaa ratapalkkia kuormittavien maksimipyöräkuormien yhteenlaskettu kuorma.
$\sum Q_{r,(max)}$	kuormitetun nosturin maksimipyöräkuormien yhteenlaskettua kuormaa vastaava pyöräkuormien summa rinnakkaisella ratapalkilla.
ξ	puskimen ominaisvaimennuskäyrä
H_{B1}	nosturin liikkeeseen liittyvä puskin kuorma
H_{B2}	nostimen liikkeeseen liittyvä puskin kuorma
S_B	puskimen jousivakio
m_c	nosturin massan ja kokonaiskuormanmassan summa

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 ALUTIG OY	2
3 SILTANOSTURIRATA	3
3.1 Nosturityypit	3
3.2 Käyttökohteet	4
4 TARJOUSLASKENTAPROSESSI	5
5 NOSTURIRADAN TARJOUSLASKENTA	6
5.1 Tarjouksen tekeminen ja tilauksen saaminen yleisesti	7
5.2 Urakan jälkilaskenta	9
6 NOSTURIRADAN SUUNNITTELU	11
6.1 Suunnittelussa huomioitavia asioita	11
6.2 Ratapalkin mitoitus	13
7 NOSTURIRADAN SUUNNITTELU- JA MITOITUSTYÖ	15
7.1 Pyöräkuormien vaikutus	17
7.2 Vaakakuormien laskenta	23
7.2.1 Radansuuntaisien pitkittäiskuormien laskenta	23
7.2.2 Nosturinsuuntaiset poikittaiskuormat	24
7.2.3 Puskinkuormat	25
7.3 Ratapalkin mitoittaminen nosturinsuuntaisille vaakakuormille	27
7.4 Nosturiradan suuntaisien kuormien huomioiminen	30
7.5 Palkkikoon tarkistaminen MITCalc-palkkilaskentaohjelmalla	32
8 PILARIT	35
9 NOSTURIKISKO	36
10 POHDINTA	38
LÄHTEET	41
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Alutig Oy valmistaa pääsääntöisesti erilaisia teräsrakenteita rakennusteollisuuteen, prosesseollisuuteen ja betoniteollisuuteen. Suurin liikevaihto tulee rakennusliikkeille myytävistä teräsrakenteista. Yleensä yritystä lähestytään tarjouspyynnöllä, jossa he kysyvät tarjoustä erilaisista teräsrakenteista tiettyyn kohteeseen. Useasti erilaisista teräsrakenteista on konepajapiirustukset, joiden mukaan tarjouspyyntöä kysytään. Valmiit konepajapiirustukset tarkoittaa myös sitä, että suunnittelija on mitoittanut teräsrakenteet. Ongelma syntyykin niissä tapauksissa, jolloin käytettävänä ei ole kohteesta konepajapiirustuksia. Tällöin tarjolla on pelkästään arkkitehtipiirustukset, joiden perusteella pitäisi pystyä antamaan hinta. Näissä tapauksissa pitäisi pystyä nopeasti mitoittamaan tai selvittämään oikean kokoluokan palkit ja pilarit. Tarjousvaiheessa ei ole järkevää eikä edun mukaista käyttää liikaa aikaa palkkikokojen määrittelyyn. Kaiken lisäksi tarjouslaskennassa aikaa on rajallisesti käytettävissä. Tärkeää olisikin tässä vaiheessa saada karkeasti palkki- ja pilarikoot selville, jotta päästään etenemään sekä tarjouslaskennassa että massanlaskennassa.

Opinnäytetyön tavoitteena on ottaa selville millä keinolla saataisiin helpoiten ja edullisimmin selville oikeita palkkikokoja. Tällä kehitetään myös tarjouslaskentaa nopeammaksi. Tähän liittyen otan esimerkiksi siltanosturiradan, jota tarjottiin Alutig Oy:n uuden hallin kilpailutusvaiheessa kahdelle rakennusliikkeelle. Nosturirata tarjottiin asennettuna, mutta teräspilarien paikoilleen laitto ei kuulunut meidän urakkaan. Otan tämän esimerkkinä, koska sain vierestä seurata hallin suunnitelmia valmistuksesta aina luovutukseen ja olin itse mukana nosturiradan suunnittelussa.

Tavoitteena on siis mitoittaa nosturiradan ratapalkit. Lisäksi tavoitteena on kehittää tai selvittää nopea ja edullinen menetelmä palkkien mitoittamiseksi. Menetelmää voitaisiin hyödyntää muissakin projekteissa palkkien mitoitusyökaluna. Opinnäytetyössä vertaillaan perinteistä käsin laskentaa ja MITCalc-palkkilaskentaohjelmaa. Tuloksena tiedetään nopea, edullinen ja luotettava laskentamenetelmä.

Tavoite saavutetaan vertailemalla näiden kahden laskentamenetelmän hyvät ja huonot puolet. Tarkastellaan laskentamenetelmillä saavutettuja tuloksia nosturiradan ratapalkkien mitoituksen yhteydessä.

2 ALUTIG OY

Alutig Oy:n toimipaikka sijaitsee Sievissä ja yritys on perustettu vuonna 2005. Yritys valmistaa tilauskonepajana erilaisia teräsrakenteita ja muita metallituotteita. Yrityksen liikevaihtoa tulee kertymään vuonna 2012 reilut 1,2 miljoona euroa.

Alutig Oy rakennutti itselleen 2011 vuonna uudet toimitilat Hannunkankaan teollisuusalueelle Sieviin. Uudet toimitilat ovat kooltaan noin 850 neliötä. Uusissa toimitiloissa on kaksi viiden tuhannen kilogramman radio-ohjattua siltanosturia, joihin tämä opinnäytetyö liittyy.

Yritys valmistaa alihankintana erilaisia teräsrakenteita, kuten siltanosturiratoja, teräsristikoita, teräspilareita, erilaisia palkkeja ja muita metallituotteita toimitettuna ja tarvittaessa asennettuna. Liikevaihdosta n. 30 prosenttia saavutetaan peruskuorimituksena tai vuosisopimuksina. Loput liikevaihdosta koostuu projektiluontoisista töistä.

Yrityksellä on omavarainen tuotanto, jonka mahdollistavat yritykseen hankitut koneet ja laitteet. Yrityksellä on omat koneet muun muassa levynleikkaamiseen, taivutukseen ja mankelointiin sekä tietysti palkkien ja putkien jatkojalostukseen. Tuotanto on suunniteltu erilaisten teräsrakenteiden ja metallituotteiden valmistukseen, mutta sitä voidaan tarvittaessa sopeuttaa esimerkiksi kuorma-autojen päällirakenteiden valmistukseen niin, että kuorma-auto sopii sisälle. Omavaraisen tuotannon ansiosta yritys pystyy kilpailemaan urakoista hinnan, toimitusajan- ja toimitusvarmuuden avulla. Yrityksellä on oma asennuskalusto ja kaksi asennusautoa.

3 SILTANOSTURIRATA

Siltanosturirata sisältää kaksi yhdensuuntaista ratapalkkia, joiden päälle on kiinnitetty siltanosturin ajokisko. Ratapalkin ja siltanosturin ajokiskon päällä kulkee siltanosturi päätevaunujen avulla. Yleensä ratapalkit ovat valssattuja profiileja ja hitsattuja levypalkkeja. Ratapalkit ovat yleensä kiinnitetty nosturipilareihin tai rakennuksen runkopilareissa oleviin konsoleihin/ulokkeisiin. Nosturipilarit jäykistävät nosturiradan poikittaissuunnassa ja toimivat niin sanotusti mastopilareina. Pituussuunnassa rata täytyy jäykistää jarrupukeilla. (Aaltio 1977, 205.)

3.1 Nosturityypit

Siltanostureita on olemassa rakenteeltaan kolmea erityyppistä, joita ovat yksipalkkinen yläpuolinen siltanosturi, kaksipalkkinen yläpuolinen siltanosturi ja yksipalkkinen alapuolinen siltanosturi. Erona näissä on se, että yläpuoliset siltanosturit kulkevat ratapalkin päällä ja ratapalkki on yläpuolisissa tapauksissa sijoitettu teräs- tai betonipilarien päälle tai pilarien kyljessä olevien olakkeiden päälle. Alapuolisessa rakennetyypissä nosturi roikkuu I-palkkien varassa, jolloin I-palkit ovat kiinnitetty kattorakenteisiin palkin yläpuolelta, näin alapuolelle jää tilaa riippuvarakenteiselle siltanosturille. Nostureiden käyttö tapahtuu nosturista roikkuvan riippuohjaimen avulla. Myös radio-ohjaus on mahdollista. (Satateräs; Erikkila)

Siltanostureita on nostotehoiltaan monenkokoisia. Nostotehovalikoima vaihtelee eri nosturi valmistajien välillä. Yleisesti nostotehot ovat 1-100 tuhatta kilogrammaa ja suurimmat jännevälit yltävät jopa 36 metriin asti. (Satateräs; ABB.)

Itse nostimia, jotka liikkuvat nosturipalkissa, on vaijeri- ja ketjukäyttöisiä. Niistä ketjukäyttöiset rajoittuvat nostoteholtaan alkaen 125 kilogrammaan ja päättyen 5000 kilogrammaan. Isommissa siltanostureissa on köysinostimet, jotka nostavat jopa 200 tuhatta kilogrammaa. (Satateräs.)

3.2 Käyttökohteet

Teollisuuden tuotantohalleissa, korjaamohalleissa sekä varastoalueilla tapahtuvat nostot ja siirrot suoritetaan yleensä siltanostureilla. Nostettavia ja siirrettäviä kohteita ovat muun muassa tavarat, teräspalkit, koneet ja lautaniput. (Aaltio 1977, 205.)

Nosturiradoilla kulkevat siltanosturit ovat oivallinen ratkaisu laajoille työskentelyalueille ja näin ollen mahdollistavat raskaidenkin kuormien helpon käsittelyn. Siltanostureiden avulla kokoonpanotoiminnot ja materiaalivirrat nopeutuvat ja näiden ansiosta tuotantoajat saadaan lyhenemään. (Erikkila.)

4 TARJOUSLASKENTAPROSESSI

Yleensä tarjouslaskentaprosessi saa alkunsa tarjouspyynnöstä. Tarjous lasketaan ja tehdään tarjouspyynnön tietojen ja muiden dokumenttien mukaan. Muita dokumentteja ovat esimerkiksi konepajapiirustukset teräsrakenteista tai vaikkapa määräluettelo palkeista. Tarjouspyynnössä esitetään vaatimukset ja ehdot, joiden mukaan tarjouspyynnöt käsitellään. (Eskola & Ruohoniemi 2011, 246.)

Tarjousprosessissa tarjous on tehtävä tarjouspyynnön vaatimusten mukaan tai muuten tarjous voidaan pahimmassa tapauksessa hylätä, varsinkin jos, tarjouksen vertaileminen muihin tarjoajiin on mahdotonta tai vaikeaa. Tarjous on jätettävä määrättyyn päivään mennessä tai määrättyä päivänä, jolloin tarjous arvioidaan ja käsitellään. (Eskola & Ruohoniemi 2011, 307 -309.)

Tarjouslaskentaprosessi on prosessi, joka pitäisi tehdä huolellisesti ja harkiten seuraavassa järjestyksessä. Ensimmäiseksi arvioidaan tarjouspyyntö, minkä jälkeen määritellään kustannukset. Tämän jälkeen on vuorossa hinnan määrittely ja tarjouksen laadinta. Lopuksi neuvotellaan mahdollisesti urakasta ja tehdään sopimus, jos asiakas päättää tilata tuotteen tai tuotteet. (Autio 2005, 5.)

Tarjouspyynnön arvioinnissa selvitetään onko yrityksellä mahdollisuus suoriutua kysytystä urakasta. Selvitetään sen hetkisten töiden kuormitus tilanne ja arvioidaan mahdollisen urakan merkitys yritykselle. Tämän lisäksi varmistetaan, että urakan valmistusajankohtana löytyy riittävä osaaminen. Lisäksi selvitetään hieman tarjouspyynnön lähettäneen yrityksen taustoja, jos yritykselle ei ole aikaisemmin tehty mitään. (Autio 2005, 13.)

Jos todetaan, että on kaikki mahdollisuudet selvittää urakasta, on seuraavaksi tarkasteltava kustannukset ja hinta urakalle. Yleisimmin kysytty urakkamuoto on kokonaishintaurakka, joka on myös vaativin urakkamuoto. Tämän johdosta tarjouksen tekijän pitäisi sopia hinta tiettyyn massamäärään, esimerkiksi kilogrammaan ja sopia hinta mahdollisista lisätöistä esimerkiksi €/kg. Myyntihinnan määrittely perustuu suunniteltuun tavoitebudjettiin. (Autio 2005, 13-15; 51.)

5 NOSTURIRADAN TARJOUSLASKENTA

Alutig Oy:n nosturiradan tapauksessa lähtötietoina oli se, että halliin tulisi viiden tuhannen kilogramman nostureita kaksi kappaletta tai 10 tuhannen kilogramman nostureita yksi kappale. Olimme siis itse määritelleet kyseiset lähtöarvot. Rakennesuunnittelija oli mitoittanut valmiiksi kantavat teräspilarit, mutta ratapalkkia ei oltu mitoitettu valmiiksi. Tässä tapauksessa valmiita konepajapiirustuksia ei ollut, joten ne pitäisi piirtää.

Tarjouslaskentaprosessin vaiheet nosturiradan tarjouksessa

- oikean ratapalkin ja nosturikiskon koon selvittäminen
- polttoleikkeiden ja jäykisteputkien mitoitus
- pituuksien, metrimäärien, kilomäärien ja neliömäärien laskeminen Excel- taulukkolaskenta ohjelmalla ja siihen räätälöityjen työkalujen avulla
- teräksistä tarjoukset terästoimittajalta
- konepajatyön ja asennustyön selvittäminen
- suunnittelu ja mahdolliset piirustuskustannukset
- asennustarvikkeet, muun muassa korjausmaalit, nostoapuvälineet, kiinnitystarvikkeet
- loppulaskenta ja halutun katteen laskenta

Aluksi piti siis saada selville nosturiradan oikea palkkikoko, tässä tapauksessa ratapalkin mitoitus tapahtui kokemukseen perustuvaan arvioon ja taipuman laskenta pystysuuntaisille pyöräkuormille. Tuloksena ratapalkiksi arvioitiin HEA-300 palkki ja ratakiskoksi 40x60 nosturikisko. Palkki valittiin ehkä hieman ylijäreäksi, koska viiden tuhannen kilogramman nostureita oli tulossa kaksi kappaletta tai 10 tuhannen kilon nostureita yksi kappale. Nosturiradan pituus tulisi olemaan noin 40 metriä.

Pilarien putkikoko oli tiedossa, mutta pohjalapun kokoa ei oltu mitoitettu. Lisäksi pilareista tulisi piirtää konepajapiirustukset, jotka rakennusliike ja betonielementtitoimittaja hyväksyisi. Pohjalapuksi arvioin 25x490x490 mm, jonka senkin kokemuksen perusteella. Pohjalapun mitoiksi valitsin sellaiset leveys- ja korkeusmitat, jollaisia saataisiin polttoleikattua mahdollisimman monta kappaletta kokonaisesta teräslevystä ja hukka olisi mahdollisimman pieni.

Työ- ja asennusaikojen laskennassa käytin apuna kokemusta ja peilasin tätä kilomäärään ja siihen, mikä on konepajatyön ja asennuksen osuus suhteutettuna kilohintaan. Kilohintalaskenta on myöskin opeteltava ja oikeastaan sekin perustuu kokemukseen ja sen dokumentointiin ja arviointiin. Nosturiratojen asennuksesta yrityksellä on dokumentoituna myös asennuksessa käytettyjä työaikoja (m/h). Vastaavanlaisten kohteiden tai teräsrakenteiden jälkilaskennat ovat erittäin tärkeitä tekijöitä hinnoittelussa.

Tämän jälkeen alkoi yhteenlasku eli hinnan muodostaminen Excel-taulukkolaskenta ohjelmalla. Hinnan muodostaminen tapahtui laskemalla kaikki yhteen ja lisäksi laskin hintaan mukaan katteen, joka pitäisi saada urakasta. Laskin hintaan mukaan teräspalkit ja putket, polttoleikkeet, maalauksen, korjausmaalit, rahdit, konepajatyön ja asennustyön. Pilarien pystytystä en laskenut tarjoukseen, vaan se jäi rakennusliikkeen hoidettavaksi. Laskenta eteni siis tavoitehinta-periaatteella. Tarjous ei sisältänyt nostoapuväline- ja nosturikustannuksia.

5.1 Tarjouksen tekeminen ja tilauksen saaminen yleisesti

Tarjouksesta tehdään aina virallinen asiakirja, tai jos en kiireessä ehdi, niin teen tarjouksen sähköpostilla, jotta siitä jäisi dokumentti. Kaikista suurista ja keskisuurista urakoista teen kuitenkin aina virallisen tarjousasiakirjan. Yrityksellä on käytössä kaikilla laskijoilla aikailalla sama tarjousasiakirjapohja.

Tarjousasiakirjaan pitäisi pystyä kirjaamaan kaikki urakkaan kuuluva tai kuulumaton tavalla tai toisella ylös, mutta mielestäni tarjouksesta ei saa tehdä kuitenkaan liian uhkaavaa tilaajalle. Alla olevassa kuviossa tämä näkyy tarkennettuna. (KUVIO 1)

<u>POS-1</u>	
Nosturirata n. 40 metriä ja Pilarit RHS-300x300x8(S355), L=n.5900mm, 14 kpl + 2 kpl tuulipilaria	
Sisältää	
<ul style="list-style-type: none"> • Suunnittelun ja valmistuksen • Pilareiden alapäässä PL25x490x490 • Ratapalkki HEA-profiili + nosturikisko 60x40 • Pintakäsittelynä maalaus AK-120/1 (sisätila) • Nosturirata asennettuna, pilarit toimitettuna työmaalle • Hinta sisältää toimituskulut 	
Ei sisällä	
<ul style="list-style-type: none"> • Pilareiden asennusta • Pilareiden mahdollisia betonitäyttöjä ja raudoituksia • Nosturi ja nostoapuväline kuluja 	
Hintaan veroton (Alv.0%)	€

KUVIO 1. Tarjouksen sisältö

Tarjousasiakirjaan pitäisi muistaa laittaa aina ainakin voimassaoloaika ja hintatiedot. Molemmat ovat tärkeitä tekijöitä, varsinkin voimassaoloaika, jos asiakkaan tilauspäätös pitkittyy. Niinpä laitoin tarjousasiakirjaan nähtävälle voimassaoloajan, toimitusehdot, maksuehdon ja hinnan tiedot. Kuvatut asiat näkyvät paremmin kuviossa kaksi.

Tarjous on voimassa 1 kk tarjouksen päiväyksestä	
Toimitusehto:	Toimitettuna työmaalle (DDU)
Toimitusaika:	Sopimuksen mukaan tai sovittavissa erikseen
Hinnat:	Alv. 0%
Maksuehto:	21 päivää

KUVIO 2. Voimassaoloaika yms.

Tarjouksen johdettua kauppaan, tilauksen yhteydessä tarkistetaan onko tullut mahdollisia muuttuvia tekijöitä, joiden vuoksi tarjoushinta tarkistetaan. Tämän jälkeen vahvistetaan toimitusaika. Seuraava tehtävä onkin teräksen kilpailutus ja tilaaminen terästoimittajilta. Näiden jälkeen työ ohjataan tuotantoon ja huolehditaan aikataulussa pysymisessä. Nosturi-ratarakenteiden valmistuttua tuotannosta, toimitetaan rakenteet asennustyömaalle, jossa asennustyö pääsee alkamaan.

5.2 Urakan jälkilaskenta

Toteutuneesta urakasta kannattaa tehdä jälkilaskenta, näin myös yleensä teen. Jälkilaskennan tavoitteena on selvittää tehdyn urakan toteutuneet kustannukset. Urakan jälkilaskenta pitää sisällään esimerkiksi toteutuneet työ- ja asennustunnit. Lisäksi siihen sisältyy erilaisten kustannusten huomioiminen. Näitä ovat muun muassa materiaalikustannukset, rahat, pintakäsittely sekä asennustarvikkeet. Käytän jälkilaskentoja ja niiden dokumentoituja tietoja hyväksi muun muassa saman tyylisten urakoiden hinnoittelun apuna. Toisin sanoen urakan jälkilaskenta kertoo tehdyn urakan lopputuloksen tuloksellisesti. Lopputuloksen ollessa positiivinen, voidaan urakan todeta olleen hyödyksi yritykselle. Puolestaan tuloksen ollessa negatiivinen, voidaan katsoa urakan olleen kannattamaton.

Tuloksen ollessa negatiivinen, on urakkalaskelma ja jälkilaskenta käytävä läpi ja etsiä sieltä kaikki ne tekijät, jotka vaikuttavat negatiivisesti tulokseen. Tekijöitä voi olla useitakin muun muassa väärin lasketut materiaalmäärät, ylittyneet työ- ja asennusajat. Urakan negatiivinen tulos voi johtua myös tuotannossa tapahtuneesta valmistusvirheestä tai lopputuotteen vaurioitumisesta. Virhe voi syntyä myös tilattaessa materiaaleja tai vaikkapa maalaa-moon ilmoitettu väärä väri. Tilauksen nopea toimitusaikataulu kasvattaa yleensä valmistuskustannuksia.

Näistä tekijöistä ja tuloksesta tehdään lyhyt yhteenveto, jossa pohditaan voitaisiinko jatkossa jokin tehdä toisin ja voitaisiinko kehittää jotain osa-aluetta. Tärkeintä olisi oppia aistimaan riskit jo hyvissä ajoin ja pyrkiä ratkaisemaan ne jo tarjousvaiheessa, jotta saadaan selkeä kuva mitä valmistetaan ja miten valmistetaan. Materiaalin kilpailutus ja tilaaminen pitää tapahtua myöskin tehokkaasti, koska jokainen tunti materiaalin saapumisesta on pois urakan valmistusajasta. Jälkilaskentojen avulla saadaan tietoon muun muassa ura-

kan toteutunut tulos ja kilohinta. Näiden tekijöiden takia pidän jälkilaskentoja tärkeänä työkaluna.

6 NOSTURIRADAN SUUNNITTELU

Suunnittelutyö ja nosturiradan palkkien mitoitus tulee tapahtumaan ja etenemään siltanosturin teknisten tietojen mukaan. Nosturiradan suunnittelutyössä hyödynnetään osia standardeista SFS-EN 1993-6 nosturia kantavat rakenteet ja SFS-EN 1991-3 nostureista ja muista koneista aiheutuvat kuormat. Lisäksi suunnittelutyössä käytetään osia kansallisen liitteen SFS-EN 1991-3 liite 38:sta.

Ensimmäinen tehtävä suunnittelussa on perehtyä kyseisiin standardeihin ja siltanosturin teknisiin tietoihin. Näiden jälkeen suunnittelutyö etenee tutkimalla nosturitoimittajan ilmoittamia pyöräkuormia ja määrittelemällä palkin rasitukset. Hankalin tehtävä onkin määrittellä rasitukset ratapalkeille. Rasituksien määrittelemisen jälkeen siirrytään tekemään lujuustarkasteluja nosturiradan kantaville rakenteille.

Lujuuslaskelmat tai tarkastelut tullaan suorittamaan perinteisellä käsin laskennalla ja teräspalkin mitoitusohjelmalla, joka on nimeltään MITCalc . Tuloksia verrataan käsin laskennalla tehtyihin laskentoihin. Tarkoitus on etsiä nopea ja hyvä menetelmä.

MITCalc on Excel-pohjainen edullinen laskentaohjelma. MITCalc-laskentaohjelma sovelluksia on tehty muun muassa teräspalkeille, teräsprofiileille, akseleille, ketju- ja hihnäkäyttöille ja niiden mitoitukselle, laakerinmitoitukselle ja jousien mitoitukseen. MITCalc-ohjelmissa on myös mahdollisuus saada laskennoista ja mitoituksista 2- ja 3D CAD-malleja esimerkiksi ketjukäytöistä. 2D-malleja saadaan AutoCAD tiedostona, joten niitä voidaan avata lähes kaikilla piirustusohjelmilla. MITCalc-ohjelman 3D-malleja voidaan aukaista ja hyödyntää yleisimmissä suunnitteluohjelmissa, kuten AutoCADissa ja Solid-Worksissä.

6.1 Suunnittelussa huomioitavia asioita

Materiaalivalinnat tehdään lujuustarkastelujen yhteydessä tai tuloksena. Nosturitoimittajalta saatiin nosturin tekniset tiedot ja nosturin piirustuksia nosturiradan suunnittelun avuksi.

Teknisistä tiedoista ilmeni muun muassa siltanosturin tyyppi, ajovoimat, staattiset pyöräkuormat, siirto- ja nostonopeudet. (LIITE 1) (LIITE 2)

Siltanosturin piirustuksista ja teknisistä tiedoista käy ilmi, että nosturin nimelliskuorma on 5000 kilogrammaa. Nostureita tulee kaksi kappaletta samalle nosturiradalle. Nostonopeudeksi voidaan valita ohjaimesta nopea (3,9 m/min) tai hidas (1,3 m/min). Siltanosturin siirtonopeus on 8 m/min tai 32 m/min. Siltanosturin vaunun siirtonopeus on 5m/min tai 20m/min.

Ratapalkkien mitoittamiseen käytetään ensisijaisesti nosturintoimittajan ilmoittamia pyöräkuormia, kun nosturin toimittaja on tiedossa. Nosturin toimittaja ilmoittaa kuormat staattisina arvoina ilman osavarmuuslukuja. Kuormitukset jaotellaan muuttuviin ja pysyviin sekä onnettomuuskuormiin. Dynaamiset kertoimet ilmoitetaan eri kuormille. Ratapalkin väsymisanalyysiä varten ja rakennuksen rungon mitoittamiseksi ilmoitetaan samanaikaiset kuormat eri ratapalkeilla. (Kansallinen liite SFS-EN 1991-3, liite 38, kohta 2.1.)

Muuttuvia kuormia ovat nosturin normaalikäytöstä aiheutuvia kuormien seuraamuksia ajan ja paikan suhteen. Tähän sisältyy kokonaiskuorma, painovoiman aiheuttama kuorma, kiihdytys ja jarrutus, vinoon ajo sekä muut dynaamiset vaikutukset. Huomioidaan vaimennus- ja hitausvoimien värähtelyn aiheuttamat dynaamiset vaikutukset kertomalla staattiset kuormien arvot dynaamisilla suurennuskertoimilla. (SFS-EN 1991-3, kohta 2.2.2.)

Siltanosturin liikkeestä aiheutuvat seuraavanlaiset vaakasuuntaiset kuormat huomioidaan ratapalkkeja ja nosturiradan kantavia rakenteita mitoitettaessa. (SFS-EN 1991-3, kohta 2.5.2.2.):

1. nosturin kiihdytyksestä tai jarrutuksesta ratapalkin suunnassa aiheutuvat vaakakuormat
2. nostovaunun tai riippunostimen nosturisillan suuntaisesta kiihdytyksestä tai jarrutuksesta aiheutuvat vaakakuormat
3. nosturin vinoonajosta ratapalkin suuntaisessa liikkeessä aiheutuvat vaakakuormat
4. nosturin ja nostovaunun liikkeeseen liittyvät puskin kuormat

Ratapalkille on tehtävä väsymiskestävyyden tarkastelu pystysuuntaisten pyöräkuormien vaihteluiden johdosta. Vaakasuuntaisten voimien ratapalkkiin aiheuttamia rasituksen vaihteluita ei tarvitse yleensä huomioida väsymiskestävyyden tarkastelussa. (SFS-EN 1993-6, kohta 9.1)

Jos nostosyklien lukumäärä kuormalla, joka on vähintään 50 prosenttia täydestä hyötykuormasta, ei ylitä arvoa 10^4 suunnitellun käyttöiän syklien lukumäärästä, ei väsymistarkastelua tarvitse suorittaa kantaville rakenteille. (SFS-EN 1993-6, kohta 9.1; SFS-EN 1991-3, kohta 2.12)

Mitoituksessa tarkistetaan kantava rakenne vastaamaan nosturin koekuormitusta. Tarvittaessa mitoitetaan kantavat rakenteet koekuormien vaikutuksen mukaan. Koekuormituksia voidaan tehdä kahdella eri menetelmällä, jotka ovat dynaaminen ja staattinen koekuormitus. Dynaamisessa koekuormituksessa pyritään ajamaan nosturia normaalikäytön mukaan vähintään 110% nostokuormalla nosturin nimelliskuormasta. Staattisessa koekuormituksessa nostokuormaksi riittää 125% nosturin nimelliskuormasta, minkä lisäksi riittää, että nosturi on radalla liikkumatta. (SFS-EN 1991-3, kohta 2.10.)

Nostureita tulee radalle kaksi kappaletta ja yhden nosturin nimelliskuorma on 5000 kilogrammaa. Nosturit toimivat jossain määrin yhdessä, jolloin ne pitää käsitellä kuormien suhteen yhtenä nosturina. (SFS-EN 1991, kohta 2.5.3.)

Siltanosturia kantavat rakenteet, kuten esimerkiksi ratapalkit suunnitellaan siten, että huomioidaan ympäristön vaikutukset. Näitä ovat muun muassa korroosio, kuluminen ja väsyminen. Valitaan tarkoituksen mukaan materiaalit, pintakäsittely ja tarvittaessa ylimitoitetaan rakenteet. Rakenteiden yksityiskohdat pitää suunnitella yksinkertaisiksi ja suhteellisen helpoiksi korjaustyötä ajatellen. (SFS-EN 1993-6, 10; SFS-EN 1993-1-1, 22-23.)

6.2 Ratapalkin mitoitus

Mitoitetaan oikean kokoinen ratapalkki nosturiradalle sekä tehdään tarvittavat lujuuslaskelmat ja tarkastelut. Mitoitus tapahtuu kimmoteorian mukaisen tarkastelun pohjalta, kuten

suositellaan myös standardissa SFS-EN 1993-6 nosturia kantavat rakenteet kohdassa. (SFS-EN 1993-6, kohta 5.4.1.(2).)

Mitoitus tehdään käsin laskemalla ja MITCalc - palkkilaskentaohjelmalla. Käsin laskemalla on tarkoitus mitoittaa palkki sallittujen taipumien mukaan ja verrata saatua tulosta MITCalc-ohjelman tuloksiin. Tarkoitus on myös selvittää, että riittääkö tarjousvaiheessa mitoittaminen pelkkien sallittujen taipumien mukaan ja saadaanko tuloksena palkkikoko, joka on riittävän lähellä oikeaa palkkikoko.

7 NOSTURIRADAN SUUNNITTELU- JA MITOITUSTYÖ

Kansallisessa liitteessä kehoitettiin käyttämään ensisijaisesti nosturintoimittajan ilmoittamia pyöräkuormia eri mitoitustilanteissa, kuten totesin opinnäytetyöni kohdassa 6.1. Nosturintoimittaja ilmoittaa kuormat staattisina, joten ne eivät sisällä dynaamisia suurennoskertoimia. Suurennoskertoimet löytyvät standardista SFS-EN 1991-3.

Nosturin omapaino = $\varphi_1 = 0,9-1,1$

Nosturisillan kiihdytys = $\varphi_1 = 1,5-2$

Koekuorma = $\varphi_7 = 1,1$ liikkuvalla nimelliskuormalle tai vähintään 1,25 paikallaan olevalle nimelliskuormalle.

Puskinkuormat = $\varphi_7 = 1,25$

Pystykuormat maksimi = $\varphi_2 = 1,244$

Pystykuorma minimi = $\varphi_1 = 1,05$

Onnettomuuskuorma = $\varphi_7 = 1,25$

Suurimmat kertoimet aiheuttaa siis koekuorman, onnettomuuskuorman ja pystykuorman dynaamiset kertoimet. Käytän yläpuolisten pyöräkuormien laskennassa dynaamisen kertoimen arvona 1,25.

Nosturin väsyttävät kuormat pitää siis huomioida. Mielestäni opinnäytetyöni tapauksessa nostureiden nimelliskuormien painoiset nostot jäävät lukumäärältään vähäisiksi. Yleisin nostettava kuorma on 100-1500 kg, joita nostellaan työvuorojen aikana useita kertoja. Painavimmat nostot tapahtuvat jonkun rakennelman valmistuttua esimerkiksi kerran viikossa, mutta silloinkin kummankin nosturin nimellisnostotehon yhteisnostot ovat harvinaisia. Painavia yhteisnostoja tapahtuu muutamia vuodessa. Kuten aikaisemmin mainitsin, ei tällöin tarvitsisi väsyttäviä kuormia huomioida. Päätin kuitenkin huomioida väsyttävät kuormat, koska tulevaisuudessa raskaammat nostot voivat lisääntyä. Väsyttävän kuorman määrittelyssä voidaan käyttää standardin SFS-EN 1991-3 kohdan 2.12(4) mukaista yksinkertaistettua menetelmää jännitysvaihteluvälin kertymän mitoitusarvon määrittämiseksi. (SFS-EN 1993-6, kohta 9.3.2)

Nosturin väsyttävät kuormat voidaan esittää normaaleissa käyttöolosuhteissa väsymisen aiheuttaman vaurion suhteen ekvivalentin kuorman Q_e avulla. Tätä voidaan pitää vakiona väsyttävän kuorman vaikutuksia laskettaessa nosturin sijainnista riippumatta. (SFS-EN 1991-3, kohta 2.12.1)

Väsyttävä pystysuuntainen kuorma normaalijännitykselle saadaan kaavasta

$$Q_{\max} = \varphi_{\text{fat}} \times \lambda_i \times Q_{\max,i} = 1,721 \times 0,794 \times 32 \text{ kN} = 43,73 \text{ kN}$$

Väsyttävä leikkausjännityskuorma saadaan samasta kaavasta, mutta käytetään suurempaa vauriokerrointa. Leikkausjännityksen laskentaan saadaan kuormaksi kertomalla laskettu leikkausvoima alla olevilla kertoimilla.

$$1,721 \times 0,871 \times (\text{laskettu leikkausvoima}) =$$

$$\varphi_{\text{fat}} = \text{maksimi } \frac{1+\varphi_2}{2} = 1,721 \text{ ja minimi } \frac{1+\varphi_1}{2} = 1,05$$

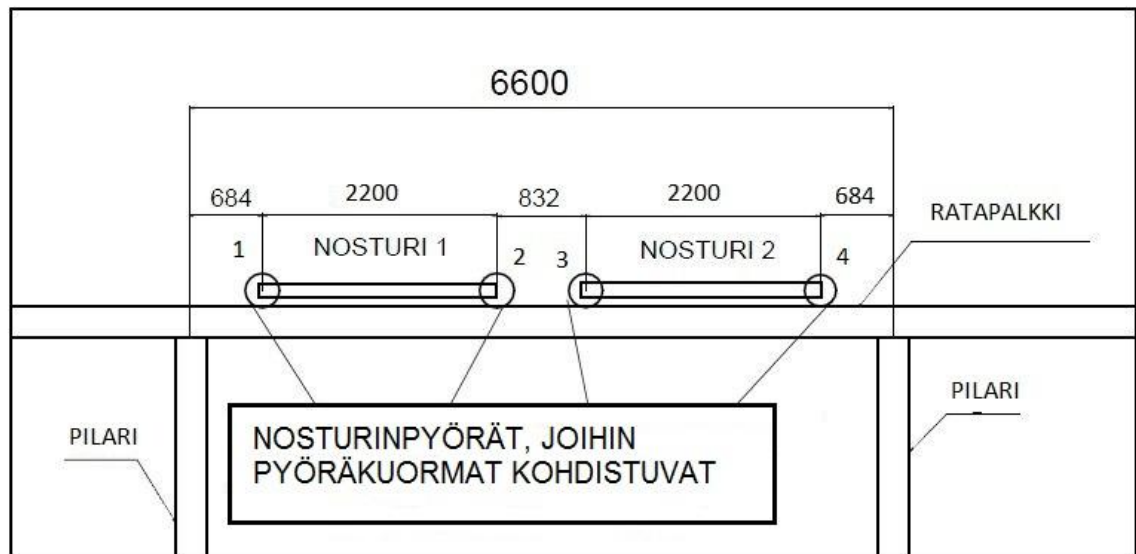
$$\lambda_i = \text{Normaalijännityksille } 0,794 \text{ ja leikkausjännityksille } 0,871$$

Väsyttävällä kuormalla saadaan suurin pystysuuntainen pyöräkuorma. Käytän näitä arvoja palkin laskentaan pystysuuntaisille kuormille. Vaakasuuntaisia voimia ei tarvitse käsitellä väsytyksen mukaan, kuten jo aikaisemmin totesin.

Standardin SFS-EN 1991-3, kohdan 2.10 mukaan koekuormituksen kuormat tulee huomioida tarvittaessa tai tarkastaa radan kestävyys niille. Laskelmien tuloksena ilmeni ettei nosturitoimittajan ilmoittamat pyöräkuormat sisällä tätä lisäkuormaa. Laskennan tuloksena saatiin pyöräkuorma, joka sisältää koekuormituskertoimen ja pystykuorman dynaamisen kertoimen. (LIITE 3)

Pystysuuntaisen pyöräkuorman arvoksi saadaan dynaamisella kertoimella kuormaksi 38,9 kN ja vastakkaisen ratapalkin samanaikaiseksi pyöräkuormaksi 9,6 kN. Suurin pyöräkuorma saadaan, kun nostovaunu ajetaan siltanosturin päähän ääriasentoon. (LIITE 3)

Alla olevasta kuvasta näkee, miten kahden nosturin pyöräkuormat sijoittuvat ratapalkille niin, että ne aiheuttavat suurimmat rasitukset.



KUVIO 3. Leikkauskuva nosturiradasta

7.1 Pyöräkuormien vaikutus

Ratapalkki mitoitetaan dynaamisten ja väsyttävien pystysuuntaisten pyöräkuormien aiheuttamien rasitusten mukaan alla olevien osien mukaan. Näin ollen lopputuloksia voidaan verrata helpommin toisiinsa. Tuloksien pohjalta teen lopulliset palkkikoko valinnat.

Ratapalkin mitoituksen määräävä tekijä on sallittu taipuma, mikä saa olla pystysuuntaisille kuormille suurimmillaan $L/600$ ja/tai 25 mm. Vaakakuormille ratapalkin sallittu taipuma saa olla $l/600$. (SFS-EN 1993-6, 30-31.)

Taivutusmomentti lasketaan epäkeskeisesti vaikuttavan pistekuorman mukaan, josta saadaan maksimitaivutusmomentti. Lopuksi lasketaan yhteen kaikkien pyöräkuormien tarvitsema taivutusvastus. Tuloksena voidaan valita palkki, mikä tarkistetaan vielä taipuman suhteen. Lisäksi tarkistetaan palkissa vallitsevat jännitykset. Nosturiradan lujuuslaskelmissa hyödynnän Esko Valtasen teoksesta valmiiksi laskettuja materiaalien poikkileikkaussuureita. (Valtanen 2007, 383; 572.)

Lasketaan alla olevalla kaavalla maksimitaivutusmomentti siten, että merkitään kuvassa yksi näkyvät nosturinpyörät vasemmalta oikealle 1,2,3 ja 4. Maksimi taivutusmomentit lasketaan dynaamisella kertoimella saadun maksimi pyöräkuorman mukaan. Lisäksi maksimitaivutusmomentit lasketaan väsyttävän pyöräkuorman mukaisilla arvoilla. Lasketaan ensin dynaamisella kertoimella saadun maksimipyöräkuormien aiheuttama maksimi taivutusmomentit

$$M_{\max 1} = \frac{Fab}{l} = \frac{38,9kN \times 0,684m \times 5,916m}{6,6m} = 23,85 \text{ kNm}$$

$$M_{\max 2} = \frac{Fab}{l} = \frac{38,9kN \times 2,884m \times 3,716m}{6,6m} = 63,165 \text{ kNm}$$

$$M_{\max 3} = \frac{Fab}{l} = \frac{38,9kN \times 3,716m \times 2,884m}{6,6m} = 63,165 \text{ kNm}$$

$$M_{\max 4} = \frac{Fab}{l} = \frac{38,9kN \times 5,916m \times 0,684m}{6,6m} = 23,85 \text{ kNm}$$

Lisäksi huomioidaan palkin omapaino, palkiksi oletetaan HEA-280, $m=76,4 \text{ kg/m}$ (Valtanen 2007, 572.)

$$M_{\max 5} = \frac{ql^2}{8} = \frac{0,764kN \times 6,6^2}{8} = 4,16 \text{ kNm}$$

Seuraavaksi tarkastellaan maksimitaivutusmomentit väsyttävälle kuormitukselle samalla kaavalla

$$M_{\max 1} = \frac{Fab}{l} = \frac{43,73kN \times 0,684m \times 5,916m}{6,6m} = 26,8 \text{ kNm}$$

$$M_{\max 2} = \frac{Fab}{l} = \frac{43,73kN \times 2,884m \times 3,716m}{6,6m} = 71 \text{ kNm}$$

$$M_{\max 3} = \frac{Fab}{l} = \frac{43,73kN \times 3,716m \times 2,884m}{6,6m} = 71 \text{ kNm}$$

$$M_{\max 4} = \frac{Fab}{l} = \frac{43,73kN \times 5,916m \times 0,684m}{6,6m} = 26,8 \text{ kNm}$$

Omapaino, palkiksi oletetaan HEA-280, $m= 76,4 \text{ kg/m}$ (Valtanen 2007, 572.)

$$M_{\max 5} = \frac{ql^2}{8} = \frac{0,764kN \times 6,6^2}{8} = 4,16 \text{ kNm}$$

Maksimi taivutusmomenttien avulla lasketaan taivutusvastukset, jolloin käytetään $\delta_{sall} =$ sallittujännitys = materiaalin nimellislujuus $355 \frac{N}{mm^2}$ jaetaan varmuuskertoimella 2,0. Määrävänä tekijänä mitoituksessa on taipuma, joten sallitut jännitykset jäävät aika pieniksi. Käytän taivutusvastuksen laskennassa suurta varmuuskerrointa, jotta tulos olisi lähempänä oikeaa palkkikokoa. Tästä on hyötyä taipumien laskennassa.

Taivutusvastus saadaan jakamalla maksimitaivutusmomentti sallitulla jännityksellä. Lopuksi lasketaan kaikki taivutusvastukset yhteen, ja valitaan alustavasti palkki. Kaava on johdettu alkuperäisestä kaavasta $\delta = \frac{M}{W}$. Taivutusvastuksien arvoina käytetään valmiita arvoja. (Valtanen 2007, 439; 572.)

Dynaamisella kertoimella saadut maksimitaivutusmomenttien avulla lasketaan taivutusvastukset

$$W_1 = \frac{M_{max1}}{\delta_{sall}} = \frac{23,85 \times 10^6 Nmm}{177,5 \frac{N}{mm^2}} \approx 134370 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = \frac{M_{max2}}{\delta_{sall}} = \frac{63,165 \times 10^6 Nmm}{177,5 \frac{N}{mm^2}} \approx 355860 \text{ mm}^3$$

$$W_3 = \frac{M_{max3}}{\delta_{sall}} = \frac{63,165 \times 10^6 Nmm}{177,5 \frac{N}{mm^2}} \approx 355860 \text{ mm}^3$$

$$W_4 = \frac{M_{max4}}{\delta_{sall}} = \frac{23,85 \times 10^6 Nmm}{177,5 \frac{N}{mm^2}} \approx 134370 \text{ mm}^3$$

$$W_{5,omap.} = \frac{M_{max5}}{\delta_{sall}} = \frac{4,16 \times 10^6 Nmm}{177,5 \frac{N}{mm^2}} \approx 23440 \text{ mm}^3$$

$$W_{X,yhteensä} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 \approx 1003900 \text{ mm}^3$$

Väsyttävän kuorman mukaan lasketuilla maksimitaivutusmomenteilla lasketaan taivutusvastukset

$$W_1 = \frac{M_{max1}}{\delta_{sall}} = \frac{26,8 \times 10^6 Nmm}{177,5 \frac{N}{mm^2}} \approx 150990 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = \frac{M_{max2}}{\delta_{sall}} = \frac{71 \times 10^6 Nmm}{177,5 \frac{N}{mm^2}} \approx 400000 \text{ mm}^3$$

$$W_3 = \frac{M_{max3}}{\delta_{sall}} = \frac{71 \times 10^6 Nmm}{177,5 \frac{N}{mm^2}} \approx 400000 \text{ mm}^3$$

$$W_4 = \frac{M_{max4}}{\delta_{sall}} = \frac{26,8 \times 10^6 Nmm}{177,5 \frac{N}{mm^2}} \approx 150990 \text{ mm}^3$$

$$W_{5,omap.} = \frac{M_{max5}}{\delta_{sall}} = \frac{4,8 \times 10^6 Nmm}{177,5 \frac{N}{mm^2}} \approx 27040 \text{ mm}^3$$

$$W_{X,yhteensä} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 \approx 1129020 \text{ mm}^3$$

Taivutusvastuksen mukaan palkiksi riittää dynaamisilla kertoimilla laskettujen taivutusvastuksen mukaan HEA-280, materiaali S355J2, minkä $W_x = 1010\,000 \text{ mm}^3$.

Väsyttävien kuormien mukaisesti laskettujen taivutusvastuksien mukaan palkiksi riittää HEA-300, materiaali S355J2, minkä $W_x = 1260\,000 \text{ mm}^3$. Kokeilen väsyttävien kuormien tapauksessa taipumien laskennassa kuitenkin HEA-280 palkkia, joka on materiaaliltaan S355J2. HEA-280 palkin kokeilu väsyttävälle kuormalle on perusteltua sillä, että käytin taivutusvastuksen laskennassa varmuuskertoimenä $n=2,0$. Käytin suurta varmuuskerrointa tarkoituksen mukaan, koska ratapalkin mitoituksen määräävä tekijä on taipuma. Tällöin taivutusvastuksen mukainen tulos on todennäköisesti aika lähellä oikeaa palkkikokoa, kun ajatellaan palkille seuraavaksi tehtävää taipuman tarkastelua.

Lopuksi lasketaan vielä taipuma molempien kuormituksen mukaan, mikä siis on mitoituksen määräävä tekijä. Taipuma lasketaan epäkeskeisen pistekuorman vaikutuksen mukaisella kaavalla. Taipumanlaskennan kaavana käytetään epäkeskeisen pistekuorman aiheuttamaa taipumaa. Lopuksi palkkivalinnat tarkistetaan sallitunjännityksen ja leikkausjännityksen suhteen. (Valtanen 2007, 383.)

Dynaamiselle kuormitukselle, HEA-280, $I_x = 136,7 \times 10^6 \text{ mm}^4$ (Valtanen 2007, 572.)

$$f_1 = \frac{Fa^2b^2}{3EI} = \frac{38900N \times (684mm)^2 \times (5916mm)^2}{3 \times 206000Mpa \times (136,7 \times 10^6 mm^4) \times 6600mm} \approx 1,15 \text{ mm}$$

$$f_2 = \frac{Fa^2b^2}{3EI} = \frac{38900N \times (2884mm)^2 \times (3716mm)^2}{3 \times 206000Mpa \times (136,7 \times 10^6 mm^4) \times 6600mm} \approx 8 \text{ mm}$$

$$f_3 = \frac{Fa^2b^2}{3EI} = \frac{38900N \times (3716mm)^2 \times (2884mm)^2}{3 \times 206000Mpa \times (136,7 \times 10^6 mm^4) \times 6600mm} \approx 8 \text{ mm}$$

$$f_4 = \frac{Fa^2b^2}{3EI} = \frac{38900N \times (5916mm)^2 \times (684mm)^2}{3 \times 206000Mpa \times (136,7 \times 10^6 mm^4) \times 6600mm} \approx 1,15 \text{ mm}$$

$$f_{5\text{omap.}} = \frac{5ql^4}{384EI} = \frac{5 \times 764N \times (6600mm)^4}{384 \times 206000 \times (136,7 \times 10^6 mm^4) \times 6600} \approx 0,1 \text{ mm}$$

$$f_{\text{yhteensä}} = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 \approx 18,4 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$$

Väsyttävä kuormitus, HEA-280, $I_x = 136,7 \times 10^6 \text{ mm}^4$ (Valtanen 2007, 572.)

$$f_1 = \frac{Fa^2b^2}{3EI} = \frac{43730 \times (684mm)^2 \times (5916mm)^2}{3 \times 206000Mpa \times (136,7 \times 10^6 mm^4) \times 6600mm} \approx 1,3 \text{ mm}$$

$$f_2 = \frac{Fa^2b^2}{3EI} = \frac{43730N \times (2884mm)^2 \times (3716mm)^2}{3 \times 206000Mpa \times (136,7 \times 10^6 mm^4) \times 6600mm} \approx 9 \text{ mm}$$

$$f_3 = \frac{Fa^2b^2}{3EI} = \frac{43730N \times (3716mm)^2 \times (2884mm)^2}{3 \times 206000Mpa \times (136,7 \times 10^6 mm^4) \times 6600mm} \approx 9 \text{ mm}$$

$$f_4 = \frac{Fa^2b^2}{3EI} = \frac{43730N \times (5916mm)^2 \times (684mm)^2}{3 \times 206000Mpa \times (136,7 \times 10^6 mm^4) \times 6600mm} \approx 1,3 \text{ mm}$$

$$f_{5\text{omap.}} = \frac{5ql^4}{384EI} = \frac{5 \times 883N \times (6600mm)^4}{384 \times 206000 \times (136,7 \times 10^6 mm^4) \times 6600} \approx 0,12 \text{ mm}$$

$$f_{\text{yhteensä}} = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 \approx 20,7 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$$

Tuloksien perusteella voidaan todeta, että dynaamisella kuormituksella ratapalkiksi valittu HEA-280 palkki kestää ja on hyvä ratkaisu. Väsyttävän kuorman tapauksessa HEA-280 kestää ja on hyvä ratkaisu, mutta molemmissa tapauksissa palkki pitää tarkistaa myös sallitulle jännitykselle ja sallitulle leikkausjännitykselle.

Tarkistetaan palkin jännitys dynaamiselle kuormalle, jolloin palkissa vallitseva jännitys saadaan alla olevan laskutoimituksen mukaan

$$\delta_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}}}{W} = \frac{178,19 \text{ kNm}}{1010000 \text{ mm}^3} = 176,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Tällöin varmuuskertoimeksi saadaan } n = \frac{355 \frac{N}{mm^2}}{176,5 \frac{N}{mm^2}} = 2,0$$

Tämän jälkeen tarkistetaan palkin jännitys väsyttävälle kuormalle alla olevan laskutoimituksen mukaan

$$\delta_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{199,8 \text{ kNm}}{1010000 \text{ mm}^3} = 197,8 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Tällöin varmuuskertoimeksi saadaan } n = \frac{355 \frac{N}{mm^2}}{197,8 \frac{N}{mm^2}} = 1,79$$

Tuloksista voidaan todeta varmuuskertoimien olevan riittävän suuret, joten jännitykset pysyvät sallitulla alueella.

Lasketaan seuraavaksi leikkausjännitys palkin uumassa. Lasketaan ensin leikkausvoima ratapalkissa, jonka jälkeen lasketaan palkin poikkileikkauksen leikkausjännitys. Suurin leikkausvoima saadaan, kun lasketaan maksimipyöräkuormat yhteen ja jaetaan kahdella.

$$Q = 77,8 \text{ kN}$$

$$\text{Väsyttävä pyöräkuorma saa silloin arvoksi } Q = 1,721 \times 0,871 \times 77,8 \text{ kN} = 116,6 \text{ kN}$$

Sallitun leikkausjännityksen laskentaan käytän leikkausmyötölujuutta τ_m , joka saadaan laskemalla $0,6 \times \delta_m$. Tällöin saadaan $0,6 \times 280 \frac{N}{mm^2} = 168 \frac{N}{mm^2}$ (Valtanen 2007, 444; 480.)

Varmuuden vuoksi jaetaan leikkausmyötörajan jännitys varmuuskertoimella 1,5. Sallituksi jännitykseksi saadaan $112 \frac{N}{mm^2}$. Käytän maksimi leikkausjännityksien laskentaan alla olevaa kaavaa. (Valtanen 2007, 446.)

Tarkistetaan palkin leikkausjännitys dynaamiselle kuormalle

$$\tau_{\max} = \frac{QS}{Ib} = \frac{77800 \text{ N} \times 556000 \text{ mm}^3}{(136,7 \times 10^6 \text{ mm}^4) \times 8 \text{ mm}} = 39,6 \frac{N}{mm^2} < \tau_{\text{sall}} = 112 \frac{N}{mm^2}$$

Tarkistetaan palkin leikkausjännitys väsyttävälle kuormalle

$$\tau_{\max} = \frac{QS}{Ib} = \frac{116600N \times 556000mm^3}{(136,7 \times 10^6 mm^4) \times 8mm} = 59,3 \frac{N}{mm^2} < \tau_{sall} = 112 \frac{N}{mm^2}$$

Tuloksien perusteella voidaan todeta molempien tapauksien leikkausjännityksien pysyvän sallitulla alueella.

Pystysuuntaisten kuormitusten mukaisien lujuuslaskelmien lopputuloksena voidaan todeta HEA-280 palkin kestävänsä sekä dynaamisten kertoimien kuormat että väsyttävät kuormat. Ratapalkiksi voidaan valita HEA-280 S355J2.

7.2 Vaakakuormien laskenta

Vaakakuormien ja puskinuormien laskennassa huomioon nostureita olevan kaksi kappaletta. Ratapalkin suuntaiset kuormat otetaan vastaan nosturiradan keskimmäisten pilarien väliin ristiin sijoitetuilla putkilla. Nosturinsuuntaiset kuormat ottaa vastaan ratapalkki. Viinonajosta syntyvät nosturinsuuntaiset kuormitukset otetaan myös vastaan ratapalkilla. Radansuuntaiset puskinvoimat otetaan siis vastaan edellä mainituilla jäykisteputkilla. Nosturin suuntaiset puskinvoimat ottaa vastaan ratapalkki.

7.2.1 Radansuuntaisten pitkittäiskuormien laskenta

Lasketaan radansuuntaiset nosturin kiihtyvyydestä tai jarrutuksesta aiheutuvat kuormat fysiikanlakien mukaan ja katsotaan miten standardissa SFS-EN 1991-3 kehoitetaan laskemaan.

Kun nosturin kiihtyvyys tiedetään, voidaan käyttää kaavaa $F=ma$

Massaksi saadaan laskemalla yhteen nosturin nimelliskuorma, nosturin omapaino ja koe-kuormituslisä.

$$m = 5000 \text{ kg} + 3446 \text{ kg} + (1,25 \times 5000 \text{ kg}) = 9696 \text{ kg}$$

$$a = 0,25 \text{ m/s}^2$$

$$F = ma = 9696 \text{ kg} \times 0,25 \text{ m/s}^2 = 2424 \text{ N} \times \varphi_5 = 4,85 \text{ kN}$$

Standardin mukaan nosturin kiihdytyksestä tai jarrutuksesta aiheutuva pitkittäiskuorma ($H_{L,i}$) huomioidaan, ellei nosturin toimittaja ole ilmoittanut nosturin kiihdytyksen tai jarrutuksen aiheuttamaa voimaa. (SFS-EN 1993-1 kohta 2.7.3.)

$H_{L,i}$ sisältää siis pelkän nosturin aiheuttaman voiman. Eli ei sisällä nostokuorman aiheuttamaa voimaa, kuten alla olevasta laskennasta ilmenee. Nosturin toimittajan ilmoittama ajovoiman tai ajovoimasta aiheutuva rasitus huomioidaan laskennassa. Pitkittäiskuorma $H_{L,i}$ lasketaan alla olevalla kaavalla

$$H_{L,i} = \varphi_5 K_{nr}^1 = 2 \times 3,29 \text{ kN} \times \frac{1}{2} = 3,29 \text{ kN}$$

Nosturin toimittaja ilmoittaa ajovoima (K) 3,29 kN

Lasketaan yhteen kiihtyvyyden mukaan laskettu voima F ja $H_{L,i}$
 $= 4,85 \text{ kN} + 3,29 \text{ kN} = 8,14 \text{ kN}$

7.2.2 Nosturinsuuntaiset poikittaiskuormat

Nosturinsuuntaiset vaakakuormat syntyvät nostimen ajovoimasta ja liikkuvan kuorman kiihdytyksestä tai jarrutuksesta. Lisäksi huomioidaan nosturin vinoonajosta aiheutuva kuormitus, jonka nosturin toimittaja ilmoittaa. Vinoonajosta aiheutuva kuorma voidaan myöskin tarvittaessa laskea standardin SFS-EN 1991-3 kohdan 2.7.4 mukaan. Nosturin suuntaiset kuormat vastaanottaa ratapalkki.

Poikittaiset vaakakuormat, jotka syntyvät nostimen ajovoimasta painopisteeseen vaikuttavan momentin tasapainossa pitämiseen, voidaan laskea alla olevilla kaavoilla molemmille ratapalkille. (SFS-EN 1991-3 kohta 2.7.2.)

$$H_{T,1} = \varphi_5 \xi_2 \frac{M}{a} = 2 \times 0,8 \times \frac{12,0 \text{ kNm}}{2,2 \text{ m}} = 8,73 \text{ kN}$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 \xi_1 \frac{M}{a} = 2 \times 0,2 \times \frac{12,0 \text{ kNm}}{2,2 \text{ m}} = 2,2 \text{ kN}$$

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,\max}}{\sum Q_r} = \frac{77,8 \text{ kN}}{97 \text{ kN}} = 0,8$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 0,2$$

$$\sum Q_r = \sum Q_{r,\max} + \sum Q_{r,(max)} = 77,8 \text{ kN} + 19,2 \text{ kN} = 97 \text{ kN}$$

$$M = Kl_s = 2,68 \text{ kN} \times 4,49 \text{ m} = 12,0 \text{ kNm}$$

$$l_s = (\xi_1 - 0,5)l = (0,81 - 0,5) \times 14,481 \text{ m} = 4,49 \text{ m}$$

Tässä kaavassa

l = nosturisillan jännemitta = 14481 mm

a = pyörien väli = 2200mm

Standardin SFS-EN 1991-3 kuvasta 2.6 ilmenee, että kuormitukset lasketaan yhteen. Tulokseen lisätään nosturisillan suuntainen nosturin vinoonajosta syntyvä kuorma, jonka nosturin toimittaja ilmoittaa olevan 3,39kN. Yhteistulokseksi saadaan 14,33 kN, mikä jaetaan kahdelle pyörälle. Näin saadaan maksimi nosturin suuntainen pyöriin kohdistuva voima.

7.2.3 Puskinkuormat

Nosturin valmistaja ilmoittaa puskimien puskinvoimiksi 25 kN. Standardissa SFS-EN 1991-3 kohdassa 2.11.2 opastetaan miten nosturin tai nostovaunun puskimiseen ajosta syntyvät rakenteisiin vaikuttavat kuormitukset lasketaan.

Nostovaunun tai nostimen kiihdytys- tai jarrutuskuorma katsotaan täyttyvän kohdan 2.11.2 vaakakuorman mukaisesti. Kohdassa 2.11.2 käsitellään nostovaunun puskimiseen ajosta syntyviä kuormituksia. Standardin mukaan nostovaunun kiihdytyksestä tai jarrutuksesta aiheutuvia kuormia ei tarvitse huomioida, kun otetaan huomioon nostovaunun puskimiseen ajosta syntyvät kuormat. (SFS-EN 1991-3 kohdat 2.7.5; 2.11.2.)

Kun ratapalkin päissä käytetään puskimia vastaanottamaan mahdollinen törmäys ja estämään nosturin tipahtamisen radalta. Tällöin puskiin törmäyksestä aiheutuvat kuormat

lasketaan kaikkien liikkuvien osien liike-energian perusteella nosturin liikkeessa 0,7...1,0 kertaa nimellinopeus. Kuormien vaikutus huomioidaan nosturia tukevaan rakenteeseen. Kuormat lasketaan alla olevalla kaavalla. (SFS-EN 1991-3, kohta 2.11.1.)

Nostovaunun tai nostimen puskinuorman arvona voidaan käyttää 10 % kokonaiskuorman ja nostovaunun tai nostimen painosta, mikäli taakka pääsee heilumaan vapaasti. Muuten puskinuorma määritellään samalla lailla, kuin nosturin puskinuorajo. (SFS-EN 1991-3, kohta 2.11.2.)

Nosturin nosturiradan suuntaisesta puskinuorasta aiheutuvat rasitukset voidaan myös laskea alla olevan laskutoimituksen mukaisesti.

$$H_{B,1} = \varphi_7 \times V_1 \times \sqrt{m_c} \times S_B = 1,25 \times 0,374 \frac{m}{s} \times \sqrt{8446 kg} \times 413200 N = 27617 N$$

missä

$V_1 = 70 \%$ normaalista ajonopeudesta (m/s), maksimi ajonopeus nosturilla 32m/min = 0,534 m/s. Tästä 70% = 0,374m/s

$m_c = 3446 \text{ kg} + 5000 \text{ kg} = 8446 \text{ kg}$

tai

Nosturin toimittajan ilmoittama puskinuorajo 25 kN x $\varphi_7 = 31,25 \text{ kN}$

Puskinuorajo (S_B) laskettiin liitteen 4 mukaisella kaavalla. Jousivakio laskettiin nosturiradanpäissä oleville puskinuorajoille. Puskinuorajo ovat teräslevystä rakennettu, joille saatiin laskemalla neliömomentit tai katsomalla taulukoista. (LIITE 4) (Blom ym. 1999, 196.)

Yläpuolella laskulla päästään lähelle nosturitoimittajan ilmoittamaa radan suuntaista staattista puskinuorajo törmäysvoimaa. Kun nosturin toimittajan ilmoittama voima kerrotaan onnettomuuskuorman dynaamisella kertoimella, jää laskettu puskinuorajo pienemmäksi. Käytän myöhemmissä lujuuslaskuissa nosturin toimittajan ilmoittamaa puskinuorajoa kerrottuna dynaamisella kertoimella.

Nostovaunun nosturin suuntaisesta puskimiin törmäyksestä aiheutuvat rasitukset voidaan myös laskea alla olevan laskutoimituksen mukaisesti. Lasketaan siis samalla kaavalla, kun nosturin puskimeenajo. Muutetaan seuraavat arvot vastaamaan nostovaunun tilannetta

Nopeus 20m/min = 0,333 m/s ja tästä 70 % = 0,233 m/s

m_c massasta vähennetään nosturin paino pois, mutta lisätään nostimen paino

$m_c = \text{nostin} + \text{nimelliskuorma} = 300\text{kg} + 5000 = 5300 \text{ kg}$

$$H_{B,1} = \varphi_7 \times V_1 \times \sqrt{m_c} \times S_B = 1,25 \times 0,233 \frac{m}{s} \times \sqrt{5300kg} \times 100000 =$$

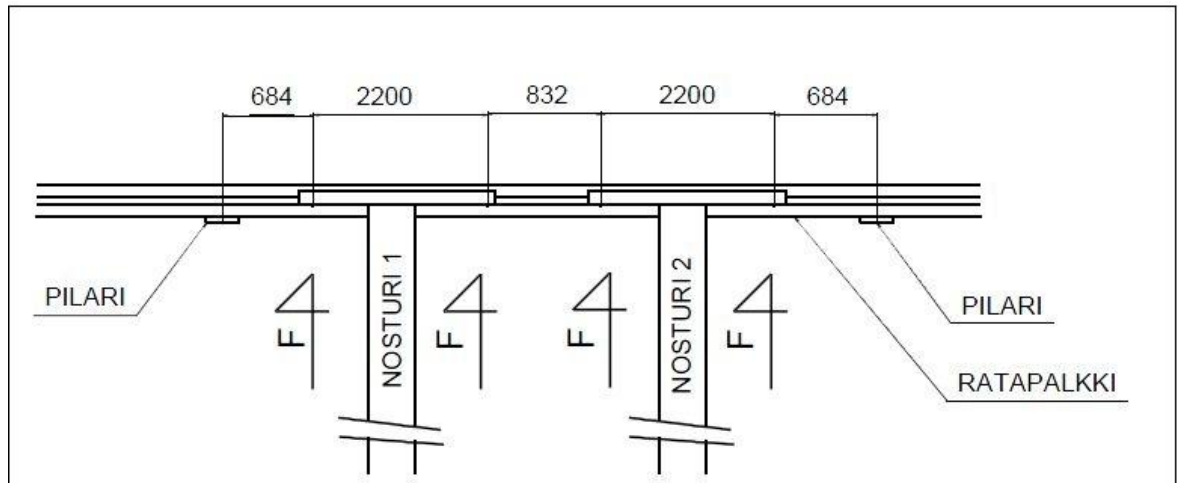
Nostovaunun puskimeenajosta syntyvät kuormat on mahdoton laskea kyseisellä kaavalla, koska vastaukseksi saadaan käytännössä mitä halutaan. Nosturipalkissa oleva puskinen jousivakio pitäisi tietää tarkalleen. Ratapalkin suuntaisen puskinen kuorman laskennassa jousivakion laskentakaava toimii paremmin, koska puskinet on valmistettu teräslevyistä ja hitsattu osaksi ratapalkkia.

Vaihtoehtoisesti voidaan standardin SFS-EN 1991-3 mukaan käyttää nosturin suuntaisten puskinvoimien arvona 10 % kokonaisvaakakuormasta ja nostovaunun tai nostimen painosta. Tällä arvolla jäädytään kuitenkin huomattavasti kiihdytyksen tai jarrutuksen ja nosturin vinoonajosta syntyvän yhteiskuormituksen aiheuttamista kuormista.

7.3 Ratapalkin mitoittaminen nosturinsuuntaisille vaakakuormille

Tehdään yhteenveto opinnäytetyöni kohdasta 7.2. Yhteenvedon pohjalta tarkastetaan ratapalkiksi valittu HEA-280 palkin kestävyys käsin laskennalla ja MITCalc-palkkilaskentaohjelmalla.

Nosturinsuuntaiset maksimikuormat jakautuvat ratapalkkiin nosturinpyöristä nosturikiskon kautta. Maksimikuormat sijaitsevat samalla kohdilla kuin ratapalkin mitoitus pystysuuntaisten pyöräkuormien mukaan, mutta kuormat tulee nosturin suuntaisesti, kuten kuvasta neljä nähdään.



KUVIO 4. Nosturinsuuntaiset kuormat ratapalkkiin

Suurimmat nosturinsuuntaiset kuormitukset saatiin, kun laskettiin nostimen tai nostovauunun ajovoimasta kuorman painopisteeseen vaikuttavan momentin tasapainossa pitämisen johdosta syntyvät nosturin suuntaiset rasitukset. Tämän vaikutus on laskettu opinnäytetyöni kohdassa 7.2. Lisäksi huomioidaan standardin mukaan nosturin ajoliikkeestä syntyvä vinoonajovoima. Nostovauunun ajovoima otettiin huomioon laskussa.

Ratapalkkiin vaikuttavaksi kokonaisvoimaksi saadaan, kun lasketaan yhteen $H_{T,1}$ ja $H_{T,2}$ sekä nosturin vinoonajon vaikutukset.

$$F_{\text{koko}} = H_{T,1} + H_{T,2} + \text{vinoonajon vaikutus} = 14,33 \text{ kN}$$

Tulos jaetaan vielä kahdelle nosturin pyörälle, jolloin saadaan maksimi nosturin suuntaisesti vaikuttava voima nosturin pyöriin. Kuvasta neljä nähdään miten kuormat jakautuvat.

$$F = 7,165$$

Lasketaan alla olevalla kaavalla maksimitaivutusmomentti siten, että merkitään kuvassa näkyvät nosturinpyörät vasemmalta oikealle 1,2,3 ja 4. Lisäksi tarkastetaan maksimi jännitys.

$$M_{\text{max1}} = \frac{Fab}{l} = \frac{7,165 \text{ kN} \times 0,684 \text{ m} \times 5,916 \text{ m}}{6,6 \text{ m}} = 4,4 \text{ kNm}$$

$$M_{\max 2} = \frac{Fab}{l} = \frac{7,165kN \times 2,884m \times 3,716m}{6,6m} = 11,6 \text{ kNm}$$

$$M_{\max 3} = \frac{Fab}{l} = \frac{7,165kN \times 3,716m \times 2,884m}{6,6m} = 11,6 \text{ kNm}$$

$$M_{\max 4} = \frac{Fab}{l} = \frac{7,165kN \times 5,916m \times 0,684m}{6,6m} = 4,4 \text{ kNm}$$

Maksimitaivutusmomenttien avulla lasketaan taivutusvastukset (W), jotka lasken seuraavaksi.

Taivutusvastus saadaan jakamalla maksimitaivutusmomentti sallitulla jännityksellä. Lopuksi lasketaan kaikki taivutusvastukset yhteen, ja valitaan alustavasti palkki. Palkki pitää tarkistaa vielä taipuman ja leikkausjännityksen mukaan. Käytetään $\delta_{\text{sall}} =$ sallittujännitys = materiaalin nimellislujuus (myötölujuus) $355 \frac{N}{mm^2}$ jaetaan varmuuskertoimella 2,0

$$W_1 = \frac{M_{\max 1}}{\delta_{\text{sall}}} = \frac{4,4 \times 10^6 \text{ Nmm}}{177,5 \frac{N}{mm^2}} \approx 24790 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = \frac{M_{\max 2}}{\delta_{\text{sall}}} = \frac{11,6 \times 10^6 \text{ Nmm}}{177,5 \frac{N}{mm^2}} \approx 65350 \text{ mm}^3$$

$$W_3 = \frac{M_{\max 3}}{\delta_{\text{sall}}} = \frac{11,6 \times 10^6 \text{ Nmm}}{177,5 \frac{N}{mm^2}} \approx 65350 \text{ mm}^3$$

$$W_4 = \frac{M_{\max 4}}{\delta_{\text{sall}}} = \frac{4,4 \times 10^6 \text{ Nmm}}{177,5 \frac{N}{mm^2}} \approx 24790 \text{ mm}^3$$

$$W_{\text{yhteensä}} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \approx 180280 \text{ mm}^3$$

Tuloksesta nähdään, että ratapalkiksi valittu HEA-280 palkin taivutusvastukset arvon riittävän hyvin. HEA-280, $W=340000 \text{ mm}^3$.

Palkki tarkastetaan vielä taipuman (f) mukaan. Ratapalkin mitoituksen määräävä tekijä on sallittu taipuma. Ratapalkin vaakasuuntainen taipuma saa olla suurimmillaan $L/600$. (SFS-EN 1993-6, 30.)

HEA-280, $I_y = 47,6 \times 10^6 \text{ mm}^4$ (Valtanen 2007, 572.)

$$f_1 = \frac{Fa^2b^2}{3EI} = \frac{7165N \times (684mm)^2 \times (5916mm)^2}{3 \times 206000Mpa \times (47,6 \times 10^6 mm^4) \times 6600mm} \approx 0,6 mm$$

$$f_2 = \frac{Fa^2b^2}{3EI} = \frac{7165N \times (2884mm)^2 \times (3716mm)^2}{3 \times 206000Mpa \times (47,6 \times 10^6 mm^4) \times 6600mm} \approx 4,24 mm$$

$$f_3 = \frac{Fa^2b^2}{3EI} = \frac{7165N \times (3716mm)^2 \times (2884mm)^2}{3 \times 206000Mpa \times (47,6 \times 10^6 mm^4) \times 6600mm} \approx 4,24 mm$$

$$f_4 = \frac{Fa^2b^2}{3EI} = \frac{7165N \times (5916mm)^2 \times (684mm)^2}{3 \times 206000Mpa \times (47,6 \times 10^6 mm^4) \times 6600mm} \approx 0,6 mm$$

$$f_{\text{yhteensä}} = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 \approx 9,7 mm < L/600 = 11mm$$

Tuloksesta nähdään palkkikoon olevan oikea, eli pakkikoko pysyy HEA-280:nä.

Tarkistetaan vielä jännitys palkissa, jolloin maksimijännitykseksi saadaan

$$\delta_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{32 kNm}{340000 mm^3} = 94 \frac{N}{mm^3}$$

$$\text{Tällöin varmuuskertoimeksi saadaan } n = \frac{355 \frac{N}{mm^2}}{94 \frac{N}{mm^2}} = 3,8$$

Tuloksen perusteella voidaan todeta, että varmuuskerroin on suuri ja vallitseva jännitys pysyy sallitulla alueella. Leikkausjännitystä en tarkista ollenkaan, koska arvot jäävät pieniksi.

Tulos ja palkkikoko tarkastetaan MITCalc-palkkilaskentaohjelmalla, jonka laskelmat ovat liitteenä. MITCalc-laskelmista on erillinen yhteenveto tässä opinnäytetyössäni.

7.4 Nosturiradan suuntaisien kuormien huomioiminen

Nosturiradansuuntaiset kuormat vastaanotetaan tai siirretään perustuksiin nosturiradan keskimmäisten pilarien väliin ristiin sijoitetuilla jäykisteputkilla. Suurin radan suuntainen kuormitus syntyy nosturin törmäyksestä radan päässä oleviin puskiimiin. Mitoitan siis jäykisteputket oikean kokoisiksi. Voidaan ajatella, että ristiin sijoitetuista jäykisteputkista aina toinen ottaa vastaan puristuksen ja toinen vedon. Tämä riippuu tietysti nosturin ajosuun-

nasta. Toteutus pitää tehdä niin, että ratapalkki hitsataan jäykästi kiinni nosturirataa kannattavaan kahteen pilariin, joiden väliin jäykisteristikko tulee. Jäykisteristikko asennetaan keskimmäisten pilarien väliin. Molemmille puolille nosturirataa tulee oma jäykisteristikko. Jäykisteristikoiden avulla varmistutaan voimien siirtymisestä putkien kautta perustuksiin.

Nosturin suuntaiseksi suurimmaksi voimaksi saatiin laskelmien perusteella nosturin törmätessä päätystoppariin eli puskiimeen. Voiman on ilmoittanut nosturin toimittaja. Olen myöskin laskenut puskinvoiman opinnäytetyöni kohdassa 7.2.4. Käytän kuitenkin nosturintoimittajan ilmoittamaa puskinkuormaa, jäykisteristikon jäykisteputkien mitoittamisessa. Huomioin nosturintoimittajan ilmoittamaan kuormaan onnettomuuskuorman dynaamisen kertoimen. Tämä on laskettu myös opinnäytetyöni kohdassa 7.2.4. Nostureita on radalla siis kaksi kappaletta, joten selvitin niiden yhteisvaikutuksen. Nostureissa on lähestymistunnistimet, jotka estävät nostureiden törmäämisen toisiinsa. Tämän vuoksi riittää, että putkien mitoituksessa huomioidaan pitkittäisvoimat, jotka syntyvät nosturin törmätessä pääty puskiimeen.

Mitoitan jäykisteputket alla olevien laskelmien mukaan. Yleensä ristikkäiset jäykisteet mitoitetaan vain vedolle. Opinnäytetyöni tapauksessa jäykisteputket tulevat 33 asteen kulmaan.

Suurin pysäytettävä voima saadaan laskemalla puskinvoima ja radan suuntainen jarrutusvoima yhteen. Tällöin saadaan $31,25 \text{ kN} + 8,14 \text{ kN} = 39,4 \text{ kN}$.

Jäykisteputkiin vaikuttavat vetovoima ja puristusvoima saadaan seuraavalla laskutoimituksella käyttämällä sinilauseetta. (Malinen 2007.)

$$\frac{39,4 \text{ kN}}{\sin(33^\circ)} = \frac{F_2}{\sin(90^\circ)} = 72,3 \text{ kN}$$

Näin saadaan jäykistesauvassa vaikuttavaksi vetovoimaksi 72,3 kN. Tällöin en huomioi lieventävä tekijänä toisen putken vastaanottamaa puristusvoimaa.

Valitsen alustavasti jäykisteputkeksi RHS-80x80x4 materiaaliltaan S355, jonka poikkipinta-ala $A = 1175 \text{ mm}^2$

Lasken alla olevalla kaavalla putkessa vaikuttavan jännityksen, jota vertaan varmuuskertoimeen. (Jokelainen 2009.)

$$\delta = \frac{N}{A} = \frac{72300N}{1175 \text{ mm}^2} = 61,5 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Tällöin varmuuskertoimeksi saadaan } n = \frac{355 \frac{N}{\text{mm}^2}}{61,5 \frac{N}{\text{mm}^2}} = 5,77$$

Laskelman perusteella voidaan todeta, että pienempikin putkikoko riittäisi ja jäykisteputket kestäisivät helposti vaikka molempien nostureiden törmäyksen. Todellisuudessa aina toinen putkista ottaa vastaan puristuskuormaa ja toinen vetokuormaa. Näin ollen en tarkista toisen jäykisteputken nurjahduskestävyyttä ollenkaan. Molempien nostureiden samaan puskimeen tai toisiinsa törmäminen ei ole mahdollista.

7.5 Palkkikoon tarkistaminen MITCalc-palkkilaskentaohjelmalla

MITCalc-palkkilaskentaohjelmalla tarkistetaan valittu palkkikoko maksimi yläpuolisille pyöräkuormille ja maksimi vaakasuuntaisille kuormille.

MITCalc pitää taipuman rajoina erittäin jäykissä rakenteissa $1/1200 = 0,083\%$ palkin pituudesta. Nosturiradoilla $1/500 = 0,2\%$ palkin pituudesta. Taipuisat rakenteet $1/360 = 0,28\%$ palkin pituudesta. Standardissa SFS-EN 1993-6 ilmoitetaan pystysuuntaisien kuormien aiheuttaman sallitun taipuman olevan $1/600$ tai $\leq 25 \text{ mm}$. Vaakasuuntaisien kuormien aiheuttama sallittu taipuma on $1/600$.

Ohjelmaan määritellään palkin pituus, kuormituskohdat, tuet ja niiden paikat. Seuraavaksi määritellään pistekuormien paikat ja niiden voima. Seuraava tehtävä on valita oikean kokoinen palkki. Palkkivalinnan tulossa kyseeseen, nousee ongelmaksi HEA- palkkien puuttuminen luettelosta. Kaikki muut palkit näyttää löytyvän luettelosta. Käyttöohjeen mukaan käyttäjä voi itse räätälöidä luetteloon lisää erilaisia palkkeja. Tähän löytyy kuitenkin rat-

kaisu, kun luettelosta löytyy I-palkki, johon määritellään korkeus, leveys, laipan- ja uumanpaksuudet. Palkkivalinnassa pitää valita palkin kuormitusuunta oikein. Lisäksi valitaan palkin materiaali. Ohjelma huomioi palkin omapainon mukaan laskentaan, jos näin valitaan.

MITCalc näyttää tuloksen heti, kun laskelma on hyväksytty. MITCalc ilmoittaa palkin suurimman jännityksen, taipuman, taipuma prosentteina, taivutusmomentin ja kiertymän. Samalla ohjelma piirtää näistä kuviot. Ohjelma varoittaa heti, jos jokin yllä mainituista rajoista ylittyy.

Ohjelmassa on myös kohta, jossa voidaan tutkia palkkia koko pituuden matkalta. Tämä tapahtuu vetämällä tai napsauttelemalla hiirellä nuolesta. Samalla yllä mainitut arvot muuttuvat. Tällä voidaan etsiä esimerkiksi palkin suurin taipuman kohta. MITCalc ei ota kantaa leikkaukseen, mikä onkin ohjelman huono puoli. Toisaalta pitkissä palkeissa esiintyy harvoin suuria leikkausjännityksiä.

Mitoitetaan palkki pystysuuntaisille pyöräkuormille. Kokeillaan mitoittaa palkki dynaamisille kuormille ja väsyttävälle kuormituksille. Määritellään ohjelmaan palkin pituus, vaikuttavat pistekuormat ja niiden sijainnit. Näiden arvot ovat samat, kuin opinnäytetyöni kohdassa 7- 7.1 käytetään. Alustavasti ohjelmaan määritellään HEA-280 palkin leveys, korkeus, laipanleveys ja uuman paksuus sekä materiaali.

HEA-280 palkin tiedolla MITCalc ilmoittaa pystysuuntaisten dynaamisten pyöräkuormien aiheuttamaksi taipumaksi 22,57 millimetriä. Samalla ohjelma ilmoittaa taipuman olevan liian suuri. Tämä tulos on kuitenkin pienempi kuin standardissa SFS-EN 1993-6 sallittu maksimi taipuma 25 mm, joten tulos voidaan hyväksyä. (LIITE 5)

Väsyttävälle pystysuuntaisille kuormille ohjelma ilmoittaa taipumaksi 24,63 mm, joka on ohjelman mielestä liika suuri. Tulos voidaan kuitenkin hyväksyä samoin perustein, kuin dynaamisten pystykuormien tapauksessa. (LIITE 6)

Kokeilen muuttaa väsyttävän kuormituksen tapauksessa palkin mitoiksi HEA-300 palkin mitat, jolloin MITCalc ilmoittaa suurimmaksi taipumaksi 18,53 millimetriä. (LIITE 7)

Tulosta vääristää hieman se, kun ohjelmasta ei löytynyt valmiina HEA- palkkeja. Arvot piti syöttää levystä valmistetulle HEA- palkille. Tällöin valssauspyöritykset jäivät pois ohjelman laskemasta poikkipinta-alasta, neliömomentista ja taivutusvastuksesta. Arvot jäivät näin pienemmiksi, kuin mitä ne oikeasti ovat. Tämä ilmenee myös alla olevasta kuvista ja oikeista HEA-280 palkin arvoista.

2.0 Static values of the profile and material values of the beam

2.1 Beam profile

2.2 Profile type 12...I - Section (Calculated)

2.3 Profile dimensions Empty table

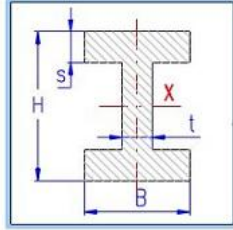
2.4 User properties of the profile No

2.5 Number of beams abreast 1

2.6 Area A 9232 [mm²]

2.7 Quadratic moment to the axi: Ix 129996229,3 [mm⁴]

2.8 Cross-section bending modulu Sx 962935,0321 [mm³]



B	280,00	[mm]
H	270,00	[mm]
s	13,00	[mm]
t	8,00	[mm]

2.9 Beam material

2.10 List of materials Structural steel EC 3, EN 10025; Fe 510 (210000)

2.11 Density γ 7850,0 [kg/m³]

2.12 Modulus of elasticity in tension E 210000 [MPa]

2.13 Permissible bending stress σ_b 213 [MPa]

KUVIO 5. Ote MITCalc-palkkilaskentaohjelmasta

Oikeat HEA-280 arvot (Valtanen 2007, 572; Kontino tuoteluettelo 2011.)

Poikkipinnan ala	$9,73 \times 10^3 \text{ mm}^2$
Neliömomentti	$136,7 \times 10^6 \text{ mm}^4$
Taivutusvastus	$1010 \times 10^3 \text{ mm}^3$

Viimeistään tämän ja liitteenä olevien laskelman vuoksi voidaan todeta, että HEA-280 on oikea ratkaisu pystysuuntaisille pyöräkuormille. Palkki pitää tietysti tarkastaa myös poikittaisille kuormille.

Tarkistetaan palkki MITCalcilla vielä nosturin suuntaisille vaakakuormille. Vaakakuormien arvona ja sijaintina käytetään samoja arvoja kuin opinnäytetyöni kohdassa 7.2. Tuloksena MITCalc ilmoittaa taipumaksi 11,03 mm, mikä on 0,03 mm suurempi kuin standardi sallii. Tulos voidaan kuitenkin hyväksyä samoin perusteluin kuin pystysuuntaisien kuormien tapauksissa. (LIITE 8)

8 PILARIT

Rakennesuunnittelija oli mitoittanut pilarikoot valmiiksi. Pilarit tulivat RHS-300x300x8 putkiprofiilista, jonka alapäähän tuli 25x490x490 pohjalappu. Pilarien putkikoossa olisi voinut päästä hieman pienemmällä, mutta aikataulun vuoksi ei joudettu mitoittamaan pilareita tarkemmin.

Pilarien konepajapiirustuksien tekovaiheessa tehtiin yhteistyötä betonielementtitoimittajan, nosturintoimittajan, rakentajan ja pääsuunnittelijan kanssa. Nosturintoimittajalta sain tiedot ja tarvittavat piirustukset, joista ilmeni tarvittava vapaatila nosturista kattoon ja seiniin. Betonielementtitoimittajalta sain tiedot ja toivomukset pilareihin kiinnitettävien teräslappujen paikoista ja mitoista. Elementtitoimittaja kiinnitti tai sitoi liikkumisen sallivilla pulttiliitoksilla teräspilarin teräslappuihin hallin betonielementit niitä asennettaessa.

Ratapalkki kiinnitetään teräspilareiden päälle liikkumisen sallivilla hitsattavilla kynsillä. Mitoitan kynsien kiinnittämiseen tarvittavan hitsin a-mitan. (Blom ym, 1999, 19.)

$$\tau = \frac{F}{l \times a} = \frac{4 \times 7165 N}{(50 \text{ mm} + 50 \text{ mm}) \times 5 \text{ mm}} = 57,32 \frac{N}{\text{mm}^2} < \delta_{wsall}$$

S355J2 materiaalilla hitsisauman sallittu jännitys on alle 16mm materiaalipaksuudelle =

$$\delta_{wsall} = 145 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Tässä kaavassa

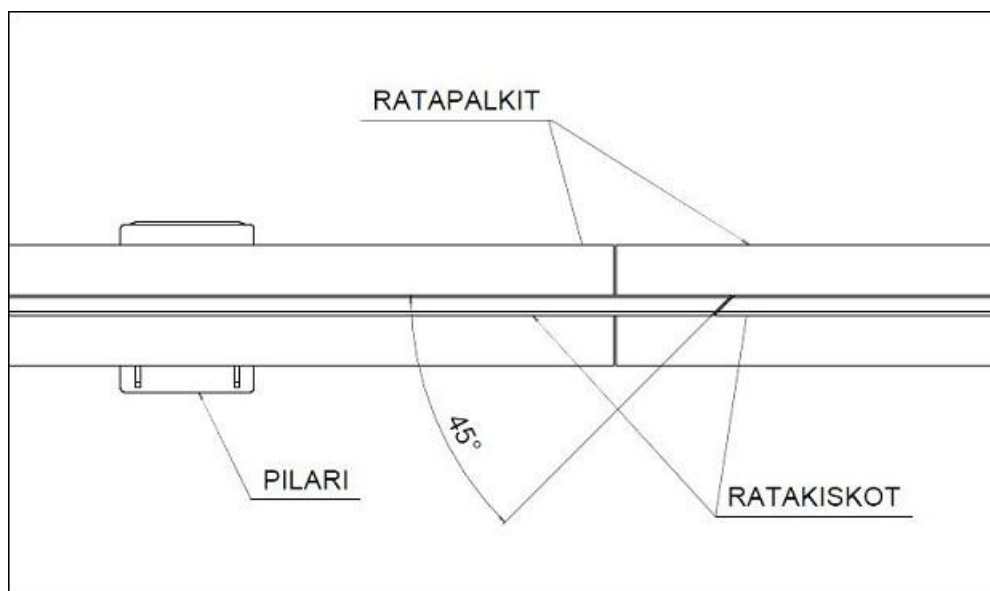
a = hitsisauman a-mitta

Tuloksesta nähdään, että hitsisaumassa vallitseva jännitys pysyy sallitulla alueella.

9 NOSTURIKISKO

Nosturikisko tulee ratapalkkien päälle, joiden päällä siltanosturi kulkee. Nosturikiskoon määrittelee nosturin toimittaja, joka on määritellyt suorakaiteen muotoisen kiskon kooksi 30mm x 50mm. Lähinnä materiaalivalinta ja kiskon kiinnityksen suunnittelu jää tilaajalle. Kiskon materiaaliksi valitsen rakenneteräs S355J2, koska terästoimittajilta saa nosturikiskon nimellä olevaa suorakaiteen muotoista kiskoa tässä laadussa. Lisäksi kiskon kaksi sivua on pyöristetty. Kiskon pituus on kaikilla terästoimittajilla 10 metriä, joka pitää myös huomioida radan suunnittelussa ja valmistuksessa.

Standardissa määritellään kiskon eri kiinnitysvaihtoehtoja ratapalkkiin. Standardissa määritellään myös kiskon oikeaoppinen jatkosliitos, joka nähdään kuviosta kuusi. Ratakiskojen jatkokset suunnitellaan siten, että nosturin pyörät kulkevat mahdollisimman helposti jatkoksien yli aiheuttamatta sysäyksiä. Kiskon jatkos tehdään siis siten, että kiskot sahataan 45 asteen kulmaan jatkoskohdasta ja jatkoskohta tehdään eri kohtaan, kuin ratapalkkien päät. (SFS-EN 1993-6, 33-36.)



KUVIO 6. Ratakiskon jatkaminen ja jatkoskohta

Kisko kiinnitetään tässä tapauksessa hitsaamalla ratapalkin ylälaippaan tarkasti palkin uuman keskeisesti. Kisko hitsataan paikoilleen ennen ratapalkkien kohdistamista ja lopullista kiinnitystä. Kiskon kiinnitys ja oikeaoppiset jatkoskohdat kannattaa tehdä konepajalla valmiiksi. Ratapalkin jatkoskohdat voidaan viistää valmiiksi konepajalla.

Nosturiradan kantavissa rakenteissa ei saa käyttää katkopianahitsejä, jos niistä aiheutuu ruostetaskuja rakenteeseen. (SFS-EN 1993-6, 33.)

Katkopianahitsejä voidaan siis tässä tapauksessa käyttää, koska nosturirata tulee hallin sisälle ja näin ollen ei ole alttiina ilmaston rasituksille. Kisko kiinnitetään katkopianahitsillä ratapalkkiin, jonka a-mitan koko ja hitsin pituus lasketaan seuraavasta kaavasta. Kuitenkin kaavasta nähdään, mitoituksessa käytetään yläpuolisia kuormia. Kisko hitsataan molemmin puolin katkopianahitsillä ratapalkin ylälaippaan. (Aaltio 1977, 210.)

Mitoitetaan hitsin koko ja pituus väsyttävän leikkausvoiman mukaan

$$\tau = \frac{QS}{I_x \times 2a} \times \frac{c}{l-2a} = \frac{116600\text{N} \times 11250\text{mm}^3 \times 600\text{mm}}{136,7 \times 10^6 \text{mm}^4 \times (2 \times 4\text{mm}) \times (50\text{mm} - 2 \times 4\text{mm})} = 17,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \delta_{wsall}$$

Kiskon poikkileikkauksen staattinen momentti palkin painopisteakselin suhteen saadaan laskemalla kaavalla $\frac{A}{2}y = \frac{30\text{mm} \times 50\text{mm}}{2} \times 15\text{mm} = 11250 \text{mm}^3$ (Valtanen 2007, 445.)

S355J2 materiaalilla hitsisauman sallittu jännitys on alle 16mm materiaalipaksuudelle =

$$\delta_{wsall} = 145 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kaavassa käytettävät termit

τ = leikkausjännitys

Q suurin leikkausvoiman arvo

S kiskon poikkileikkauksen staattinen momentti palkin painopisteakselin suhteen

I_x palkin neliömomentti

a hitsin a-mitta

l hitsin pituus katkopianahitsissä

c kahden perättäisen hitsin keskiväli

10 POHDINTA

Opinnäytetyöni aiheena oli nosturiradan suunnittelu. Tavoitteena oli selvittää nosturiradan vaatimuksia, joita pitäisi huomioida nosturiradan suunnittelussa. Tavoitteena oli lisäksi selvittää nopea mitoitusmenetelmä ja selvittää riittääkö tarjousvaiheessa ratapalkin mitoittaminen pystysuuntaisille kuormille. Valitsin aiheen siksi, koska halusin kehittää omaa ammatillista kasvua työntekijänä ja uskon tästä olevan hyötyä myöhemmin työelämässä.

Nosturiradan suunnittelun avuksi löytyi kaksi standardia ja yksi kansallinen liite, joiden osia käytin mahdollisimman paljon hyödyksi opinnäytetyössäni. Standardeissa oli joitakin asioita nosturiradan suunnitteluun, joita tiesin entuudestaan. Standardeissa oli jonkin verran myös asioita, joita en välttämättä olisi osannut huomioida opinnäytetyössäni. Standardien suhteen olen sitä mieltä, että standardit on tehty tosi vaikeiksi ja niissä viitataan melkein joka kohdassa johonkin toiseen standardiin. Mielestäni tällä tavalla standardeja saadaan myytyä useita. Standardeissa voidaan jossakin kohtaa käskää huomioida jokin kohta ja toisessa kohdassa sanotaan ettei samaa asiaa tarvitse huomioida. Standardissa esimerkiksi kehoitetaan mitoittamaan rakenteet kimmoteorian mukaan, mutta standardissa käsitellään suurimmaksi osaksi murtorajatila- ja rajatila mitoituksen mukaan tapahtuvaa mitoitusta. Standardeissa oli kuitenkin kohtia, joissa käytettiin kimmoteoriaa hyödyksi.

Nosturiradan suunnitteluun löytyi myös RIL-käsikirja, jossa kerrottiin nosturiradan yksityiskohtaisemmasta suunnittelusta. Tämä käsikirja tuki myös minun ajatuksia ja mielipiteitä. Käsikirjassa sanottiin esimerkiksi nosturin suuntaisien vaakavoimien jäävän niin pieniksi, ettei niillä ole vaikutusta palkin valintaan. Tämän voi nähdä opinnäytetyöni ratapalkin mitoituksesta, jossa ratapalkin palkkikoon ja profiili muodon valinnan määräävänä tekijänä oli pystysuuntaisista pyöräkuormista aiheutuneet rasitukset. Palkkikoon määräävä tekijä oli sallittu taipuma. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös selvittää, että riittääkö tarjousvaiheessa ratapalkin mitoitus pystysuuntaisien pyöräkuormien mukaan. Tulin siihen tulokseen, että tarjousvaiheessa riittää palkin mitoitus pelkille pystysuuntaisille kuormille. Nosturin suuntaiset kuormat jäivät sen verran pieniksi, että niillä ei ollut vaikutusta ratapalkin koon. Tämä on nähtävissä opinnäytetyöni laskuissa.

Mitoitin opinnäytetyössäni ratapalkin käsin laskemalla ja MITCalc-palkkilaskenta ohjelmalla. Tulokset ovat oikeastaan samanlaiset, mutta huomasin palkkilaskenta ohjelman olevan monta kertaa nopeampi työkalu palkkien mitoittamiseen. Minun mielestäni ohjelmassa oli helppo ja nopea löytää suurimmat rasitukset palkille. Voimien vaikutuskohtia pystyi myös nopeasti muuttamaan ja näin pystyi etsimään epäedullisimmat rasituksen vaikutuskohdat. Totesin kuitenkin käyttäessäni ohjelmaa, että ohjelman palkkiluettelosta puuttui HEA-palkit ja putkiprofiilit. Tämä oli minulle pettymys, vaikkakin ohjelman valmistajan mukaan ohjelmaan voi itse lisätä tarvittavia profiileja ja niiden tietoja. Mielestäni lopputuloksena löysin nopean ja luotettavan palkkilaskenta ohjelman, jota tulen käyttämään jatkossakin.

Tarjouslaskentaprosessi alkaa yleensä tarjouspyynnöllä, jolla asiakkaat lähestyvät yritystä. Tarjouspyyntö voi olla asiakirjaomainen, jonka liitteenä on valmiit konepajapiirustukset tai arkkitehdin laatimat piirustukset. Olen huomannut työssäni, että yleensä tarjousta kysytään sähköpostiviestillä, johon on kuvailtu esimerkiksi tarvetta tai määriä ja liitteenä on piirustuksia tai luonnoksia.

Jos kohteen teräsrakenteista on tehty valmiit konepajapiirustukset, on niistä huomattavasti nopeampi ja varmempi antaa hinta verrattuna, jos kohteesta olisikin vain arkkitehtiluonnoksia. Kohteen, jonka teräsrakenteista on konepajapiirustukset, on hinnoittelu helppoa ja nopeaa. Olen todennut, että muun muassa teräsrakenteiden konepajapiirustuksilla saadaan tiukkahinta pienimmillä riskeillä verrattuna kohteen arkkitehtipiirustuksiin. Kate tai voitto jää kuitenkin valmiilla konepajapiirustuksilla pienemmäksi verrattuna arkkitehtipiirustuksiin, jos oletetaan molempien vaihtoehtojen urakan menneen laskennan mukaan.

Minun mielestäni tarjoushinnan muodostaminen perustuu kokemukseen vastaavista projekteista ja myös kilohintaan. Kokemuksesta ja jälkilaskennoista on todella paljon apua työtai asennusaikojen määrittäessä. Kilohinta on myös oikea työkalu tarkistaa onko tarjoushinta kohdallaan. Kokemukseen perustuvalla hinnoittelulla pystyy antamaan tarvittaessa tiukemman hinnan. Kokemukseen perustuva hinta voi olla kilohinta jostakin teräsrakenteesta tai tarkka dokumentoitu valmistusaika jostakin teräsrakenteesta. On tietysti muistettava, että työ- ja asennusajoissa voi olla hajontaa. Hajontaa ilmenee esimerkiksi asennustyömaan sääolosuhteiden vaikutuksista. Riittävän märät olosuhteet keskeyttävät joskus hitsauksen. Olen todennut, että mahdollisimman valmiiksi jalostettu teräsrakenne on myös

helppo ja nopea asentaa. Näin ollen jalostustyö tulisi viedä mahdollisimman pitkälle konepajassa.

Olen työskennellyt teräsrakenteiden ja metallituotteiden tarjouslaskijana kohta kolme vuotta. Tarjouslaskenta on kehittynyt koko ajan ja sitä on pyritty myös helpottamaan mahdollisimman paljon. Tarjouslaskentaa voidaan ja pitää kuitenkin kehittää koko ajan, koska joudumme välillä laskemaan urakoita, joista ei välttämättä saada tilausta. Lähes kaikki urakat tarjotaan, joten senkin takia tarjouslaskenta pitää tapahtua nopeasti ja luotettavasti.

On olemassa erilaisia ohjelmistoja, joita voidaan hyödyntää teräsrakenteiden tarjouslaskennassa. Yrityksessä käytetään Excel-taulukkolaskentaohjelmaa, johon on itse kehitetty lisätyökaluja ja erilaisia valmiita pohjia, joihin olemme tyytyväisiä. Lisätyökaluja ja erilaisia pohjia kehitetään koko ajan lisää, kun muut työt sen sallivat. Näiden kehittämisessä on tärkeässä asemassa pidemmältä ajalta kerätyt dokumentoidut työ- ja asennusajat, kilohinta vastaavanlaisesta projektista ja jälkilaskennat.

Kokonaisuutena opinnäytetyöni aihe oli mielenkiintoinen ja antoisa, mutta myös haastava. Haasteellisimpana koin työssäni ehkä standardien ymmärtämisen ja oikeanlaisten rasitusten määrittämisen ratapalkin mitoittamisessa. Huomasin kuitenkin onnistuvani näissä ja olenkin tyytyväinen lopputulokseen. Lisäksi koin sekä yrityksemme että oman osaamisen helpottavan osittain työtäni, koska jotakin asioita tai tekijöitä osasin jo päätellä ilman tiedonhakua. Opinnäytetyöni aiheen valitsin tarkoituksen mukaan riittävän haastavaksi, vaikka tarjolla olisi ollut helpompiaakin. Aiheen valintaan vaikutti halu oppia lisää ja pitää yllä lujuusopin taitoja. Opinnäytetyöni avulla hain siis ammatillista kasvua ja osaamista. Tuloksena voin todeta sen, että tämä tavoite saavutettiin ja aihe antoi minulle hyvät valmiudet työelämässä mahdollisesti tulevien uusien projektien suunnitteluun. Voinkin todeta, että saavutin työlle asettamani tavoitteet ja tulokset.

LÄHTEET

Aaltio, E. 1977. Nosturiradat. Teoksessa Teräsrakenteet RIL 113. Jyväskylä: Suomen Rakennusinsinöörien liitto ry. 205, 210.

ABB. Siltanosturit. Www-dokumentti. Saatavissa:
<http://www.abb.fi/cawp/fiabb251/4e5dc4a01a18117bc125768e002a2062.aspx>. Luettu: 06.11.2012.

Autio, I. 2005. Sähköurakoitsijan talouslaskenta. Espoo: Sähköinfo Oy.

Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P. & Suosara, E. 1999. Koneenelimet ja mekanismit. 4.uudistettu painos. Helsinki: Oy Edita Ab.

Eskola, S. & Ruohoniemi, E. 2011. Julkiset hankinnat. 2. uudistettu painos. Helsinki: WSOY pro Oy.

Jokelainen, S. 2009. Lujuusoppi. Luentomuistiinpanot. Keski-Pohjanmaan Ammattikorkeakoulu. Ylivieskan yksikkö.

Kontino tuoteluettelo 2011. Www-dokumentti. Saatavissa:
<http://julkaisin.plusverkot.fi/kontino/2011/01/#/28/>. Luettu: 10.10.2012.

Malinen, T. 2007. Rakenteiden statiikka. Luentomuistiinpanot. Keski-Pohjanmaan Ammattikorkeakoulu. Ylivieskan yksikkö.

Nosturiradat. Erikkila. Www-dokumentti. Saatavissa:
<http://www.erikkila.com/nosturit/siltanosturi/nosturirata/>. Luettu: 08.03.2011.

Nosturit. Satateräs. Www-dokumentti. Saatavissa:
<http://www.satateras.fi/www/att.php?id=21>. Luettu: 06.11.2012.

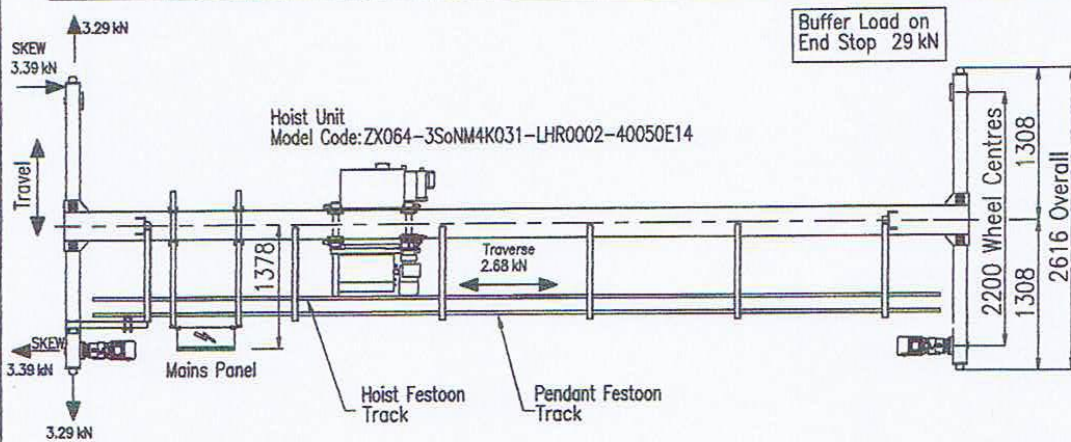
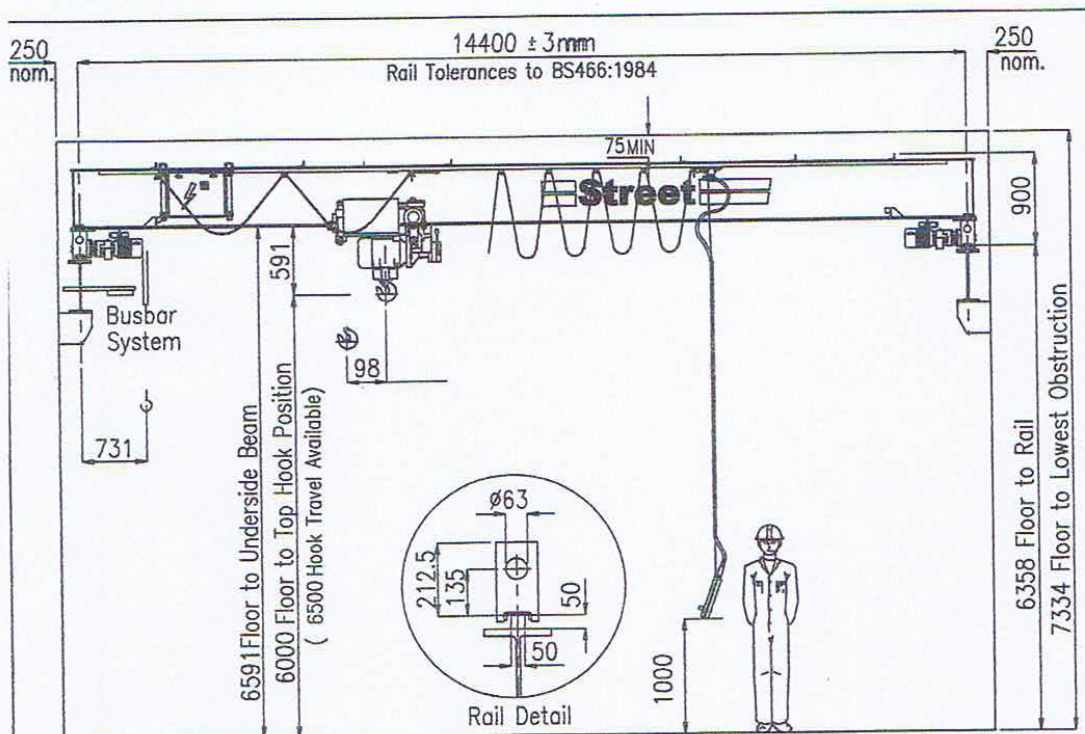
SFS-EN 1993-6. Nosturia kannattavat rakenteet. 2009. Helsinki: Suomen standardisointiliitto SFS.

SFS-EN 1991-3. Nostureista ja muista koneista aiheutuvat kuormat. 2010. Helsinki: Suomen standardisointiliitto SFS.

Siltanosturit. Erikkila. Www-dokumentti. Saatavissa:
<http://www.erikkila.com/nosturit/siltanosturi/>. Luettu: 08.03.2011.

Sähköketjunostimet. Satateräs. Www-dokumentti. Saatavissa:
<http://www.satateras.fi/www/att.php?id=20>. Luettu: 06.11.2012.

Valtanen, E. 2007. Tekniikan taulukkokirja. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy.



	Speeds m/min	Motor Power kW	Classification (To BS466:1984 & BS2573:1980)
Hoist	3.9/ 1.3	3.7/1.2	BS M4
Traverse	20/5	0.55/0.13	BS M5
Travel	32/8	2x0.6/0.13	BS M5

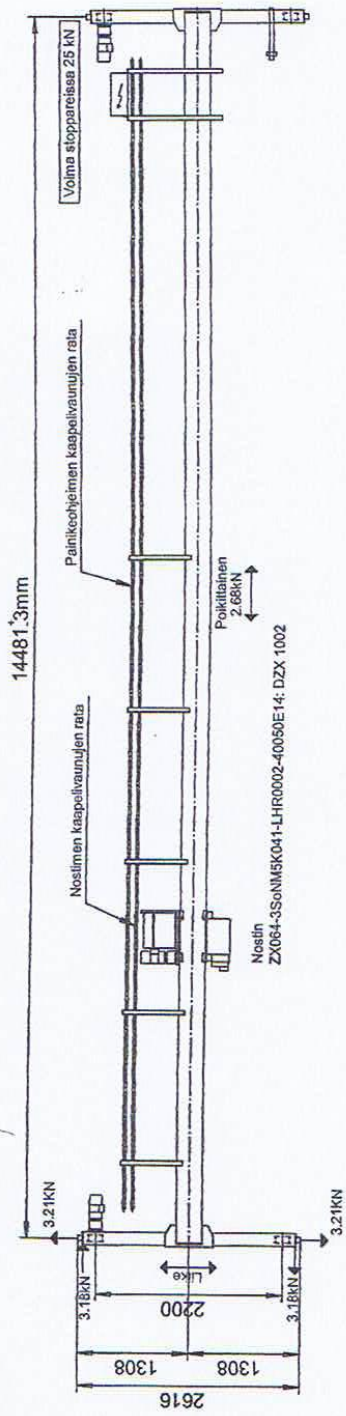
Crane Weight (incl hoist)	3446	kg
Hoist Weight	350	kg
Max. Static Vertical Wheel Load	32.95	kN
Min. Static Vertical Wheel Load	7.61	kN

Electrical Supply Details:
 Operating Voltage 400 Volt
 Current type 3 phase
 Frequency 50 Hz
 Control Voltage 110 Volt

Crane Service Conditions as BS466:1984
 A - Use at Ambient Temperature Between -10°C and +40°C with
 No Sources of Local Heating such as Furnaces or Radiant Panel Heaters
 B - Use in a Clean, Still Air of Normal Humidity (max. 90% RH) and Free
 from Contamination and Deposits

All Dimensions in mm U.O.S.

* = DIMENSIONS PROVIDED



Maksimi staattinen pysäysuuntainen pyörräkuorma	32 kN
Minimi staattinen pysäysuuntainen pyörräkuorma	7 kN

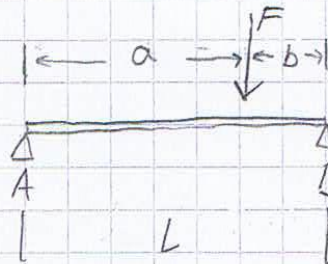
Jännäväli päivitetty 4.11.2011

Nosturin aiheuttamat pyöräkuormat

LIITE 3

$$\left. \begin{array}{l} \text{Nosturi} \quad 3446 \text{ kg} \\ \text{Nostin} \quad - \quad 300 \text{ kg} \\ \hline \quad \quad 3146 \text{ kg} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{3146}{4 \text{ pyörälle}} = 786,5 \text{ kg} \\ = 7,865 \text{ kN/pyörä}$$

Nostettavan massan ja dynaamisten suurennoskerroimen aiheuttama maksimi pyöräkuorma



$$F = (5000 \text{ kg} \times 1,25) + 300 \text{ kg} \quad \text{Nostin}$$

$$a = 13\,770 \text{ mm}$$

$$b = 777 \text{ mm}$$

$$L = 14\,547 \text{ mm}$$

(Valtaisen 2007, 383)

Maksimi

$$B = \frac{F \cdot a}{L} = \frac{65,5 \text{ kN} \times 13,770 \text{ m}}{14,487 \text{ m}} = \frac{62 \text{ kN}}{2 \text{ pyörälle}} = 31 \text{ kN}$$

⇒ Pyöräkuormaan lisätään vielä nosturin aiheuttama pyöräkuorma

$$\Rightarrow 31 \text{ kN} + 7,865 \text{ kN} \approx \underline{38,9 \text{ kN}}$$

Minimi

$$A = \frac{F \cdot b}{L} = \frac{65,5 \text{ kN} \times 0,777 \text{ m}}{14,487 \text{ m}} = \frac{3,49 \text{ kN}}{2 \text{ pyörälle}} = 1,74 \text{ kN}$$

⇒ Pyöräkuormaan lisätään vielä nosturin aiheuttama pyöräkuorma

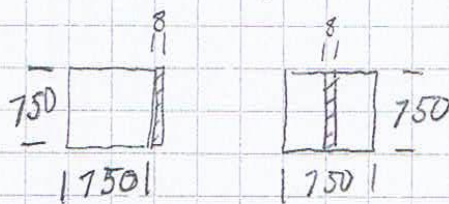
$$\Rightarrow 1,74 \text{ kN} + 7,865 \text{ kN} = \underline{9,6 \text{ kN}}$$

Jousivakjon laskeminen (Blom, ym. 1999, 1996)

$$K = \frac{3 \times E \times I}{L^3} = \frac{3 \times 206000 \times 2256,4 \times 10^3 \text{ mm}^4}{750^3 \text{ mm}^3}$$

$$= 473777 \approx 473200$$

Stoppari on valmistettu kahdesta 8 mm teräslevystä, jotka on hitsattu yhteen



$$I = I_y + I_x = 2256,4 \times 10^3 \text{ mm}^4$$



Straight beams with constant cross-section

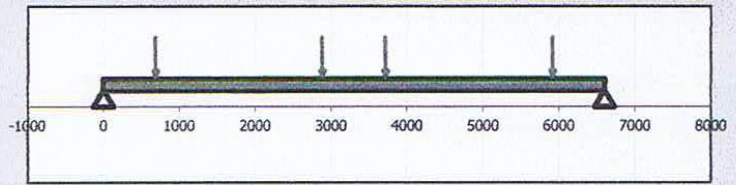
- i Check lines:3.8;
- ii Project information

LIITE 5/1

? Input section

1.0 Beam type, dimensions and loading

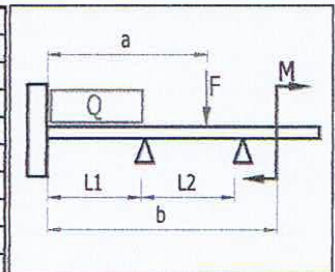
- 1.1 Calculation units
SI Units (N, mm, kW...)
- 1.2 Left beam end
A...Free end
- 1.3 Number of supports between
1
- 1.4 Right beam end
B...Support



1.5 Beam field no:	L1	L2					
1.6 Length of beam field L	0,0	6600,000	2540,0	64516,0	645,2	645,2	[mm]
1.7 Continuous loading Q	0,000	0,000	0,000	0,031	0,000	0,000	[N/mm]
1.8 Field beginning co-ordinates		0,0	6600,0	9140,0	73656,0	74301,2	[mm]

1.9 Beam loading

	a [mm]	F [N]	b [mm]	M [Nm]
Force F1 / Moment M1	684,0	38900,0	0,0	0,0
Force F2 / Moment M2	2884,0	38900,0	0,0	0,0
Force F3 / Moment M3	3716,0	38900,0	0,0	0,0
Force F4 / Moment M4	5916,0	38900,0	0,0	0,0
Force F5 / Moment M5	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F6 / Moment M6	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F7 / Moment M7	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F8 / Moment M8	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F9 / Moment M9	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F10 / Moment M10	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F11 / Moment M11	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F12 / Moment M12	0,0	0,0	0,0	0,0

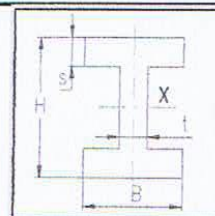


- 1,10 Dead weight load
- 1,11 Other input field for force

2.0 Static values of the profile and material values of the beam

2.1 Beam profile

- 2.2 Profile type: 12...I - Section (Calculated)
- 2.3 Profile dimensions: Empty table
- 2.4 User properties of the profile: No
- 2.5 Number of beams abreast: 1
- 2.6 Area: A 9232 [mm²]
- 2.7 Quadratic moment to the ax: Ix 129996229,3 [mm⁴]
- 2.8 Cross-ecton bending modulu: Sx 962935,0321 [mm³]



B	280,00	[mm]
H	270,00	[mm]
s	13,00	[mm]
t	8,00	[mm]

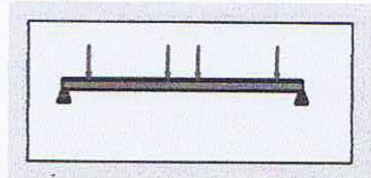
2.9 Beam material

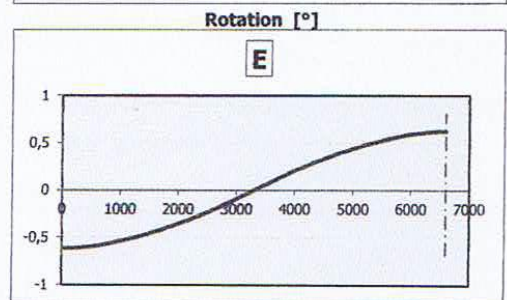
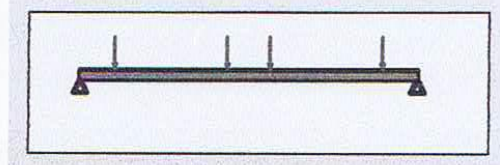
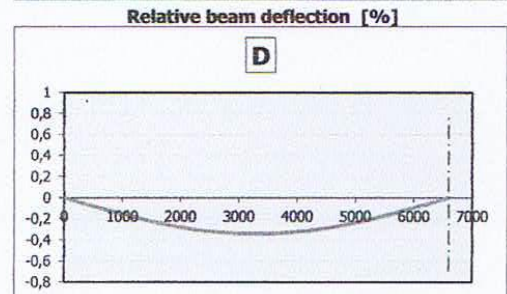
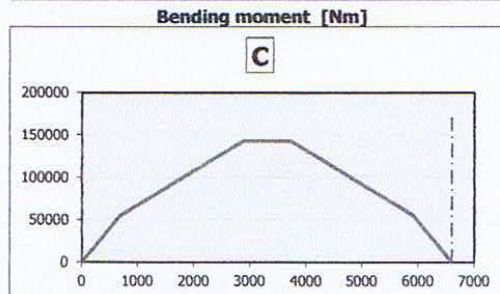
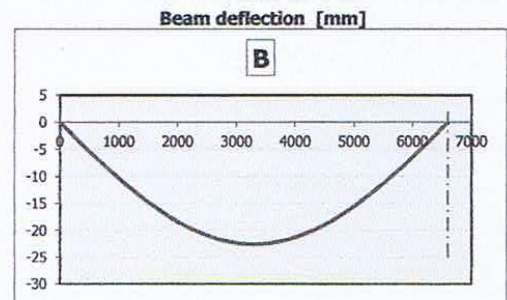
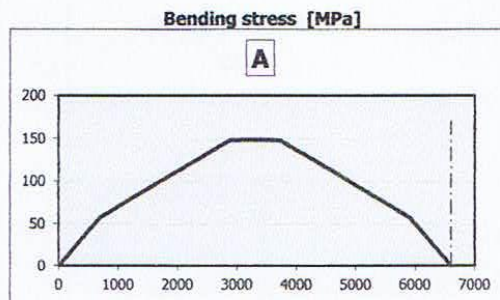
- 2.10 List of materials: Structural steel EC 3, EN 10025; Fe 510 (210000)
- 2.11 Density: γ 7850,0 [kg/m³]
- 2.12 Modulus of elasticity in tension: E 210000 [MPa]
- 2.13 Permissible bending stress: σ_b 213 [MPa]

? Results section

3.0 Calculation results

- 3.1 Support number from left: R1, R2
- 3.2 Reaction in supports: 80191,55, 80191,55 [N]
- 3.3 Bending moment Min. / Max.: Mo 0,00, 142741,26 [Nm]
- 3.4 Beam deflection Min. / Max.: y -22,567, 0,000 [mm]
- 3.5 Bending stress Min. / Max.: σ_b 0, 148,2 [MPa]
- 3.6 Weight of the beam: m 478,3 [kg]
- 3.7 Max. length of the free end (buckling): Lmax 0,0 [mm]
- 3.8 Relative beam deflection Max.: y' 0,342 [%]





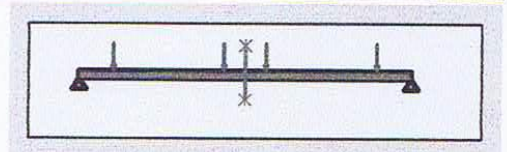
3.9 [mm]

3.10 Move the force no: X= [mm]

4.0 Detailed results

4.1 Requested parameters

4.2 X - coordinate	3300	[mm]
4.3 Bending stress	148,24	[MPa]
4.4 Beam deflection	-22,57	[mm]
4.5 Relative beam deflection	-0,342	[%]
4.6 Bending moment	142741,26	[Nm]
4.7 Rotation	0,000	[°]



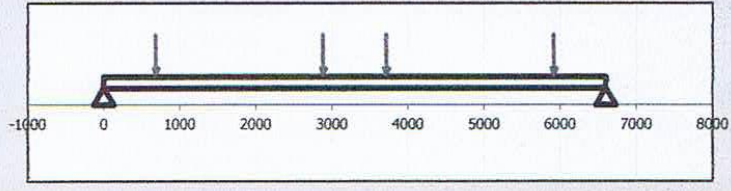
Straight beams with constant cross-section

- i Check lines:3.8;
- ii Project information

Input section

1.0 Beam type, dimensions and loading

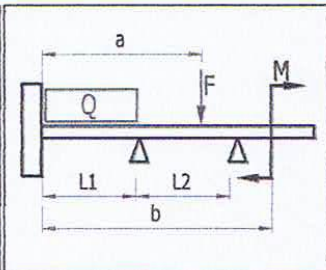
- 1.1 Calculation units
SI Units (N, mm, kW...)
- 1.2 Left beam end
A...Free end
- 1.3 Number of supports between
1
- 1.4 Right beam end
B...Support



1.5 Beam field no:	L1	L2					
1.6 Length of beam field L	0,0	6600,000	2540,0	64516,0	645,2	645,2	[mm]
1.7 Continuous loading Q	0,000	0,000	0,000	0,031	0,000	0,000	[N/mm]
1.8 Field beginning co-ordinates		0,0	6600,0	9140,0	73656,0	74301,2	[mm]

1.9 Beam loading

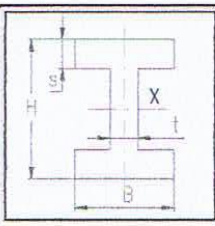
	a [mm]	F [N]	b [mm]	M [Nm]
Force F1 / Moment M1	684,0	43730,0	0,0	0,0
Force F2 / Moment M2	2884,0	43730,0	0,0	0,0
Force F3 / Moment M3	3716,0	43730,0	0,0	0,0
Force F4 / Moment M4	5916,0	43730,0	0,0	0,0
Force F5 / Moment M5	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F6 / Moment M6	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F7 / Moment M7	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F8 / Moment M8	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F9 / Moment M9	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F10 / Moment M10	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F11 / Moment M11	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F12 / Moment M12	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F13	0,0	0,0		
Force F14	0,0	0,0		
Force F15	0,0	0,0		
Force F16	0,0	0,0		
Force F17	0,0	0,0		
Force F18	0,0	0,0		
Force F19	0,0	0,0		
Force F20	0,0	0,0		



- 1,10 Dead weight load No
- 1,11 Other input field for force

2.0 Static values of the profile and material values of the beam

- 2.1 Beam profile
- 2.2 Profile type: 12...I - Section (Calculated)
- 2.3 Profile dimensions: Empty table
- 2.4 User properties of the profile: No
- 2.5 Number of beams abreast: 1
- 2.6 Area: A 9232 [mm^2]
- 2.7 Quadratic moment to the axi: Ix 129996229,3 [mm^4]
- 2.8 Cross-ection bending modulu: Sx 962935,0321 [mm^3]



B	280,00	[mm]
H	270,00	[mm]
s	13,00	[mm]
t	8,00	[mm]

2.9 Beam material

- 2.10 List of materials: Structural steel EC 3, EN 10025; Fe 510 (210000)
- 2.11 Density: γ 7850,0 [kg/m^3]
- 2.12 Modulus of elasticity in tension: E 210000 [MPa]
- 2.13 Permissible bending stress: σ_b 213 [MPa]

Results section

3.0 Calculation results

3.1 Support number from left	R1	R2		
------------------------------	----	----	--	--

3.2 Reaction in supports

87460,00	87460,00				[N]
----------	----------	--	--	--	-----

3.3 Bending moment Min. / Max.

M_0	0,00	156028,64	[Nm]
-------	------	-----------	------

3.4 Beam deflection Min. / Max.

y	-24,631	0,000	[mm]
---	---------	-------	------

3.5 Bending stress Min. / Max.

σ_b	0	162	[MPa]
------------	---	-----	-------

3.6 Weight of the beam

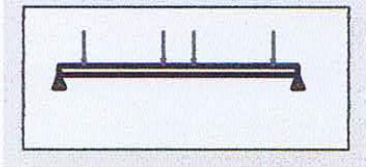
m	478,3	[kg]
---	-------	------

3.7 Max. length of the free end (buckling).

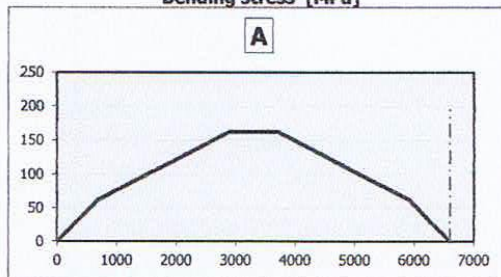
L_{max}	0,0	[mm]
-----------	-----	------

3.8 Relative beam deflection Max.

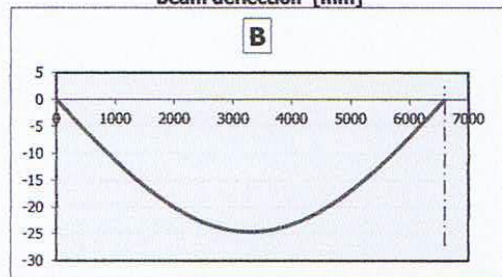
y	0,373	[%]
---	-------	-----



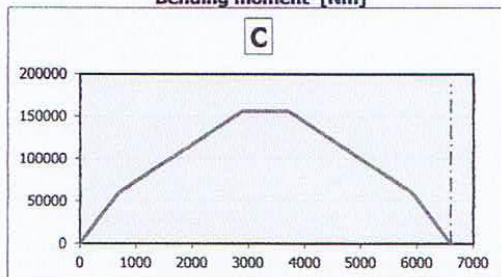
Bending stress [MPa]



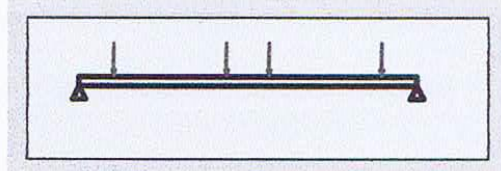
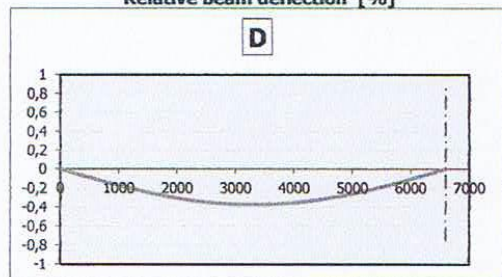
Beam deflection [mm]



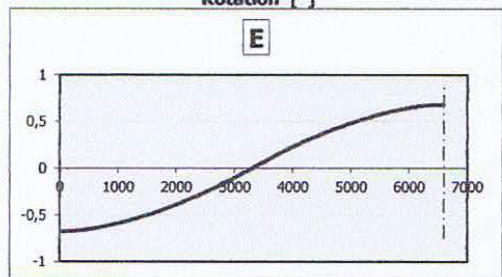
Bending moment [Nm]



Relative beam deflection [%]



Rotation [°]



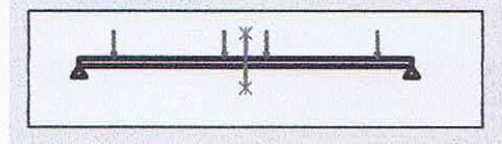
3.9

3.10 Move the force no: X= [mm]

4.0 Detailed results

4.1 Requested parameters

4.2 X - coordinate	3300	[mm]
4.3 Bending stress	162,03	[MPa]
4.4 Beam deflection	-24,63	[mm]
4.5 Relative beam deflection	-0,373	[%]
4.6 Bending moment	156028,64	[Nm]
4.7 Rotation	0,000	[°]



Straight beams with constant cross-section

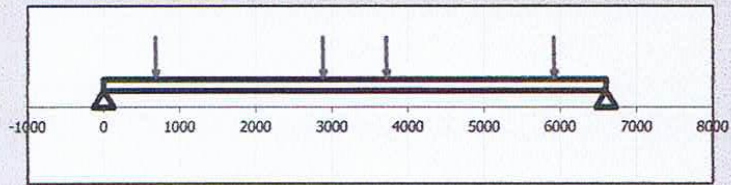
- i Calculation without errors.
- ii Project information

LIITE 7/1

Input section

1.0 Beam type, dimensions and loading

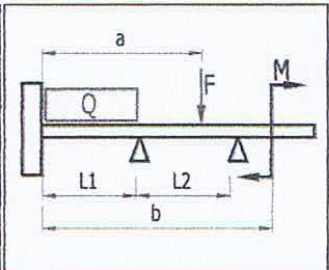
- 1.1 Calculation units
SI Units (N, mm, kW...)
- 1.2 Left beam end
A...Free end
- 1.3 Number of supports between
1
- 1.4 Right beam end
B...Support



1.5 Beam field no:	L1	L2					
1.6 Length of beam field L	0,0	6600,000	2540,0	64516,0	645,2	645,2	[mm]
1.7 Continuous loading Q	0,000	0,000	0,000	0,031	0,000	0,000	[N/mm]
1.8 Field beginning co-ordinates		0,0	6600,0	9140,0	73656,0	74301,2	[mm]

1.9 Beam loading

	a [mm]	F [N]	b [mm]	M [Nm]
Force F1 / Moment M1	684,0	43730,0	0,0	0,0
Force F2 / Moment M2	2884,0	43730,0	0,0	0,0
Force F3 / Moment M3	3716,0	43730,0	0,0	0,0
Force F4 / Moment M4	5916,0	43730,0	0,0	0,0
Force F5 / Moment M5	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F6 / Moment M6	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F7 / Moment M7	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F8 / Moment M8	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F9 / Moment M9	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F10 / Moment M10	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F11 / Moment M11	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F12 / Moment M12	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F13	0,0	0,0		
Force F14	0,0	0,0		
Force F15	0,0	0,0		
Force F16	0,0	0,0		
Force F17	0,0	0,0		
Force F18	0,0	0,0		
Force F19	0,0	0,0		
Force F20	0,0	0,0		

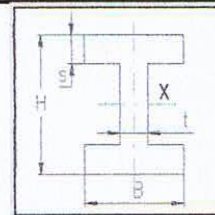


- 1,10 Dead weight load No
- 1,11 Other input field for force

2.0 Static values of the profile and material values of the beam

2.1 Beam profile

- 2.2 Profile type: 12...I - Section (Calculated)
- 2.3 Profile dimensions: Empty table
- 2.4 User properties of the profile: No
- 2.5 Number of beams abreast: 1
- 2.6 Area: A = 10627 [mm²]
- 2.7 Quadratic moment to the axi: Ix = 172845982,3 [mm⁴]
- 2.8 Cross-ection bending modulu: Sx = 1192041,257 [mm³]



B	300,00	[mm]
H	290,00	[mm]
s	14,00	[mm]
t	8,50	[mm]

2.9 Beam material

- 2.10 List of materials: Structural steel EC 3, EN 10025; Fe 510 (210000)
- 2.11 Density: γ = 7850,0 [kg/m³]
- 2.12 Modulus of elasticity in tension: E = 210000 [MPa]
- 2.13 Permissible bending stress: σ_b = 213 [MPa]

Results section

3.0 Calculation results

3.1 Support number from left	R1	R2		
------------------------------	----	----	--	--

3.2 Reaction in supports

87460,00	87460,00			
----------	----------	--	--	--

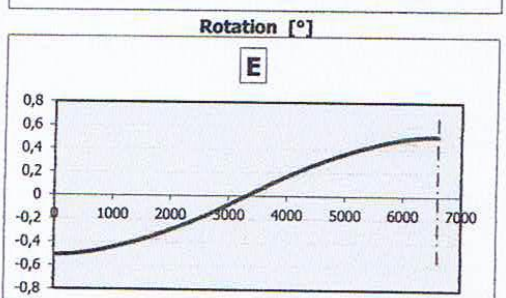
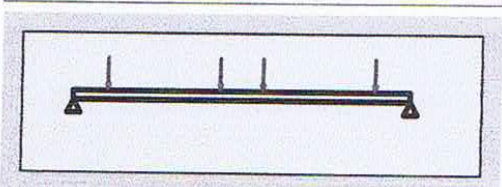
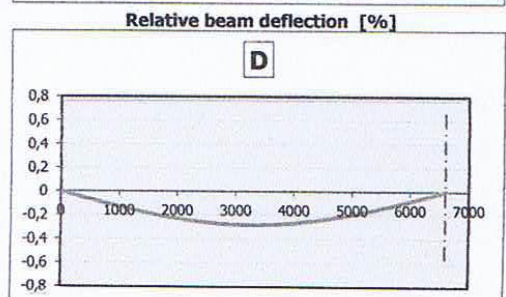
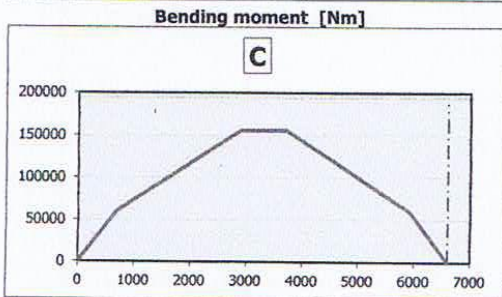
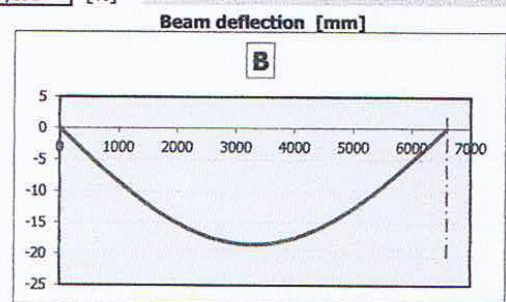
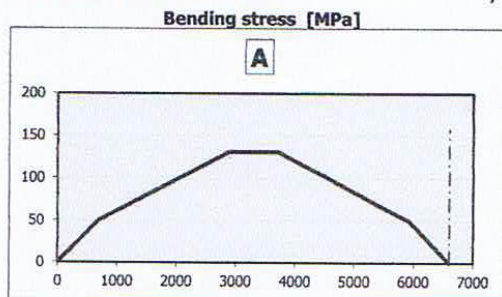
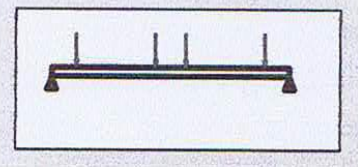
 [N]

3.3 Bending moment Min. / Max.

M_0	0,00	156028,64	[Nm]
y	-18,525	0,000	[mm]
σ_b	0	130,9	[MPa]

3.4 Beam deflection Min. / Max.

m	550,6	[kg]
L_{max}	0,0	[mm]
y'	0,281	[%]



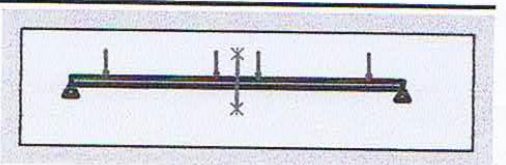
3.9 [mm]

3.10 Move the force no: X= [mm]

4.0 Detailed results

4.1 Requested parameters

4.2 X - coordinate	3300	[mm]
4.3 Bending stress	130,89	[MPa]
4.4 Beam deflection	-18,53	[mm]
4.5 Relative beam deflection	-0,281	[%]
4.6 Bending moment	156028,64	[Nm]
4.7 Rotation	0,000	[°]



Straight beams with constant cross-section

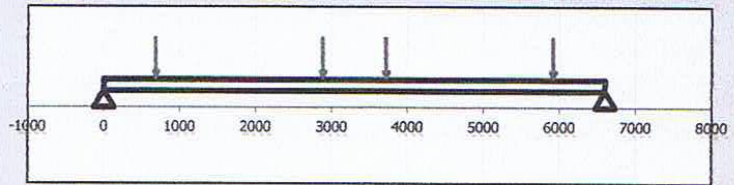
- i Calculation without errors.
- ii Project information

LIITE 8/1

Input section

1.0 Beam type, dimensions and loading

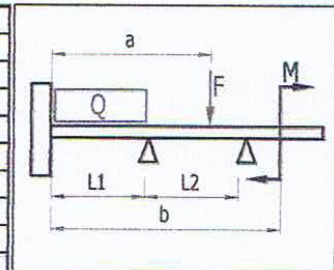
- 1.1 Calculation units
SI Units (N, mm, kW...)
- 1.2 Left beam end
A..Free end
- 1.3 Number of supports between
1
- 1.4 Right beam end
B..Support



1.5 Beam field no:	L1	L2						
1.6 Length of beam field L	0,0	6600,000	2540,0	64516,0	645,2	645,2		[mm]
1.7 Continuous loading Q	0,000	0,000	0,000	0,031	0,000	0,000		[N/mm]
1.8 Field beginning co-ordinates		0,0	6600,0	9140,0	73656,0	74301,2		[mm]

1.9 Beam loading

	a [mm]	F [N]	b [mm]	M [Nm]
Force F1 / Moment M1	684,0	7165,0	0,0	0,0
Force F2 / Moment M2	2884,0	7165,0	0,0	0,0
Force F3 / Moment M3	3716,0	7165,0	0,0	0,0
Force F4 / Moment M4	5916,0	7165,0	0,0	0,0
Force F5 / Moment M5	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F6 / Moment M6	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F7 / Moment M7	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F8 / Moment M8	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F9 / Moment M9	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F10 / Moment M10	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F11 / Moment M11	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F12 / Moment M12	0,0	0,0	0,0	0,0
Force F13	0,0	0,0		
Force F14	0,0	0,0		
Force F15	0,0	0,0		
Force F16	0,0	0,0		
Force F17	0,0	0,0		
Force F18	0,0	0,0		
Force F19	0,0	0,0		
Force F20	0,0	0,0		

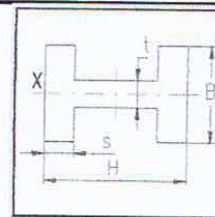


- 1,10 Dead weight load No
- 1,11 Other input field for force

2.0 Static values of the profile and material values of the beam

2.1 Beam profile

2.2 Profile type	11...I - Section (Calculated)	
2.3 Profile dimensions	Empty table	
2.4 User properties of the profile	No	
2.5 Number of beams abreast	1	
2.6 Area	A	9232 [mm ²]
2.7 Quadratic moment to the axi	Ix	47573077,33 [mm ⁴]
2.8 Cross-ection bending modulu	Sx	339807,6952 [mm ³]



B	280,00	[mm]
H	270,00	[mm]
s	13,00	[mm]
t	8,00	[mm]

2.9 Beam material

2.10 List of materials	Structural steel EC 3, EN 10025; Fe 510 (210000)	
2.11 Density	γ	7850,0 [kg/m ³]
2.12 Modulus of elasticity in tension	E	210000 [MPa]
2.13 Permissible bending stress	σ _b	213 [MPa]

Results section

3.0 Calculation results

3.1 Support number from left	R1	R2		
------------------------------	----	----	--	--

3.2 Reaction in supports

14330,00	14330,00			
----------	----------	--	--	--

 [N]

3.3 Bending moment Min. / Max. M_0

0,00	25564,72
------	----------

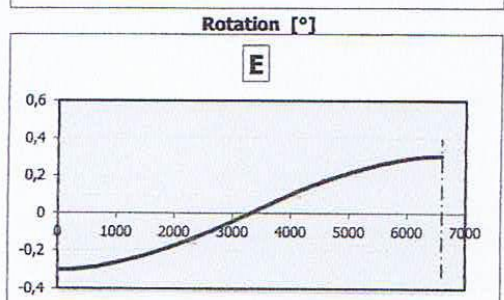
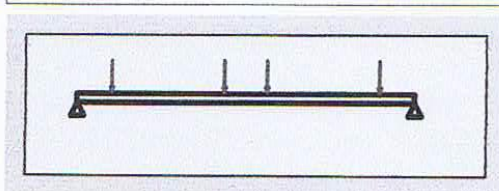
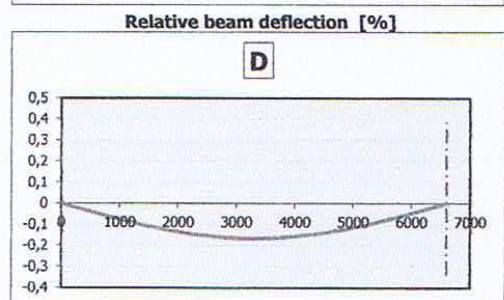
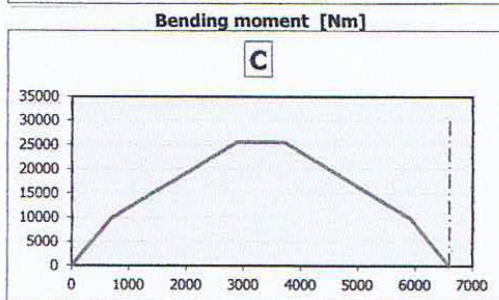
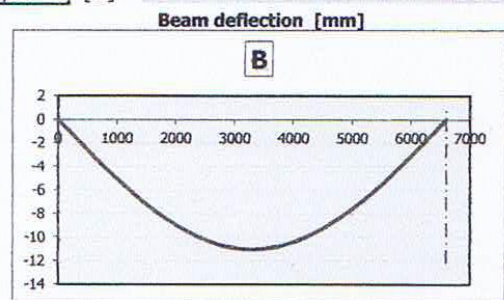
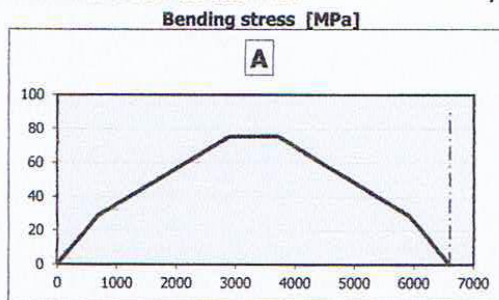
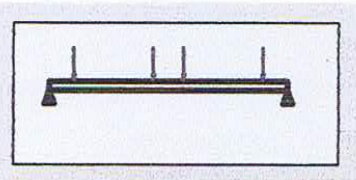
 [Nm]
 3.4 Beam deflection Min. / Max. y

-11,028	0,000
---------	-------

 [mm]
 3.5 Bending stress Min. / Max. σ_b

0	75,2
---	------

 [MPa]
 3.6 Weight of the beam m 478,3 [kg]
 3.7 Max. length of the free end (buckling). L_{max} 0,0 [mm]
 3.8 Relative beam deflection Max. y' 0,167 [%]



3.9 [mm]

4.0 Detailed results

4.1 Requested parameters

4.2 X - coordinate

3300

 [mm]
 4.3 Bending stress

75,23

 [MPa]
 4.4 Beam deflection

-11,03

 [mm]
 4.5 Relative beam deflection

-0,167

 [%]
 4.6 Bending moment

25564,72

 [Nm]
 4.7 Rotation

0,000

 [°]

