

Tuomas Vainio

KULJETINSILTALOHKON MALLINNUSOHJE

Konetekniikan koulutusohjelma

2019

KULJETINSILTALOHKON MALLINNUSOHJE

Vainio, Tuomas
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Konetekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2019
Sivumäärä: 25
Liitteitä: 9

Asiasanat: Ristikko, Siltalohko, 3d-malli, Parametrisointi, Parametrinen

Tämä opinnäytetyön tarkoitus oli tuottaa ohjeistus siltaristikkolohkon mallintamiseen hyödyntäen Autodesk Inventorin Frame Generator -työkalua. Jotta mallia olisi mahdollista hyödyntää tehokkaasti kaikenlaisten ristikkosiltalohkojen mallinnuksessa, mallista tehtiin parametrinen.

Opinnäytetyön esimerkkitapauksessa on tuulikehän sijainti määritelty kolmanteen kokonaiseen solmuväliin ja solmuväli pysyy vakiona koko matkalla selkeyden vuoksi. Ohjetta on mahdollista soveltaa myös monimutkaisempiin ristikoihin.

Ohje on tehty Inventor-ohjelmalle, mutta on sovellettavissa myös muille 3d-mallin-
nusohjelmille.

BRIDGE SECTION MODELLING GUIDE

Vainio, Tuomas

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical Engineering

May 2019

Number of pages: 25

Appendices: 9

Keywords: Truss, Bridge Section, 3d model, Parametrization, Parametric

The purpose of this thesis was to write guide about bridge segment modelling by using Autodesk Inventor program's Frame Generator- tool. To make model efficiently usable in all bridge section modelling, model was parametrized.

To clarify guide wind reinforcement was in third node with full distance and distance between nodes was kept the same. Guide can be used with more complicated trusses too.

Guide was made to be used with Inventor program but can be adapted to be used with other 3d-modelling programs.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	RISTIKKORAKENNE	6
2.1	Periaate.....	6
2.2	Rakenneosat	7
3	PARAMETRISOINTI.....	8
3.1	Tarvittavat parametrit.....	8
3.2	Parametrit sisältävä Excel-taulukko.....	9
3.3	Taulukon liittäminen malliin.....	10
4	MALLINNUS	11
4.1	Skeleton.....	11
4.2	Frame Generator	13
4.2.1	Työkalut	13
4.2.2	Käyttö	17
4.3	Piirustukset.....	17
5	FEM-ANALYYSI.....	18
5.1	Mallin valmistelu analyysiin.....	18
5.2	Kuormitukset ja kiinnitykset.....	20
5.3	Tulokset.....	22
6	YHTEENVETO	23
	LÄHTEET.....	25
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

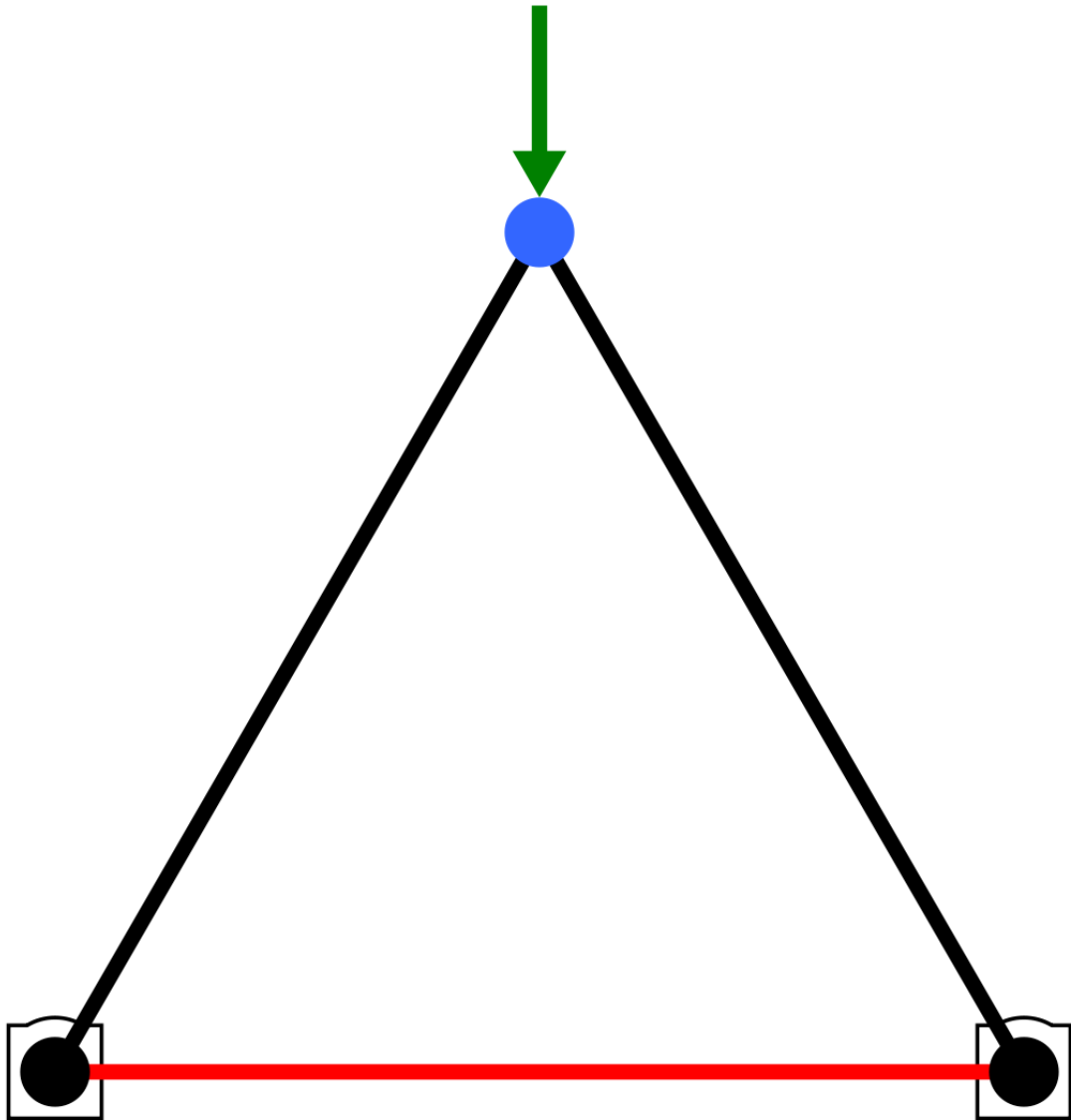
Tässä opinnäytetyössä käsitellään siltaristikon mallintamista ja simulointia. Raportti laaditaan siten, että sitä voi käyttää ohjeena. Opinnäytetyön esimerkkiristikko on täysin keksitty. Se ei edusta mitään olemassa olevaa siltaristikkoa muulta kuin periaatteeltaan. Palkkien koot ja ristikon mitat on mielivaltaisesti päätetty.

Mallintamiseen ja FEM-analyysiin käytetään Autodesk Inventor-ohjelmaa. Lopuksi laaditaan esimerkkipiirustukset.

Ohjeistus on laadittu olettamuksella, että lukijalla on perustiedot ja -taidot mallinnuksesta.

2 RISTIKKORAKENNE

2.1 Periaate



Kuva 1. Ristikon geometrian havainnollistaminen. (Kuva lainattu Wikipediasta)

Ristikossa lujuus perustuu kolmion geometriaan. Kuvassa 1 on kuvattu kolme solmua, kolme sauvaa ja voimavektori. Jos punainen sauva puuttuu, rakenteen lujuus riippuu solmun ja sauvojen taivutuksen vastustuskyvystä. Punainen sauva sitoo alemmat solmut toisiinsa, jolloin ne eivät voi irrota toisistaan, jolloin lujuuden määrittää punaisen sauvan lujuus. (Wikipedia. 2019)

Ristikkorakenteessa rakenneosiin kohdistuu vain aksiaalisuuntaisia voimia ja rakenteelle oleelliset voimat siirtyvät solmukohtien avulla. (Teräsrakenteet. 131.)

Optimaalisessa ristikossa on mahdollisimman vähän sauvoja, joista niin moni kuin mahdollista on samanpituisia ja poikkileikkaukseltaankin samanlaisia. Tämän tavoittelu johtaa käyttämään tasakorkuista ristikkoo. (Teräsrakenteet. 222)

2.2 Rakenneosat

Ristikkorakenteessa on viisi eriosaa:

1. Yläpaarre
2. Alapaarre
3. Diagonaalit
4. Vertikaalit
5. Horisontaalit

Ylä- ja alapaarre ovat yleensä ristikon suurimmat palkit, jotka sijaitsevat ristikon ylä- ja alareunoissa nimensä mukaisesti. Paarteet muodostavat rangon, johon diagonaalit, vertikaalit ja horisontaalit kiinnitetään.

Vertikaalit ovat ylä- ja alapaarteiden välissä kohtisuorasti kulkevia palkkeja. Vertikaalien tehtävä on ottaa vastaan ylös-alas-suuntaisia voimia.

Horisontaalit yhdistävät kaksi ristikkoo toisiinsa vaakatasossa, itse ollen kohtisuorassa ristikkoon nähden. Horisontaalien tehtävä on vastaanottaa oikea-vasen-suuntaisia voimia.

Diagonaalit sijaitsevat kulmittain kahden vertikaalin tai horisontaalin välissä. Diagonaalin tarkoitus on jäykistää rakenne suuntansa mukaisesti.

3 PARAMETRISOINTI

3.1 Tarvittavat parametrit

	A	B	C
5	korkeus	400 mm	
6	leveys	400 mm	
7	Ristikon		
8	korkeus	1750 mm	
9	leveys	2500 mm	
10	Offset-huomioituna		
11	korkeus	2150 mm	
12	leveys	2900 mm	
13	Pituus	17500 mm	
14	Vapaamitta ennen solmuja	500 mm	
15	tehollinen pituus	15375 mm	
16	Solmuväli	2200 mm	
17	solmujen määrä	6,988636 kpl	
18	solmujen määrä pyöristetty	7 kpl	
19			
20	Kohtisuorat putket		
21	korkeus	150 mm	
22	leveys	150 mm	
23	Diagonaalit		
24	korkeus	150 mm	
25	leveys	150 mm	
26	Tuulikehä		
27	korkeus	250 mm	
28	leveys	250 mm	
29	Putkien väli	20 mm	
30	Ensimmäinen väli	1125 mm	
31			

Kuva 2. Esimerkki Excel-taulukkoon kootuista ristikon ominaisuuksista.

Mallin rautalankamallin säätöön esimerkkitapauksessa käytettiin 14 eri parametria, jotka on liitetty malliin, mutta parametreja ohjataan 17 eri arvolla. Kuvassa 2 näkyvässä Excel-taulukon välilehdessä vihreisiin soluihin annetaan ristikon halutut mitat. Palkkien mitat vaaditaan, jotta rautalankamallin mitat vastaavat valmiin mallin keskiviivoja. Se, että rautalankamalli vastaa keskiviivoja, ei ole välttämätöntä, mutta helpottaa työtä, koska silloin palkki menee aina oikealla paikalle.

Rautalankamallin korkeusparametrin arvo saadaan seuraavasta yhtälöstä,

$$Y_1 = Y_2 + \frac{Y_3}{2} + \frac{Y_4}{2}$$

jossa Y_1 =parametrin arvo, Y_2 =haluttu korkeus, Y_3 =yläpaarteen korkeus ja Y_4 =alapaarteen korkeus. Ylä- ja alapaarteiden arvot käsitellään erikseen, jotta on mahdollista käyttää keskenään erikokoisia paarteita. Paarteiden korkeudet on jaettu kahdella, jotta saadaan profiilin keskilinjan sijainti.

Rautalankamallin leveysparametrin arvo saadaan seuraavasti,

$$X_1 = X_2 + \frac{X_3}{2} + \frac{X_4}{2}$$

jossa X_1 =parametrin arvo, X_2 =haluttu leveys, X_3 =yläpaarteen leveys ja X_4 =alapaarteen leveys. Kuten korkeudessakin, paarteet käsitellään erikseen, jotta on mahdollista käyttää erikokoisia paarteita. Paarteiden leveydet on jaettu kahdella, jotta saadaan profiilin keskiviivan sijainti.

3.2 Parametrit sisältävä Excel-taulukko

	A	B	C
1	korkeus	2150 mm	
2	leveys	2900 mm	
3	pituus	17500 mm	
4	pääty	500 mm	
5	solmu	2200 mm	
6	kpl	7 ul	
7	pysty	150 mm	
8	diag	150 mm	
9	tuuli	250 mm	
10	paarre1	200 mm	
11	paarre2	200 mm	
12	väli	20 mm	
13	ensimmäinen	1125 mm	
14	paarre3	200 mm	

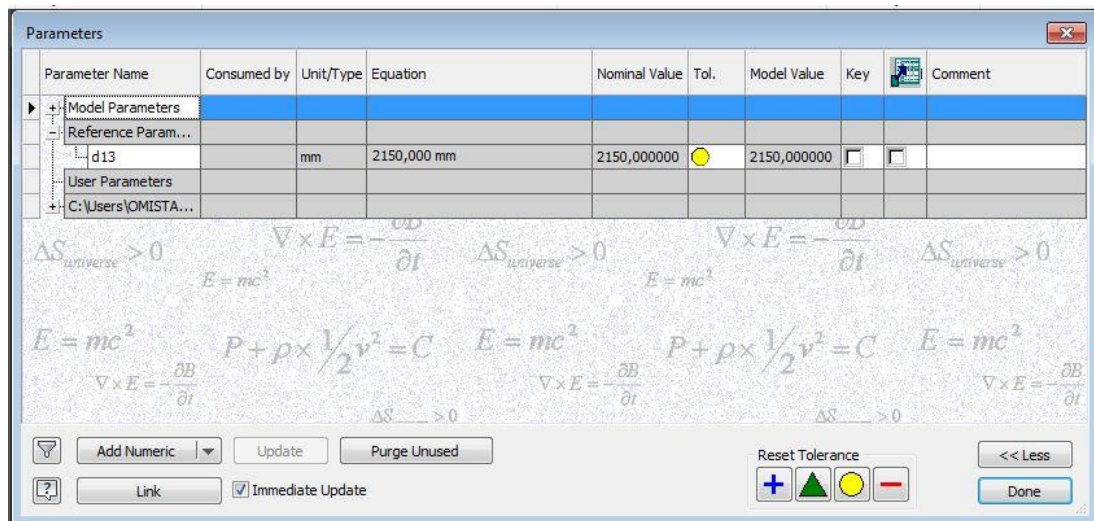
Kuva 3. Parametrista Excel-taulukon ensimmäisellä välilehdellä.

Parametrit listataan kuvan 3 esimerkin mukaisesti. A-sarakkeeseen sijoitetaan sen parametrin nimi, jota käytetään Autodesk Inventor -ohjelman puolella. Nimet voi vapaasti valita. B-sarakkeeseen haetaan kuvassa 1 esitetyn Excel-taulukon toiselta välilehdeltä arvot parametreille. C-sarakkeeseen määritellään parametrin mittayksikkö.

3.3 Taulukon liittäminen malliin

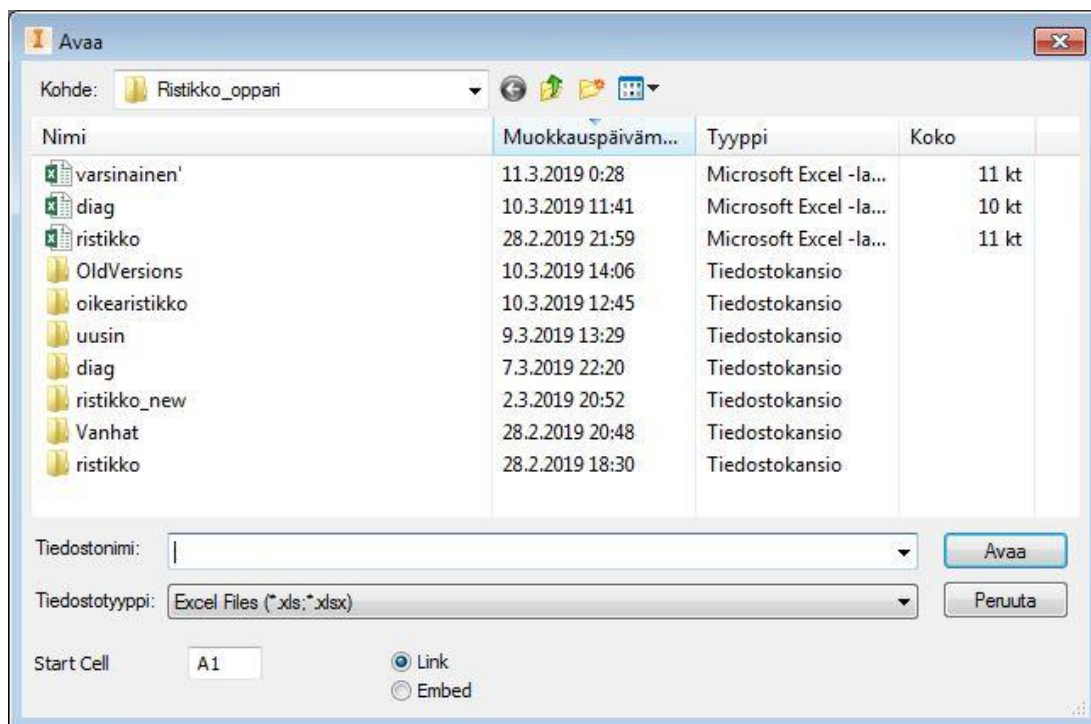
Parametrit sisältävän Excel-taulukon liittäminen tapahtuu Inventorin Manage-välilehdellä kohdasta Parameters, josta aukeaa kuvan 4 mukainen ikkuna.

Parameters-ikkunassa otetaan ”Immediate Update” käyttöön ja klikataan Link-painiketta.



Kuva 4. Parameters-ikkuna, jossa näkyy mallin parametrilista.

Link-painikkeen painamisen jälkeen aukeaa ikkuna, joka on esitetty kuvassa 5. Siinä osoitetaan liitettävä Excel-taulukko, luennan aloitus solu ja se onko toimenpide ”linked” vai ”embed” (linkitetty vai upotettu). Linkitetty Excel-taulukko ohjaa kaikkia liitettyjä malleja. Upotettu ohjaa vain liitetty mallia, joka on osoitettu aktiiviseksi. (Autodesk www-sivut 2019)

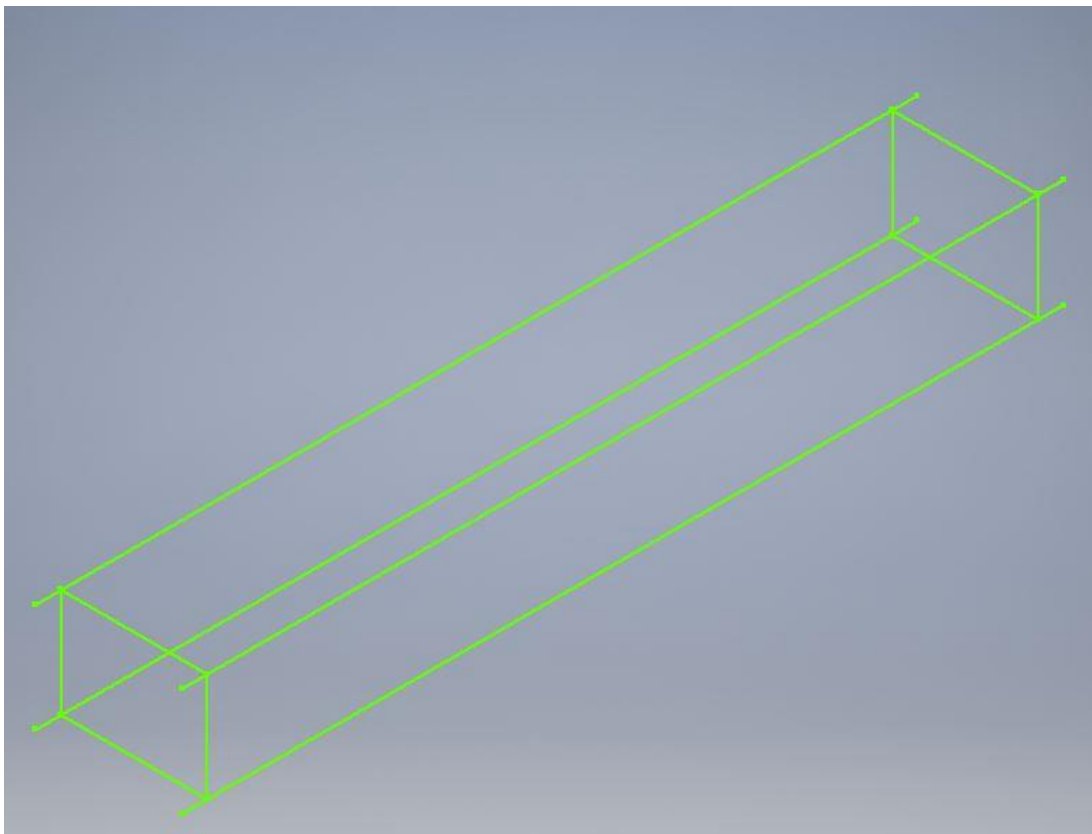


Kuva 5. Taulukon valintaikkuna

4 MALLINNUS

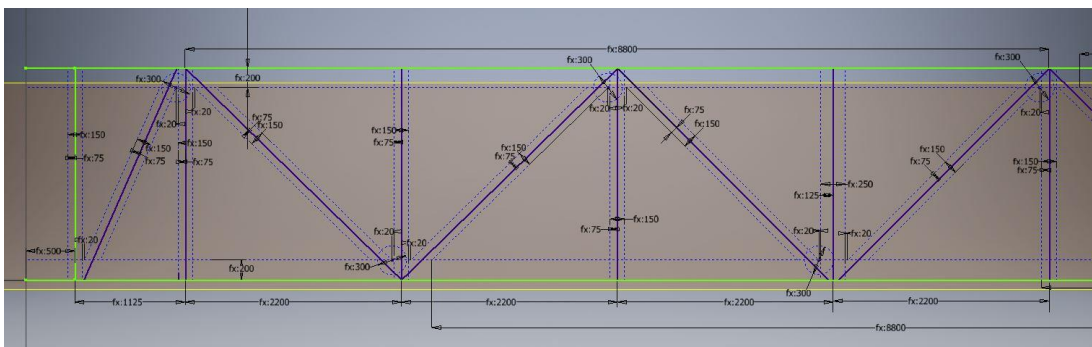
4.1 Skeleton

Skeleton on ristikön yksinkertaistettu niin sanottu ”rautalankamalli”, joka toimii ristikön mallinnuksen pohjana. Mallinnetaan yksi skeleton, jota voidaan hyödyntää useissa eri ristiköissä käyttäen Save Copy as -komentoa.



Kuva 6. Skeletonin 3d-sketsi.

Skeletonin mallinnus aloitetaan mallintamalla 3d-sketsiin neljä suoraa, joiden pituudeksi määritetään parametri, joka sisältää ristikon pituuden. Suorien väliin mallinetaan vertikaaleja ja horisontaaleja kaksi kappaletta kumpaakin. Vertikaalin pituudeksi määritellään ristikon korkeuden parametri, horisontaalin pituudeksi ristikon leveyden parametri ja lisäksi edellä mainitut paikoitetaan paarteiden päästä ”hännän” pituus parametrilla. Sama toistetaan myös toiseen päähän. Esimerkki 3d-sketsistä löytyy kuvasta 6.



Kuva 7. Sivuristikon 2d-sketsi

Sivuristikon mallinnuksessa luodaan work plane 3d-sketsin toiselle sivulle. Luodulle work planelle aloitetaan 2d-sketsi, johon mallinnetaan ensimmäiset neljä täyttä solmuväliä ja ensimmäinen solmuväli, jolla sovitetaan solmuväli ristikon pituuteen sopivaksi. Sketsiin mallinnetaan paarteiden, vertikaalien ja diagonaalien todellinen pinta käyttäen Offset-komentoa, missä arvoina käytetään palkkien parametrejä. Todellinen pinta muutetaan apuviivaksi ja keskiviiva jätetään normaaliksi.

Vertikaalien ja diagonaalien väliin on määritelty mitta, joka mallinnetaan piirtämällä suora alkamaan halutun etäisyyden päähän vertikaalista. Toiseen päähän mallinnetaan ympyrä, jonka säde on sama kuin diagonaalin profiilin korkeus ja keskipisteen etäisyys vertikaalista sama parametri kuin toisessakin päässä. Ensin mallinnettu suora liitetään ympyrään tangentiksi, jolloin sen ja välimitan väliin muodostuu aina suorakulma. Mallinnetusta viivasta otetaan Offset-komennolla keskiviiva ja toinen ulkopinta. Ulkopinnat ja ympyrä määritellään apuviivoiksi. Esimerkki sketsistä näytetään kuvassa 7.

Kolmanteen kokonaiseen solmuväliin sijoitetaan tuulikehä, joka on rajumpaa palkkia, kuin muut vertikaalit ja horisontaalit. Tuulikehään kiinnitetään jalat, jolloin sen on oltava lujempi kuin normaalin solmuvälin.

Loppu pystyristikko on mahdollista mallintaa käyttäen Rectangular Pattern-komentoa, jossa kappalemääräksi annetaan solmuvälien lukumäärä sopivalla korjauksella ja etäisyydeksi solmuväli sopivalla korjauksella.

Avataan Excel-taulukko ja haetaan vajaata ja täysiä solmuvälejä muuttamalla diagonaalien kulma kohdalleen, jotta viimeiseen solmuväliin on mahdollista mallintaa diagonaali.

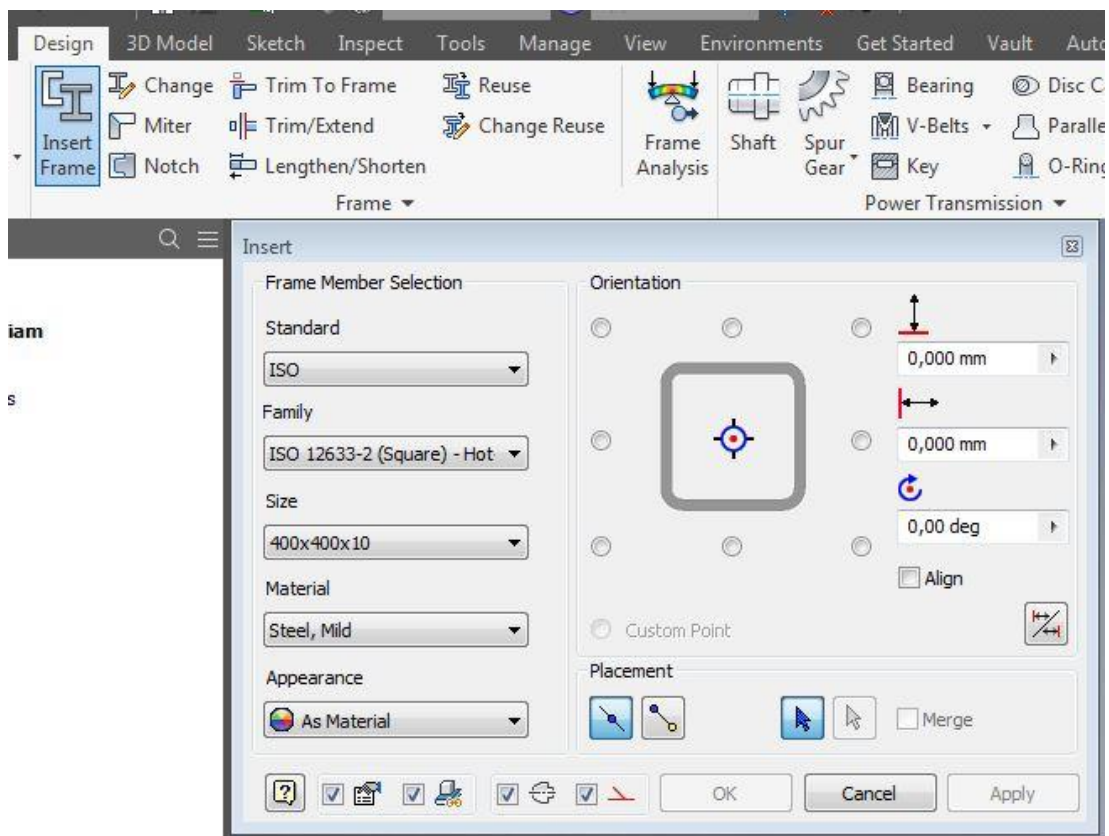
Toinen pystyristikko mallinnus on nopeampaa, koska tarvitsee vain luoda work plane oikeaan kohtaan, aloittaa 2d-sketsi luodulla work planella ja projisoida Project Geometry-käskyllä keskiviivat.

Ala- ja yläristikot mallinnetaan samalla periaatteella, mutta valmiin puolen geometriaa ei voi projisoida, koska diagonaalit ovat peilikuvana toisessa.

4.2 Frame Generator

4.2.1 Työkalut

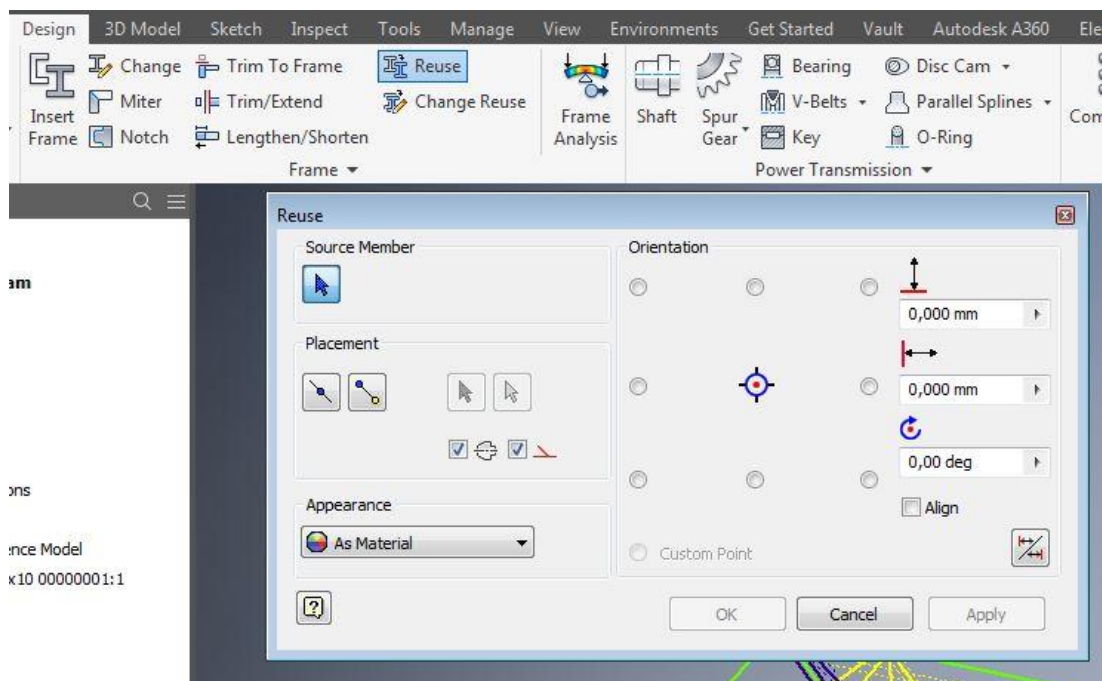
Insert Frame -komennolla skeletoniin liitetään palkki. Kuvassa 8 on esitetty palkin valintaikkuna, jossa valitaan palkin standardi, koko, materiaali ja se mistä kohtaa ohjelma liittää sen skeletoniin.



Kuva 8. Insert Frame -komennon asetusikkuna.

Asetusten määrittelyn jälkeen valitaan vain skeletonin suora, jonka tilalle palkki halutaan ja klikataan ok tai apply. Applyä käytetään, jos kerralla asetetaan suurempi määrä palkkeja. Ohjelma ajaa samat toiminnot läpi kuin ”ok:lla”, mutta ei sulje asetusikkunaa.

Reuse -komentoa käytetään, kun mallissa on useita saman geometrian omaavia palkkeja. Reusea käyttämällä ei luoda turhaan saman geometrian omaavia, mutta erinimisiä palkkeja.



Kuva 9. Reuse-komennon asetussikkuna

Reuse-komennossa on mahdollista määrittää palkin sijainti skeletonin suoraan nähdessä samalla tavalla kuin Insert Frame -komennossa. Komennot toimivat samalla periaatteella.

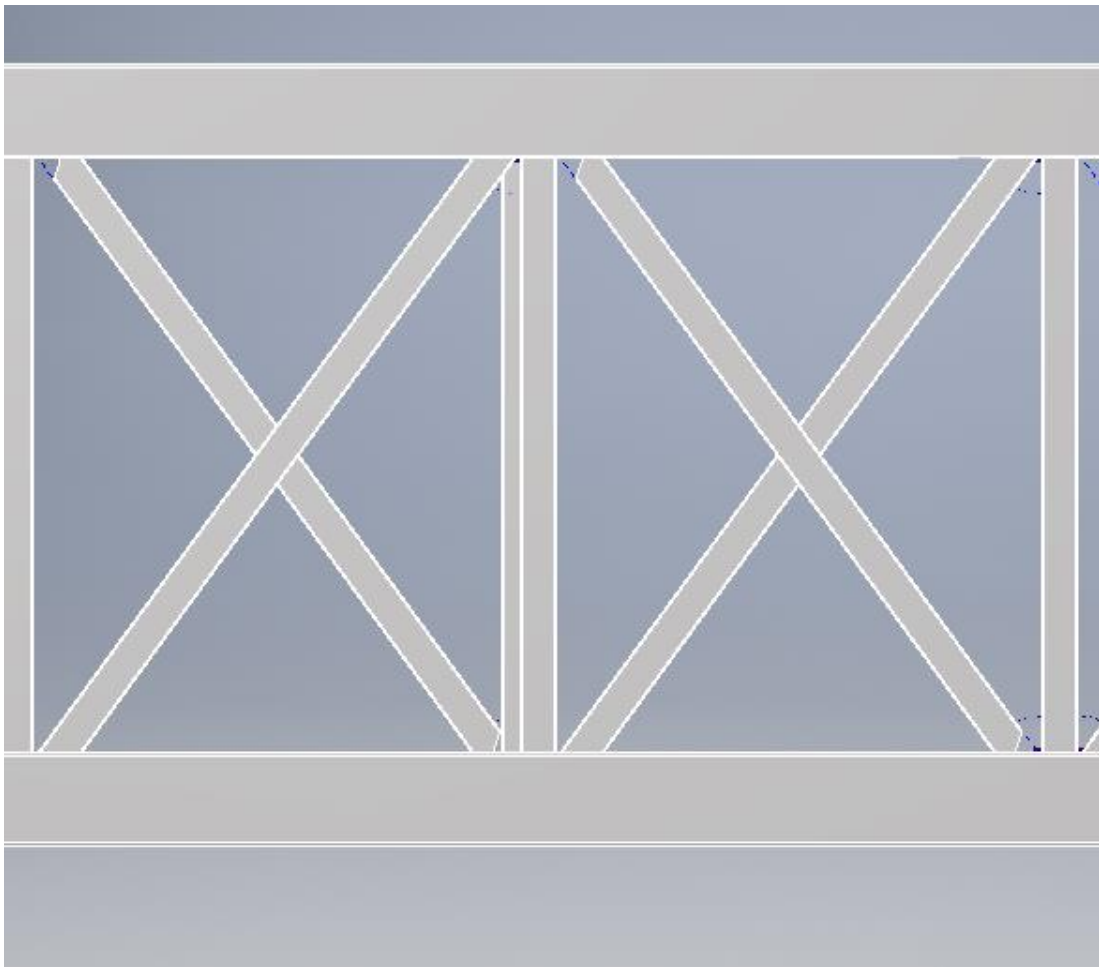
Frame generator -toiminto sisältää erilaisia trimmaustyökaluja:

Miter-komennolla sovitetaan kahden palkin välinen kulmaliitos, jossa molemmat päät ovat kulmassa. Karkea esimerkki on leikata suora putki 45 asteen kulmassa poikki ja kääntää puoli kierrosta. Tällöin syntyy 90 asteen mutka. Palkkien päiden väliin on mahdollista myös jättää ilmarako.

Notch-komennolla sovitetaan palkki toiseen palkkiin loveamalla siten, että vain toisesta palkista poistetaan materiaalia. Notch-komento tekee tiukan kolmiuloitteisen sovituksen palkin päähän, josta on mahdollista mallintaa levityskuva. Ensin valitaan muokattava palkki ja toisena se, jonka pintaan sopivaksi pää muotoillaan.

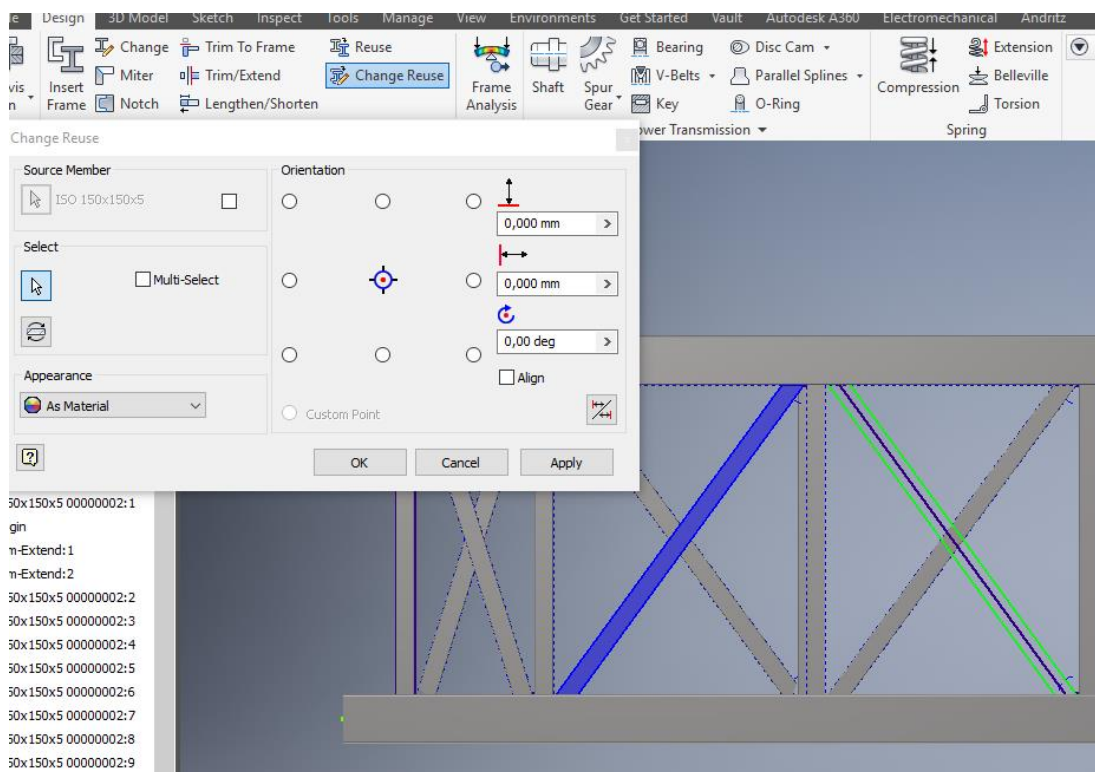
Trim/Extend-komennolla palkki voidaan katkaista tai jatkaa toisen palkin pintaan. Ensin valitaan muokattava palkki, seuraavaksi toisen palkin se pinta, johon halutaan katkaista tai jatkaa. Palkkien väliin on myös mahdollista jättää ilmarako.

Trimmauksen jälkeen palkki edelleen voidaan siirtää samanpituisten suoran tilalle, mutta on huomioitava, että profiili voi käännyä väärinpäin kuten kuvassa 10.



Kuva 10. Vierekkäiset diagonaalit ovat geometrialtaan samanlaiset, mutta Reuse-komento on laittanut seuraavan väärinpäin.

Väärinpäin kääntynyt palkki voidaan kääntää oikein käyttämällä Change Reuse-komentoa. (kuva 11.) Palkki käännetään muuttamalla kulmaksi tarpeen vaativa kiero-kulma, esimerkkitapauksessa se on 180 astetta.



Kuva 11. Palkinkääntö oikeinpäin Change Reuse-komennolla.

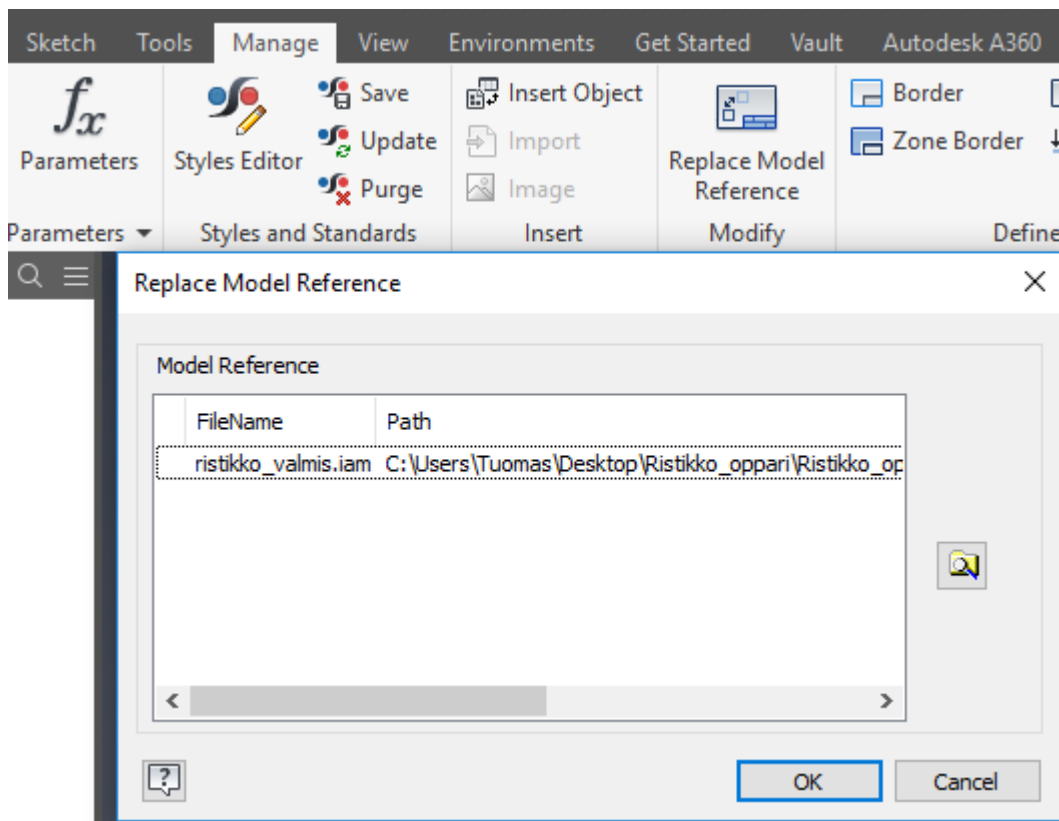
4.2.2 Käyttö

Frame generatorin käyttö aloitetaan mallintamalla skeleton, joka on käsitelty kappaleessa 3.1. Luodaan uusi kokoonpano, johon mallinnettu skeleton tuodaan. Skeletoniin liitetään palkit Insert Frame -komennolla kappaleen 3.2.1 ohjeen mukaisesti. Kun malliin on liitetty yksi kunkin geometrian omaavaa palkkia, trimmataan palkki paikkaansa sopivaksi tilanteeseen parhaiten soveltuvalla työkalulla. Trimmauksen käytetään palkit uudelleen Reuse-komennolla, jottei synny keskenään samanlaisia mutta erinimisiä palkkeja. Reuse-komennolla kannattaa palkki uudelleen käyttää kahdessa ryhmässä, ensin lähtöpalkin kanssa samoinpäin olevat, toisena peilikuvat, jotka voidaan suoraan kääntää oikein pain.

4.3 Piirustukset

Tarvittavat piirustukset ovat: ristikon kokoonpanopiirustus ja palkkien piirustukset, esimerkkiristikossa yhteensä seitsemän kappaletta. Kun piirustukset ja malli on tehty oikein, voidaan niitä hyödyntää seuraavassa osassa käyttäen Save Copy As -komentoa.

Mallista ja piirustuksesta tallennetaan kopio uudella nimellä, jolloin kopiosta voidaan muokata uusi osa. Piirustukseen voidaan vaihtaa malli, johon piirros viittaa Replace Model Reference -komennolla, joka on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Mallin vaihto piirustukseen.

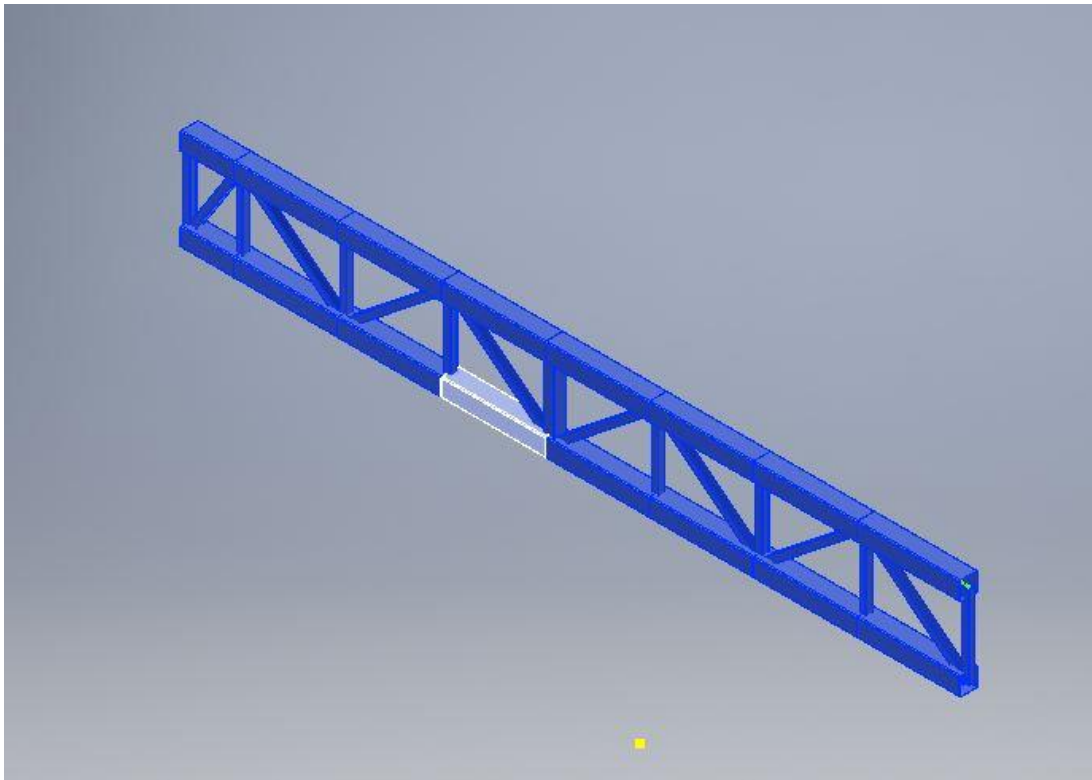
Malliviittauksen muutoksella kuvantoihin vaihtuu uusi malli, mutta mitat säilyvät. Mitat pitää tarkastaa ja järjestellä uudelleen. Mitat seuraavat mallin muutoksia, kunhan mallin muoto pysyy samankaltaisena.

5 FEM-ANALYYSI

5.1 Mallin valmistelu analyysiin.

Pystyristikon analysointia varten mallinnetaan pystyristikon malli ideaaliristikkona, jossa kaikki sauvat menevät samoihin solmuihin. Ideaaliristikossa kuormitukset kohdistuvat vain solmuihin. Kuvassa 13 on esitetty miten pystyristikko muutetaan

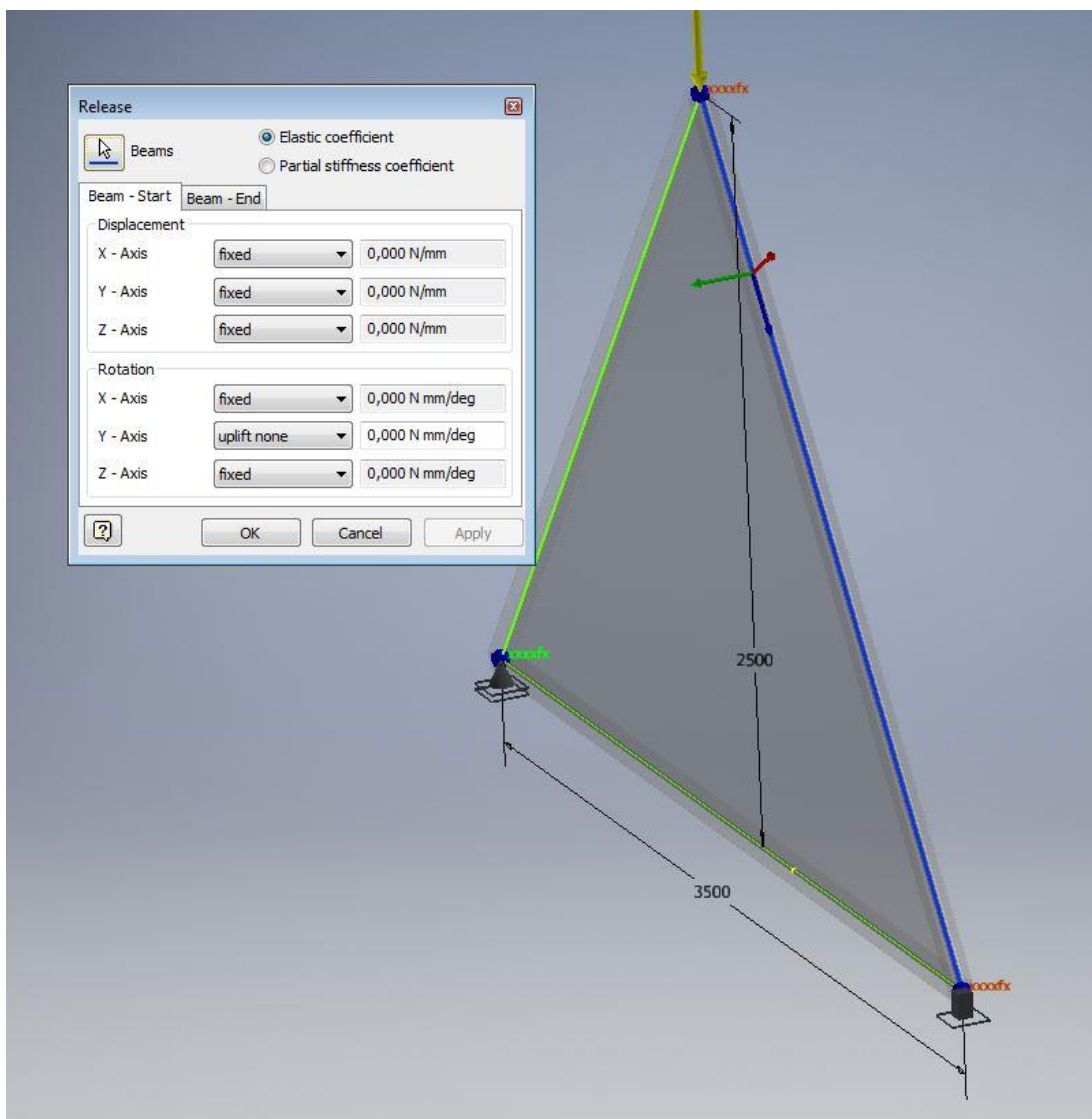
ideaaliristikoksi. Paarteet on jaettu yksittäisiksi sauvoiksi, jotta ohjelma osaa käsitellä rakenteen ristikkona. Diagonaalit on siirretty vertikaalien kanssa samaan solmuun samasta syystä.



Kuva 13. Pystyristikko mallinnettuna FEM-analyysia varten ideaaliristikkona.

Oletusasetuksella Frame Analysis luo jokaisen palkin väliin jäykät liitokset, jotka pitää poistaa tai suppressoida, jotta rakenne voidaan käsitellä ristikkona. Asetus löytyy Frame Analysis Settings -kuvakkeesta aukeavasta ikkunasta Beam Model -välilehdeltä.

Jotta Frame Analysis laskisi ristikon ristikkona, eikä palkkeina, tarvitsee jokaisen palkin vapausasteista vapauttaa haluttu kiertoakseli. Kuvassa 14 on esitetty yksinkertainen ristikko ja vapausasteen määräys.



Kuva 14. Vapausasteiden määrääminen Release-työkalulla.

Kuvan 14 esimerkkiristikossa vapautettava kiertymisakseli on y. Suunnat määritellään palkin koordinaatiston mukaan. Palkin koordinaatiston suunnat ovat näkyvissä palkissa. Palkin molemmista päistä vapautetaan sama vapausaste. Toimenpiteen jälkeen Frame Analysis käsittelee palkit sauvoina, joihin kohdistuu vain aksiaalisuuntaisia voimia.

5.2 Kuormitukset ja kiinnitykset

Esimerkkiristikko on 2900mm leveä, 1750mm korkea ja 17 500mm pitkä. Ristikon sisällä on 2500mm leveä kuljetinhihna.

Siltaristikon päällä on 3270mm leveä ja 17 500mm pitkä kattopelti, johon lumikuorma kohdistuu. Siltaristikon sivuja ei ole katettu, jolloin tuuli ei aiheuta merkittäviä kuormituksia, joten tuulikuormia ei tarkastella.

Ristikon fem-analyysissä kuormitukset ovat rakenteen itsensä paino, lumi- ja tuulikuormat sekä hinnalla olevan materiaalin painosta aiheutuva kuorma.

Ristikon tukivoimat sijaitsevat tuulikehän alanurkissa ja kaikkien neljän paarten molemmissa päissä. Kaikissa kiinnityspisteissä on sallittu kiertymät ja muut vapausasteet on lukittu.

Lumikuorman suuruus saadaan kaavasta:

$$A \times EC = F$$

jossa A=ristikon kattopellin pinta-ala, EC=lumikuorman suuruus ja F=kuorman suuruus kokonaisuudessa. Ristikossa on yhdeksän horisontaalisuuntaista sauvaa, jolloin yhteen solmuun kohdistuva voima saadaan kaavasta:

$$\frac{F}{9} = F_2$$

missä kokonaisvoima jaetaan solmujen lukumäärällä. Esimerkissä käytetty kuvitteellinen ristikko sijaitsee Eurassa, jossa lumikuorman suuruus on 2,10 kN/m². (Pohri.fi)

Kuljetinmaton kuorman aiheuttaman kuormituksen suuruus saadaan kaavasta:

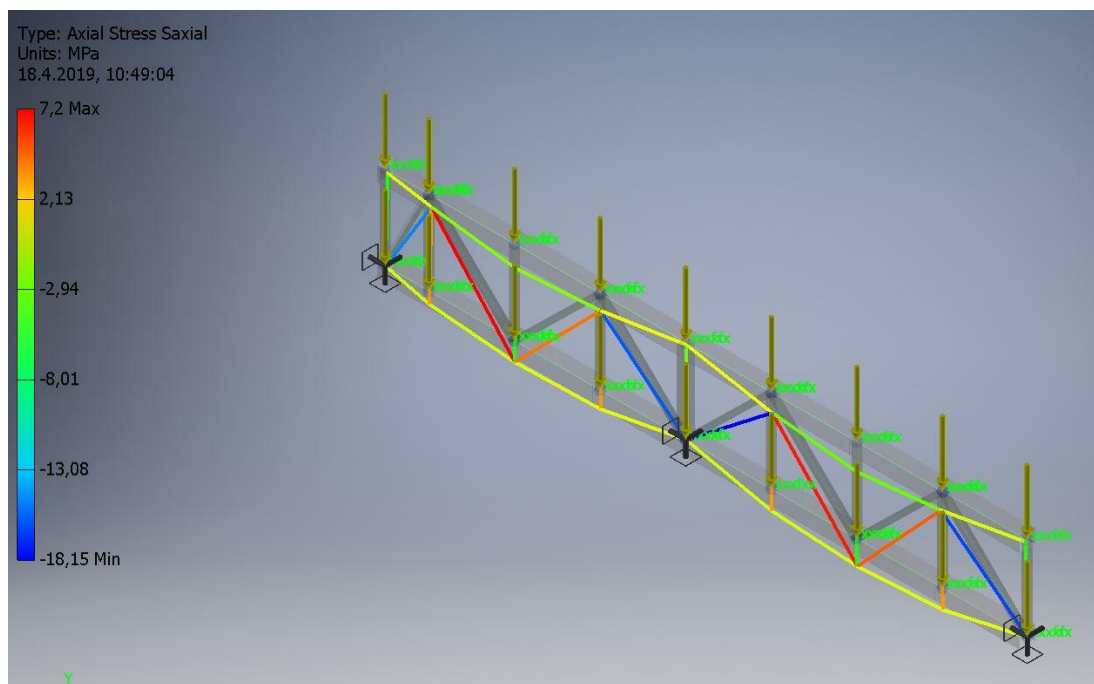
$$A \times H \times \rho \times g = F$$

jossa A=kuvitteellisen maton pinta-ala, H=tuotekerroksen paksuus matolla ja ρ =tuotteen tiheys, g =putoamiskiihtyvyys 9,81 m/s² ja F=kuorman suuruus kokonaisuudessa. Tämä ei täysin vastaa todellisuutta, mutta päästään riittävään tarkkuuteen, koska kyseessä on periaatteen esittely. Tuotekuorma kohdistetaan lumikuorman tavoin horisontaalisuuntaisten sauvojen solmuihin. Tuotteen tiheytenä käytetään mielivaltaisesti 1000 kg/m³ ja tuotekerroksen paksuudeksi 200mm.

Lumikuorma	120 173 N
Lumikuorma solmua kohden	13 353 N
Tuotekuorma	85 838 N
Tuotekuorma solmua kohden	9538 N

Taluks 1. Kuormitusten arvot

5.3 Tulokset



Kuva 15. Ristikon aksiaaliännitykset: maksimipuristus 7,20 MPa, maksimiveto 18,15 MPa.

Ristikon rakenne on kuormitukseen nähden ylimitoitettu.

Käytettäessä S355-terästä ja 2-varmuuskerrointa suurin sallittu jännitys on 175 MPa. Suurin toteutunut jännitys on 18,15 MPa.

Nurjahdusvoiman suuruus saadaan seuraavasti:

$$F_n = \frac{\pi^2 \times E \times I}{L^2}$$

F_n =nurjahdusvoima

E =Kimmokerroin

I =Jäyhyysmomentti

Jäyhyysmomentin laskenta:

$$I_z = \left(\frac{b_1 h_1^3}{12} - \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12} \right)$$

L = sauvan pituus

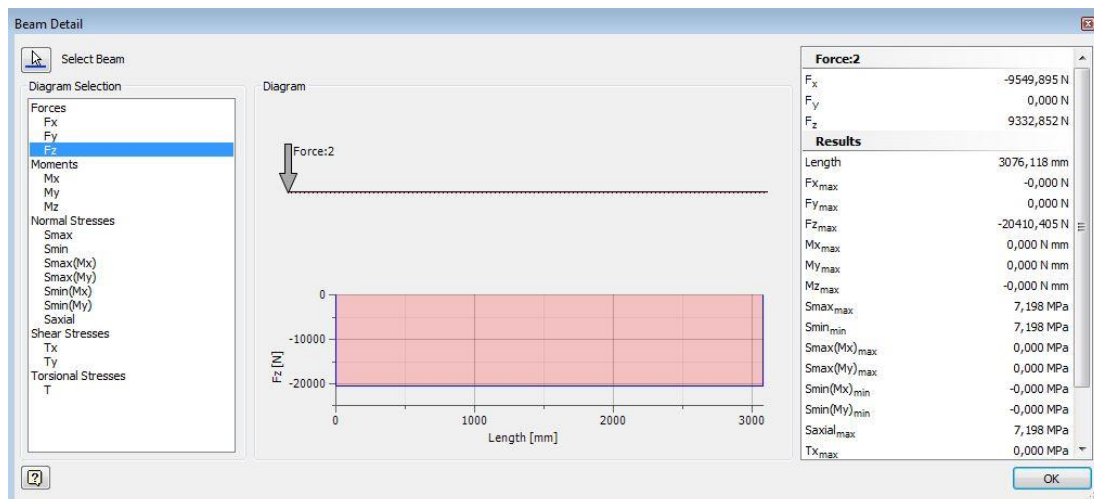
b_1 =palkin leveys

y_1 =palkin korkeus

b_2 =palkin sisäleveys

y_2 =palkin sisäkorkeus

Tulokseksi saadaan F_n on 2227,50 kN.



Kuva 16. Suurimman kuormituksen sauvaan kohdistuva voima on 20 kN.

Sauvan maksiminurjahdusvoima on 2227,75 kN, jolloin käyttäessä 2-varmuuskerrointa, suurin sallittu nurjahdusvoima on 1113,88 kN. Sauvaan kohdistuu 20 kN aksiaalivoima, joten sauva ei nurjahda.

Laskut on esitetty liitteessä 1.

6 YHTEENVETO

Ristikon mallinnus aloitettiin keräämällä tarvittavat parametrit Excel -taulukoon ja luomalla taulukoon tarvittavat laskutoimitukset. Tarpeellisten parametrien löytämisen helpottamiseksi käytettiin paperille tehtyä hahmotelmaa ristikosta.

Parametristan luomisen jälkeen skeletoniin mallinnettiin paarteet käyttäen 3d-sketsiä. Pysty- ja vaakaristikot mallinnettiin paarteiden väliin 2d-sketseinä, koska silloin voi Rectangular Pattern -komennolla monistaa vertikaalit/horisontaalit ja diagonaalit. Valmiiseen skeletoniin liitettiin Insert Frame -komennolla palkit, jotka hyödynnettiin mahdollisuuksien mukaan Reuse -komennolla. Palkit trimmattiin paikkoihinsa sopiviksi.

Fem-analyysia varten pystyristikosta mallinnettiin ideaaliristikko. Mallin palkeista vapautettiin kiertoliike palkkien molemmista päistä, jotta rakenne käsitellään ristikkona. Malli kiinnitettiin tuulikehän alasolmuista ja alapaarteen päistä. Kiertymä vapautettiin ja muut vapausasteet lukittiin. Fem-analyysiin lisättiin lumen ja tuotteen aiheuttamat kuormitukset, jotka sijoitettiin solmukohtiin.

Lopuksi fem-analyysin tulokset analysoitiin ja suoritettiin nurjahdustarkastus suurimman jännityksen saualle.

Lopuksi tehtiin kokoonpanopiirustus ja piirustukset palkeista.

Ohjeessa ei käsitelty tuulikuormia, koska tuuli ei aiheuta itse ristikkorakenteeseen huomattavaa painetta. Tuulen aiheuttamat voimat kohdistuvat sillan jalkoihin ja päiden kiinnityspisteisiin, sekä kiertävät ristikköä.

Ohjetta voi kehittää kokoamalla liitteeksi luettelon, johon on koottu yleisimmät käytetyt palkkikoot ja teräslaadut. Myös ristikon kalustaminen, mitä ristikkoon tulee kiinni ja miten. Lisäksi voisi käsitellä erikoistapauksia, esimerkiksi oviaukon mallinusta. Opas on tällaisenaan käyttökelpoinen perusohje, mutta edellä mainittujen lisäysten jälkeen kattavuus paranee.

LÄHTEET

1977. Teräsrakenteet. Hki: Suomen rakennusinsinöörien liitto.

Autodesk Inventorin ohjeellisen www-sivut. 2019. Viitattu 26.3.2019. <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/ENU/>

Wikipedia Space frame-artikkeli. 2019. Viitattu 3.4.2019. https://en.wikipedia.org/wiki/Space_frame

Pohri OY:n www-sivu. 2019. Viitattu 18.4.2019 <https://www.pohri.fi/>

Lumikuorma

$$F_{\text{tot}} = A \cdot EC = 3,270 \text{ m} \cdot 17,5 \text{ m} \cdot 2,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 120,173 \text{ kN}$$

Solmua kohti:

$$\frac{120,173 \text{ kN}}{9} = 13,3525 \text{ kN} = 13\,352,5 \text{ N} \approx 13\,353 \text{ N}$$

Tuotteen tuoma kuorma

$$F_{\text{tot}} = A \cdot H \cdot \rho \cdot g = 2,5 \text{ m} \cdot 17,5 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 85\,837,5 \text{ N}$$

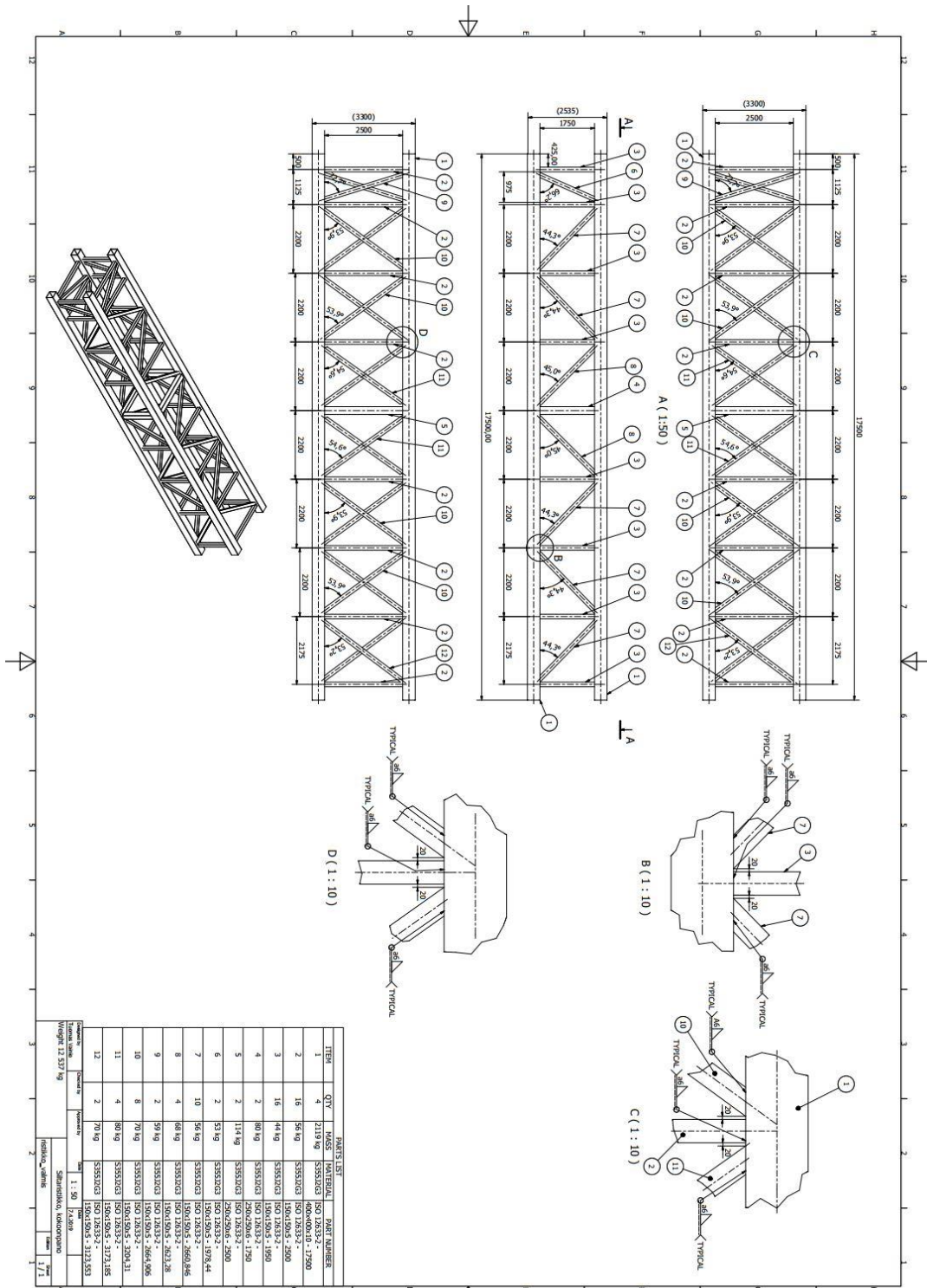
Solmua kohti

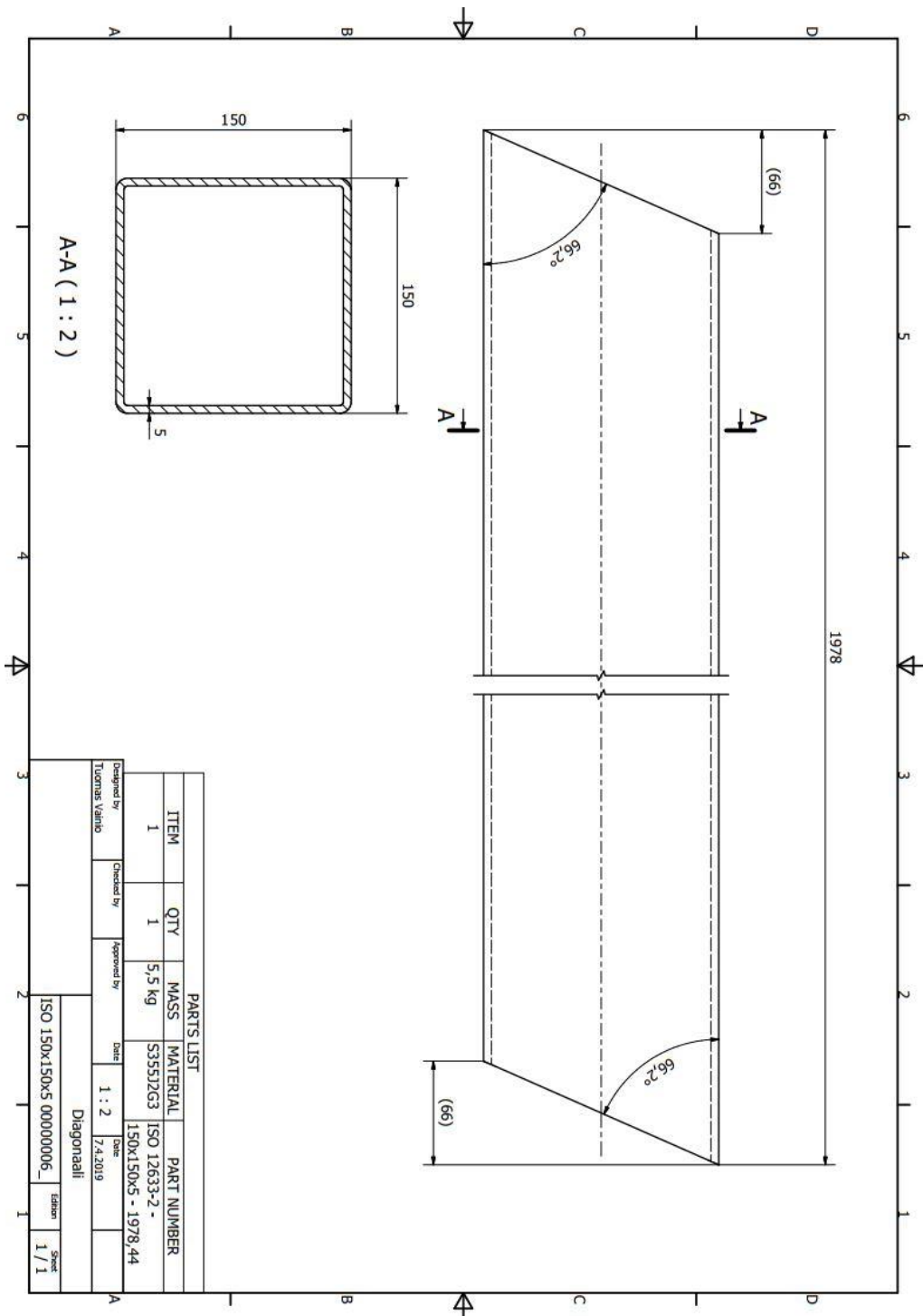
$$\frac{85\,838 \text{ N}}{9} = 9\,537,5 \text{ N} \approx 9\,538 \text{ N}$$

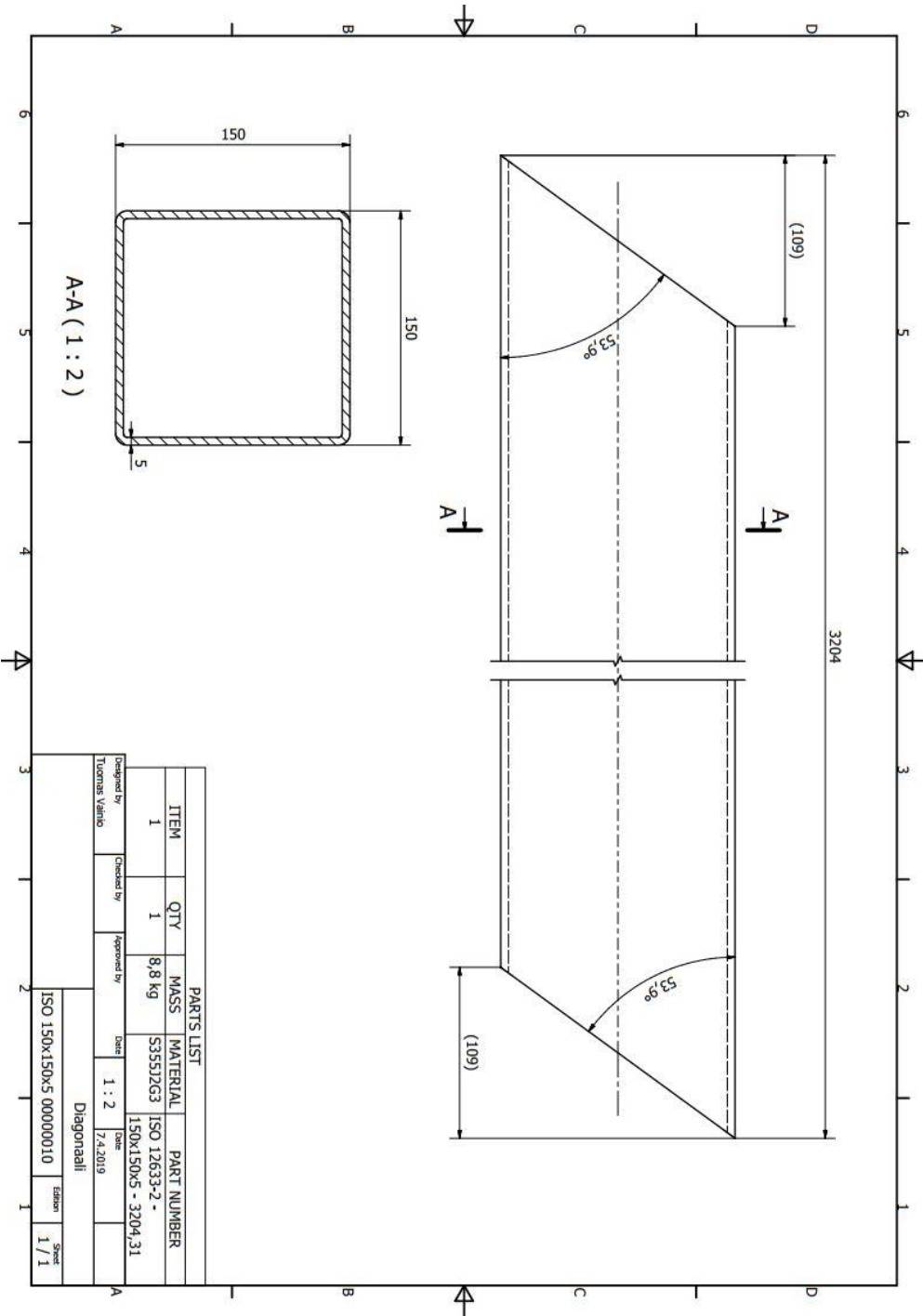
Nurjahdusvoima

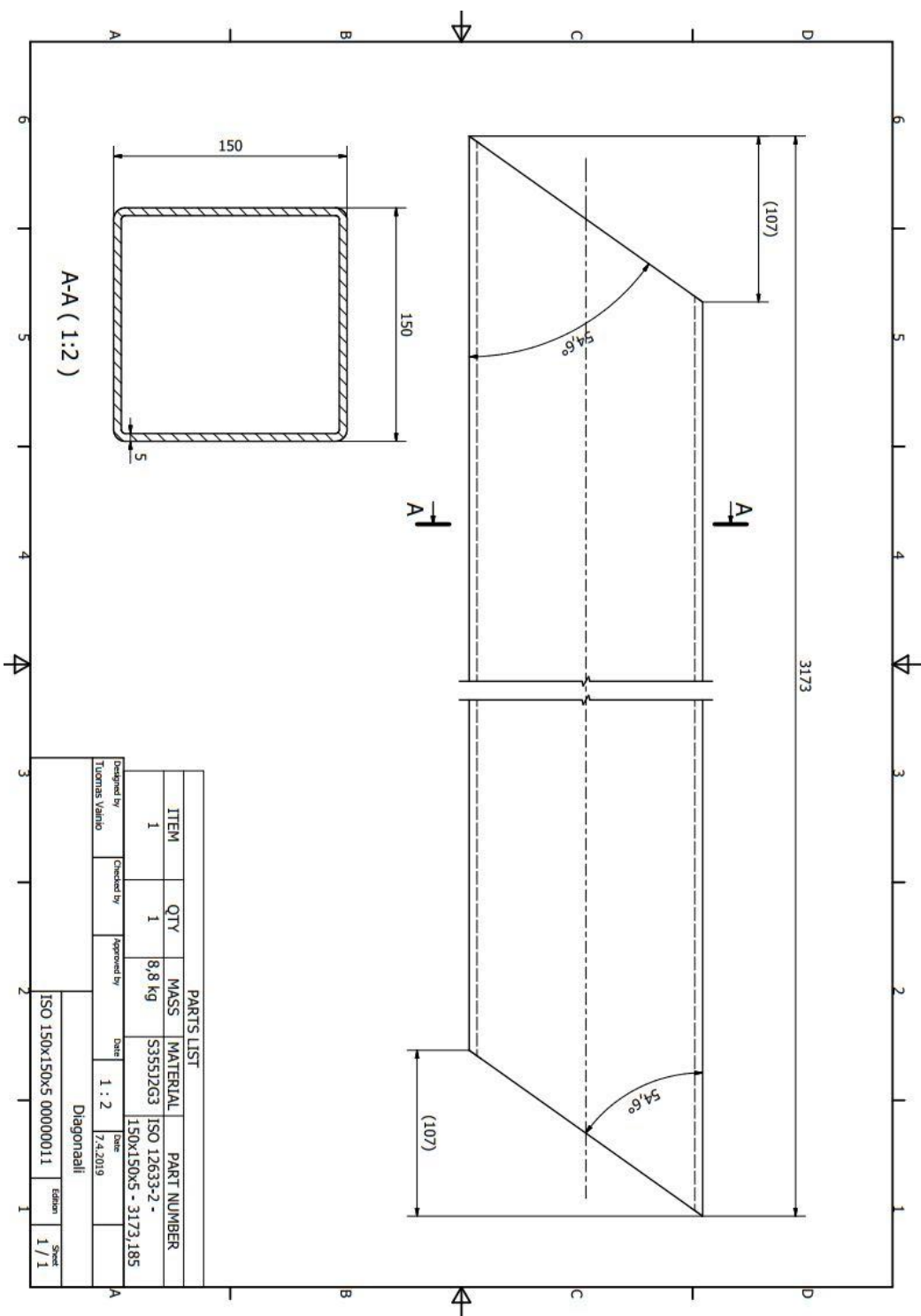
$$F_n = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210\,000 \text{ kPa} \cdot 1,017 \cdot 10^7 \text{ mm}^4}{(3076 \text{ mm})^2} = 222\,775 \text{ N}$$

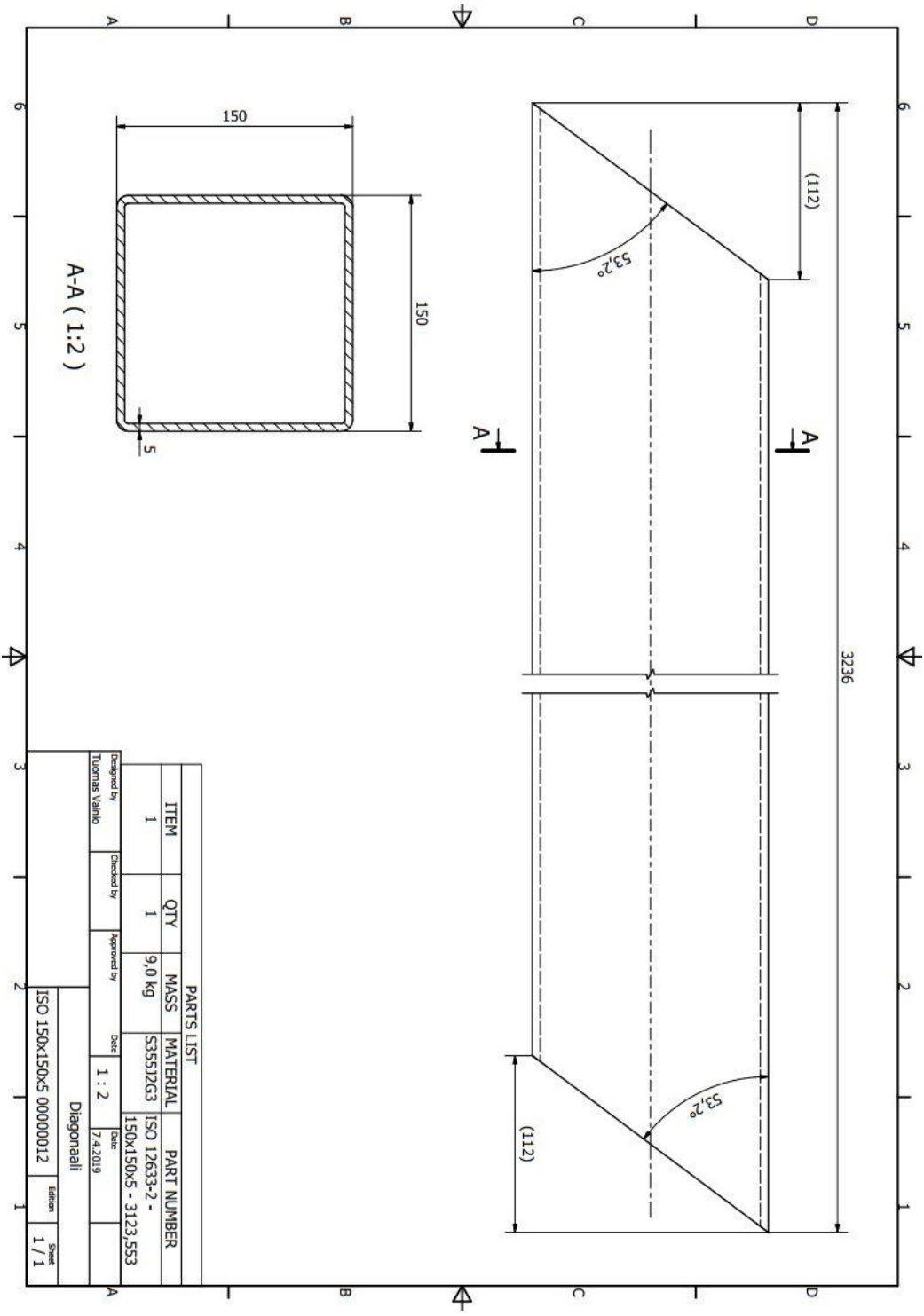
$$I_z = \left(\frac{b_1 h_1^3}{12} - \frac{b_2 h_2^3}{12} \right) = \left(\frac{150 \text{ mm} \cdot (150 \text{ mm})^3}{12} - \frac{140 \text{ mm} \cdot (140 \text{ mm})^3}{12} \right) = 1,017 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$







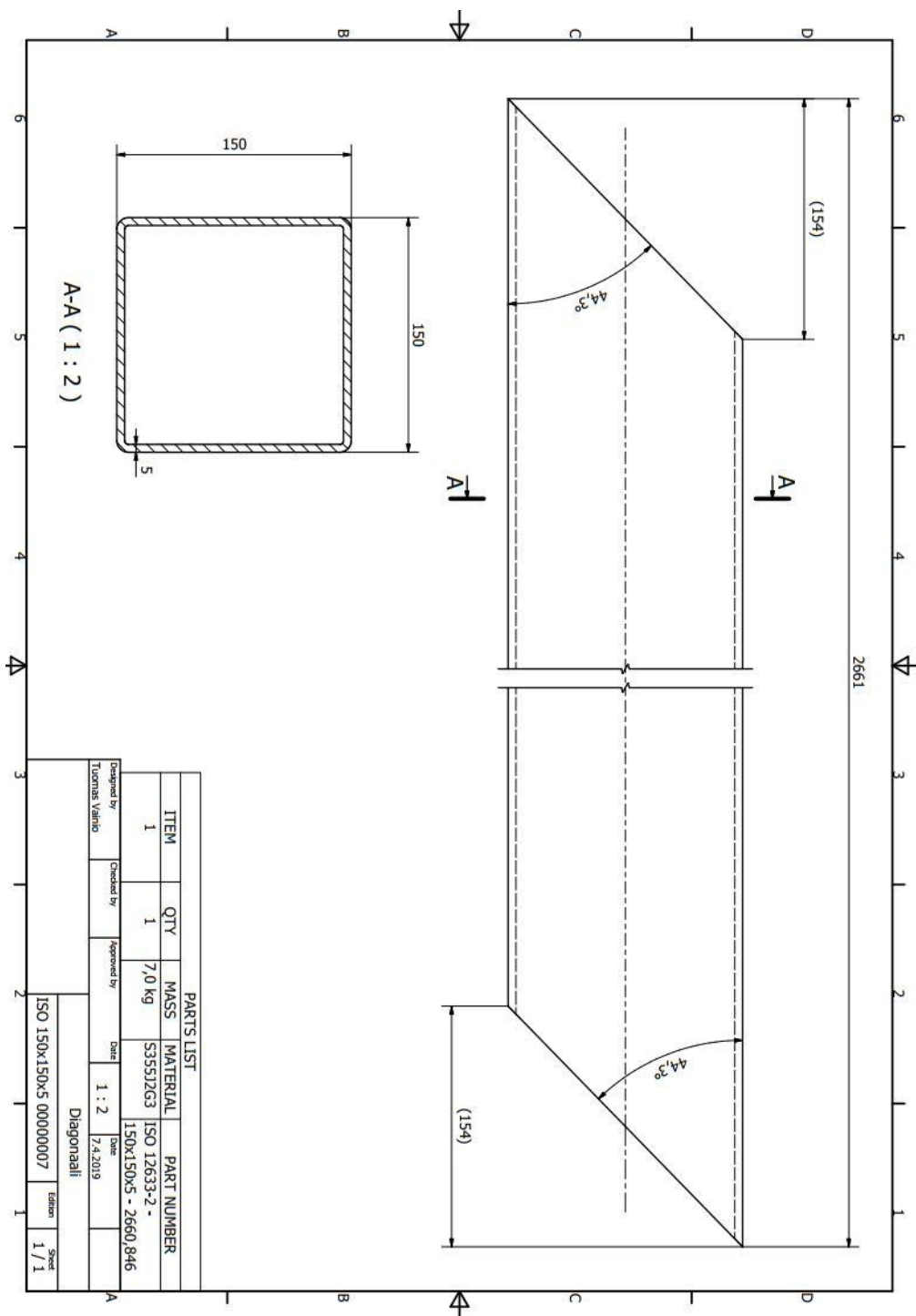




A-A (1:2)

PARTS LIST			
ITEM	QTY	MASS	MATERIAL
1	1	9,0 kg	S35S1ZG3
			ISO 12633-2 -
			150x150x5 - 3123,553

Designed by Tuomas Vainio	Created by	Approved by	Date 1 : 2	Date 7/4/2019
Diagonaali				ISO 150x150x5 00000012
			Edition	Sheet
			1 / 1	1 / 1



PARTS LIST			
ITEM	QTY	MASS	MATERIAL
1	1	7,0 kg	S355J2G3
		ISO 12633-2 - 150x150x5 - 2660,846	

Designed by	Checked by	Approved by	Date	Date
Tuomas Vainio			1 : 2	7.4.2019

Diagonaali		ISO 150x150x5 00000007	Sheet
			1 / 1

