



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# KIERREPORTAIKON SUUNNITTELU

## Automatisoitu suunnittelu

Heikki Sarpila

Opinnäytetyö  
Helmikuu 2018  
Konetekniikan koulutus  
Tuotekehitys



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan koulutus  
Tuotekehitys

SARPILA, HEIKKI:  
Kierreportaikun suunnittelu  
Automatisoitu suunnittelu

Opinnäytetyö 32 sivua, joista liitteitä 7 sivua  
Tammikuu 2018

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää kierreporras ja siihen liittyvä Excel-taulukko, jolla ohjataan Vertex G4 -suunnitteluohjelmiston suunnitteluautomaatti-toimintoa. Lisäksi selvitettiin portaikon valmistuskustannukset, valmistuksen kannattavuus sekä kilpailu. Ehdotus opinnäytetyön aiheelle saatiin Tampereen erikoissaranat Oy:n toimitusjohtajalta, jolla oli ajatus askelman valmistuksesta yhdellä iskulla hydraulisella prässillä. Tämän ajatuksen ympärille lähdettiin kehittämään kierreportaikkoo. Suunnittelun automatisoinnin haasteeksi muodostui kokoonpanon ohjaus: sen tulisi täyttää sekä rakennus- että koneenrakennusalan standardit. Osat mitoitettiin standardien vaatimien kuormitusten mukaan. Opinnäytetyössä ei esitetä yksityiskohtaisesti kokoonpanoa ohjaavaa Excel-taulukkoa, koska se jää yrityksen omaan käyttöön. Samasta syystä kaikkia teknisiä ratkaisuja ei esitetä.

Suunnittelu automatisoitiin käyttäen Vertex G4 -ohjelmiston automaattista suunnittelua, jota ohjataan Excel-taulukolla. Aluksi asiakas täyttää alkutiedot lomakkeelle, josta ne siirretään taulukkolaskentaohjelmaan. Excel-taulukko laskee tarjouksen ja ohjaa Vertex G4 -ohjelmistoa muokkaamaan kokoonpanoa alkutietojen mukaiseksi. Työn edetessä todettiin, että yrityksen ei ainakaan tässä vaiheessa kannata alkaa valmistaa portaita, johtuen kilpailusta ja tuotteen hyväksytyksen ja testauksen kalleudesta. Tuote kuitenkin suunniteltiin loppuun asti. Vertex G4 -ohjelmistolle tehty Excel-pohjainen laskenta onnistui hyvin, ja siitä saatuja oppeja voidaan käyttää yrityksen muiden tuotteiden suunnittelussa.

Portaikun todettiin olevan riittävän hyvin suunniteltu, jotta sen pohjalta voitaisiin tulevaisuudessa rakentaa täysimittainen prototyyppi testausta ja hyväksyntää varten. Joitain yksityiskohtia jäi edelleen ratkaisematta, koska niiden ratkaisu olisi vaatinut prototyypin rakentamista. Muuten työssä onnistuttiin täyttämään yrityksen vaatimukset ja lisäksi Vertex G4 -ohjelmistosta saatiin paljon kokemusta suunnittelun automatisoinnista. Yritykselle opinnäytetyön hyödyllisin osuus olikin suunnittelun automatisoinnista saatu kokemus. Erityisesti yrityksen tuotevalikoimassa olevien pianosaranoiden suunnittelun automatisointi lyhentäisi suunnitteluun käytettävää aikaa ja vapauttaisi suunnitteluresurssija muihin tehtäviin.

## ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Product Development

SARPILA, HEIKKI:  
Designing a Spiral Staircase  
Automated Design

Bachelor's thesis 32 pages, appendices 7 pages  
January 2018

---

The purpose of this thesis work was to design a spiral staircase and to develop an Excel sheet for automated design of the staircase with Vertex G4 software. Moreover, production profitability was evaluated. The thesis subject was suggested by the chief executive officer of Tampereen Erikoissarana Oy. He had the idea of manufacturing each individual staircase step by pressing it in shape in a single production step with a hydraulic press. This idea was the starting point for the staircase design. The main challenge in automating the design was controlling the Vertex G4 assembly in a way such that it meets the building and machine building standards. The dimensioning of parts was carried out using a load defined by the relevant standards. In this thesis, the Excel sheet controlling the design process is not shown in detail, since it is the intellectual property of Tampereen Erikoissarana Oy. Also excluded from this thesis are some of the technical solutions.

The design process was automated using the automated design feature of Vertex G4 software. First, the customer feeds basic information into a form, which is then transferred into an Excel sheet. The Excel sheet calculates a quotation and Vertex G4 software extracts any Excel data needed to control the automated design process. As the work proceeded, it became obvious that the production of the staircase would not be profitable, at least for the time being. This is due to existing competition and the required approval and testing costs. Nonetheless, the design process was carried out. The Excel sheet controlling the automated design process worked smoothly and encouraged Tampereen Erikoissarana Oy to consider automating the design of other products as well.

It was concluded that the staircase was designed in sufficient detail so that a full-sized prototype could be manufactured for testing and approval processes. Some minor technical details could not be solved since no prototype was built. From the perspective of Tampereen Erikoissarana Oy, the thesis was successful and the initial objectives were achieved. The experience gained from the automated design feature of Vertex G4 software was the most valuable outcome of this thesis for Tampereen Erikoissarana Oy. Automating the design of long piano hinges could be one example where considerable time saving can be achieved, hence freeing engineering resources for other tasks.

---

Keywords: spiral staircase, automated design

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TAMPEREEN ERIKOISSARANA OY .....	6
	2.1 Yritys .....	6
	2.2 Tuotteet .....	6
3	PORTAAT.....	7
	3.1 Yleistä .....	7
	3.2 Määräykset ja vaatimukset.....	8
	3.3 Laskenta mitoitusta varten .....	9
4	SUUNNITTELU .....	12
	4.1 Profiilin ja materiaalin valinta .....	12
	4.2 Porraselementin mallinnus.....	13
	4.2.1 Mallinnus .....	13
	4.2.2 Lujuustarkastelu .....	15
	4.3 Kokoonpanon mallinnus .....	15
	4.3.1 Ehdot .....	17
	4.3.2 Sarjat .....	17
	4.4 Suunnitteluautomaatti .....	19
	4.4.1 Lähtötiedot .....	19
	4.4.2 Mittataulukko XML-tiedosto .....	20
	4.4.3 Laskenta Excelissä .....	20
	4.4.4 Piirustukset.....	21
5	KUSTANNUSLASKELMA JA KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI.....	22
	5.1 Kustannuslaskelma .....	22
	5.2 Kannattavuuden arviointi ja markkinat.....	22
6	POHDINTAA.....	23
	LÄHTEET.....	25
	LIITTEET .....	26
	Liite 1. Askelman mitoitus taipuman avulla, Matcad 3.1.....	26
	Liite 2. Keskitolpan mitoitus, Mathcad 3.1 .....	29
	Liite 3. Kiinnityspultin mitoitus, Mathcad 3.1 .....	30
	Liite 4. Runkoputken piirustus, Vertex G4 .....	31
	Liite 5. Asiakaskuva portaikosta, Vertex G4 .....	32

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella hitsaamatta kokoonpantava kierreporras. Kierreporras koostuu askelmista, valmiiksi rei'itetystä pystypylvästä, johon porraselementit kiinnittyvät sekä kaiteesta. Opinnäytetyöhön kuuluu porraselementin suunnittelu sekä kierreportaan suunnittelua helpottavan automaatin luonti Vertex G4 -ohjelmistoon. Kierreporraselementin pitää olla valmistettavissa yrityksen nykyisellä konekannalla. Pystypylväs ja kaide tullaan tilaamaan alihankintana muualta.

Valmiin portaikon on täytettävä sille standardeissa asetetut vaatimukset. Lisäksi lasketaan tuotteen valmistuskustannukset ja pohditaan tuotteen valmistuksen kannattavuutta. Opinnäytetyössä ei suunnitella porrarakennelmaan mahdollisesti liittyviä välitasoja eikä rakenteiden paloturvallisuuden tai CE-merkintään oteta kantaa. Nämä jäävät yrityksen myöhemmin tehtäväksi, mikäli tuote päätetään toteuttaa.

## **2 TAMPEREEN ERIKOISSARANA OY**

### **2.1 Yritys**

Tampereen Erikoissarana Oy on Hervannassa toimiva saranoiden suunnitteluun ja valmistukseen keskittyvä yritys. Yritys on perustettu vuonna 1952 ja osakeyhtiö siitä tuli vuonna 1972. Nykyinen toimitusjohtaja aloitti toimessa 2013 ja hänen johdollaan yritys pyrkii kasvattamaan myyntiään sekä Suomessa että ulkomailla. Oman saranakehityksen ja valmistuksen lisäksi yritys suunnittelee ja valmistaa saranoita asiakkaiden toiveiden mukaan. Osa yksittäisille asiakkaille suunnitelluista saranoista tuotteistetaan ja ne päätyvät yleiseen myyntiin, joko sellaisenaan tai yksinkertaistettuna versioina. Yrityksen asiakaspohjaan kuuluvat niin suuret yritykset, jotka tilaavat muutaman kerran vuodessa suuria määriä, kuin yksityishenkilökin, joilla tarve on yleensä muutamia saranoita per tilaus. Suurin osa myynnistä suuntautuu edelleen Suomeen mutta ahkeran messuilla käymisen ansiosta esimerkiksi virolaiset rakennusalan yritykset ovat löytäneet yrityksen. (Tampereen erikoissarana n.d.)

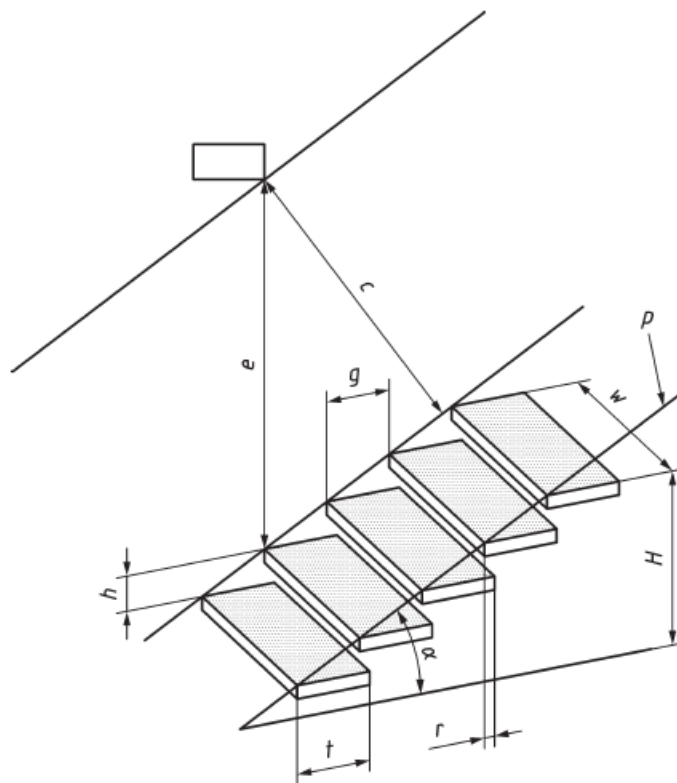
### **2.2 Tuotteet**

Yrityksen tunnetuimmat tuotteet ovat itsestään sulkeutuvat jousisaranat turvakaiteisiin ja -portteihin. Oman valmistuksen lisäksi yritys tuo maahan erikokoisia pianosaranoita. Tavoitteena on lisätä pianosaranoiden valmistusta yleisimpien kokojen osalta. Suuret ruostumattomasta teräksestä valmistetut pianosaranat tullaan kuitenkin jatkossakin tilaamaan muualta, valmistuksen vaikeuden ja vähäisen kysynnän vuoksi. Yritykseltä löytyy erikoisosaamista rullattujen saranoiden valmistuksesta eri materiaaleista, joita valmistetaan sekä suuria kertaeriä että yksittäisiä saranoita. Valikoimista löytyy lisäksi hitsaamalla kokoonpantuja laakeroituja saranoita raskaisiin oviin. Näistä saranoista löytyy yleensä myös korkeussäätö. Uusimpana tuoteryhmänä on säädettävä turvaportti ja siihen liittyvät salvat ja muut tarvikkeet. Mallit pohjautuvat mitoiltaan yrityksen olemassa oleviin itsestään sulkeutuviin turvaportinsaranoihin. Kierreporras kuuluu tähän tuotesarjaan valmistuessaan ja on yhteensopiva olemassa olevien saranoiden ja portin kanssa.

### 3 PORTAAT

#### 3.1 Yleistä

Koneturvallisuusstandardi suosittaa ensisijaisesti kulkua suoraan maan tai lattian tasolta. Jos tätä ei ole mahdollista toteuttaa, valinta tehdään yleensä luiskan tai portaiden välillä. Portaat voidaan valita kulkutiekseksi, kun nousukorkeus on liian korkea luiskalle. (SFS-EN ISO 14122-1 2016, 9.)



#### Selite

$H$  Nousukorkeus  
 $g$  Etenemä  
 $e$  Kulkukorkeus  
 $h$  Nousu  
 $r$  Limitys

$\alpha$  Nousukulma  
 $w$  Leveys  
 $p$  Nousulinja  
 $t$  Askelman syvyys  
 $c$  Vapaa tila

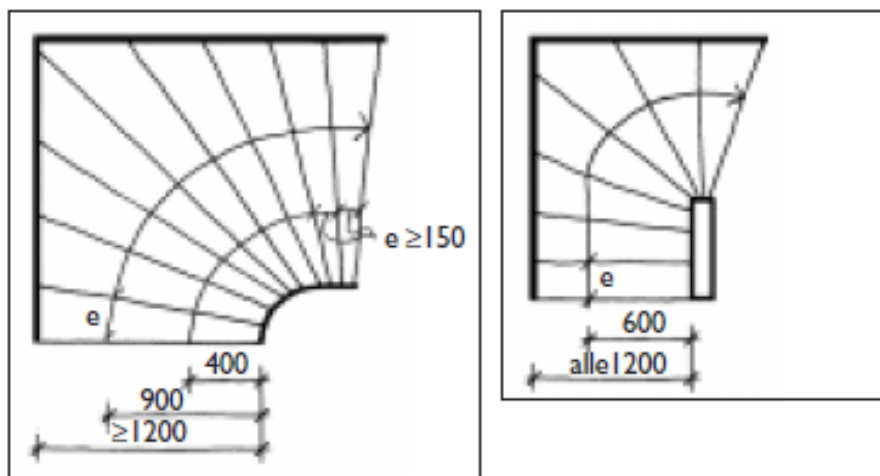
KUVA 1. Portaiden ja porrastikkaiden osat (SFS-EN ISO 14122-3 2016, 9)

### 3.2 Määräykset ja vaatimukset

Koska suunniteltavaa porrasta voidaan käyttää sekä koneen kiinteänä kulkutienä että rakennusten kulkutienä, pyrittiin suunnittelemaan kierreporras, joka täyttää vaatimukset kummassakin käytössä. Koneturvallisuusstandardi määrittää askelman vapaaksi leveydeksi minimissään 800 mm ja joissain tapauksissa 600 mm (SFS-EN ISO 14122-3 2016, 14). Rakennusmääräykset suosittavat 1200 mm tai minimissään 900 mm tietyin ehdoin (RakMk E1 2011, 30). Opinnäytetyössä keskityttiin suunnittelussa leveyksiin 900 mm ja 1200 mm. Etenemän ja nousun välinen suhde määritellään kaavalla (1)

$$600 \text{ mm} \leq g + 2h \leq 660 \text{ mm}, \quad (1)$$

jossa  $g$  on etenemä ja  $h$  on nousu (SFS-EN ISO 14122-3 2016, 13). Rakennusmääräykset antavat vastaavalle kaavalle sisäportaille suurimmaksi arvoksi 600 mm ja ulkoportaille 660 mm (RakMk F2 2001, 5). Näitä ehtoja käytettiin suunnitteluautomaatin reunaehtoina. Tämän lisäksi etenemän tulee olla välillä 210 mm – 310 mm niin, että askelman limitys on vähintään 10 mm. (SFS-EN ISO 14122-3 2016, 13). Rakennusmääräykset vaativat uloskäytävänä toimivalle portaalle etenemäksi vähintään 270 mm ja askelkorkeudeksi enintään 180 mm (RakMk F2 2001, 5). Kierreportaan etenemä mitataan alle 1200 mm leveistä portaista 600 mm päästä runkoputkesta ja yli 1200 mm leveistä portaista 900 mm päästä runkoputkesta. 1200 mm leveän portaalan etenemä ei kuitenkaan saa olla pienempi kuin 150 mm mitattuna 400 mm:n päästä runkoputkesta (kuva 2).



KUVA 2. Etenemän mittaus (RakMk E1 2011, 5)



Kaiteen korkeus määräytyy rakennusmääräyksissä putoamiskorkeuden mukaan taulukosta 1. Koneenrakennusstandardi antaa kaiteen minimikorkeudeksi 1000 mm, joka valittiin käytettäväksi kaidekorkeudeksi (SFS-EN ISO 14122-3 2016, 18). Kaidetolppien välinen etäisyys on rakennusmääräysten mukaisesti 110 mm (RakMk F2 2001, 7).

TAULUKKO 1. Kaiteen korkeus (RakMk F2 2001, 8)

Putoamiskorkeus $h$ (mm)	Koko kaiteen korkeus (mm)	Suojaavan osan korkeus (mm)
$\leq 500$	-	-
$500 > h \leq 700$	$\geq 900$	-
$700 > h \leq 3000$	$\geq 900$	$\geq 700$
$3000 > h \leq 6000$	$\geq 1000$	$\geq 700$
$h > 6000$	$\geq 1200$	$\geq 900$

SFS:n määrittelemät laskennalliset kuormitukset portaille ovat: satunnainen kulku ilman kuormia  $1,5 \text{ kN/m}^2$  ja satunnainen kulku kuormien kanssa tai vilkas kulku  $5 \text{ kN/m}^2$ . Lisäksi askelmien on kestettävä seuraavat kuormitukset:

- alle 1200 mm leveä askelma:  $1,5 \text{ kN}$  kuorma  $100 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}$  kokoisella alueella siten, että yksi sivu on askelman reunalla askelman keskikohdassa
- yli 1200 mm leveä askelma: kaksi  $1,5 \text{ kN}$  kuormaa edellä mainitun kokoisilla alueilla 600 mm välein epäedullisimmilla paikoilla askelman reunalla.

Askelmat eivät saa taipua yli 6 mm:ä tai  $1/300$  askelman leveydestä, riippuen siitä kumpi on pienempi. (SFS-EN ISO 14122-3 2016, 13.)

### 3.3 Laskenta mitoitusta varten

Koska askelma ei ole suorakaiteen muotoinen, vaan tasaisesti vapaata päätä kohti levenevä, käytettiin taipuman laskennassa kimmoviivan differentiaaliyhtälöä (Salmi & Pajunen 2010, 207-209)

$$v''(x) \approx -\frac{M_T(x)}{EI(x)} \quad (2)$$

jossa  $M_T$  on taivutusmomentti,  $E$  on taulukosta saatava materiaalin kimmokerroin ja  $I$  on neliömomentti. Yhtälöä kaksi kertaa integroimalla saadaan tulokseksi taipuman yhtälö.

Neliömomentin laskemiseksi määritettiin askelman syvyyden  $b$  yhtälö  $x$ :n suhteen. Yhtälö saatiin sijoittamalla tunnetut leveydet askelman päissä suoran yhtälöön

$$b - b_1 = \frac{b_1 - b_2}{x_2 - x_1} (x - x_1), \quad (3)$$

jossa  $b_1$  ja  $b_2$  ovat syvyydet askelman päissä ja  $x$  on etäisyys askelman vapaasta päästä. Yhtälön (4) avulla voitiin selvittää poikki-pinnan pintakeskiön  $y$ -koordinaatti yhtälöllä

$$y_0 = \frac{\sum y_i A_i}{\sum A_i}, \quad (4)$$

jossa  $y_i$  on osan pinta-alakeskiön  $y$ -koordinaatti ja  $A_i$  sen pinta-ala. Edelleen käyttäen Steinerin sääntöä (kaava (5))

$$I(x) = \sum (I_i + A_i \cdot c_i^2), \quad (5)$$

jossa  $I_0$  on osan neliömomentti,  $A$  pinta-ala ja  $c$  osan pinta-alakeskiön etäisyys koko kappaleen pinta-alakeskiöstä. (Valtanen 2016, 271 - 272.) Taulukkokirjasta saatiin taivutusmomentin yhtälö  $x$ :n suhteen sekä kuorman tasaiselle osuudelle (Valtanen 2016, 320)

$$M_T(x) = \frac{-qx^2}{2} \quad (6)$$

että sen vinolle osuudelle (Valtanen 2016, 321).

$$M_T(x) = \frac{q_0}{6} \left( -3x^2 + \frac{x^3}{l} \right) \quad (7)$$

Momentin yhtälöissä  $q_0$  on kuorma,  $l$  on palkin pituus ja  $x$  etäisyys mitattuna palkin vapaasta päästä.

Yhdistämällä edellä olevat yhtälöön (2) ja integroimalla se kaksi kertaa  $x$ :n suhteen saatiin taipumalle yhtälö.

$$v = \iint_0^l -\frac{M_T(x)}{EI(x)} dx \quad (8)$$

Keskitolpan mitoitus varten laskettiin puristusjännitys kaavalla

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (9)$$

jossa  $F$  on voima ja  $A$  putken poikkipinta-ala (Valtanen 2016, 270). Taivutusmomentin aiheuttama normaalijännitys laskettiin kaavalla

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (10)$$

jossa  $M$  on voiman aiheuttama momentti ja  $W$  on taivutusvastus (Valtanen 2016, 271). Yhteenlaskuperiaatetta käyttämällä saatiin selville putkeen vaikuttava reunajännitys.

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{F \cdot r}{W} \quad (11)$$

Askelman kiinnityspultin mitoitus suoritettiin leikkausjännityksen perusteella käyttäen kaavaa

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad (12)$$

jossa  $Q$  on leikkausvoima ja  $A$  on leikkautuva pinta-ala (Valtanen 2016, 272). Tässä tapauksessa taulukosta saatava pultin nimellinen jännityspoikkipinta-ala (Valtanen 2016, 793).

## 4 SUUNNITTELU

### 4.1 Profiilin ja materiaalin valinta

Materiaalivaihtoehdoiksi valittiin teräs ja ruostumaton teräs. Maksimipaksuus suunnittelussa teräkselle oli 5 mm ja ruostumattomalle teräkselle 3 mm, jolloin levyt voidaan leikata yrityksen omalla levytyökeskuksella. Askelmien profiili valittiin laskemalla erilaisien profiilien taipuma standardissa määritellyllä  $5 \text{ kN/m}^2$  kuormalla. Laskennan yksinkertaistamiseksi askelma oletettiin taipuvaksi palkiksi, jossa ei tapahdu muita muodonmuutoksia kuin taipumaa. Laskennassa käytettiin Mathcad Prime 3 -ohjelmistoa, jolla lasketut tulokset kerättiin taulukkoon 2. Saadut tulokset ovat vain suuntaa antavia mutta niitä voidaan käyttää suunnittelun lähtökohtana. Laskenta on esitetty liitteessä 1.

TAULUKKO 2. Laskennalliset taipumat millimetreinä  $5 \text{ kN/m}^2$  kuormalla

reunan korkeus (mm)	L-profiili		U-profiili	
	900 mm	1200 mm	900 mm	1200 mm
10	-690	-2180	-436	-1380
20	-110	-330	-58	-185
30	-31	-99	-18	-56
40	-13	-42	-7,7	-24
50	-7	-22	-4,1	-13
60	-4,1	-13	-2,5	-7,7
70	-2,7	-8,4	-1,6	-5,1
80	-1,8	-5,8	-1,1	-3,5
90	-1,3	-4,1	-0,8	-2,6
100	-1	-3,1	-0,6	-1,9

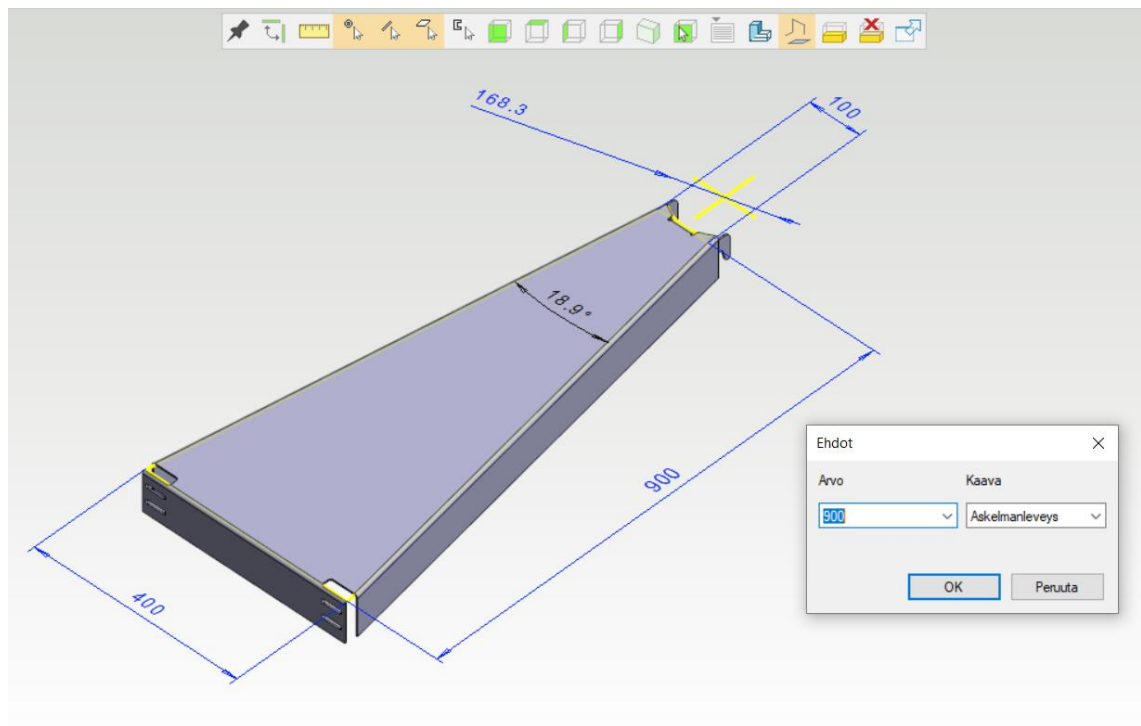
Valinnassa käytettiin standardissa määriteltyä maksimitaipumaa, joka lasketaan kaavalla  $1/300 \cdot$  askelman leveys. Tällöin maksimi taipuma 900 mm leveälle askelmalle on 3 mm ja 1200 mm leveällä 4 mm. Profiiliksi valittiin u-profiili, jolloin askelmalle saatiin parempi taivutusjäykkyys verrattuna esim. L-profiiliin tai suoraan levyyn. Materiaalin vahvuudeksi valittiin 3 mm ja portaan reunakorkeudeksi suurempi kuin 80 mm. Taivutus suunniteltiin siten, että se voitiin lyödä yhdellä iskulla, joten monimutkaisemmat profiilit eivät tulleet kyseeseen.

## 4.2 Porraselementin mallinnus

Suunnittelussa käytettiin yrityksessä käytössä olevaa Vertex G4 -mekaniikkasuunnitteluohjelmistoa ja siihen sisältyvää suunnitteluautomaatti-toimintoa. Vertex on suomalainen Vertex Systems Oy:n kehittämä suomenkielinen suunnitteluohjelmisto, jonka versiota 23.0.07 opinnäytetyössä käytettiin.

### 4.2.1 Mallinnus

Keskitolpaksi valittiin standardi kokoinen 168,3 mm teräsputki. Käyttäen kaavaa (11) seinämän paksuudeksi valittiin 5 mm (liite 2). Keskitolpan korkeutta kuvattiin muuttujalla ”Korkeus”, jota käytettiin myöhemmin suunnitteluautomaatissa. Askelman mallinnus aloitettiin 900 mm pitkällä askelmalla ja askelman leveydelle määriteltiin muuttuja ”Askelmanleveys” (kuva 3). Askelma suunniteltiin keskiakselin suhteen symmetriseksi, jolloin molempiin suuntiin kiertyvät portaan oli mahdollista toteuttaa yhdellä mallilla. Keskitolpan halkaisija määräsi askelman kapeamman pään leveydeksi 100 mm, koska askelma oli tarkoitus kiinnittää tolppaan leikattaviin uriin. Askelman kapeasta päästä haluttiin mahdollisimman leveä, kuitenkin niin, ettei se olisi tolppaa leveämpi. Leveämmän pään mitta valittiin siten, että askelmien lomittuessa etenemän ehto edelleen täytyisi. Askelman muoto oli kolmiomainen ja sivujen ja päädyn taitokset tukivat rakennetta. Askelman kapeampaan päähän mallinettiin ulokkeet, joiden avulla askelma tukeutui keskitolppaan. Askelman kiinnitystä varten suunniteltiin taitos, johon tehtiin reikä pulttia varten. Kaavan (12) avulla laskettiin pultin kooksi M10 (liite 3).

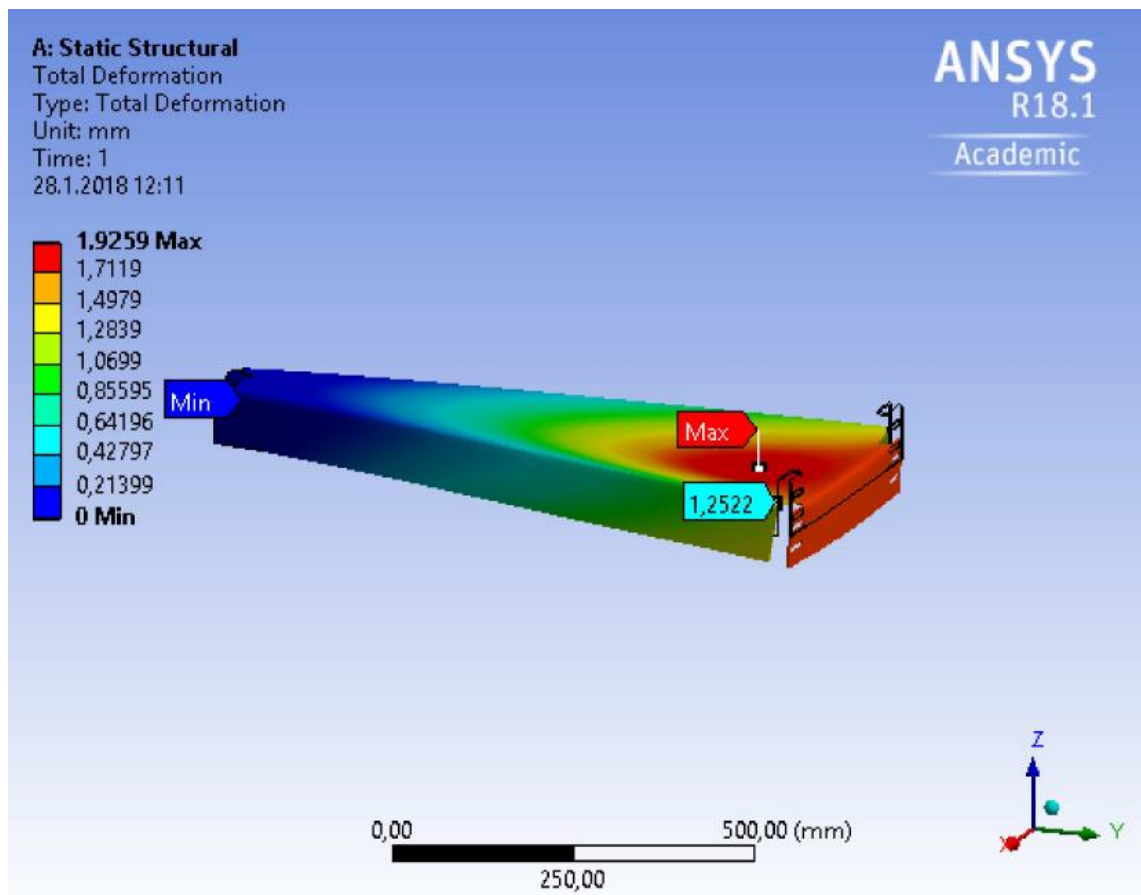


KUVA 3. Askelman mallinnus

Askelman vapaaseen pätyyn mallinnettiin kaksi hahloa ja kaksi pyöreää reikää kaidetolppien kiinnitystä varten. Reunoille tehtiin hahlot, koska askelmien välinen kulma vaihtui sekä korkeuden että aukeamiskulman mukaan. Keskimmaiselle kaidetolpalle tehtiin kaksi kiinnitysreikä ja tolpan malli valittaisiin käyttökohteen mukaan niin, että tolppien välinen etäisyys olisi standardin mukainen. Kaide mallinnettiin yhden askelman pituiseksi siten, että sen päissä olevat suorat osuudet tulisivat pidikkeiden sisällä. Kaiteenpidikkeinä käytettiin yrityksen valmistaman turvakaiteen saranan toista puolta. Kaideosat muodostavat toisiinsa liitettyinä jatkuvan spiraalikäyrän. Kaiteen halkaisijaksi valittiin 42,4 mm rakenneputki.

## 4.2.2 Lujuustarkastelu

Askelman taipuma tarkistettiin ANSYS 18.1 -ohjelmistolla. Malli antoi huomattavasti tarkemman tuloksen kuin käsin laskenta mutta oli kuitenkin suuruusluokaltaan saman suuntainen. Malli otti huomioon materiaalin taipuman muutenkin kuin vain palkkina, jollaisena sitä käsin laskennassa käsiteltiin. Suurimmat taipumat tulivatkin askelman keskelle, kun askelma taipui (kuva 4). Lopullinen koestus tehtäisiin valmiille askelmalle, prototyypin valmistuttua.



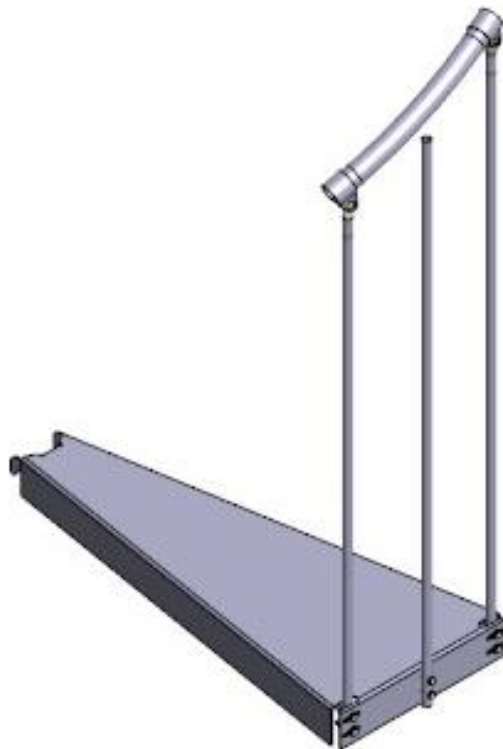
KUVA 4. Taipuman tarkastelu ANSYS R18.1 -ohjelmistolla

## 4.3 Kokoonpanon mallinnus

Kokoonpanon mallinnus aloitettiin tuomalla luodut mallit kokoonpanotilaan. Ensimmäiseksi osaksi tuotiin jalka, joka kiinnitettiin avaruuteen. Jalan päälle kiinnitettiin runkoputki, jonka ympärille muut osat kiertyivät. Runkoputki muutettiin paikalliseksi osaksi, jotta sen pituutta voitiin ohjata mittataulukolla. Vastaavasti askelma ja muut tarvittavat

osat tuotiin kokoonpanoon ja muutettiin paikalliseksi osiksi, jolloin osien muuttujia voitiin ohjata mittataulukolla.

Työn edetessä todettiin, että on tarpeellista tehdä kaksi erillistä kokoonpanoa. Yksi kokoonpanoversio, jota voidaan helposti ohjata mittataulukolla mutta on osamäärältään mahdollisimman karsittu. Toisin sanoen siitä puuttuvat kiinnikkeet ja muut osien valmistuksen kannalta epäolennaiset osat. Tästä mallista tuotetaan kaikki työpiirustukset ja mittakuvat. Toinen kokoonpanoversio, jolla voidaan helposti tuottaa havainnekuvat sekä asiakkaalle että omaan käyttöön. Tämä malli on ensimmäistä yksityiskohtaisempi, sisältäen kaikki tarvittavat kiinnikkeet, mutta sen ohjaus mittataulukolla on rajoitetumpaa. Kokoonpanoon liittyvien sarjojen yksinkertaistusta tehtiin mm. tekemällä askelmasta ja siihen liittyvistä osista ja kiinnikkeistä oma kokoonpanonsa (kuva 5). Tästä kokoonpanosta saadaan tulostettua tarkka osalista.



KUVA 5. Porraselementti kaideosineen.

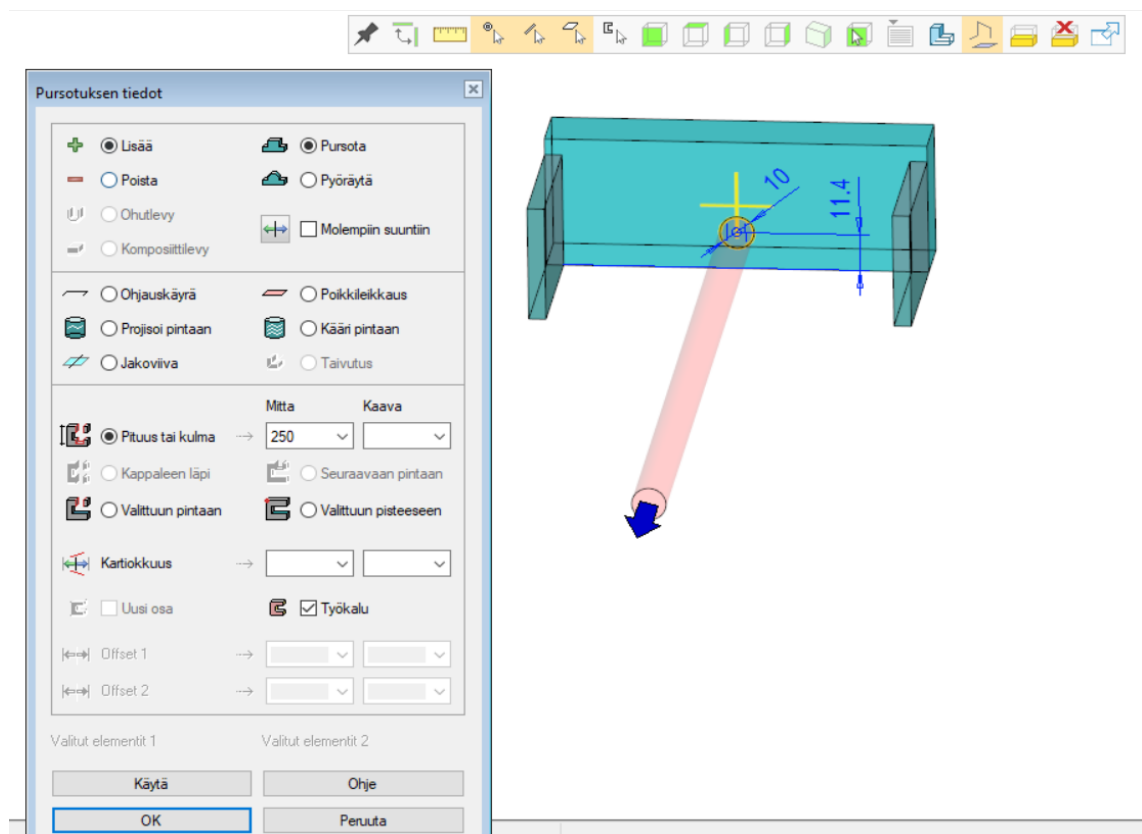


### 4.3.1 Ehdot

Kuten muissakin suunnitteluohjelmistoissa, Vertex ohjelmiston kokoonpanossa osat kiinnitetään toisiinsa käyttämällä ohjelman tarjoamia ehtoja. Alin askelma liitettiin pystytolpan kylkeen tangentiaalisuusehdolla. Lisäksi askelma sidottiin pystytolpan keskiakseliin liittämällä askelman keskilinjalla oleva taso pystytolpan xz-tasoon. Ensimmäisen askelman etäisyys maasta määriteltiin etäisyys ehdolla, jolle arvo saatiin Excel-laskennasta. Näin askelma saatiin sidottua paikoilleen avaruudessa. Muut tarvittavat osat kiinnitettiin kokoonpanoon vastaavasti erilaisia ehtoja käyttäen.

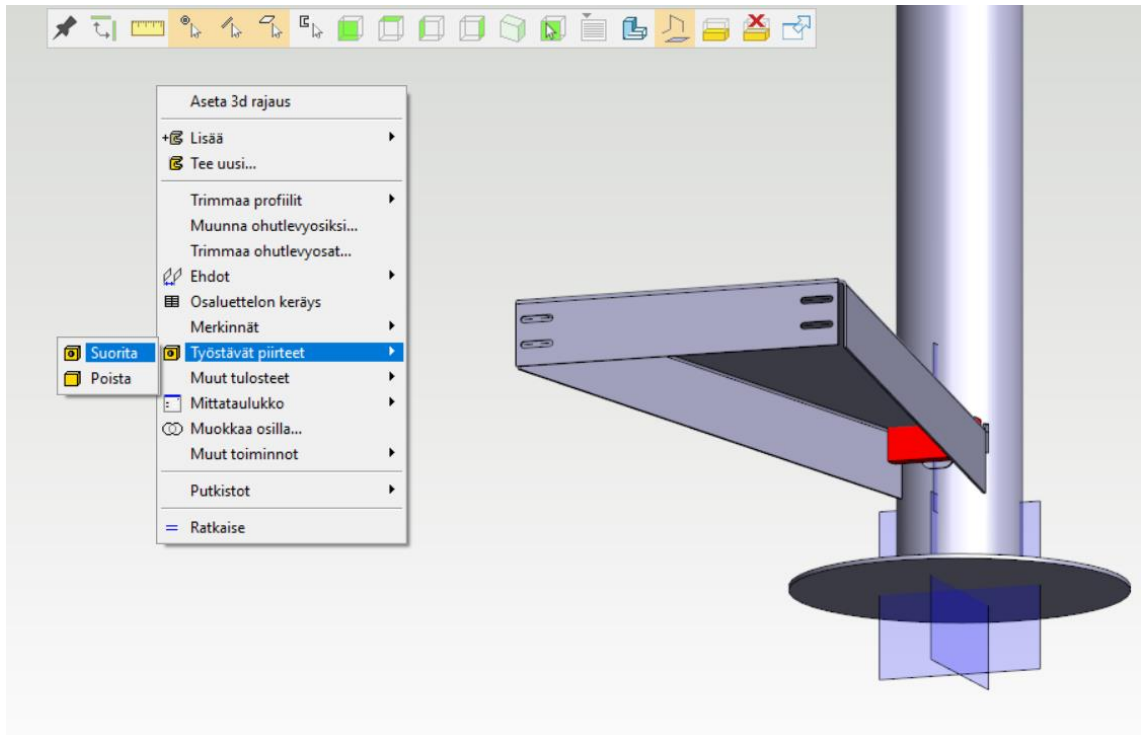
### 4.3.2 Sarjat

Askelmat saatiin kiertämään runkoa käyttämällä sarjaa, jonka keskipisteeksi määritettiin jalan keskipiste. Tarkemmassa mallissa, jossa askelmasta oli tehty oma kokoonpanonsa, seurasivat kiinnikkeet ja muut osat samaa sarjaa. Arvot sarjan muuttujille saatiin suunnitteluautomaattia ohjaavasta Excel-taulukosta. Tolppaan tehtävät reiät ja lovet tehtiin työstäväksi piirteeksi määrittelyn osan avulla (kuva 6).



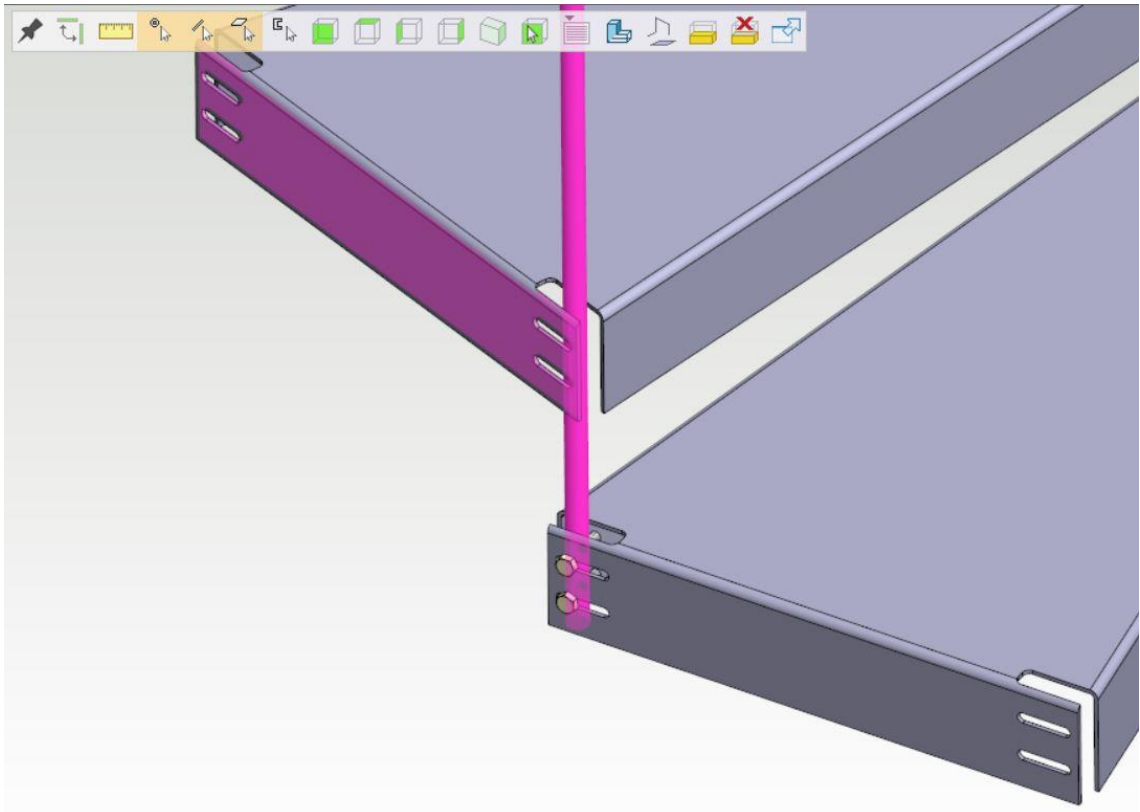
KUVA 6. Työstävän piirteen määrittely pursotuksessa

Kokoonpanossa toiminnolla työstävät piirteet haluttuun kohtaan tolppaa saatiin työkalun muotoinen reikäkuviio (kuva 7). Työkalulle tehtiin oma sarjansa, jotta sen piilottaminen lopullisesta mallista ja piirustuksista onnistuisi helpommin.



KUVA 7. Työstävät piirteet-toiminto ja työkalun sijoitus, kuvassa punainen osa

Kaidetolpalle tehtiin oma sarjansa, jotta sen paikka saatiin vaihtumaan muuttuvan askelkulman mukaan. Kaidetolppa kiinnitettiin ehdoilla askelmaan ja sen yläpuolella olevaan askelmaan tangentiaalisesti, jolloin se paikoittui oikein askelmien välisen kulman muuttuessa (kuva 8).



KUVA 8. Kaidetolpan paikoitus kokoonpanossa

#### 4.4 Suunnitteluautomaatti

Suunnitteluautomaatin tarkoituksena on yksinkertaistaa suunnittelua ja automatisoida laskentaa. Se on erityisen hyödyllinen toistuvissa suunnittelutöissä. Valmiiseen automaattiin syötetään alkuarvoina haluttu korkeus, aukeamiskulma sekä avautumiskulma. Lisäksi alimman askelman lähtökorkeutta voidaan tarvittaessa säätää, jotta haluttu nousu saadaan toteutettua. Automaatti laskee annetuista arvoista tarvittavat arvot sarjoille ja muuttujille. Mikäli annetuilla arvoilla ei voida kierreportaasta toteuttaa ilmoitetaan siitä suunnittelijalle väreillä ja tekstimuotoisilla varoituksilla.

##### 4.4.1 Lähtötiedot

Lähtötiedoiksi käyttäjä syöttää taulukkoon halutun korkeuden, avautumiskulman sekä askelman leveyden (kuva 9). Näiden tietojen perusteella lasketaan kierreportaalle muut mi-

tat siten, että standardien määräykset toteutuvat. Korkeutta käytettiin muuttujan ”Tolpankorkeus” arvona. Avautumiskulmasta vähennettiin askelman kulma ja saatua arvoa käytettiin muuttujana ”Aukeamiskulma”. Askelman leveys antoi suoraan arvon ”Askelman leveys” muuttujalle.

Lähtötiedot	mm				
Korkeus	3300				
Askelman leveys	900				
Avautumiskulma	360				
Alin askelma ero	0				

KUVA 9. Alkuarvot

#### 4.4.2 Mittataulukko XML-tiedosto

Vertex G4 -ohjelmistossa mittataulukkoa voidaan muokata ohjelmassa muuttujien nimillä. Tässä tapauksessa ohjelmistoon sisältyvä laskenta ei kuitenkaan ollut riittävän monipuolinen vaan varsinainen laskenta siirrettiin Excel-taulukkoon vie XML-toiminnolla.

#### 4.4.3 Laskenta Excelissä

Standardin määrittelemien ehtojen perusteella aloitettiin kaavojen laadinta. Alkuarvojen syötön jälkeen alustava portaiden lukumäärä saadaan jakamalla koko portaikon korkeus nousulle annetulla oletusarvolla, tässä tapauksessa 175 mm (kuva 1). Saatua askelmien lukumäärä pyöristetään lähimpään kokonaislukuun ja askelmien määrää vastaava nousu lasketaan käyttäjän nähtäville. Saatua askelmien lukumäärää käytetään askelmien välisen kulman perusteella tehtävän laskennan lähtöarvona.

Askelmien välisen kulman ala- ja yläraja määritettiin 3D-mallin perusteella siten, että askelmat olivat riittävän paljon lomittain, jotta kaidetolppa oli mahdollista asentaa niiden väliin. Taulukossa rajat vaihtuvat askelman leveyden mukaan. Seuraavaksi tarkistettiin, että askelmien välinen kulma oli määrättyllä välillä. Mikäli näin ei ollut, taulukko lisäsi tai vähensi yhden portaikon annetun kaavan perusteella. Saatua portaiden lukumäärän, jota käytettiin muuttujan ”Askelmat” arvona, avulla laskettiin nousu (kuva 10). Tätä lukua käytettiin muuttujassa ”Nousu” (kuva 11).

Askelmat korkeuden mukaan			Nousu						
18,85714	19		173,6842						
					alaraja	yläraja			
Askelmat kulman mukaan					19	22,5			
19	18,94868	-1							
18	20,06331	0	18	20,06331					
18	20,06331	0	18	20,06331					
18	20,06331	0	18	20,06331	Askelmat	Nousu	Välinen kulma		
18	20,06331	0	18	20,06331	18	183,3333	20,06331	deg	
							0,350171	rad	

KUVA 10. Askelmien lukumäärän ja nousun laskenta

Askelman etenemä laskettiin 900 mm leveälle askelmalle 600 mm päässä ja 1200 mm leveälle askelmalle 900 mm päässä keskitolpasta. Etenemän ja nousun avulla laskettiin tarkistuslaskelma kaavalla (1). Vihreällä näkyvä pohjaväritys muuttuu punaiseksi, mikäli summa ei ole annettujen rajojen sisäpuolella. Suunnittelijan on mahdollista vaikuttaa lukuun muuttamalla lähtötietoja tai lisäämällä tai vähentämällä alimman askelman etäisyyttä maasta (kuva 9). Alimman askelman korkeus voi olla maksimissaan 15 % muuta nousua pienempi. Tämä tieto esitetään suunnittelijalle muuttuvan värin ja varoitustekstin avulla.

NAME	VALUE	Tarkistus				
Askelmanleveys	900	608,9022				
Askelmat	18	Nousu				
Aukeamiskulma	341,08	183,3333				
DIM_R	100	Etenemä				
Nousu	183	242,2355				
Tolpankorkeus	3300					
Alinaskelma	183					

KUVA 11. Muuttujat ja tarkistusosio

#### 4.4.4 Piirustukset

Portaikosta tuotettiin tarvittavat työ kuvat sekä ohjeet tuotantoa ja kokoonpanoa varten. Askelmasta ja moista yksittäisistä kuvista tehtiin työpiirustuksen ja levityskuvan lisäksi DXF-tiedosto, jonka avulla se voitiin leikata levytyökeskuksessa. Lisäksi tehtiin runkoputken tilaukseen käytettävä piirustus sekä 3D-malli, jonka perusteelle runkoputki voidaan leikata (liite 4). Portaikosta tehtiin automaattinen havainnekuva asiakkaalle (liite 5).

## 5 KUSTANNUSLASKELMA JA KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI

### 5.1 Kustannuslaskelma

Valmistuskustannukset askelman osalta laskettiin, kun tiedettiin levymateriaalin hinta ja valmiin askelman pinta-ala sekä yhdelle teräslevylle mahtuva kappalemäärä ja levyn vaatima ajoaika. Muihin työvaiheisiin kustannukset arvioitiin niihin kuluvaan ajan mukaan. Lisäksi laskettiin tarvittavien kiinnikkeiden sekä muiden osien hinta. Keskitolpan ja kaidesien hinta arvioitiin eri yrityksiin tehtyjen tarjouskyselyiden perusteella. Kokoonpanoa ohjaavaan Excel-taulukkoon lisättiin vielä osuus tarjouslaskentaa helpottamaan (kuva 12). Tätä tulotaisin tarpeen mukaan tarkentamaan, kunhan tuotanto saataisiin kunnolla käyntiin ja lopulliset kustannukset selviäisivät.

Tarjouslaskelma	€/porras	Asetus	Totetunut				
Askelma	xx	xx	xx	€/kpl			
Kiinnikkeet	xx	xx	xx	€/askelma			
Tolppa	xx	xx	xx	€/m			
Kaide	xx	xx	xx	€/kpl			
Kaidetolpat	xx	xx	xx	€/kpl			
Muut kulut	xx	xx	xx	€			
Kate %	xx	xx	xx				
<b>Yhteensä</b>	<b>xxx</b>	<b>xxx</b>	<b>xxx</b>				

KUVA 12. Tarjouslaskenta taulukko

### 5.2 Kannattavuuden arviointi ja markkinat

Markkinoilla on vastaavia tuotteita, jotka voidaan koota paikan päällä osista. Kilpailijoihin, joiden portaat ovat pääsääntöisesti ritiläelementeistä koottuja, verrattuna valmistuskustannukset jäävät pienemmiksi levymäisillä elementeillä. Lisäksi etuna ovat symmetriset porrasedimentit, joista voidaan koota molemmin päin kiertävät portaat samoista osista. Mikäli portaiden valmistaminen päätetään aloittaa suurissa erissä, yksittäisen elementin valmistuskustannukset laskevat entisestään. Lisäksi elementtejä voidaan valmistaa kerralla suurempi määrä varastoon, koska yksilöllisissä portaissa on samanlaiset yksittäiset elementit. Suurimpana haasteena voidaan pitää markkinoille pääsyä. Tämä vaatisi useamman onnistuneen referenssikohteen ja joukon tyytyväisiä asiakkaita. Tuotteelle olisi myös välttämätöntä hankkia CE-merkintä.

## 6 POHDINTAA

Porraselementin valmistaminen yhdellä iskulla on työmenetelmänä haastava, koska riittävän taivutusjäykkyyden saamiseksi elementin pitää olla joko reunoiltaan korkea tai materiaaliltaan paksua. Erilaisilla reunataivutuksilla olisi mahdollista lisätä askelman taivutusjäykkyyttä lisäämättä materiaalia. Lisäksi valmistusmenetelmällä syntyvä askelma on pinnaltaan tasainen ja sen vuoksi liukas, jollei siihen tehdä karhennusta tai kohoumia esim. levytyökeskuksen erikoistyökaluilla (kuva 13). Yhtenä vaihtoehtona on karhennuksen liimaaminen askelman pintaan, joka lisäisi valmistukseen yhden työvaiheen ja nostaisi sitä kautta kustannuksia. Kyseisellä valmistusmenetelmällä ei saavuteta riittävän suurta etua ja myyntihinnan ollessa hyvin lähellä kilpailijoita, tuotetta ei ainakaan tällä hetkellä kannata alkaa valmistamaan. Kilpailijoiden tuotteissa on runkoputki pääsääntöisesti osissa, jolloin sen kuljetus ja siirtely ovat helpompaa kuin esim. 3 m pitkän yhtenäisen putken. Kilpailuetua voisi tuoda portaiden valmistaminen ruostumattomasta teräksestä, tällöin ei tarvittaisi erillistä pintakäsittelyä. Lisäksi paketoimalla samaan toimitukseen turvaportti ja saranat voitaisiin saada aikaan houkutteleva kokonaisuus. Suurin haaste kuitenkin olisi päästä markkinoille ja saada ensimmäiset asiakkaat. Onnistuneiden kohteiden avulla jatkomarkkinointi olisi huomattavasti helpompaa.



KUVA 13. Askelman kuviointi levytyökeskuksessa

Vaikka porrasta tai edes porraselementtiä ei valmistettu opinnäytetyön tekemisen aikana, saatiin valmius sellaisen valmistukseen. Suunnittelun ongelmat saatiin pääosin ratkaistua ja tuote olisi valmis prototyyppiä ja testausta varten. Askelman taivutukseen tarvittavaa työkalua, jonka suunnittelu ja valmistus kuuluivat yritykselle, ei valmistettu, joten prototyyppiä ei voitu valmistaa. Prototyypin valmistuminen olisi tuonut opinnäytetyölle lisäarvoa, koska silloin olisi päästy testaamaan suunnitelman toteutettavuutta. Suunnittelun yhteydessä portaaseen ja kaiteisiin liittyvät standardit ja määräykset käytiin läpi tulevaisuutta varten.

Työn paras anti sekä yritykselle että sen tekijälle oli suunnitteluautomaatin ja sitä ohjavan Excel-laskennan omaksuminen. Samalla tekniikalla pystytään jatkossa mitoittamaan ja hinnoittelemaan esim. yrityksen valmistamat pitkät pianosaranat, joita tehdään myös asiakkaan mittojen mukaan. Lisäksi yksinkertaisten perussaranoiden modifiointia pystytään tulevaisuudessa automatisoimaan, jolloin suunnitteluun käytettyä aikaa ja kustannuksia voidaan pienentää. Tulevaisuudessa voisi olla mahdollista toteuttaa esim. verkkokauppa-sovellus, jolla asiakas voisi itse mitoittaa ja tilata tarvitsemansa pianosaranan.



## LÄHTEET

SFS-EN ISO 14122-1. 2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet.

Osa 1: Pääsytien valinta ja yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 19.11.2017. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/in-dex.html.stx>

SFS-EN ISO 14122-3. 2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Porraat, porrastikkaat ja suojakaiteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 19.11.2017. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/in-dex.html.stx>

E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet. 2011. Helsinki: Ympäristöministeriö. Luettu 19.11.2017. <http://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>

F2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen käyttöturvallisuus, määräykset ja ohjeet. 2001. Helsinki: Ympäristöministeriö. Luettu 19.11.2017. <http://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>

Salmi, T. & Pajunen, L. 2010. Lujuusoppi. Tampere: Pressus.

Valtanen, E. 2016. Tekniikan taulukkokirja. 21. painos. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy

Vertex systems. N.d. Luettu 29.12.2017. <https://www.vertex.fi/web/fi>

Tampereen erikoissarana Oy. N.d. Yrityksen historia. Luettu 20.11.2017. <http://www.tampereenerikoissarana.fi/articles/601/>

## LIITTEET

## Liite 1. Askelman mitoitus taipuman avulla, Matcad 3.1

1 (3)

Materiaalin paksuus:	$s := 3 \text{ mm}$			
Palkin pituus:	$l := 900 \text{ mm}$			
Reunan korkeus:	$h := 80 \text{ mm}$			
Kuorma:	$Q := -5000 \frac{N}{m^2}$			
Materiaalin kimmokerroin:	$E := 210 \text{ GPa}$			
Palkin leveyden yhtälö x:n suhteen:	$b(x) := \frac{100 \text{ mm} - 400 \text{ mm}}{l} \cdot x + 400 \text{ mm}$			

	poikkipinnan korkeus	poikkipinnan leveys	poikkipinnan pinta-ala	poikkipinnan pintakeskiön y-koordinaatti:
Kansi	$h_1 := s$	$b(x)$	$A_1(x) := b(x) \cdot h_1$	$y_1 := \frac{s}{2}$
Kyljet	$h_2 := h - h_1$	$b_2 := 2 \cdot s$	$A_2 := h_2 \cdot b_2$	$y_2 := \frac{h_2}{2} + h_1$

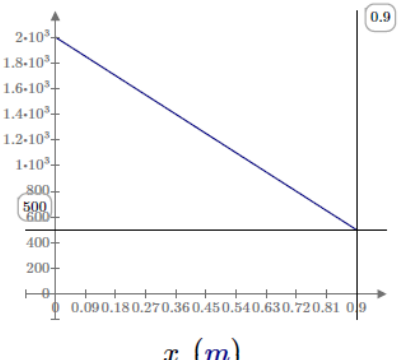
Poikkipinnan pintakeskiön y-koordinaatti:  $y_0(x) := \frac{A_1(x) \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1(x) + A_2}$

Poikkileikkauksen neliömomentti Steinerin lauseella:  $I = \sum I_i + A_i c_i^2$

$$I(x) := \frac{b(x) \cdot h_1^3}{12} + A_1(x) \cdot (y_1 - y_0(x))^2 + \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12} + A_2 \cdot (y_2 - y_0(x))^2$$

$$q_0(x) := Q \cdot b(x) \quad q_0(l) = -500 \frac{N}{m} \quad q_0(0 \text{ mm}) = -2000 \frac{N}{m}$$

$x := 0 \text{ mm}, 1 \text{ mm} \dots l$



$-q_0(x) \left( \frac{N}{m} \right)$

Kuorma jaettu tasaisesti muuttuvaksi ja tasaiseksi ja näiden aiheuttamat taipumat laskettu yhteen

Tasaisesti muuttuva kuorma:

$$q_{0V} := |q_0(l)| - |q_0(0 \text{ mm})| = -1500 \frac{N}{m} \quad \int_{0 \text{ mm}}^l q_0(x) dx = -1125 N$$

$$M_V(x) := \frac{q_{0V}}{6} \left( -3 \cdot x^2 + \frac{x^3}{l} \right) \quad M_V(l) = 405 N \cdot m$$

$$\nu''(x) := -\frac{M_V(x)}{E \cdot I(x)}$$

$$\nu'(x) := \int_{0 \text{ mm}}^x \nu''(x) dx \quad \nu'(l) + C_1 = 0 \quad C_1 := -\nu'(l) = 0.001$$

$$\nu(x) := \int_{0 \text{ mm}}^x \nu'(x) + C_1 dx \quad C_2 := -\nu(l) = -0.72 \text{ mm}$$

$$\nu(x) := \int_{0 \text{ mm}}^x \nu'(x) + C_1 dx + C_2$$

$$\text{tasaisesti muuttuva kuorma} := \nu(0 \text{ mm}) = -0.72 \text{ mm}$$

$$\nu(l) = 0 \text{ mm}$$

Tasainen kuorma + askelman massasta aiheutuva taipuma:

$$\delta := 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad V := \int_{0 \text{ mm}}^l b(x) dx \cdot h_1 + h_2 \cdot b_2 \cdot l = 1.091 \text{ L} \quad m := V \cdot \delta = 8.508 \text{ kg}$$

$$q_m := \frac{m \cdot g}{l} = -92.708 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad q_{0S} := q_0(l) + q_m = -592.708 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$M_S(x) := \frac{-q_{0S} \cdot x^2}{2}$$

$$\nu''(x) := -\frac{M_S(x)}{E \cdot I(x)}$$

$$\nu'(x) := \int_{0 \text{ mm}}^x \nu''(x) dx \quad \nu'(l) + C_1 = 0 \quad C_1 := -\nu'(l)$$

$$\nu(x) := \int_{0 \text{ mm}}^x \nu'(x) + C_1 dx \quad C_2 := -\nu(l)$$

$$\nu(x) := \int_{0 \text{ mm}}^x \nu'(x) + C_1 dx + C_2 \quad \text{tasainenkuorma} := \nu(0 \text{ mm}) = -0.39 \text{ mm}$$

$$\nu(l) = 0 \text{ mm}$$

Palkin taipuma:

$$\text{tasaisestimuttuvakuorma} + \text{tasainenkuorma} = -1.11 \text{ mm}$$

## Liite 2. Keskitolpan mitoitus, Mathcad 3.1

Teräsputken mitoitus:

$$\sigma_{sall} := 355 \text{ MPa} \quad D := 168.3 \text{ mm} \quad F := 10 \text{ kN} \quad r := 1200 \text{ mm}$$

$$A(t) := \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \pi \cdot \left(\frac{D-2 \cdot t}{2}\right)^2 \quad W(t) := \frac{\pi \cdot (D^4 - (D-2 \cdot t)^4)}{32 \cdot D}$$

$$\sigma(t) := \frac{F}{A(t)} + \frac{F \cdot r}{W(t)}$$

Valitaan seinämänpaksuus varmuudella 3 myötöön nähden

Guess Values	$t := 1 \text{ mm}$
Constraints	$\frac{\sigma_{sall}}{\sigma(t)} = 3$
Solver	$\text{find}(t) = 5.165 \text{ mm}$

Taulukosta (Valtanen 2016, 839-844) valitaan seinämän paksuudeksi  $t := 5 \text{ mm}$

$$\sigma(t) = 121.887 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{sall}}{\sigma(t)} = 2.913$$

## Liite 3. Kiinnityspultin mitoitus, Mathcad 3.1

## 8.8 Pultin mitoitus:

Murtolujuus:  $R_m := 800 \text{ MPa}$

Myötöraja:  $R_e := 0.8 \cdot R_m = 640 \text{ MPa}$

Mitoituskuorma:  $Q := 5 \text{ kN}$

Sallittu leikkausjännitys:  $\tau_{sall} := R_e \cdot 0.6 = 384 \text{ MPa}$

$$\tau(A) := \frac{Q}{A}$$

Valitaan nimellinen jännityspoikkipinta-ala varmuudella 3 myötöön nähden

Guess Values	$A := 10 \text{ mm}^2$
Constraints	$\frac{\tau_{sall}}{\tau(A)} = 3$
Solver	$\text{find}(A) = 39.063 \text{ mm}^2$

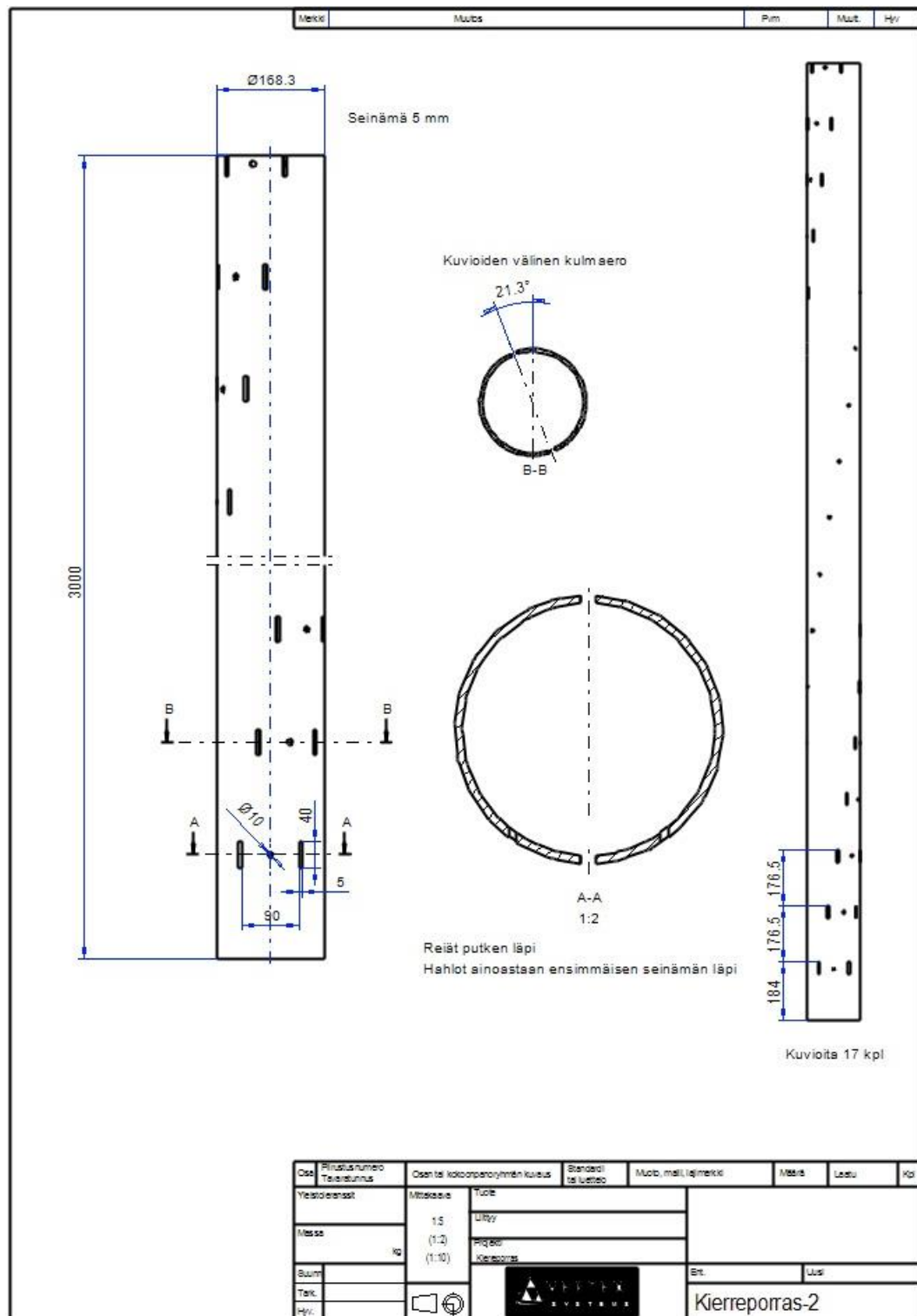
Taulukosta (Valtanen 2016, 793) valitaan pinta-alan perusteella M10  $A_s := 58 \text{ mm}^2$

Tarkistus:

$$\tau(A_s) = 86.207 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{sall}}{\tau(A_s)} = 4.454$$

## Liite 4. Runkoputken piirustus, Vertex G4



## Liite 5. Asiakaskuva portaikosta, Vertex G4

