

Lauri Nousiainen

# Maanjärityksen kestävien kytkentäkotelotelineiden suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinööryö

30.4.2014

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Lauri Nousiainen Maanjärityksen kestävien kytkentäkotelotelineiden suunnittelu 41 sivua + 4 liitettä 30.4.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotesuunnittelu
Ohjaajat	Suunnittelupäällikkö Tom Gustafsson Yliopettaja Jyrki Kullaa
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja mitoittaa telineet Fortum Oyj:n Loviisan ydinvoimalaitoksen reaktorin apurakennukseen asennettaville uusille kytkentäkoteloil- le. Säteilyturvakeskuksen (STUK) vaatimusten mukaan oli telineet mitoitettava maanjärityksen kestäviksi, sillä ne kannattelevat turvallisuusluokiteltua laitteistoa.</p> <p>Työssä suunniteltiin neljä erilaista telinettä: seinälle ankkuroitava yhden kotelon teline sekä lattiaan ja seinään ankkuroitavat yhden, kahden ja kolmen kotelon telineet.</p> <p>Suunnittelua varten kerättiin tietoa maanjärityksistä ja niiden vaikutuksista rakenteisiin. Lisäksi tutustuttiin työhön liittyviin standardeihin ja ohjeistuksiin sekä voimalaitoksen omiin ohjeisiin ja vaatimuksiin.</p> <p>Työ alkoi telineiden hahmottelulla sekä osien profiilien ja päämittojen valinnalla. Seuraavaksi tehtiin lujoustarkastelu käyttäen staattista korvausvoimamenetelmää. Laskentatyö suoritettiin Mathcad 15 -ohjelmiston avulla. Koteloida asennetaan myös joihinkin vanhoihin telineisiin, joten tarkasteltiin niiden lujuutta. Osista tehtiin kolmiulotteiset mallit ja niistä edelleen kokoonpanomallit. Sitten malleista tehtiin osa- ja kokoonpanopiirustukset Creo Elements/Pro -ohjelmistolla sekä lopuksi asennuspiirustukset Microstation V8i -ohjelmistolla.</p> <p>Tehdyt laskelmat, piirustukset ja muut työhön liittyvät asiakirjat koottiin lopuksi rakennesuunnitelmaksi.</p>	
Avainsanat	telineet, maanjäritykset, mitoitus, suunnittelu

Author Title	Lauri Nousiainen Designing of Earthquake-Resistant Junction Box Racks
Number of Pages Date	41 pages + 4 appendices 30 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Product Design
Instructors	Tom Gustafsson, Manager Jyrki Kullaa, Principal Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's Thesis was to design and dimension racks for new junction boxes which will be installed in the reactors auxiliary building of the Loviisa nuclear power plant owned by Fortum Corporation. Radiation and Nuclear Safety Authority STUK demands the racks to be designed for earthquake resistance because they are to support classified equipment.</p> <p>Four types of racks were designed in this project: a wall-mounted rack for a single junction box, and three different racks to be anchored both on to wall and the floor. The latter were designed for one, two and three boxes.</p> <p>To start with, information on earthquakes and their effects on structures was gathered for the design process. Also the standards and guidelines of STUK, as well as the plant's own guidelines and requirements were studied.</p> <p>The project work started with the sketching of some configurations and then choosing the main dimensions and profiles for the parts. Next, the strength analysis was carried out using a static force compensation method. Calculations were carried out with the Mathcad 15 software program. Furthermore, some boxes were to be installed on racks already built. The strength analysis was carried out for them as well. Three-dimensional models of the parts and further assembly models were made with Creo Elements/Pro software. Then part and assembly drawings were made with the same software. Finally, installation drawings were made using Microstation V8i software.</p> <p>Finally, the calculations, drawings and other project related documents were gathered together and a construction plan was compiled of them.</p>	
Keywords	racks, earthquakes, dimensioning, designing

## Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Työn vaiheet	2
2	Maanjäristykset	5
2.1	Maanjäristysten synty ja aaltoliikkeet	5
2.2	Maanjäristysten intensiteetti ja magnitudi	9
2.3	Maanjäristysten tuhovaikutuksia	11
2.4	Riskiluokitus ja maanjäristykset Suomessa	11
2.5	Maanjäristysten huomioon ottaminen suunnittelussa	13
3	Suunnitteluprosessi	17
3.1	Suunnitteluperusteet	17
3.2	Ideointi	20
3.3	Lujuuslaskenta	25
3.4	Piirustuksien laatiminen	31
3.5	Rakennesuunnitelman kokoaminen	38
4	Yhteenveto	39
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liite 1. Seinäkiinnitteisen telineen lujuuslaskenta	
	Liite 2. Lattiakiinnitteisen telineen lujuuslaskenta	
	Liite 3. Muut laskut	
	Liite 4. Piirustukset	

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Niin kauan kuin ydinvoimaloita on ollut olemassa, on niiden turvallisuus huolestuttanut ihmisiä ympäri maailman. Viime vuosina varsinkin Japanin Fukushima Dai-ichi -voimalassa sattunut onnettomuus on muuttanut ydinvoimaloiden turvallisuuden suhtautumista kriittisemmäksi, ja esimerkiksi Saksa on päättänyt luopua ydinvoimasta kokonaan [1]. Sendaissa sattunut maanjäristys aiheutti valtavan hyökyaallon, tsunamin, joka iski muun muassa Fukushiman voimalaitosalueelle vahingoittaen laitosta vakavasti. Onnettomuuden seurauksena voimalaitokselta vapautui ilmaan ja mereen radioaktiivisia aineita. [2.]

Ydinvoima-alalla on onnettomuuden jälkeen herätty kehittämään uusia turvallisuutta parantavia järjestelmiä ja kiinnittämään huomiota yhä useampiin mahdollisiin onnettomuuksiin. Varsinkin maanjäristyksiltä ja tsunameilta suojautuminen on tärkeää, sillä voimalaitokset on usein sijoitettu jäähdytysveden takia rannikolle, ja monissa maissa ydinvoimalaitoksia on myös seismisesti aktiivisilla alueilla.

Vaikka Suomi on seismisesti hyvin vakaa alue, ja suurten maanjäristysten todennäköisyys on hyvin pieni, esiintyy pieniä järistyksiä jatkuvasti. Riskiä ei todellakaan ole syytä väheksyä. Ydinvoimalaitosonnettomuuksien seuraukset voivat olla todella mittavia ja vakavia, joten on tärkeää varautua myös epätodennäköisiin tilanteisiin. Siksi rakennukset, tärkeät järjestelmälaitteet sekä jälkimmäisten tukirakenteet on mitoitettava kestävästi niin maanjäristyksiä kuin muitakin uhkia. Suunniteltaessa maanjäristyksen kestäviä rakenteita on tärkeää ymmärtää, miten maanjäristykset syntyvät ja millä tavalla ne vaikuttavat rakenteisiin.

Uusien rakenteiden ja laitteiden suunnittelun ohella myös olemassa olevien järjestelmien sekä rakenteiden kehitys ja kunnossapito on tärkeä tekijä turvallisuuden kannalta. Energiayhtiö Fortum Oyj:llä on käynnissä Loviisan voimalaitoksen automaatiouudistusprojekti, joka parantaa voimalaitoksen turvallisuutta korvaamalla vanhan analogisen automaatiojärjestelmän digitaalisella. Projektiin liittyy uusien kytkentäkoteloiden asentaminen eri puolille laitosta, ja tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella reaktorin apurakennukseen asennettaville uusille kytkentäkoteloilte telineet seinä- ja lattia-

kiinnityksillä. KytKentäkotelo on sellainen kotelo, johon voidaan tuoda kaapeleita ja kytkeä ne helposti ja suojatusti toisiinsa. Vastaavien telineiden tarkkaa maanjärstysmitoitusta ei ole aiemmin tehty Loviisan voimalaitoksen apurakennukseen, joten työ on projektille hyvin tarpeellinen Säteilysturvakeskuksen hyväksynnän saamiseksi. Työssä noudatetaan ohjetta YVL 2.6 ja sen suunnitteluperustetta S2. Ohjeen mukaan ydinvoimalaitos täytyy suunnitella siten, ettei suunnittelumaanjärstyksestä aiheudu vaaraa laitoksen sammutukselle, jälkilämmönpoistolle, suojarakennuksen toiminnalle eikä radioaktiivisten aineiden leviämisen estämiselle. Ydinvoimalaitosten rakenteet ja laitteet luokitellaan kahteen luokkaan niille asetettujen kestävyysvaatimusten perusteella. Luokkaan S1 kuuluvat ydinturvallisuuden kannalta tärkeät rakenteet ja laitteet, jotka eivät saa vahingoittua maanjärstysten seurauksena. Luokkaan S2 kuuluvat kaikki muut rakenteet ja laitteet, joille ei aseteta omaan toimintakykyyn ja eheyteen liittyviä vaatimuksia, mutta ne eivät saa vaurioitumisellaan vaarantaa luokkaan S1 kuuluvia rakenteita ja laitteita. [3, s. 4.]

## 1.2 Työn vaiheet

Suunniteltavat kytKentäkotelotelineet ovat osa automaatiojärjestelmää. Mahdollisessa onnettomuustilanteessa automaatiojärjestelmä ottaa laitoksen hallintaansa ja voi sitten ajaa sen automaattisesti turvalliseen tilaan, mikä pienentää oleellisesti suuronnettomuuden mahdollisuutta. Tästä syystä suunniteltavat telineet mitoitetaan ja varmistetaan laskuilla S2-luokan periaatteiden mukaisesti maanjärstysten kestäviksi. Asennettavien koteloiden mitoituksen on tehnyt niiden toimittaja, joten niiden maanjärstyskestävyyttä ei käsitellä tässä työssä.

Aluksi tutustuttiin asennusympäristöön ja selvitettiin, onko eri asennuspaikoilla erilaisia vaatimuksia telineiden suhteen. Selvitettiin, mitä materiaaleja on mahdollista käyttää ja onko tarvetta pintakäsittelylle. Nämä asiat selviävät Loviisan voimalaitoksen omasta ohjeistuksesta. Lisäksi tutustuttiin aiemmin suunniteltuihin telineratkaisuihin.

Suunnittelu aloitettiin hahmottelemalla paperille erilaisia vaihtoehtoja telineen rakenteelle. Suunnittelun lähtötietona on käytetty kotelon ja sen kiinnitysten mittoja. Kotelo on ulkomitoiltaan 488 mm leveä, 405 mm korkea ja 168 mm syvä. Kotelon massa on 20,9 kg. Kiinnityspisteiden väli pystysuunnassa on 345 mm ja vaakasuunnassa 428 mm. Kotelo on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Kyt Kentäkotelo

Kaikki asennettavat kotelot ovat samanlaisia. Seuraavaksi tutkittiin millainen hahmotel-  
luista telineistä kuhunkin asennuspaikkaan sopii. Telineitä asennetaan kymmeneen eri  
tilaan, joista osa on automaatiotiloja ja osa käytäviä tai prosessitiloja. Tiloissa on asen-  
nettuna muita rakenteita, jotka tuli ottaa huomioon suunnittelussa. Sen lisäksi, että  
vanhojen rakenteiden seasta täytyi löytää paikka uusille telineille, on myös huomioita-  
va, etteivät ne pääse vahingoittamaan uusia kotelointeja ja niiden tukirakenteita.

Telineet suunnitellaan niin, että seinä- ja lattiakiinnitteisissä malleissa käytettiin mah-  
dollisimman paljon samanlaisia materiaaleja ja profiileja. Näin tarveainehankinnat tule-  
vat helpommiksi ja halvemmiksi. Kun konseptisuunnittelu oli tehty, valittiin tarvittaviin  
osiin sopivat profiilit ja kiinnitysmenetelmät. Mietittiin myös osien mitat lujuuslaskentaa  
varten.

Seuraavana työvaiheena oli lujuuslaskenta, joka alkoi kytkentäkoteloon ja telineeseen  
vaikuttavien maanjäristyskuormien selvittämisellä. Kun kuormat olivat tiedossa, voitiin

laskea rakenteessa syntyvät staattiset reaktivoimat ja niiden perusteella eri osissa vaikuttavat jännitystilat. Verrattiin jännityksiä materiaalien myötörajoihin ja selvitettiin, onko kunkin osan mitoitus sopiva vai onko sitä syytä muuttaa. Lisäksi lujuustarkastelulla tutkittiin, onko joissakin asennustiloissa olevia vanhoja kotelotelineitä mahdollista käyttää uusien koteloiden asennuksiin.

Kun osien mitoitus oli selvillä, tehtiin niistä kolmiulotteiset mallit, joista rakennettiin kokoonpanomallit. Tehdyistä malleista luotiin osa- ja kokoonpanopiirustukset. Tutkittiin myös jokaisen telineen asennuspaikat ja laadittiin asennuspiirustukset. Lopuksi laadittiin tai muutoin hankittiin muut rakennesuunnitelmaan vaaditut dokumentit, ja koottiin valmis rakennesuunnitelma.



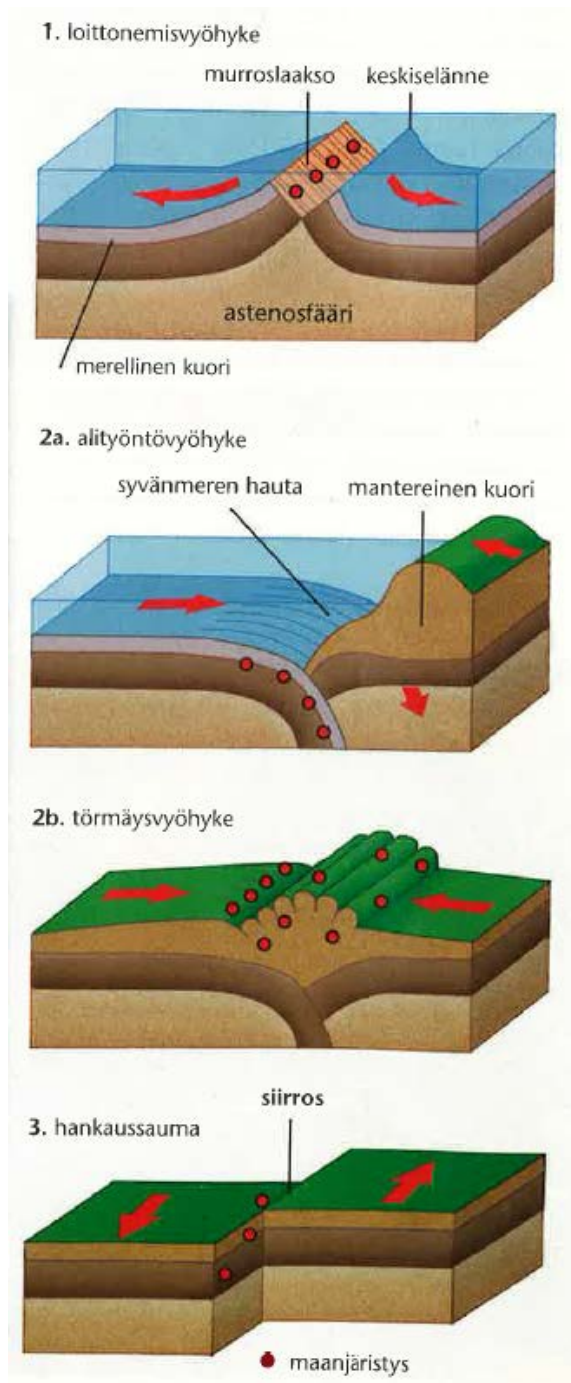
## 2 Maanjäritykset

Maanjärityksistä seuraa rakennuksille ja muille rakenteille kuormituksia, jotka saattavat aiheuttaa niille ja niiden ympäristölle suurta tuhoa. Onkin siis tärkeää suunnitella rakenteet siten, että ne kestävät kyseisiä kuormituksia mahdollisimman hyvin. Maanjärityksien merkitys korostuu varsinkin rakennettaessa hyvin korkeita tai yhteiskunnalliselta merkitykseltään tärkeitä rakennuksia ja rakenteita. Tässä insinööriyössä suunniteltavien telineiden on tärkeää kestää maanjärityksiä, sillä niihin liittyvät automaatiojärjestelmät mahdollistavat muun muassa voimalaitoksen hallintaan oton ja turvallisen alasajon onnettomuustilanteessa.

### 2.1 Maanjäritysten synty ja aaltoliikkeet

Maapallon kivikehä, eli litosfääri, jakautuu parikymmeneksi tektoniseksi laataksi, jotka voivat muodostua mantereellisestä kuoresta, merellisestä kuoresta tai molemmista. Myös laatan alapuolella sijaitseva maapallon vaipan jäykkä yläosa kuuluu tektoniseen laattaan. Nämä laatat kelluvat osittain sulan astenosfäärin päällä. Astenosfäärissä aine liikkuu siten, että kuumentunut, kevyempi kiviaines liikkuu ytimeä poispäin kohti kuorta, ja jäähtynyt, painavampi aine painuu vastaavasti kohti ydintä. Ilmiötä kutsutaan konvektioksi. Konvektion aiheuttamat pyörrevirtaukset aikaansaavat tektonisten laattojen liikettä. [4, s. 26; 4, s. 32.] Laatat liikkuvat vuodessa noin 3–10 cm. Aineen liikkuaessa ja ajan kuluessa kallioperä voi poimuttua ja halkeilla, ja kivilajit sekä mineraalit saattavat muuttua [5, s. 31].

Kuvassa 2 on havainnollistettu tektonisten laattojen erilaisia liikkeitä suhteessa toisiinsa. Kuvassa näkyvät punaiset pisteet ovat siirroksissa syntyviä maanjärityspesäkkeitä.

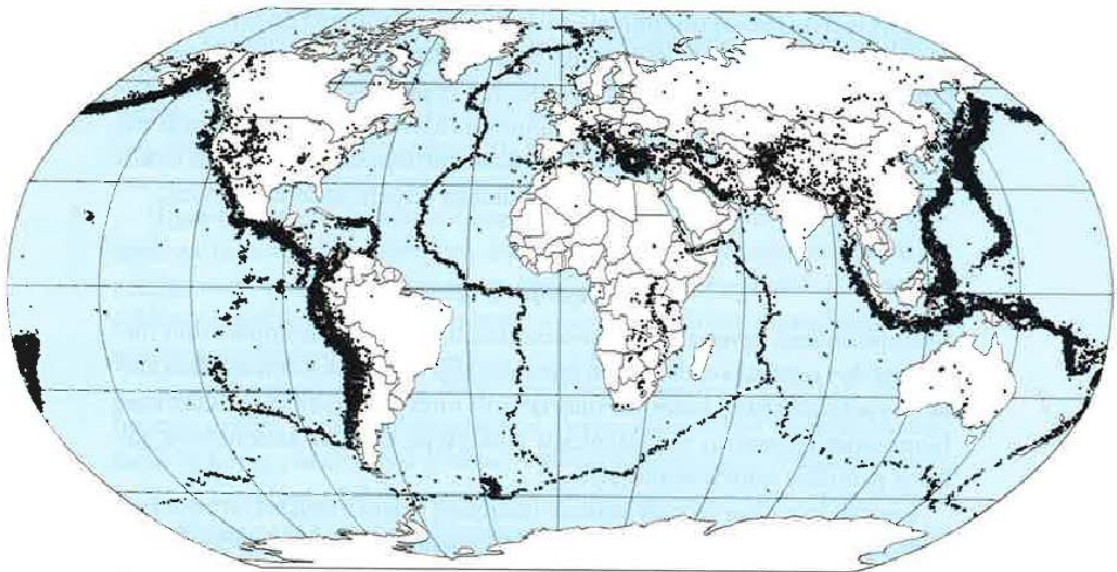


Kuva 2. Laattaliikkeet ja maanjäristykset [5, s. 36]

Laatat voivat liikkeessään törmätä toisiinsa, erkaantua tai liukua toistensa editse. Laattojen rajavyöhykkeet voivat olla valtamerten levenemisselännteitä, joissa uutta laattaainesta työnny laattojen reunoille, merellisiä alityöntövyöhykkeitä, joissa laatan reuna painuu toisen laatan alle, mantereellisia törmäysvyöhykkeitä, joissa laattojen reunoista muodostuu poimuvuoristoja ja toinen laatta painuu toisen alle, tai transformi- eli sivut-

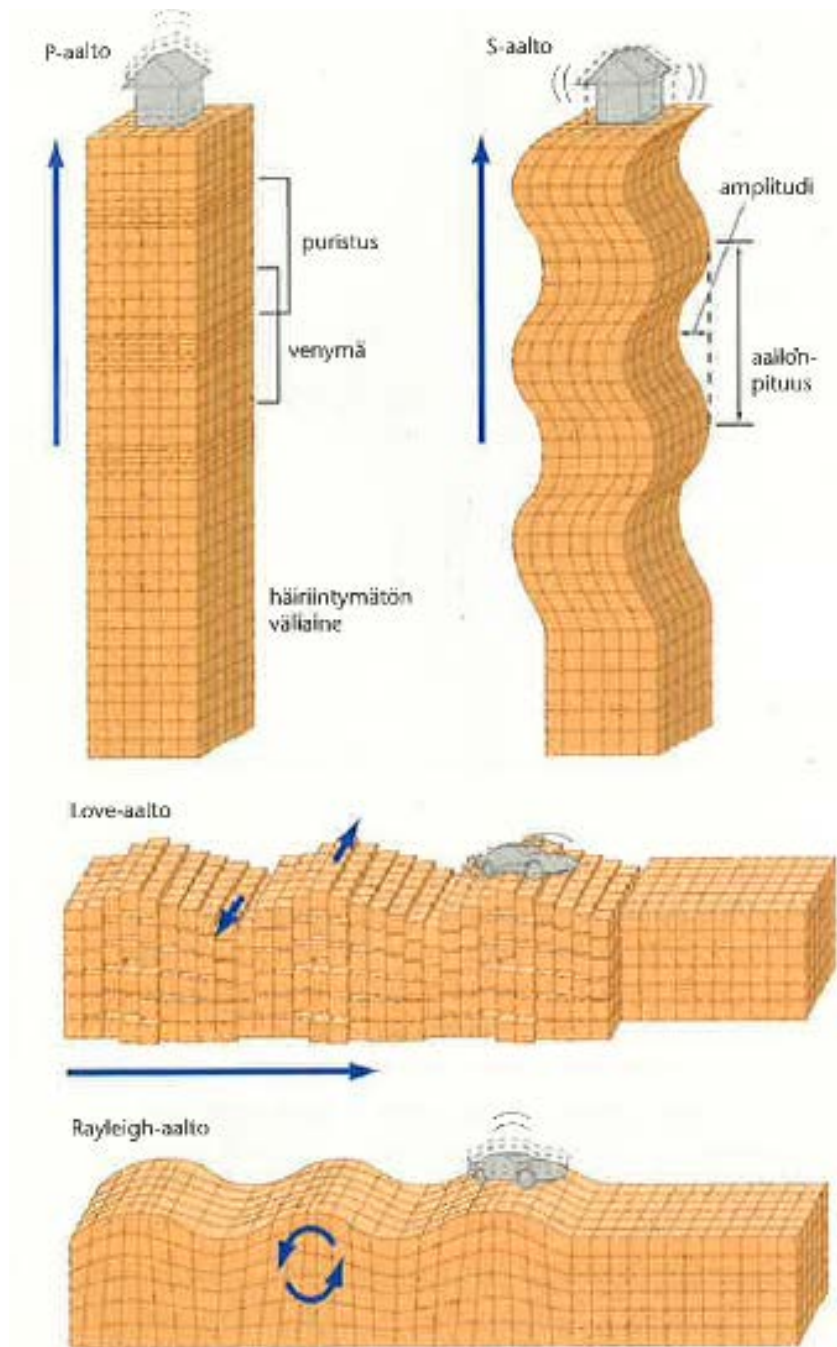
taissirrosten vyöhykkeitä, joissa laatat liikkuvat toistensa reunojen suuntaisesti. [4, s. 27–29; 5, s. 34.]

Kun laatat liikkuvat toisiinsa nähden eri suuntiin tai eri nopeuksilla, niiden yhtymäkohtiin syntyy kitkavoiman aiheuttamia jännityksiä. Kun jossakin pisteessä jännitys kasvaa suuremmaksi kuin maaperän kiviaines kestää, nytkähtävät laattojen reunat paikallisesti vastakkaisiin suuntiin, ja syntyy maanjäristys. Tämä saattaa muuttaa läheisissä pisteissä olevia jännityksiä, jolloin voi syntyä lisää järjestyksiä. Suurin osa maanjäristyksistä (yli 90 %) sattuu tektonisten laattojen reunoilla. [4, s. 39.] Kuvasta 3 voidaan nähdä, että tärkeimmät maanjäristysvyöhykkeet ovat Tyynen valtameren reunoilla ja Etelä-Euroopasta Himalajan vuoristoon ulottuvalla alueella [6]. Myös laattojen sisään voi syntyä jännityksiä, kun laatan eri alueet liikkuvat eri nopeuksilla. Tällainen alue on esimerkiksi Kiinassa, jossa läntiset maakunnat liikkuvat kohti koillista itäisiä maakuntia nopeammin. Alueelle syntyy leikkausjännitystä, joka aiheuttaa voimakkaita maanjäristyksiä. [4, s. 39, 157.] Kuvassa näkyvät maapallolla tapahtuneiden maanjäristysten episentrumien, eli maanpäällisten keskipisteiden, sijainnit.



Kuva 3. Maapallon seisminen kartta [6]

Maanjäristyksesäkkeestä, hyposentrumista, leviää kimmoista aaltoliikettä kaikkiin suuntiin. Tätä aaltoliikettä voidaan tutkia seismografilla, jolla saadaan rekisteröityä järjestyksiä, vaikka niiden pesäkkeet olisivat kaukana itse mittauspisteestä. Kuvassa 4 on havainnollistettu maanjäristysaaltojen perustyyppisiä.



Kuva 4. Maanjäristysaaltojen perustyytit havainnollistettuna [4, s. 39]

Ensimmäisenä seismografi havaitsee nopeat pitkittäiset kompressioaallot eli P-aallot, jotka kulkevat maapallon läpi ja vuoroin puristavat ja venyttävät kallioperää. Seuraavaksi voidaan havaita S-aallot, jotka ovat poikittais- eli transversaaliaaltoja. Nämä aallot taivuttavat kallioperää sivusuunnassa. Sitten saapuvat maanpintaa pitkin kulkevat pinta-aallot (Rayleigh- ja Love-aallot) ja lopuksi ns. vapaat värähtelyt, joita syntyy suurissa

maanjäristyksissä. Pinta-aallot ovat pahimpia tuhon aiheuttajia maanjäristyksissä. [4, s. 136–140; 5, s. 38–39.]

Tektonisten laattojen pyrkiessä liikkumaan siirroslinjaa pitkin toistensa ohitse kitkavoima lukitsee liikkeen. Jännityksen kasvaessa kitkan aiheuttama lukitus lopulta pettää jossakin pisteessä. Kyseiseen pisteeseen syntyy repeämä, joka kasvaa nopeasti siirrostasoa pitkin jopa satojen kilometrien päähän. Siirrostason vastakkaiset puolet siirtyvät siten, että deformaatio ja jännitystila häviävät tai ainakin pienenevät. Siirtymä tapahtuu kapealla alueella, joka ylittää muutamien kilometrien päähän siirtolinjan molemmiin puolin. Kun maaperä liikahtaa nopeasti, syntyy häiriöitä, jotka leviävät seismisinä aaltoina. [4, s. 144–145.]

Tällainen tapahtuma on luonteeltaan toistuva, koska laattojen liike jatkuu järistyksen jälkeenkkin ja jännitys kasvaa uudelleen, kunnes ylittää taas jossakin siirroskohdan pisteessä maankuoren lujuuden. Suuret maanjäritykset synnyttävät jälkijärityksiä, kun viereisten maanjärityspesäkkeiden jännityksiä laukeaa. [4, s. 145.] Maanjärityksien tapahtuma-aikaa tai -paikkaa ei voida vielä nykytiedolla ennustaa. Menetelmiä niiden ennakointiin yritetään kuitenkin kehittää.

## 2.2 Maanjäritysten intensiteetti ja magnitudi

Kun puhutaan järistyksen voimakkuudesta, voidaan puhua intensiteetistä tai magnitudista. Intensiteetti kuvaa järityksestä tehtäviä aistihavaintoja ja magnitudi on verrannollinen järityksessä syntyvien aaltojen maksimiampplitudiin. Intensiteetin arvo pienenee, kun etäisyys maanpäälliseen maanjärityskeskustepisteeseen, episentrumiin, kasvaa. Sen sijaan magnitudin arvo pysyy samana mittauspisteestä riippumatta. [4, s. 142.]

Intensiteetistä puhuttaessa, käytetään nykyisin useimmiten niin sanottua muunnettua Mercallin asteikkoa, joka on kaksitoistaportainen. Kun järistyksen intensiteetti kyseisellä asteikolla on I, se voidaan havaita vain herkillä mittalaitteilla. Intensiteetin ollessa II, järitys voidaan todeta jo ihmisaistein. Kun nousee luokkaan VI, syntyy pientä aineellista vahinkoa ja intensiteetin ollessa suurimmillaan, luokassa XII, on hävitys täydellinen. [4, s. 142.]

Magnitudi eli suuruusluokka on maanjärityksen varsinainen voimakkuuden mitta, ja se on verrannollinen seismogrammista mitattuun suurimpaan poikkeamaan eli amplitudiin.

Magnitudiasteikon loi vuonna 1935 Charles Richter. Asteikko on kymmenkantainen logaritmiasteikko, mikä tarkoittaa, että magnitudin kasvaessa yhden yksikön verran kasvaa amplitudi kymmenkertaiseksi. Magnitudin arvo lasketaan kaavalla  $m = \log\left(\frac{a}{T}\right) + B$ , jossa  $m$  on magnitudi,  $a$  seismogrammista luettu suurimman heilahduksen amplitudi jaettuna seismografin suurennuksella (mikrometreinä),  $T$  heilahdusaika ja  $B$  vaimennus, jonka arvo on riippuvainen pesäkkeen episentrumietäisyydestä sekä syvyydestä. [4, s. 143.] Tämän lisäksi seismogrammin amplitudin neliö on verrannollinen maanjäristyksessä vapautuvaan energiaan [5, s. 41]. Seismologisissa tietokannoissa on aina ilmoitettava, millä perusteella magnitudi on määritetty. Tavallisimmin käytetään pinta-aaltomagnitudia  $M_s$ , perusaaltomagnitudia  $m_b$  tai momenttimagnitudia  $M_0$ . [4, s. 143.]

Energia ja magnitudi ovat logaritmisesti riippuvaisia toisistaan. Tämä riippuvuus, jota kutsutaan Gutenberg-Richterin laiksi, on tarkka muuten paitsi magnitudiasteikon ääripäissä. Vaikka magnitudiasteikko on periaatteessa avoin, määrittyy alaraja mittalaitteiston herkkyydestä ja yläraja, joka on noin yhdeksän, kallioperän lujimman kivilajin murtumiskestävyydestä. Taulukossa 1 on esitetty eri magnitudisten maanjäristyksien esiintymistiheyksiä ja niissä vapautuvia energiamääriä. [5, s. 42.]

Taulukko 1. Eri magnitudisten maanjäristysten lukumääriä vuosittain sekä niissä vapautuvia energioita [5, s. 42]

<b>Magnitudiraja</b>	<b>Lukumäärä vuodessa keskimäärin</b>	<b>Vapautuva energia alarajalla (<math>10^{12}</math> J)</b>
<b>≥ 8,0</b>	1	63 000
<b>≥ 7,0</b>	19	2 000
<b>≥ 6,0</b>	140	63
<b>≥ 5,0</b>	940	2
<b>≥ 4,0</b>	7 140	0,063
<b>≥ 3,0</b>	56 000	0.002
<b>≥ 2,0</b>	420 000	0,000 063

Ahveniston ym. [5, s. 42] mukaan suurimman havaitun maanjäristyksen magnitudi oli noin yhdeksän ja siinä on arvioitu vapautuneen energiaa  $6 \cdot 10^{17}$  joulea. Noin puolet maapallon seismisestä energiasta vapautuu suurimmissa maanjäristyksissä, joiden magnitudi on yli kahdeksan. Järityksissä, joiden magnitudi on yli seitsemän, purkautuu

75 % seismisestä energiasta. Vaikka magnitudin seitsemän ylittäviä järistyksiä tapahtuu vuoden aikana useita, tulevat yleiseen tietoon vain järistykset joilla on suuri intensiteetti. [5, s. 42–43.]

### 2.3 Maanjäristysten tuho vaikutuksia

Kakkurin ja Hjeltin [4, s. 157] mukaan maanjäristyksiä arvelaan olevan tuhoisimpia luonnononnettomuuksia. Järistykset tuhoavat ympäristöään tärisyttämällä maaperää, jolloin rakenteet saattavat niihin kohdistuvien jännitysten takia murtua. Maanjäristykset myös rikkovat kallioperää ja laukaisevat maanvyöryjä sekä tsunameja.

Näistä maaperän tärähtely on suurin tuhojen aiheuttaja, koska se aiheuttaa rakenteiden tuhoutumista. Ihmishengille tuhoisia ovat erityisesti vyöryvät lössimassat, jotka lähtevät liikkeelle järistysten voimasta ja joita ei voida millään ihmisen rakentamalla esteellä pysäyttää. [4, s.159.]

### 2.4 Riskiluokitus ja maanjäristykset Suomessa

Kun määritellään jonkin alueen riskiluokitusta, on tärkeää tietää kyseisen alueen tuho vaikutuksiltaan suurimman maanjäristyksen intensiteetti, joka pitkäaikaisten tilastojen perusteella voi sattua kyseisessä paikassa kerran tietynpituisen ajanjakson aikana. Kansainvälisesti käytetään usein 475 vuoden ajanjaksoa. Intensiteettiarvon saavuttavan maanjäristyksen sattumisen todennäköisyys ensimmäisen 50 vuoden aikana on 10 %, sadan vuoden aikana 19 %, 250 vuoden aikana 41 %, ja 500 vuoden ajanjaksolla 65 %. Suomeen tällä tavoin arvioitu suurin intensiteetti lienee luokkaa V. [4, s. 159.]

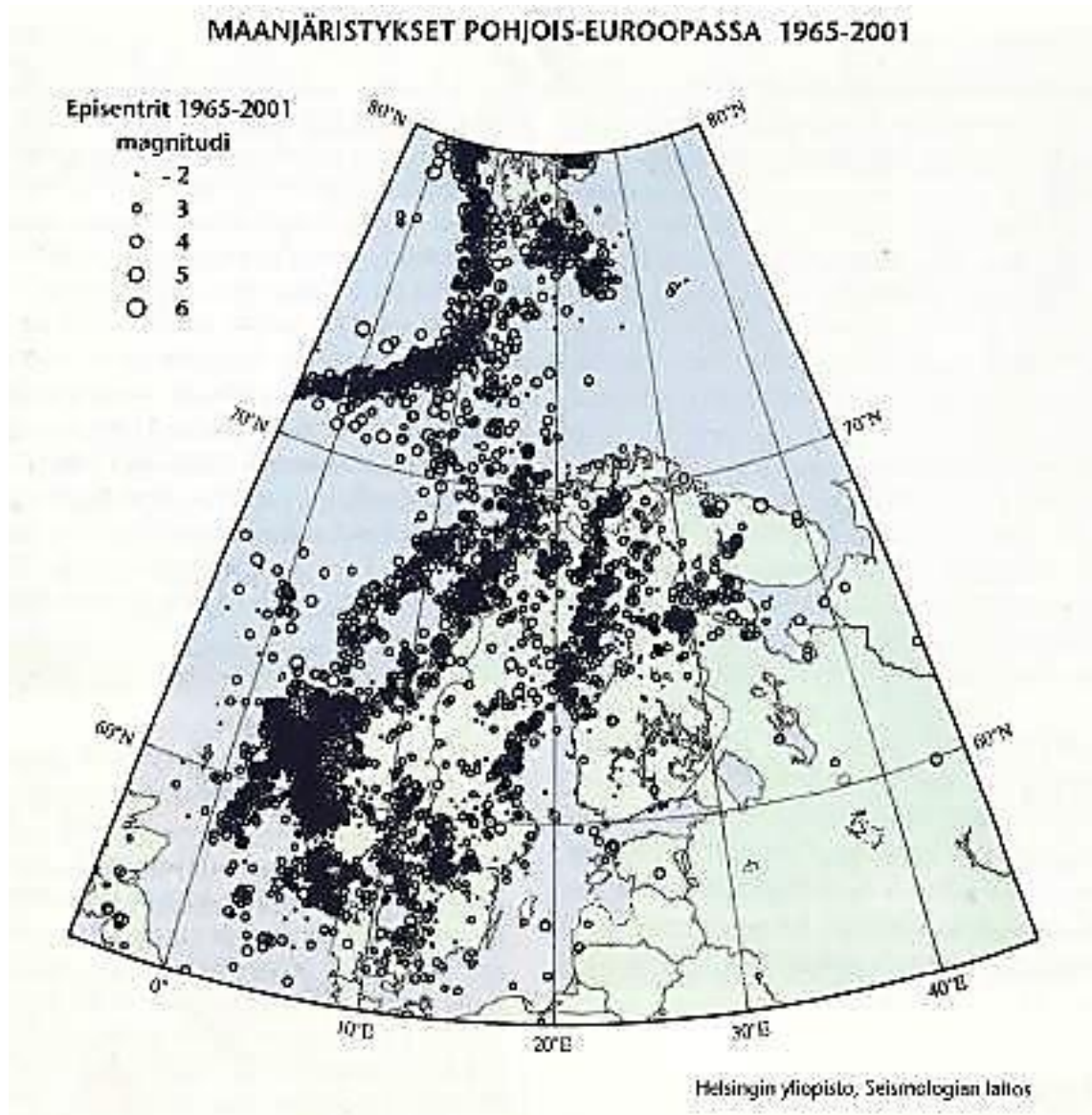
Maapallon eri alueet voidaan jakaa seismisen riskialttiutensa mukaan viiteen luokkaan taulukon 2 esittämällä tavalla.

Taulukko 2. Seismisten alueiden riskiluokat [4, s. 160]

<b>Luokka</b>	<b><i>Maksimi-intensiteetti 50 vuotta kestävä<span>n</span> ajanjakson aikana (10 %:n todennäköisyydellä)</i></b>
<b>0</b>	V tai sitä pienempi
<b>1</b>	VI
<b>2</b>	VII
<b>3</b>	VIII
<b>4</b>	IX tai sitä suurempi

Suomi kuuluu siis luultavimmin luokkaan 0, joka on seismisesti kaikkein rauhallisin [4, s.160], sillä Suomen kallioperä on vanhaa ja pääpiirteiltään vakiintunutta. Fennoskandian ja Euraasian liike, Pohjois-Atlantin keskiselänteen leviäminen ja jääkauden jälkeinen maannousu Pohjanlahden alueella aiheuttavat Suomen kallioperään kuitenkin jännityksiä, jotka purkautuvat magnitudiltaan pienissä (yleensä alle neljä) maanjäristyksissä. Suomen suurimmat järjestykset keskittyvät Kainuusta Perämerelle yltävälle alueelle, kuten voidaan havaita kuvasta 5. [5, s. 46; 7.]





Kuva 5. Vuosina 1965–2000 Fennoskandian alueella paikannetut järjestykset [5, s. 46]

Maanjärjestyksiä tutkitaan maailmanlaajuisesti seismografiasemien verkoilla. Suomessa suurin osa asemista kuuluu Helsingin yliopiston Seismologian laitokselle ja muutama Oulun yliopiston Sodankylän geofysiikan observatoriolle. Herkkien rakennelmien läheisyydessä seurataan tärinää erillisten lisäasemien avulla. Esimerkiksi Loviisan ydinvoimalan ympäristössä on tällaisia lisäasemia. [5, s. 46.]

## 2.5 Maanjärjestyksen huomioon ottaminen suunnittelussa

Rakenteet suunnitellaan yleensä niin, että ne kestävät hyvin pystysuuntaisia kuormia, jotka aiheutuvat maan vetovoimasta. Suurimmat kuormitukset maanjärjestyksessä ai-

heutuvat kuitenkin vaakasuuntaisista järjestysaalloista. Rakenteet, joissa näitä kuormituksia ei ole otettu huomioon, saattavat murtua ja aiheuttaa vakavia vaaratilanteita tai jopa kuolemantapauksia.

Suunnittelussa voidaan vähentää riskejä sijoittamalla rakenteet ja laitteet mahdollisimman lähelle maanpintaa sekä suunnittelemalla ne mahdollisimman symmetrisiksi ja yksinkertaisiksi. Tällöin kiihtyvyydet ovat pienempiä ja kuormitus jakautuu tasaisesti rakenteen eri elimille ja suurien jännityskeskittymien synty on epätodennäköisempää.

Rakenteet voidaan suunnitella siten, että ne kuormituksen alaisena myötäävät mutta eivät murru. Myös erilaisia vaimentimia voidaan hyödyntää vähentämään kuormituksia ja siirtämään rakenteen ominaistaajuutta suotuisammalle alueelle. Ominaistaajuus on taajuus, jonka lähellä olevalla taajuudella värähtelevä jaksollinen heräte saa rakenteessa aikaan resonanssitilan. Resonanssitilassa muodonmuutokset voivat kasvaa todella suuriksi. Rakenteella on ääretön määrä ominaistaajuuksia, mutta pienimmät niistä ovat tärkeimpiä suunnittelun kannalta. [8, s. 12–14.]

Liitokset tulee suunnitella riittävän lujiksi, jotta ne kestäisivät maanjäristyksen vaikutuksia. Hitsausliitoksissa käytetään lujuudelle varmuuskerrointa 1,20, jolloin liitoksista tulee ylilujia. Pulttien leikkausliitoksissa tulisi levyn reiän murtua ennen kuin pultti leikkautuu. Pulttien tulee olla oikein kiristetyt, etteivät liitokset löysty maanjäristyksen aiheuttaman dynaamisen kuormituksen takia. [8, s. 42.]

Maanjäristyksen aiheuttamia kuormituksia voidaan arvioida useilla eri menetelmillä. Tässä työssä on käytetty staattisen korvausvoiman menetelmää, jota käytetään pääasiassa yksinkertaisten rakenteiden suunnittelussa ja vaativampien rakenteiden esisuunnittelussa. Menetelmässä korvataan dynamiikan tehtävä sellaisella staattisella kuormitusjakaumalla, joka antaa saman siirtymämuodon, kuin mitä olisi alkuperäisessä dynaamisessa tehtävässä maksimissaan ollut. Menetelmän voidaan ajatella antavan kohtuullisen hyviä tuloksia vain, jos rakenteen alin ominaismuoto kuvaa hyvin vastetta maanjäristystapauksessa. Jos korkeammat ominaismuodot osallistuvat vasteeseen oleellisesti, ei menetelmä anna kovinkaan hyviä tuloksia. Normeissa menetelmän käyttö rajataan useimmiten matalille ja kaikkien akselien suhteen symmetrisille rakennuksille. Käytännössä menetelmä on kätevä, koska kuhunkin tarkasteltavaan suuntaan täytyy arvioida vain alin ominaisvärähdysaika, ja laskea sitä vastaavat korvausvoimat.

Näitä voimia voidaan sitten yhdistellä muiden kuormitustapausten kanssa halutulla tavalla. [9, s. 9.]

Kiihtyvyyssvastespektri tarkoittaa yhden vapausasteen värähtelijän maksimikiihtyvyyttä ominaisvärähdysajan funktiona jollakin kiihtyvyyshistorialla. Rakenteeseen vaikuttava suurin voima saadaan ominaisvärähdysajan  $T$  ja seismisen massan  $m$  perusteella kiihtyvyysspektristä. Seismisten kuormien laskennassa käytetään eri kiihtyvyyshistorioiden tasoitettua käyrää. [9, s. 7–8.] Spektrejä laskettaessa on otettava huomioon useita maaperän ja rakennuksen ominaisuuksia. Spektreihin vaikuttavat rakennuksen kokonaispaino, rakenteen suurin ominaisvärähtelyaika sekä rakennuksen sitkeys- ja vaimennusominaisuudet. Lisäksi laskennassa voidaan käyttää korjauskertoimia, jotka riippuvat esimerkiksi maantieteellisestä sijainnista, rakennuksen yhteiskunnallisesta tärkeydestä ja maaperän koostumuksesta. Kun rakenteeseen vaikuttava kokonaisvoima on saatu selville, lasketaan sen jakautuminen eri kerroksille. [8, s. 16–18.] Vastespektrikuvaajan vaaka-akselilla on taajuus hertseinä ja pystyakselilla spektriampplitudi Maan vetovoiman aiheuttaman kiihtyvyyden kertoimena.

Tässä työssä lattiavastespektreistä otetaan kiihtyvyyden suurin arvo ja kerrotaan se rakenteen massalla, jolloin saadaan rakenteeseen vaikuttava staattinen voima kuhunkin tarkasteltavaan suuntaan. Teline rakenteen asennusasento rakennukseen nähden on otettu huomioon laskennassa, ja käännetty vaaka-akseleita niin, että kiihtyvyydet kohdistuvat kuhunkin suuntaan oikean suuruksina.

Tässä työssä on käytetty aiemmin laskettuja lattiavastespektrejä, joten niitä ei tarvinnut erikseen laskea. Laskentaan on käytetty rakennuksesta kuorielementein tehtyä mallia, jonka laskentaverkossa on noin 40 000 solmua. Betonin materiaaliominaisuuksina on käytetty seuraavia arvoja: Kimmomoduuli  $30\,000\,000\text{ kN/m}^2$ , Poissonin luku 0,2, tiheys  $2,4\text{ t/m}^3$ . Mallinnuksessa on otettu huomioon suurimmat säiliöt pistemäisinä massaelementteinä. Nämä pistemassat ovat mitättömiä suhteessa rakennuksen massaan 44 000 t. Vasteiden laskennassa käytetty ohjelma on Abaqus Standard 6.12-1. Rakennuksen vaste on laskettu rakennuksen ominaismuotojen perusteella aikahistoriana. Ominaismuodoista on otettu huomioon ensimmäiset 500. Rakennuksen perustuksille annetut kiihtyvyyss-aikahistoriat on mallinnettu YVL B.7:n liitteen mukaisesta spektristä muodostettuna 15 sekunnin kiihtyvyyss-aikahistoriana. Vaimennuksen arvona on käytetty ohjeen NUREG/CR-6919 mukaisesti 4 %, koska merkittävää rakenteellista vaurioitumista ei odoteta. Kiihtyvyyss-aikahistorioista on laskettu lattiavasteet 24 solmulle tar-

vittaville tasoille. Solmujen vasteista on muodostettu verhokäyrät x-, y- ja z-suunnissa. Verhokäyrissä esitetään kiihtyvyyksien taajuuskohtaiset maksimit. Vasteet on laskettu 2 %:n, 5 %:n ja 10 %:n suhteellisilla vaimennuksilla. [10, s. 1–4.] Tässä työssä on käytetty 2 %:n suhteellisella vaimennuksella muodostettuja käyriä, koska ne antavat suurimmat kiihtyvyyden maksimiarvot.

### 3 Suunnitteluprosessi

#### 3.1 Suunnitteluperusteet

Telineitä suunniteltiin tämän työn puitteissa kymmenen kappaletta. Seitsemään telineistä asennetaan yksi kotelo, kahteen kaksi ja yhteen kolme koteloa. Kahden kotelon tapauksissa oli kummassakin asennuspaikassa mahdollista käyttää jo olemassa olevia telineitä, samoin kuin toiseen korkeimmalla tasolla sijaitsevista asennustiloista. Korkeimman asennustason vanha teline on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Uuden kotelon asennukseen käytettävä, olemassa oleva teline

Suunniteltiin kuitenkin myös teline kahdelle kotelolle, koska sitä voidaan käyttää automaatiouudistusprojektin jatkuessa muissa kohteissa.

YVL 2.6:ssa lukee:

Rakenne ja laitekohtaiset seismiset suunnitelmat sekä kohdan 4.2 mukaisten maanjäristyskuormitusten huomioon ottamiseksi edellytettävät mitoituslaskelmat on esitettävä rakenteiden ja laitteiden suunnittelua koskevissa asiakirjoissa.

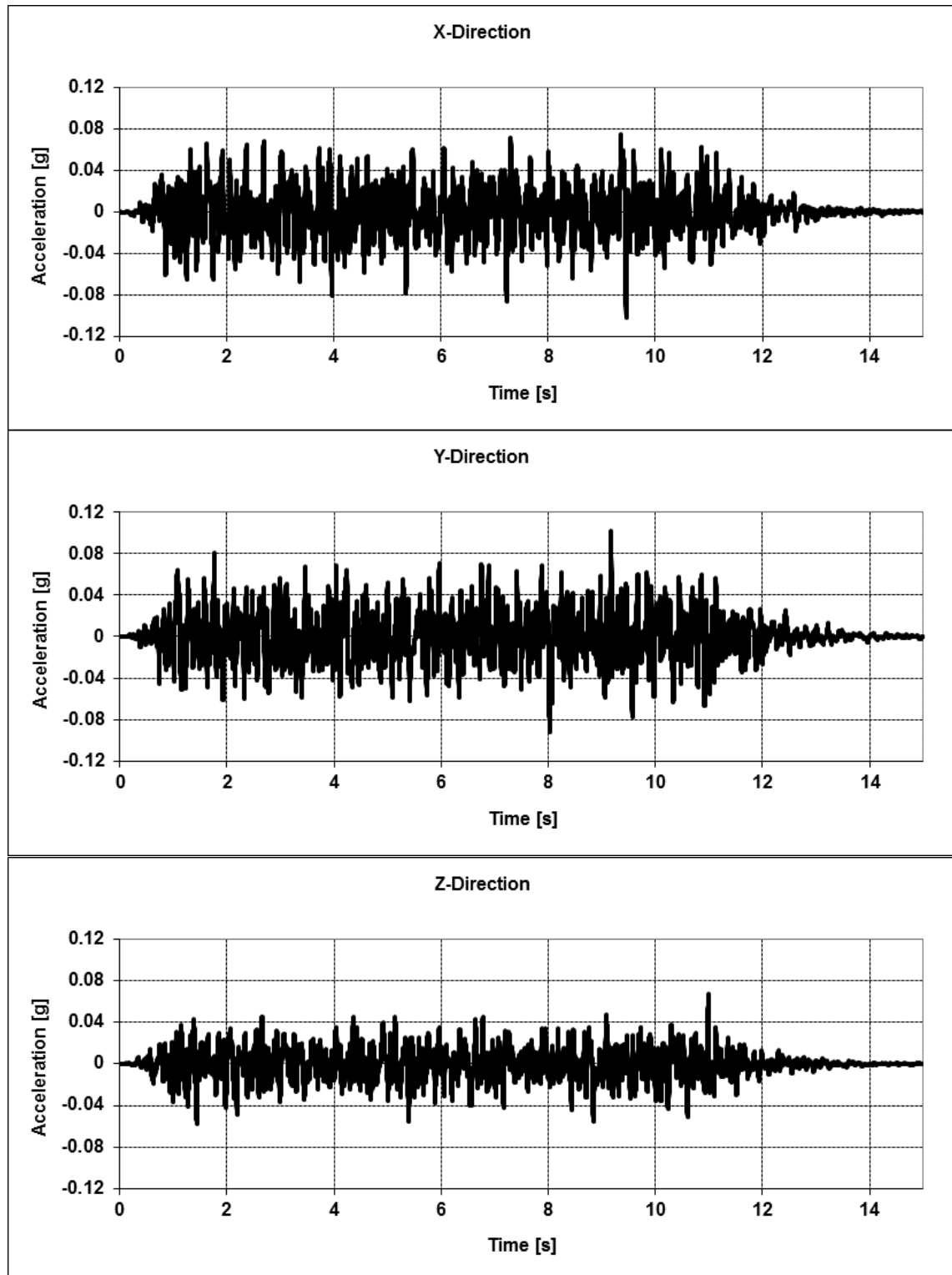
Maanjäristysluokkaan S1 kuuluvat rakennustekniset rakenteet on mitoitettava kestämään suunnittelumaanjäristyksen aiheuttamat kuormitukset. Riittävästä maanjäristyskestävyydestä on varmistuttava myös luokassa S2 esimerkiksi rakennukselle tehdyn dynaamisen analyysin perusteella.

Maanjäristysluokkaan S1 kuuluvien painelaitteiden, muiden mekaanisten rakenteiden ja laitteiden sekä erityisesti niiden tuentojen ja kiinnitysten mitoituslaskelmissa tulee tarkastella suunnittelumaanjäristyksen aiheuttamat kuormitukset, ellei niitä voida perustellusta syystä pitää vähäisinä muihin suunnittelukuormituksiin verrattuna.

Mitoituslaskelmat tulee esittää myös maanjäristystilanteessa olennaisesti kuormittuvista luokan S1 sähkö- ja automaatiolaitteiden tuennoista ja kiinnityksistä. [3, s. 5–6.]

Telineisiin kiinnitetään kumpaankin edellä mainittuun luokkaan kuuluvia koteloita, eikä rakenteisiin vaikuta muita merkittäviä suunnittelukuormia, joten mitoituksessa tuli ottaa maanjäristyskuormat huomioon. Luokan S2 automaatiolaitteiden tuennat tulee mitoittaa maanjäristykset huomioiden, sillä ne eivät saa vaurioitua siten, että vahingoittavat esimerkiksi kaatuessaan luokan S1 laitteita ja kiinnityksiä [3, s. 4]. Kummankin luokan telineet täytyi tässä työssä mitoittaa maanjäristyksen kestäviksi.

Kuormat saatiin kerrosvastespektreistä, jotka oli muodostettu apurakennuksen jokaiselle kerrokselle erikseen maavastespektrin ja rakennuksen laskentamallin avulla. Kerroskohtaiset spektrit tuli laskea erikseen, koska korkeissa rakennuksissa ylimpien kerrosten kiihtyvyydet saattavat olla erittäin paljon suurempia maavastespektristä saataviin kiihtyvyyksiin verrattuna. Kiihtyvyydet oli otettava huomioon kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa horisontaalisuunnassa sekä vertikaalisesti. Kuormien varmuuskertoimina käytettiin arvoa 1,5 [11, s. 75] ja laskentalujuuksina ominaislujuuksia [3, s. 5]. Kuvassa 7 ovat rakennuksen perustuksille annetut kiihtyvyyksien aikahistoriat.



Kuva 7. Apurakennuksen perustuksille vastespektrien laskennassa annetut kiihtyvyyss- aikahistoriat

Materiaaliksi valittiin teräs sen hyvien lujuusominaisuuksien vuoksi. Teräsrakenteet käyttäytyvät maanjäristystilanteessa edullisesti, sillä ne sitovat hyvin muodonmuu-

tosenergiaa murtumatta. Loviisan voimalaitosten ohjeistuksen mukaan teräsrakenteiden tulee olla korroosiosuojattuja. Telineissä käytetään austeniittista EN 1.4404 -terästä. Sinkkigalvanoituja osia ei voida käyttää, koska ne eivät Loviisan voimalaitoksen ohjeistuksen mukaan sovellu automaatiotiloihin.

### 3.2 Ideointi

Aluksi tunnettuja mittoja olivat vain kotelon päämitat ja sen kiinnityskohtien sijainnit sekä massa. Kiinnitettävän kotelon esitteestä nähtiin, että sen sisään kiinnitettävästä materiaalista suuri osa sijoittuu kotelon takaosan puolelle. Paremman tiedon puuttuessa sijoitettiin kotelon massa jokaisen akselin suunnassa keskelle, jolloin laskennan tuloksissa oltiin varmallalla puolella.

Maanjäristyksen kestävätkä rakenteet tulee suunnitella mahdollisimman yksinkertaisiksi ja symmetrisiksi [3, s. 4]. Rakenteiden tulee myös yleisesti olla mahdollisimman yksinkertaisia valmistaa ja rakentaa, jotta päästään taloudelliseen lopputulokseen. Päätettiin käyttää telineissä Hilti Oy:n valmistamia hammastettuja MQ-sarjan asennuskiskoja (kuva 8), jotka mahdollistavat helpon ja nopean kokoonpanon joustavien kiinnitysmahdollisuuksiensa ansiosta, eivätkä vaadi hitsaustyötä asennuspaikalla. Lisäksi asennuskiskoja on saatavilla ruostumattomasta teräksestä valmistettuina, joten niitä ei tarvitse erikseen maalata.



Kuva 8. Asennuskiskoprofiili MQ-41-R, Hilti Oy

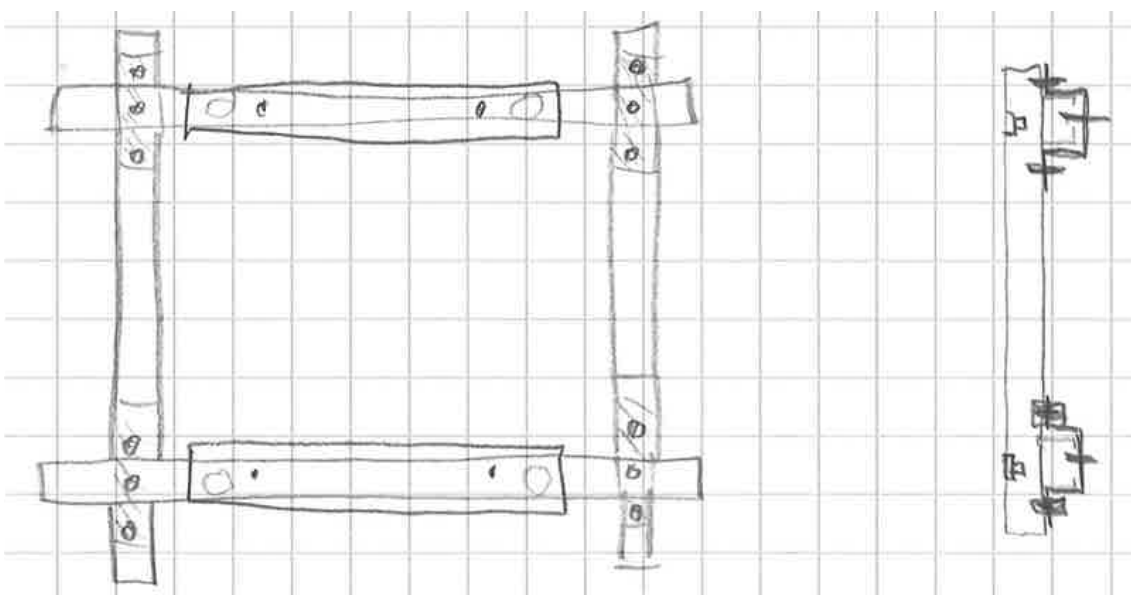
Kyt Kentäkotelon piirustuksista havaittiin, että koteloa ei voitu suoraan kiinnittää asennuskiskoihin vaan väliin tarvittiin erilliset kiinnityspalat, joihin ensin kiinnitettäisiin kotelo, ja jotka sitten voitaisiin kiinnittää kiskoihin. Kiinnityspalat päätettiin tehdä ruostumattomasta, poikkileikkausmitoiltaan 50 mm x 5 mm kokoisesta lattateräksestä. Lisäksi kiinnityskohdat ovat hieman upotettuina kotelon takapinnan sisään, minkä takia väliin päätettiin laittaa aluslevyt suoran kiinnityskontaktin luomiseksi. Välikiinnike on esitetty kuvassa 9.





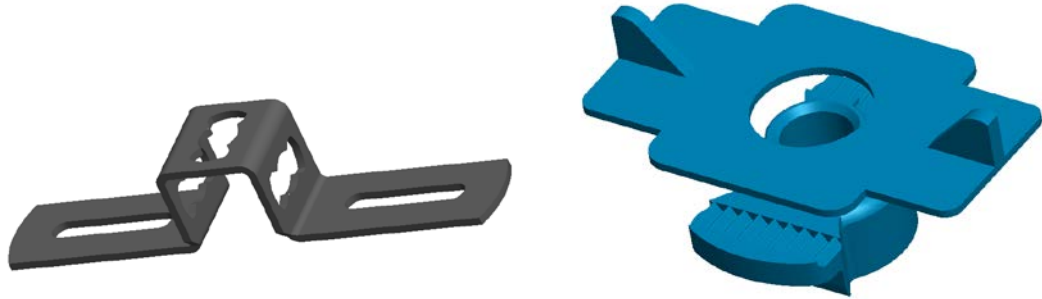
Kuva 9. Välikiinnike

Kuvassa 10 on luonnosteluvaiheessa tehty lyjykynäpiirros seinälle kiinnitettävästä telineestä.



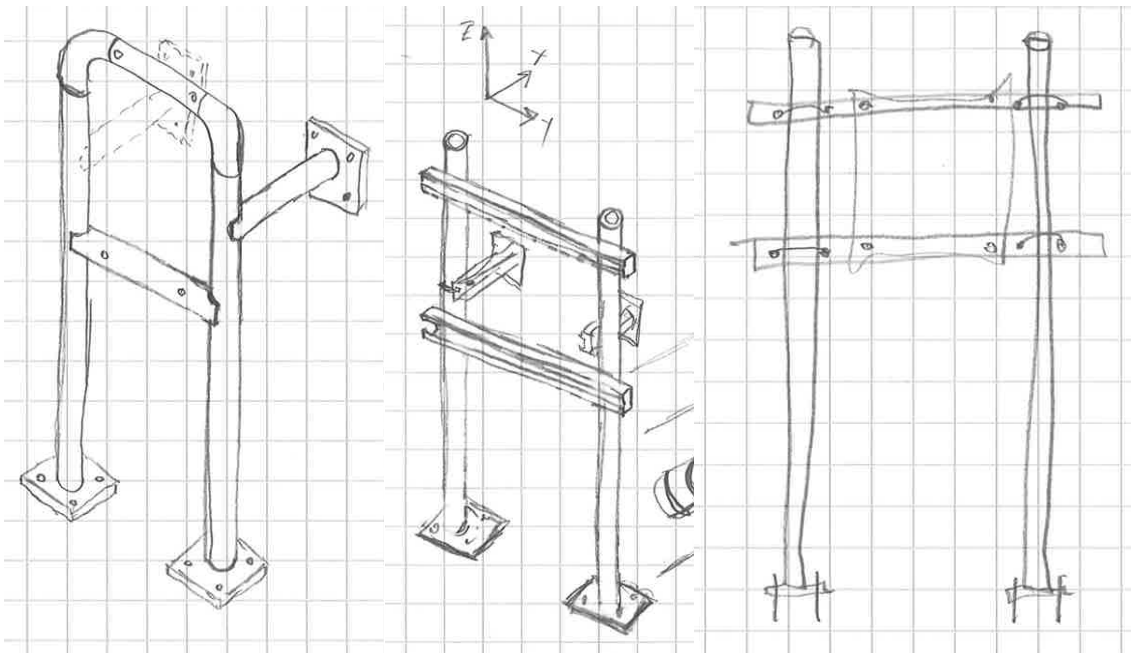
Kuva 10. Seinäkiinnitteisen telineen hahmotelma

Seinäkiinnitteisen telineen runko voitiin tehdä pelkästään asennuskiskoista, sillä ne voidaan kiinnittää toisiinsa ja ankkuroida seinään vaivattomasti. Luonnoksen ratkaisusta muutettiin vain asennuskiskojen välistä kiinnitystä. Niiden liittämiseen käytettiin kiskon ympäri ulottuvan kiinnikkeen sijasta Hilti Oy:n valmistamia siipimuttereita. Tämä ratkaisu säästää kokoonpanotyötä ja -aikaa, kiinnityspulttien määrän pienentyessä. Mietityt kiinnikeratkaisut näkyvät kuvassa 11.



Kuva 11. Kiskojen toisiinsa liittämiseen suunniteltuja osia, Hilti Oy

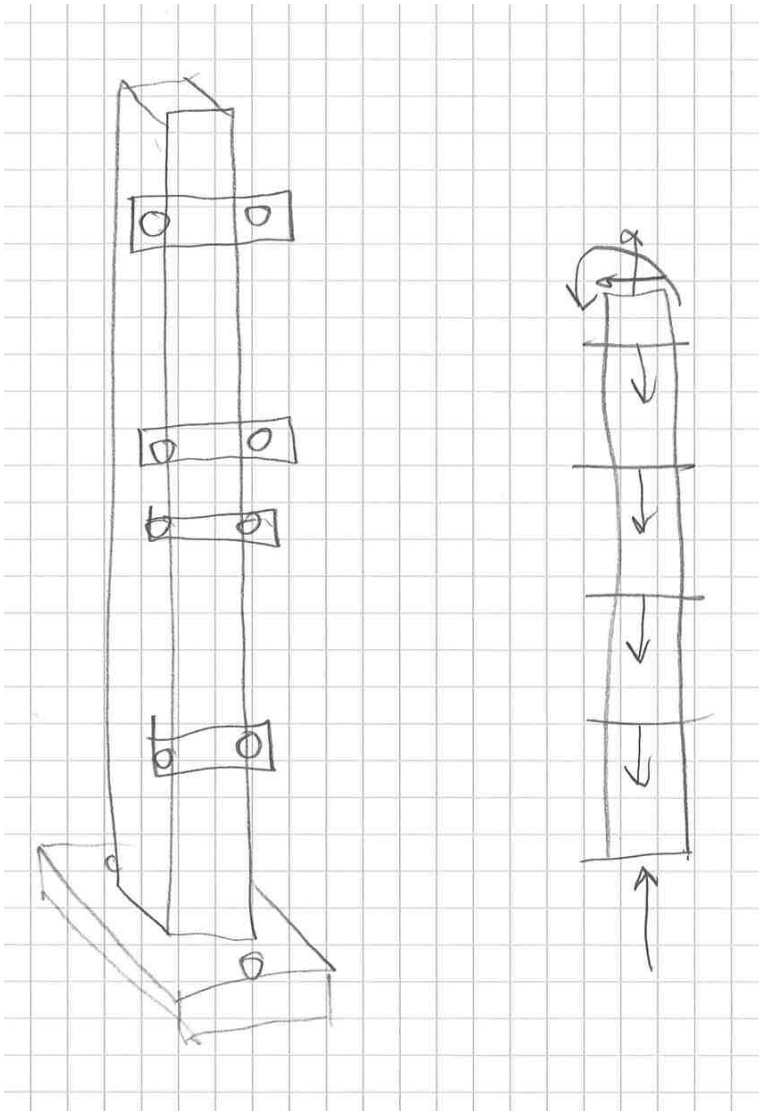
Lattiakiinnitteisen telineen runkoon päädyttiin käyttämään poikittaisten asennuskiskojen lisäksi jaloiksi sopivia rakenneputkia, joiden alapäihin hitsataan laput ankkurointia varten. Lattiakiinnitteisen telineen hahmotelmia on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Lattiaan ankkuroitavan telineen hahmotelmia

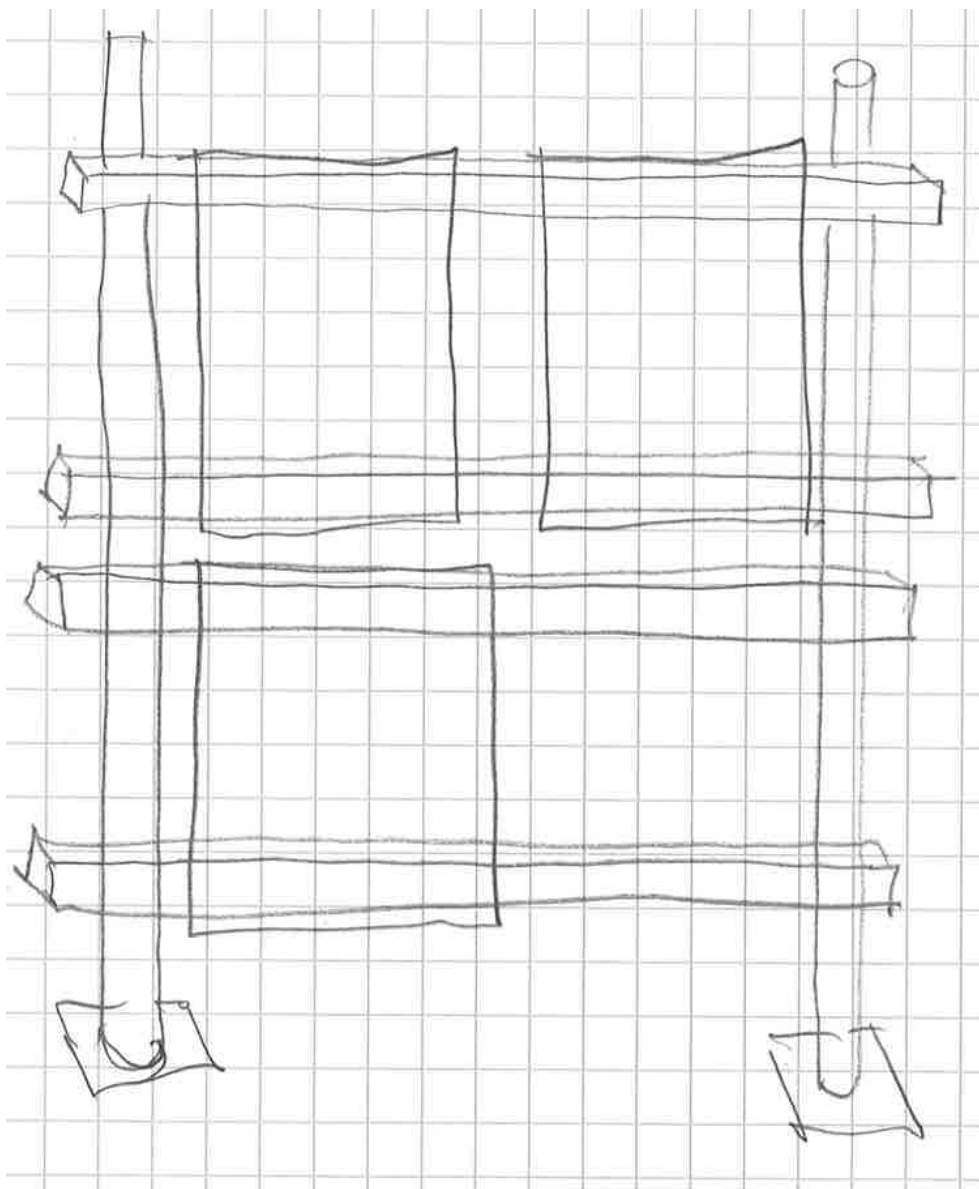
Kuvan 12 hahmotelmista on lopulliseen ratkaisuun käytetty kahta oikeanpuolimmaista mallia ja sivuutettu vasemmanpuoleisin, koska sen valmistus ja kokoonpano olisi työlästä. Lisäksi teline pitäisi kuljettaa kokonaisena asennuspaikalle, mikä saattaisi joissain tiloissa tuottaa ongelmia.

Alustavasti valittiin seinäkiinnitteisen telineen vaakakiskoihin MQ-21R-profiili, pystykiskoihin ja lattia-asenteisen telineen vaakakiskoihin MQ-41R-profiili ja lattia-asenteisen telineen pystyputkiksi halkaisijaltaan 48,3 mm ruostumattomasta teräksestä valmistettu pyöreä rakenneputki. Aluksi suunniteltiin käytettäväksi pyöreää rakenneputkea, kuten kuvassa 12, jolloin kiskojen kiinnittäminen olisi tapahtunut U-pultteja hyödyntäen, mutta kollegalta saatujen kommenttien perusteella päädyttiin vaihtamaan kiinnitystapaa ja putkiprofiilia. Pyöreän putken ja U-pultin liitos löystyy dynaamisissa kuormituksissa, joita maanjäristykset aiheuttavat. Putken profiiliksi valittiin 5 mm x 50 mm x 50 mm neljöputki, ja U-pulttien sijasta kiskojen kiinnittämiseksi putkiin hitsataan lisäksi laput, joihin porataan reiät. Jalan ja kiskon välinen kiinnitys toteutetaan pulteilla ja muttereilla. Kuvassa 13 on jalasta hahmoteltu piirros.



Kuva 13. Jalan uuden version hahmotelma ja vieressä jännityslaskennan avuksi piirretty kuva

Liitosta varten putkiin hitsataan laput, joihin porataan reiät kiskojen kiinnittämistä varten. Kiinnityslappujen materiaaliksi valittiin 5 mm x 50 mm lattateräs, jota suunniteltiin käytettäväksi myös koteloiden välikiinnikkeissä. Putkien alapäihin hitsataan 8 mm x 80 mm x 140 mm teräslaput, joihin on porattu reiät kahta kiila-ankkuria varten. Lopuksi kuvassa 14 on vielä esitetty useampien koteloiden kiinnittämiseen luonnosteltu teline.



Kuva 14. Hahmotelma useamman kotelon telineestä

Kahden kotelon telineessä on ensimmäisen kotelon alle lisätty asennuskiskot toista koteloa varten ja kolmen kotelon mallissa on kiskojen pituutta jatkettu, jotta koteloja saadaan mahtumaan telineeseen vierekkäin. Kaikkiin lattiaan kiinnitettäviin telineisiin tulee myös kuvan 12 keskimmäisen hahmotelman mukaiset konsolikannakkeet, jotka

ankkuroidaan seinään. Nämä kannakkeet kuuluvat samaan tuotesarjaan asennuskiskojen kanssa ja ovat lujuusominaisuuksiltaan sekä materiaaliltaan niiden kanssa yhteneviä.

Lopuksi päätettiin käytettäville profiileille alustavat pituusmitat. Kiskojen uumissa on 63 mm pitkiä kiinnitysaukkoja 100 mm:n välein, joten liitoskohdat tuli sijoittaa niiden mukaisesti siten, että telineiden kokoonpano olisi mahdollista.

Osassa asennuspaikoista oli jo aiemmin asennettuja telineitä, joihin voitaisiin asentaa myös uudet kotelot. Päädettiin käyttämään niitä, koska uusille telineille ei ole tilaa eikä telineissä olevaa vapaata tilaa ole syytä jättää käyttämättä. Koteloiden kiinnittämiseen vanhoihin telineisiin tarvitaan samanlaiset välikiinnikkeet kuin muihinkin. Lisäksi telineisiin asennetaan uusia c-profiilisiä kiskoja, koska kiskojen välin täytyy olla koteloiden kiinnityskohtien välin mukainen. Koteloiden asennus tehdään pulttikiinnityksin, telineeseen tehtyjä aiempia asennuksia mukaillen.

### 3.3 Lujuuslaskenta

Lujuuslaskenta aloitettiin selvittämällä, millaisia kiihtyvyyksiä maanjäristys aiheuttaa rakenteisiin. Työn tilaajan ohjeistuksen mukaisesti mitoitus tehtiin staattisen korvausvoiman menetelmää käyttäen. Laskentatyökaluksi annettiin Mathcad 15 -ohjelmisto. Laskennassa käytettävät kiihtyvyydet saatiin ottamalla kerrosvastespektreistä kiihtyvyyden suurimmat arvot, ja kertomalla ne varmuuskertoimella 1,5 [11, s. 75]. Arvot on otettu spektreistä jotka on muodostettu 2 %:n suhteellisella vaimennuksella. Käytetyt arvot ovat esitettynä taulukossa 3.

Taulukko 3. Laskennassa käytetyt suhteelliset kiihtyvyydet komponenteittain vaimennuskerroimen ollessa 2 %

<b>Elevation</b>	<b>X (g)</b>	<b>Y (g)</b>	<b>Z (g)</b>
<b>+3.00</b>	0,27	0,29	0,16
<b>+7.80</b>	0,58	0,55	0,42
<b>+12.60</b>	0,78	1,3	0,51
<b>+17.40</b>	1,34	1,8	0,55

Taulukossa 3 esitetyt arvot ovat kertoimia Maan vetovoiman aiheuttamalle kiihtyvyydelle  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ . Vasemmassa reunassa esitetyt arvot ovat kerroskorkeuksia metreinä meren pinnasta mitattuna. Z-komponentti on pystysuuntainen ja sen kertoimiin on las-

kennassa lisätty rakenteisiin normaalistikin vaikuttava Maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys  $g$ . Vaakasuuntiin X ja Y, jotka ovat toisiaan vastaan kohtisuorassa, käytetään taulukossa näkyviä kertoimia. Laskennassa on käytetty kunkin erilaisen telineen kohdalla korkeimmalla sijaitsevan asennuspaikan mukaisia kertoimia. Vaakakomponenttien suunnat on telineiden lujuuslaskuihin valittu sen mukaan, mihin asentoon teline rakennuksen koordinaatistoon verraten asennetaan. Yhden kotelon lattiaan asennettavan telineen kohdalla on kuitenkin käytetty ylempänä sijaitsevan kerroksen kertoimia, koska laskennan jälkeen tehtiin päätös käyttää suunnitellun telineen sijaan vanhaa telinettä. Käytetyt kertoimet olivat suurempia kuin muissa kerroksissa, joten tarvetta uudelle tarkastelulle ei ollut. Koska kiihtyvyys voi kullakin akselilla vaikuttaa kumpaan tahansa suuntaan, tutkittiin myös erilaisista kuormitussuuntien yhdistelmistä syntyviä jännityksiä. Havaittiin, ettei kiihtyvyyssuunnilla ole merkittävää vaikutusta maksimijännitysten suuruuksiin. Maksimijännitysten sijainnit rakenteessa luonnollisesti muuttuivat.

Lujuuslaskuja on lisätty tämän työn liitteiksi. Liitteessä 1 on esitettyä seinälle ankkuroitavan telineen lujuustarkastelu ja liitteessä 2 lattiaan ja seinään ankkuroitavan, yhden kotelon telineen lujuustarkastelu. Molemmassa on käytetty tason +17.40 kiihtyvyyksiä. Muiden telineiden lujuustarkastelu on tehty samoin periaattein kuin liitteissä esitettyjen. Lisäksi liitteessä 3 on esitetty hitseille, konsolikannakkeille ja pulteille sekä jalkaputken nurjahdukselle tehdyt lujuustarkastelut.

Spektreistä otettujen kiihtyvyyksien perusteella laskettiin staattiset voimat, jotka vaikuttavat jokaisen kappaleen massakeskipisteessä sekä pystysuuntaan että kahteen toisensa suhteen kohtisuoraan vaakasuuntaan. Voiman kohdistaminen kappaleen keskelle tuottaa jonkin verran tarkempaa laskentaa suurempia jännityksiä, jolloin tuloksissa ollaan varmallalla puolella. Hilti Oy:n verkkosivujen teknisestä kirjastosta saatiin asennuskiskoprofiilien tekniset tiedot, joista löytyy mm. tarvittavat taivutusvastukset, poikkeileikkauspinta-alat, massat pituusyksikköä kohti ja sallitut jännitykset. Samoilta verkkosivuilta saatiin myös kiila-ankkurien ja siipimutterien sallittujen kuormitusten arvot. Asennuskiskojen sallitut jännitykset ovat MQ-41/3-R-profiilille ja MQ-21-R-profiilille 188,3 MPa. Muiden valmistettävien kappaleiden sallittuna jännityksenä on käytetty materiaalin EN 1.4404 vetomyötölujuutta  $R_{p0,2} = 220$  MPa standardin EN 10088 mukaisesti.

Varsinainen lujoustarkastelu aloitettiin laskemalla ensin kytkentäkotelon massasta sen kiinnityspisteisiin aiheutuvien reaktivoimien komponentit kolmessa pääsuunnassa kaavalla 1.

$$F_x = m * a_x \quad (1)$$

$F_x$  on massakeskipisteessä vaikuttava voima tarkasteltavaan suuntaan x

$m$  on kappaleen massa

$a_x$  on suhteellinen kiihtyvyys tarkasteltavaan suuntaan x

Nämä voimat siirrettiin välikiinnikkeiden laskuihin kuormituksiksi ja laskettiin myös kiinnikkeiden massoista syntyvät kuormat. Kuormista ratkaistiin palkkiinnitykselle kohdistuvat voimat. Näin jatkettiin edelleen seuraaviin, kussakin rakenteessa esiintyviin osiin, kunnes päädyttiin kiila-ankkureihin vaikuttaviin voimiin. Laskennassa rakenteiden liitokset on oletettu nivelellisiksi.

Kun kappaleiden voimatasapainot olivat selvillä, pystyttiin tekemään jännitystarkastelu. Tätä varten laskettiin tai haettiin taulukoista kunkin kappaleen poikkileikkauspinta-ala  $A$ . Sitten ratkaistiin normaalijännitys  $\sigma$  kaavalla 2.

$$\sigma_u = \frac{N_u}{A_u} \quad (2)$$

$\sigma_u$  on normaalijännitys

$N_u$  on poikkileikkauspintaa vastaan kohtisuora voima leikkauspisteessä  $u$

$A_u$  on poikkileikkauspinta-ala

$u$  on leikkauspinnan sijainti kappaleen pituudella.

Seuraavaksi laskettiin leikkausjännitykset  $\tau$  jokaisessa pisteessä kappaleen pituus-suunnassa kaavalla 3. Tulos tällä kaavalla on likimääräinen mutta huomattavasti nopeampi laskea. Lisäksi suorien leikkausjännitysten ollessa hyvin pieniä, ei ole tarvetta tarkemmalle tarkastelulle.

$$\tau_u = \frac{Q_u}{A_u} \quad (3)$$

$\tau_u$  on leikkausjännitys

$Q_u$  on poikkileikkauspinnan suuntainen leikkausvoima leikkauspisteessä  $u$

$A_u$  on poikkileikkauspinta-ala

$u$  on leikkauspinnan sijainti kappaleen pituudella.

Leikkausjännitykset laskettiin kahteen, toisiaan vastaan kohtisuoraan suuntaan, ja laskettiin niiden resultantti, jolloin tulokseksi saatiin suurin poikkileikkauksessa vaikuttava suora leikkausjännitys. Lisäksi laskettiin voimien perusteella kappaleiden kussakin pisteessä vaikuttava taivutusmomentti kumpaankin taivutussuuntaan. Momenttien perusteella laskettiin kummankin taivutusakselin ympäri niistä aiheutuvat normaalijännitykset kaavalla 4 tai kaavalla 5 riippuen käytössä olleista lähtöarvoista. Vastaavia kaavoja on käytetty myös muille kuin x-akselille.

$$\sigma_{x,u} = \frac{M_{z,u}}{I_z} r \quad (4)$$

$\sigma_{x,u}$  on normaalijännitys x-akselin suuntaan

$M_{z,u}$  on taivutusmomentti z-akselin suhteen

$I_z$  on poikkileikkauksen neliömomentti taivutusakselin z suhteen

$r$  on tarkastelupisteen etäisyys taivutusakselista

$u$  on leikkauspinnan sijainti kappaleessa.

$$\sigma_{max,u} = \frac{M_{z,u}}{W_z} \quad (5)$$

$\sigma_{max,u}$  on normaalijännitys x-akselin suuntaan

$M_{z,u}$  on taivutusmomentti z-akselin suhteen

$W_z$  on poikkileikkauksen taivutusvastus z-akselin suhteen

$u$  on leikkauspinnan sijainti kappaleessa.

Seuraavaksi laskettiin kaikkien normaalijännityskomponenttien itseisarvot yhteen, jolloin saatiin summaksi suurin normaalijännitys jokaisessa leikkauspisteessä  $u$ . Jännitys on laskettu siten, että se voi esiintyä missä tahansa poikkileikkausprofiilin kulmassa.

Lisäksi laskettiin väännöstä aiheutuvat jännitykset kaavalla 6.



$$\tau_{max,u} = \frac{T_u}{W_v} \quad (6)$$

$T_{max,u}$  on normaalijännitys x-akselin suuntaan

$T_u$  on vääntömomentti poikkileikkauksessa

$W_v$  on poikkileikkauksen vääntövastus

$u$  on leikkauspinnan sijainti kappaleessa.

Laskujen perusteella muutettiin välikiinnikkeiden ja jalkaputkien mittoja. Välikiinnikkeiden poikkileikkausprofiiliksi vaihdettiin 50 mm x 5 mm -profiilin sijaan 40 mm x 10 mm -profiili, koska laskennassa kokeilemalla havaittiin, että vähemmän pitkänomainen poikkileikkauspinnan muoto on jännityksien keston kannalta edullisempi. Jalkaputkia muokattiin jälleen, koska havaittiin niiden olevan ylimitoitettuja. Seinämäpaksuutta vähennettiin 5 mm:stä 3 mm:iin, ja laskujen perusteella todettiin mitoituksen olevan edelleen riittävä. Lisäksi putkien massan vähentäminen pienensi konsoleille, jalkalapuille ja ankkureille kohdistuvia kuormituksia.

Sekä lattiaan että seinään kiinnitettävien telineiden seinäkiinnitykseen käytettävien konsoleiden lujuustarkastelu tehtiin valmistajan taulukoita hyödyntäen. Niiden mukaan 300 mm pitkän MQK-41R konsolin päähän voidaan kohdistaa enimmillään 1 480 N:n suuruinen taivutusta aiheuttava voima. Voima on suunnitellussa rakenteessa seinäpinnan kanssa yhdensuuntainen vaakavoima. Laskelmien mukaan suurin voima, joka konsoleille kohdistuu, on noin 750 N. Konsolin taivutuslujuus on riittävä. Suurin mahdollinen vetojännitys laskettiin kaavojen 2 ja 5 mukaisesti konsolin poikkileikkauksen kanssa vastaavan asennuskiskoprofiilin poikkileikkauksen taulukkoarvoja käyttäen. Konsolissa syntyvät jännitykset  $\sigma = 3$  MPa ovat hyvin pieniä sallittuun jännitykseen  $\sigma_{sall} = 175$  MPa verrattuna. Tulos on saatu kaavalla 7.

$$\sigma = \sigma_u + \sigma_{x,u} \quad (7)$$

$\sigma$  on normaalijännitys yhteensä

$\sigma_u$  on vedosta tai puristuksesta johtuva normaalijännitys

$\sigma_{x,u}$  on taivutuksesta johtuva normaalijännitys

Lisäksi tuli vielä tehdä pulttiliitosten ja hitsien lujuustarkastelu. Ensin etsittiin kaikista aiemmista laskelmista suurimmat kunkin tyyppiselle kiinnitykselle vaikuttavat kuormat. Laskettiin M10-pultille kohdistuvat suurimmat veto- ja leikkausjännitykset. Kaavalla 2 laskettu normaalijännitys on alle 5 MPa. Suurin pulttiin vaikuttava leikkausvoima lasket-

tiin leikkausvoimakomponenteista Pythagoraan lausetta käyttäen. Kaavalla 3 laskettiin suurimmaksi leikkausjännitykseksi alle 4 MPa. Laskelmien perusteella lujuusluokan A4-70 pultit ovat riittävän lujat kestävänsä annetut kuormat. M8-kokoisia pultteja ei esiinny muualla kuin kotelon kiinnityksissä, ja ne ovat lujuusluokaltaan 8.8. Niiden kestävyys tarkastettiin samojen kuormien alaisena kuin M10-pultitkin, joten ne ovat riittävän lujia. M10-siipimutterien suurin sallittu vetokuormitus ja leikkauskuormitus ovat kumpikin 5 kN. Missään ei laskelmien perusteella esiinny sallittua arvoa ylittävää kuormaa, joten siipimutterien lujuus on riittävä.

Hitsejä rakenteessa esiintyy vain jaloissa, lappujen ja putkien välisissä kiinnityksissä. Liitokset tehdään pienahitseillä. Etsittiin suurimmat mahdolliset kuormat, jotka aiempien laskelmien perusteella aiheuttavat jännityksiä kummankin tyyppisen lapun hitseihin. Laskennassa käytettiin EN 1993-1-8:n mukaista yksinkertaista mitoitusapua ja apuna VTT:n esimerkkejä sen käytöstä [12, s. 47,70,74]. Laskennan 3 mm:n a-mitta on riittävä kaikille hitseille.

Tutkittiin myös jalkaputkien nurjahdusmahdollisuutta. Kuormitustapauksena käytettiin Eulerin tapausta 4 välituelliselle sauvalle. Nurjahdusvoima laskettiin kaavalla 8.

$$F_n = \frac{mEI}{l^2} \quad (8)$$

$F_n$  on nurjahdusvoima

$m$  on Eulerin tapauksesta riippuva kerroin, tässä käytetty arvoa 17,24

$E$  on materiaalin kimmokerroin

$I$  on sauvan poikkileikkauksen neliömomentti

$l$  on sauvan pituus

Nurjahdusvoimaksi saatiin  $F_n = 385$  kN, joka on erittäin suuri telineissä syntyviin kuormituksiin verrattuna.

Ankkurikiinnitysten lujuustarkastelu tehtiin Hilti Oy:n Profis Anchor -ohjelmistolla, johon voidaan valita sopiva ankkurityyppi, betonin ominaisuudet ja kiinnityslapun geometria sekä syöttää vaikuttavat kuormitukset komponenteittain. Ohjelma laskee riittävätkö ankkurin, betonin ja pohjalapun lujuudet annetuille kuormille. Syötettiin ohjelmaan suunniteltu pohjalapun geometria sekä suurimmat lasketut kuormitukset ja valittiin

HSL/GR M8 -ankkurit. Lisäksi valittiin pohjamateriaaliksi heikko ja halkeillut betoni, jolloin tuloksissa ollaan varmallalla puolella.

Vanhojen telineiden kestävyuden arviointiin tehtiin yksinkertaistettu lujuustarkastelu. Koska vanhoista rakenteista ja koteloista aiheutuvia todellisia kuormia on vaikea arvioida tarkasti, pyrittiin tekemään arvaus hieman ylimitoitetusti. Arvioitiin uusien ja vanhojen koteloiden kokonaismassa kullakin kiskoparilla, ja asetettiin siitä aiheutuva kuorma kiskojen keskelle. Kiskoilta jaloille kohdistuvien kuormitusten siis ajateltiin jakautuvan tasan kummallekin jalkaputkelle kiskojen ja jalkojen välisissä kiinnityksissä. Suurimmat jännitykset kiskoissa saatiin normaalijännityksinä, jotka aiheutuivat taivutuksesta, ja ne tulivat kiskojen pituussuunnassa keskelle.

Jalkaputkille tulevat jännitykset laskettiin asettamalla kaikki koteloista aiheutuva kuorma putken puoliväliin, jolloin vaakakuormat jakautuisivat tasan ylä- ja alapään kiinnityksille. Kuten kokonaan itse suunnitellussa telineessä, vain putken alapään ajateltiin kantavan pystysuuntaista kuormaa ja konsolien vain vaakasuuntaisia kuormia. Suurimmat jännitykset olivat myös putkissa normaalijännityksiä. Seinään ankkuroitavien konsolikannakkeiden jännitykset laskettiin kuten vaakakiskojenkin. Pystyputkien yläpäihin kohdistuvat voimat tulevat vastakkaissuuntaisina konsolikannakkeille. Lisäksi kuormitukseksi syntyy y-akselin suuntaisesta voimasta aiheutuva taivutusmomentti. Suurin osa konsolien jännityksistä on normaalijännitystä.

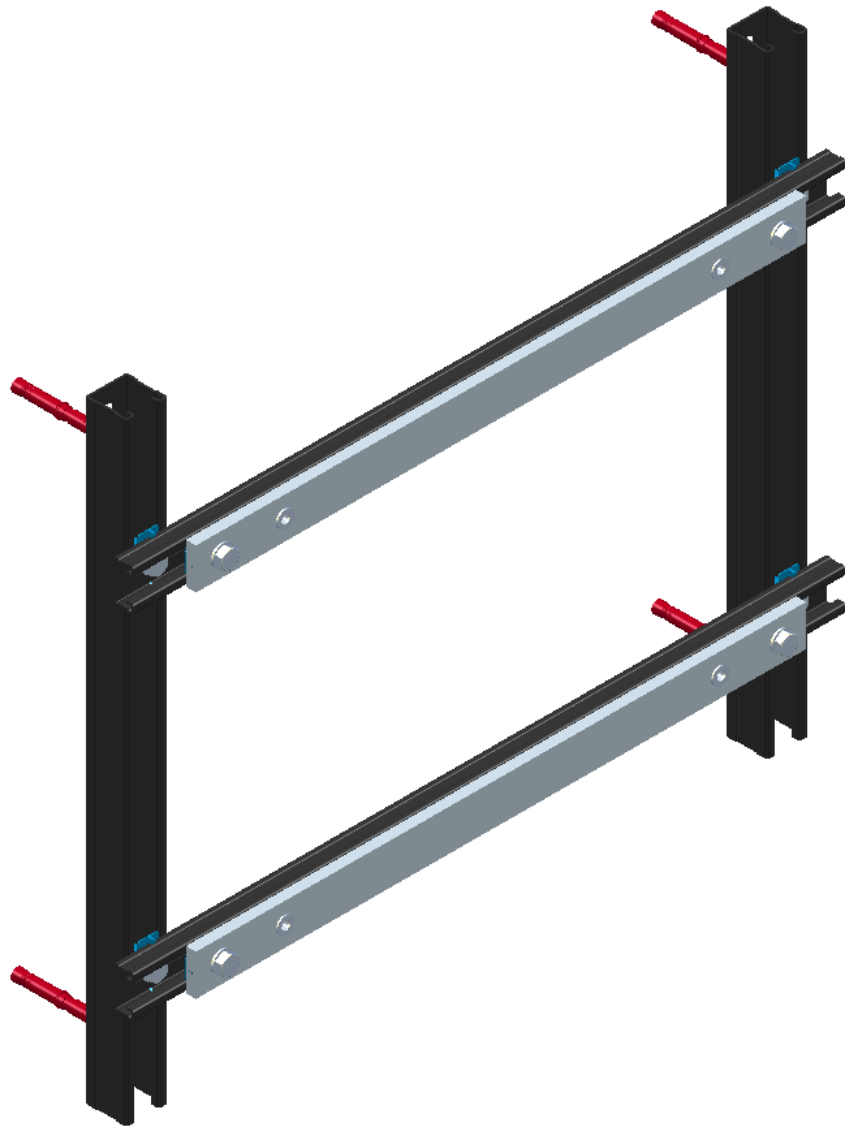
Viimeiseksi tehtiin kuormitustarkastelu kiila-ankkureille. Pystyputkien alapäihin sekä konsolikannakkeille tulevat voimat sijoitettiin Hilti Oy:n Profis Anchor -ohjelmistoon, ja todettiin ankkurointien olevan riittävän vahvat. Syntyvien jännitysten todettiin olevan sallittuja jännityksiä pienempiä kaikissa käytettävissä telineissä. Vanhoja telineitä voitiin siis käyttää koteloiden asennukseen.

### 3.4 Piirustuksien laatiminen

Piirustuksien laatiminen aloitettiin lyijykynäpiirroksilla ja osien mittojen tarkistuksella. Kun tarvittavien osien geometriat olivat selvillä, tehtiin niistä kolmiulotteiset mallit. Mallintamiseen käytettiin PTC:n Creo Elements/Pro 5.0 -ohjelmistoa. Samalla ohjelmistolla laadittiin myös kokoonpanomallit sekä osa- ja kokoonpanopiirustukset.

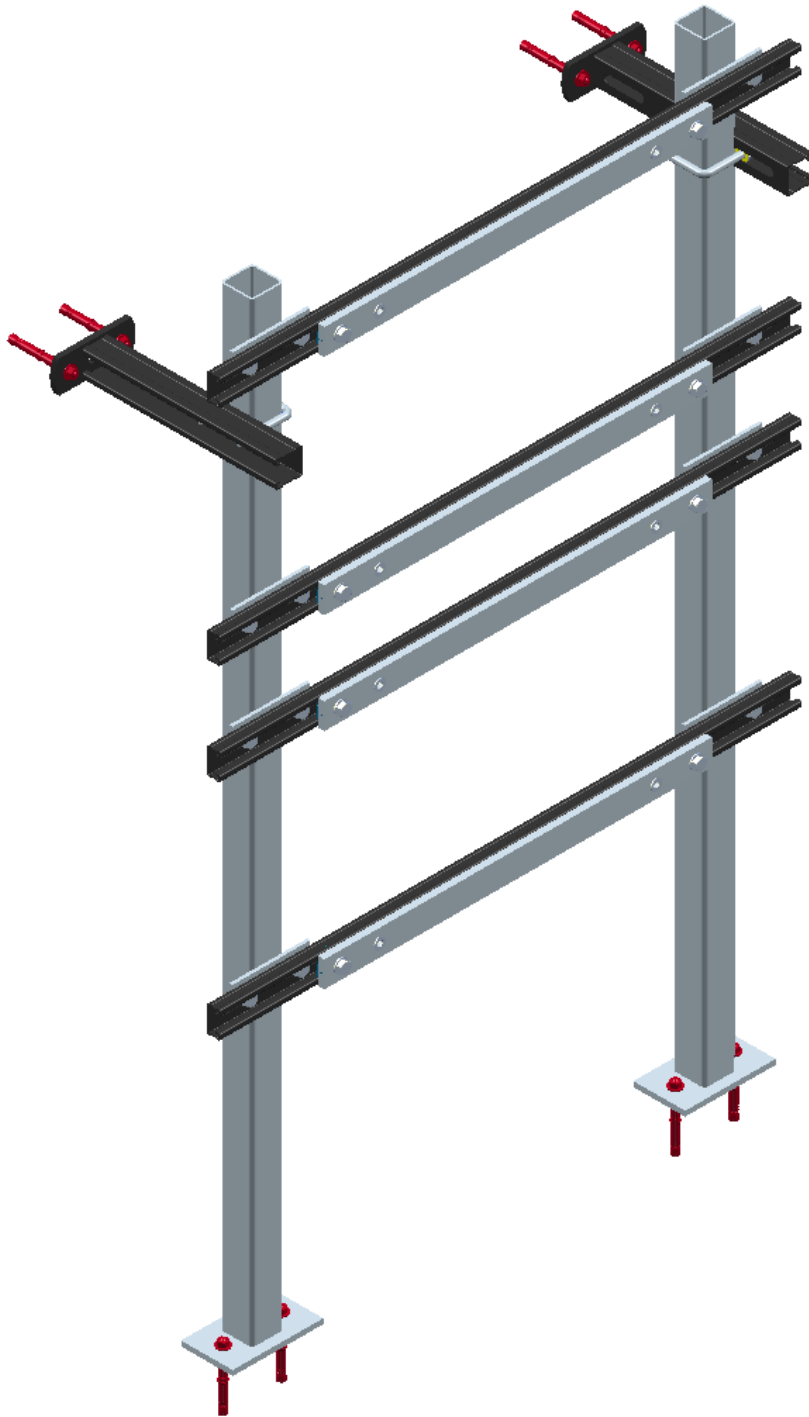
Mallinnustyötä helpotti huomattavasti Hilti Oy:n kotisivuillaan tarjoama mallikirjasto, josta kiskojen, konsolikannakkeiden, siipimutterien ja kiila-ankkureiden mallit sai tuotua suoraan mallinnusohjelmaan. Tuotuihin malleihin lisättiin aputasoja, jolloin osien välille oli helpompi luoda kiinnityksiä. Loput osat mallinnettiin itse. Jalkaputkesta tehtiin osakokoonpanomalli, jotta sitä olisi tarvittaessa helppo muuttaa. Lisäksi osakokoonpanopii- rustuksen tekeminen oli helppoa, kun kaikki jalan osat oli mallinnettu erikseen. Tämä helpotti varsinkin osaluettelon laadintaa, sillä käytetty ohjelmisto osaa hakea itse eri osien tiedot kokoonpanoon tuotujen mallien tiedoista.

Kun tarvittavat osat saatiin mallinnettua tai haettua valmistajan osakirjastosta, aloitettiin kokoonpanomallien tekeminen. Vaati melko paljon pohtimista ja yrityksiä, että löytyi hyvä järjestys ja sopivat keinot osien liittämiseksi toisiinsa. Mallinnuksessa käytettiin paljon pattern-työkalua, jolla voidaan kopioida kappaletta annettujen parametrien mukaisesti. Varsinkin pulttien ja muiden pienten, usein toistuvien osien kanssa työkalu oli todella hyödyllinen. Pultit ja muut tarvittavat standardien mukaiset osat saatiin haettua ohjelmiston omista kirjastoista. Kokoonpanomallit tehtiin yhden kotelon seinäkiinnittei- selle telineelle sekä lattiakiinnitteisille yhden, kahden ja kolmen kotelon telineille. Ku- vassa 15 on esitettyinä malli seinäkiinnitteisestä telineestä.



Kuva 15. Seinälle ankkuroitavan telineen malli

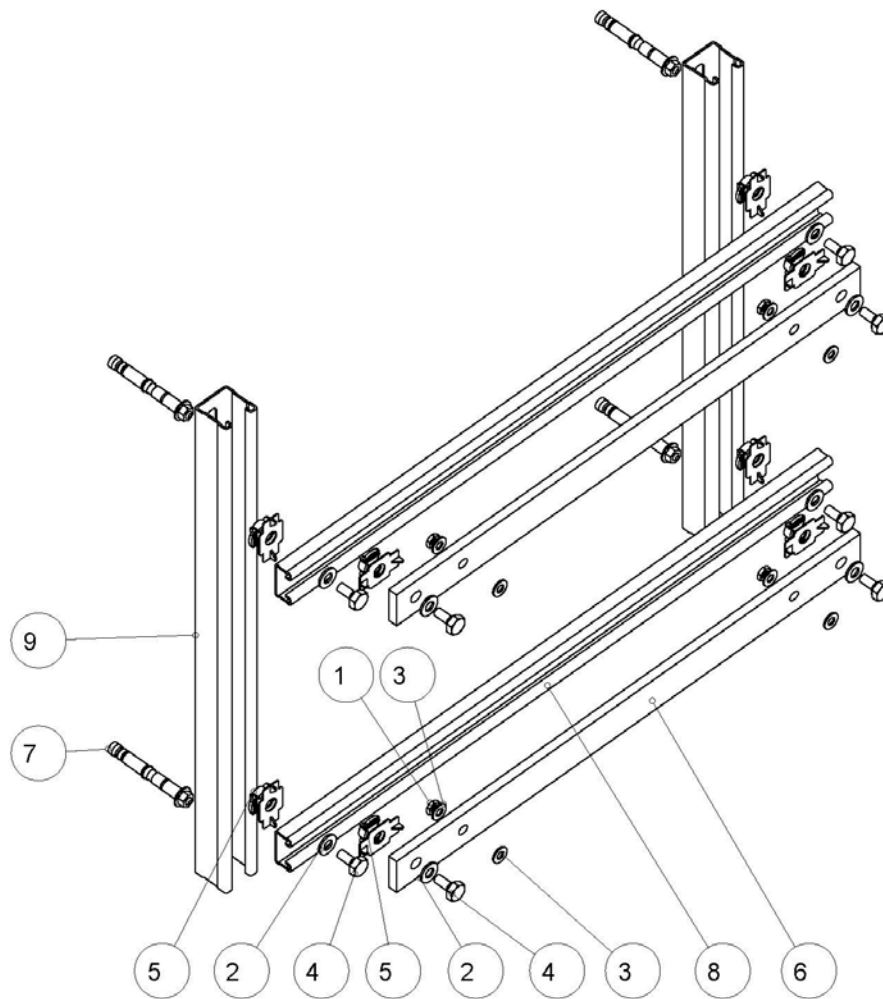
Lattiaan ja seinään ankkuroitava kahden kotelon teline on esitetty kuvassa 16. Kolmen kotelon teline on muuten samanlainen kuin kahden kotelon malli, mutta vaakakiskoja on pidennetty niin, että niille voidaan kiinnittää kaksi koteloa samalle korkeudelle. Näin telineeseen jää vielä yksi vapaa paikka mahdollista myöhempää tarvetta varten. Myös yhden kotelon teline on rakenteeltaan vastaava, mutta alemmat kotelokiinnikkeet ja palkit on siitä jätetty pois.



Kuva 16. Kahden kotelon teline

Seuraavaksi, kaikkien mallien ollessa valmiita, voitiin aloittaa piirustusten laatiminen. Ensimmäiseksi tehtiin osien valmistuspiirustukset, jotta niihin annetut tiedot päivittyisivät myös kokoonpanopiirustuksiin. Jalkaputkesta tehtiin osakokoonpanopiirustus ja kokonaisista telineistä kokoonpanopiirustukset. Kokoonpanopiirustuksissa on esitetty valmiit telineet ja räjäytyskuvien avulla havainnollistettu kokoonpanojärjestystä ja osien

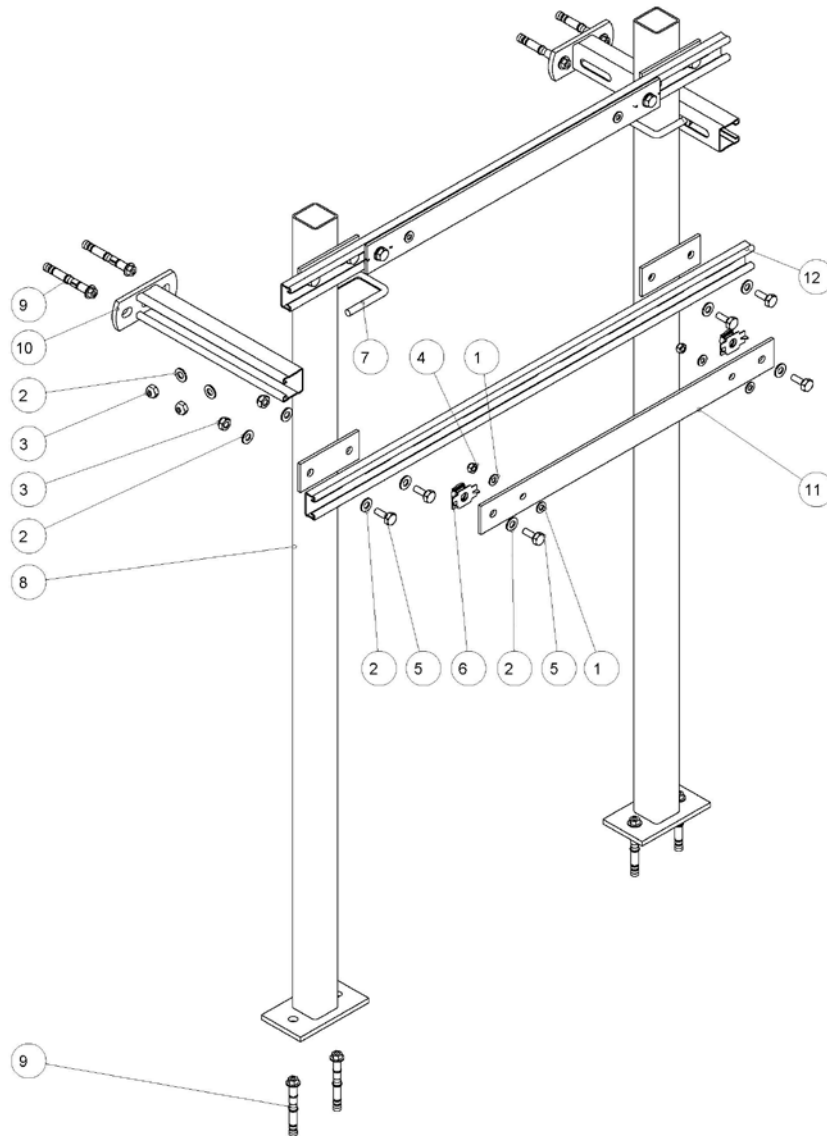
sijoittumista paikoilleen. Osaluettelot sijoitettiin kokoonpanopiirustuksiin. Räjätyskuvia on esitetty kuvissa 17 ja 18.



9	2	C-kisko	A4	MQ-41/3-R L = 600 MM	HILTI	1.75
8	2	C-kisko	A4	MQ-21-R L = 700 MM	HILTI	1.01
7	4	Kiila-ankkuri	A4	HSLGR M8/20	HILTI	0.05
6	2	Välikiinnike	EN 1.4404	KLO 3 LO1 6950-00001	EN 10088	1.9
5	8	Siipimutteri	A4	MQM-R M10	HILTI	0.0
4	8	Kuusioruuvi M10x20	A4	ISO 8676		0.0
3	8	Aluslaatta A8	A4	ISO 7089		0.0
2	8	Aluslaatta A10	A4	ISO 7089		0.0
1	4	Kuusiomutteri M8	A4	DIN 934		0.0
Osa	Kpl	Nimitys	Materiaali	Muoto, Mitat, Piir	Huom	KG

Kuva 17. Seinälle asennettavan telineen räjäytyskuva ja osaluettelo

Kuvista nähdään, mikä osa kuuluu rakenteessa mihinkin. Lisäksi kuvista voidaan päätellä hyvä kokoonpanojärjestys.



12	2	Kisko, vaaka	A4	MQ-21-R L = 900	HILTI	1.9
11	2	Välikiinnike	S235	KLO 3 LO1 6950-00001	EN 10025	1.2
10	2	Konsoli	A4	MQK-41-R L = 300 MM	HILTI	0.5
9	8	Kiila-ankkuri	A4	HSLGR M8/20	HILTI	0.05
8	2	Jaika, yhdelle		KLO 3 LO1 6950-00002		7.2
7	2	Sankaruuvi	EN 1.4404	52X74 M10		0.1
6	4	Siipimutteri	A4	MQM-R M10	HILTI	0.1
5	12	Kuusioruuvi M10x25	A4	ISO 8676		0.0
4	4	Kuusiolukitusmutteri M8	A4	DIN EN ISO 10511		0.0
3	12	Kuusiolukitusmutteri M10	A4	DIN EN ISO 10511		0.0
2	24	Aluslaatta 10	A4	ISO 7089		0.0
1	8	Aluslaatta 8	A4	ISO 7089		0.0
Osa	Kpl	Nimitys	Materiaali	Muoto, Mitat, Piir	Huom	KG

Kuva 18. Lattiaan ja seinään kiinnitettävän kotelon räjäytyskuva ja osaluettelo



Viimeiseksi tehtiin sijoituspaikkakohtaiset asennuspiirustukset. Piirustusten laatimiseen käytettiin Microstation V8i -ohjelmistoa, koska se soveltuu kaksiulotteiseen mallintamiseen paremmin kuin Creo Elements/Pro. Piirustuksiin haettiin laitoksen pohjapiirustuksista osat, joissa näkyvät asennustilat sekä niiden ympärillä olevia tiloja asennuspaikan hahmottamista varten. Lisäksi tehtiin kuhunkin kuvaan projektio seinäpinnasta, johon teline kiinnitetään. Näissä projektioissa on esitetty telineen sijoittuminen, ankkureiden paikat ja tilassa ennestään olevat rakenteet.

### 3.5 Rakennesuunnitelman kokoaminen

Rakennesuunnitelmaan kuuluu etulehti, jossa määritellään esimerkiksi työlle tarkastajat, työn syyt, mahdolliset turvallisuuteen vaikuttavat tekijät ja käytetyt ohjeistukset. Etulehden lisäksi rakennesuunnitelma sisältää siihen liittyvät piirustukset, laadunvalvontakaaviot, hitsausohjelehdet sekä muun mahdollisen suunnitelman toteuttamiseen tarvittavan materiaalin.

Liitteiden kokoaminen aloitettiin laadunvalvontakaavioista, joissa on lueteltu vaaditut tarkastustoimenpiteet. Nämä tarkastukset määriteltiin erillisen ohjeen mukaan. Laadunvalvontakaaviot tehtiin jokaiselle asennuspiirustukselle, ja ne käsittävät kaiken materiaalin, joka asennuksen tekemiseen tarvitaan.

Seuraavaksi suunnitelmaan liitettiin käytettävä hitsausohjelehti. Ohjeessa on määritelty hitsin ominaisuuksia ja mm. käytettävä täyteaine. Telineiden jalkojen hitsauksissa käytettävä ohje koskee liitoksia, joissa liitettävät kappaleet ovat ohuita ja valmistettu austeniittisesta teräksestä. Käytettävä lisäaine on OK Tigrod 16.30. Tehdyt lujuuslaskelmat ja piirustukset tulivat myös rakennesuunnitelman liitteeksi. Lisäksi rakennesuunnitelmaan liitettiin suunnittelun pohjamateriaaliksi saatuja valokuvia asennuspaikoista.

## 4 Yhteenveto

Insinööriyössä suunniteltiin telineitä Loviisan voimalaitoksen reaktorin apurakennukseen asennettaville uusille automaatiokaapelien kytkentäkoteloilta. Telineet mitoitettiin staattisen korvausvoiman menetelmää käyttäen maanjäristyskuormia kestäviksi. Suunnitelluille rakenteille tehtiin valmistus-, kokoonpano- ja asennuspiirustukset, ja laadittiin tai hankittiin muut rakennesuunnitelmaan tarvittavat asiakirjat.

Telineiden lujustarkastelu sujui hyvin. Kaikkien osien kestävyys suunnittelumaanjäristyksestä aiheutuvilla kuormilla saatiin varmennettua. Vaikka Mathcad 15 -ohjelmiston sujuvan käytön oppimiseen kului hieman aikaa, pysyttiin tässä työvaiheessa hyvin aikataulussa. Tämä työvaihe jouduttiin suorittamaan piirustuksien luomisen kanssa yhtä aikaa, koska laskennassa lähtötiedoiksi tarvittuja kiihtyvyyssvastespektrejä ei ollut heti saatavilla. Siksi mallinnuksessa käytetyt mitat jouduttiin aluksi pääosin arvaamaan. Luonnosteluvaiheessa valittua mitoitusta tai osien profiileja ei kuitenkaan tarvinnut juurikaan muuttaa. Vain välikiinnikkeiden ja jalkaputkien poikkileikkausmittoja jouduttiin hieman korjaamaan.

Piirustukset saatiin tehtyä onnistuneesti. Kolmiulotteisten kokoonpanomallien tekemiseen kului kuitenkin ylimääräistä aikaa, ennen kuin osien toisiinsa liittämiseen Creo Elements/Pro -ohjelmistossa löytyi hyvin toimiva järjestys. Lisäksi meni hieman aikaa, ennen kuin ohjelmiston työkalujen käyttö oli sujuvaa. Piirustuksista tuli kuitenkin tarkoituksenmukaiset, eikä niiden tekeminen kestänyt suunniteltua kauemmin. Valmistuspiirustuksia tehtiin kolme, kokoonpanopiirustuksia neljä ja asennuspiirustuksia kymmenen.

Muiden tarvittavien asiakirjojen laatiminen ja kokoaminen oli kestoaltaan lyhyt ja kohtalaisen helppo työvaihe. Rakennesuunnitelman etulehti ja laadunvalvontakaaviot piti vielä tehdä itse.

Lopputyön tekeminen oli pienistä vaikeuksista huolimatta palkitseva projekti. Työtä tehdessä pääsi käyttämään koulussa oppimiaan tietoja ja taitoja. Oli myös motivoivaa päästä suunnittelemaan jotakin sellaista, mistä on työn tilaajalle hyötyä. Työssä tehdyn kaltaisten rakenteiden maanjäristysmitoitus lisääntynee tulevaisuudessa, ainakin ydinvoima-alalla. Siksi onkin hienoa, että työn parissa pääsi tutustumaan maanjäristysmitoitamiseen, tosin perusteellisemmin vain staattisen korvausvoiman menetelmän osal-

ta. Menetelmää käytetään nykyisin lähinnä yksinkertaisten rakenteiden suunnittelussa tai vaativampien rakenteiden esisuunnittelussa, muiden, yleensä dynaamisten, menetelmien sopiessa paremmin vaativampien rakenteiden lopulliseen mitoittamiseen.

Jatkossa voitaisiin kehittää laskentaa tarkemmaksi ja valita rakenteiden osille vähemmän ylimitoitettuja profiileja. Telineistä voitaisiin saada vielä kevyemmät ja halvemmat. Lisäksi suunnitelmia voitaisiin laajentaa koskemaan useammalle, kuin kolmelle kotelolle sopivia telineitä. Kuten olemassa olevan telineen kuvasta (kuva 6) voidaan nähdä, olisi laajemmillekin telineille käyttöä. Erikokoisten koteloiden kiinnitysmahdollisuuksia olisi myös hyvä kehittää.

## Lähteet

- 1 Schwarz, Tobias. 2011. Saksa luopuu ydinvoimasta vuoteen 2022 mennessä. Verkkootikkeli. <<http://www.hs.fi/ulkomaat/artikkeli/Saksa+luopuu+ydinvoimasta+vuoteen+2022+menness%C3%A4/1135266523145>>. 30.5.2011. Luettu 31.3.2014.
- 2 Fukushima Dai-ichi-ydinvoimalaitoksen onnettomuus. 2014. Verkkodokumentti. Säteilyturvakeskus. <[http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/fukushima/fi\\_FI/fukushima/](http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/fukushima/fi_FI/fukushima/)> Päivitetty 12.3.2014. Luettu 31.3.2014.
- 3 Ohje YVL 2.6 / 19.12.2001. 2002. Maanjäristysten huomioon ottaminen ydinvoimalaitoksissa. 3. Painos. Helsinki: Tummavuoren Kirjapaino Oy.
- 4 Kakkuri, J. & Hjelt, S.-E. 2000. Ympäristö ja geofysiikka. Helsinki: Tähtitieteellinen yhdistys Ursa.
- 5 Ahvenisto, U., Borén, E., Hjelt, S.-E., Karjalainen, T. & Sirviö, J. 2004. Geofysiikka, Tunne maapallosi. 1. painos. Porvoo: WS Bookwell Oy.
- 6 Missä maa järisee? 2006. Verkkodokumentti. Helsingin yliopisto. <<http://www.helsinki.fi/geo/seismo/maanjaristykset/tieto/perustietoa/>>. Luettu 23.1.2014.
- 7 Miksi Suomessa tapahtuu maanjäristyksiä? 2006. Verkkodokumentti. Helsingin yliopisto. <<http://www.helsinki.fi/geo/seismo/maanjaristykset/tieto/suomenseismisyys.html>>. Luettu 24.1.2014.
- 8 Kullaa, J., Leino, T. & Kärnä T. 1998. Maanjäristyksen kestävät teräsrakenteet. Espoo: Libella Painopalvelu Oy.
- 9 Jalkanen, J., Tuori, J. & Hömmö, H. 2013. Teräsrakenteiden maanjäristysmitoitus. Verkkodokumentti. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys. <<http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/koulutus/tk-paivat/>>. Päivitetty 27.5.2013. Luettu 22.4.2014.
- 10 Vuorinen, Mari. 2014. Apurakennuksen lattiavastespektrit Raportti. Espoo: Fortum Power and Heat Oy.
- 11 ASCE 4-98 Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary. 2000. Reston: ASCE.
- 12 Leino, Tapio. 2006. Laajarunkoisten liikuntahallien rakenteellinen turvallisuus, Staattisesti kuormitettujen hitsausliitosten suunnittelu. Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

## Seinäkiinnitteisen telineen lujuuslaskenta

Kotelon staattiset voimat +17.40 korolla 0° kulmassa

Seinäkiinnitys

x on G:n etäisyys kiinnikkeiden tasosta, y ja z kiinnikkeiden välimatkat.

$$x := 0.084\text{m} \quad y := 0.428\text{m} \quad z := 0.345\text{m} \quad m := 20.9\text{kg}$$

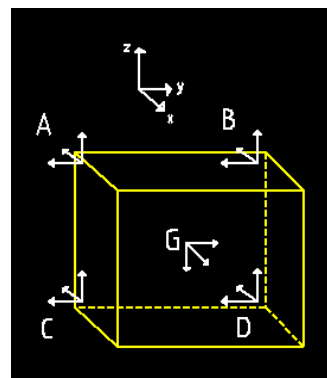
Massa kerrotaan maanjärityksestä aiheutuvilla kiihtyvyyksillä ja varmuuskertoimella 1,5.

$$G_x := 1.5 \cdot m \cdot g \cdot 1.8 = 553.389 \text{ N}$$

$$G_y := 1.5 \cdot m \cdot g \cdot 1.34 = 411.968 \text{ N}$$

$$G_z := 1.5 \cdot m \cdot g \cdot 1.55 = 476.53 \text{ N}$$

Annetaan ohjelmalle arvaus tukireaktioista



$$A_x := 1\text{N} \quad B_x := 1\text{N} \quad C_x := 1\text{N} \quad D_x := 1\text{N}$$

$$A_y := 1\text{N} \quad B_y := 1\text{N} \quad C_y := 1\text{N} \quad D_y := 1\text{N}$$

$$A_z := 1\text{N} \quad B_z := 1\text{N} \quad C_z := 1\text{N} \quad D_z := 1\text{N} \quad \text{Given}$$

$$4A_z - G_z = 0$$

$$4A_y - G_y = 0$$

y- ja z-suuntaiset voimat jakautuvat tasan kaikille kiinnityksille

$$A_z = B_z = C_z = D_z$$

$$A_y = B_y = C_y = D_y$$

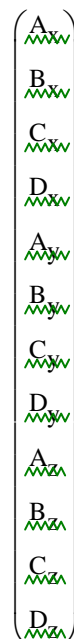
$$A_x = \frac{G_x}{4} + \frac{G_y \cdot \frac{x}{y}}{4} + \frac{G_z \cdot \frac{x}{z}}{4}$$

$$B_x = \frac{G_x}{4} - \frac{G_y \cdot \frac{x}{y}}{4} + \frac{G_z \cdot \frac{x}{z}}{4}$$

niistä aiheutuu kuitenkin momenttia, joka tasapainottuu x-suuntaisissa tukivoimissa

$$C_x = \frac{G_x}{4} + \frac{G_y \cdot \frac{x}{y}}{4} - \frac{G_z \cdot \frac{x}{z}}{4}$$

$$D_x = \frac{G_x}{4} - \frac{G_y \cdot \frac{x}{y}}{4} - \frac{G_z \cdot \frac{x}{z}}{4}$$



$$:= \text{Find}(A_x, B_x, C_x, D_x, A_y, B_y, C_y, D_y, A_z, B_z, C_z, D_z)$$

kiinnityksissä vaikuttavat voimat

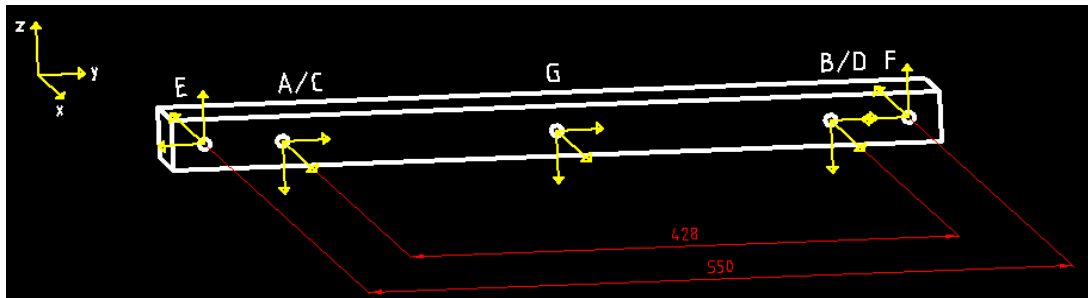
$$A_x = 236.786 \text{ N} \quad B_x = 155.933 \text{ N} \quad C_x = 120.762 \text{ N} \quad D_x = 39.908 \text{ N}$$

$$A_y = 102.992 \text{ N} \quad B_y = 102.992 \text{ N} \quad C_y = 102.992 \text{ N} \quad D_y = 102.992 \text{ N}$$

$$A_z = 119.132 \text{ N} \quad B_z = 119.132 \text{ N} \quad C_z = 119.132 \text{ N} \quad D_z = 119.132 \text{ N}$$

Yläkiinnike tasolla +17.40 asennossa 0°

Seinäkiinnitys



$$y := 0.428 \cdot m \quad s := 0.55 \cdot m \quad t := 0.010 \cdot m \quad h := 0.040 \cdot m$$

väli A - B      väli E - F      latan paksuus      latan leveys

$$\text{mass} := t \cdot h \cdot (s + 0.050 \cdot m) \cdot \rho = 1.9 \text{ kg}$$

$$\rho := 7850 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ teräksen tiheys}$$

Massa kerrotaan maanjärityksestä aiheutuvilla kiihtyvyyksillä ja varmuuskertoimella 1,5.

$$G_x := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot g \cdot 1.8 = 49.9 \text{ N} \quad G_y := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.34 \cdot g = 37.1 \text{ N} \quad G_z := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.55 \cdot g = 43 \text{ N}$$

Annetaan kotelon kiinnityksissä vaikuttavat voimat.

$$A_x := 236.8 \cdot \text{N} \quad A_y := 102.992 \cdot \text{N} \quad A_z := 119.132 \cdot \text{N}$$

$$B_x := 155.9 \cdot \text{N} \quad B_y := A_y \quad B_z := A_z$$

$$E_x := 1 \cdot \text{N} \quad E_y := 1 \cdot \text{N} \quad E_z := 1 \cdot \text{N}$$

Annetaan ohjelmalle arvaus tukireaktioista

$$F_x := 1 \cdot \text{N} \quad F_y := 1 \cdot \text{N} \quad F_z := 1 \cdot \text{N}$$

etukuvanto (yz-taso)

Given

$$E_y = F_y \quad -E_y + A_y + G_y + B_y - F_y = 0 \quad E_z - A_z - G_z - B_z + F_z = 0$$

$$-A_z \cdot \left( \frac{s}{2} - \frac{y}{2} \right) - G_z \cdot \left( \frac{s}{2} \right) - B_z \cdot \left( \frac{y}{2} + \frac{s}{2} \right) + F_z \cdot s = 0$$

Ratkaistaan tukireaktiot statiikan tasapainoyhtälöiden avulla

yläkuvanto (xy-taso)

$$-E_x + A_x + G_x + B_x - F_x = 0$$

$$-A_x \cdot \left( \frac{s}{2} - \frac{y}{2} \right) - G_x \cdot \left( \frac{s}{2} \right) - B_x \cdot \left( \frac{s}{2} + \frac{y}{2} \right) + F_x \cdot s + A_y \cdot t + B_y \cdot t + G_y \cdot \frac{t}{2} = 0$$

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \\ F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} := \text{Find}(E_x, E_y, E_z, F_x, F_y, F_z)$$

Pisteissä E ja F vaikuttavat tukireaktiot

$$E_x = 256.9 \text{ N}$$

$$F_x = 185.7 \text{ N}$$

$$E_y = 121.6 \text{ N}$$

$$F_y = 121.6 \text{ N}$$

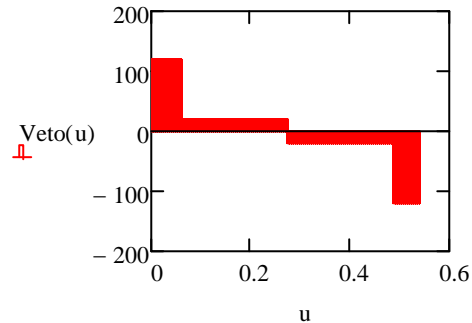
$$E_z = 140.6 \text{ N}$$

$$F_z = 140.6 \text{ N}$$

Ratkaistaan normaalivoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa  
 $y_1 := 0.061 \cdot m$     $y_2 := 0.275 \cdot m$     $y_3 := 0.489 \cdot m$     $y_4 := 0.550 \cdot m$    voimien vaikutuspisteet

$$\text{Veto}_1 := E_y \quad \text{Veto}_2 := E_y - A_y \quad \text{Veto}_3 := E_y - A_y - G_y \quad \text{Veto}_4 := E_y - A_y - G_y - B_y$$

$$\text{Veto}(u) := \begin{cases} \text{Veto}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Veto}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Veto}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Veto}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan leikkausvoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

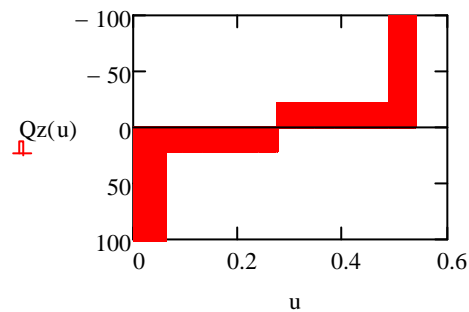
$$\text{Leikkausz}_1 := E_z = 140.6 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_2 := E_z - A_z = 21.5 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_3 := E_z - A_z - G_z = -21.5 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_4 := E_z - A_z - G_z - B_z = -140.6 \text{ N}$$

$$\text{Qz}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausz}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausz}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausz}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausz}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



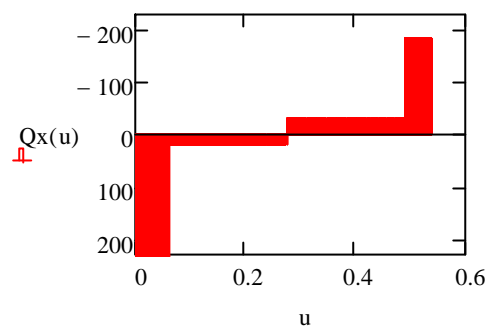
$$\text{Leikkausx}_1 := E_x = 256.9 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_2 := E_x - A_x = 20.1 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_3 := E_x - A_x - G_x = -29.8 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_4 := E_x - A_x - G_x - B_x = -185.7 \text{ N}$$

$$\text{Qx}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausx}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausx}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausx}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausx}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$





Ratkaistaan voimista aiheutuva momentti kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

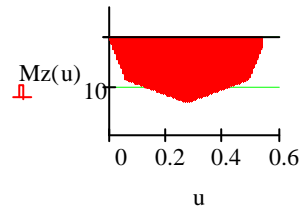
$$\text{Momenttiz}_1(u) := E_Z \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momenttiz}_2(u) := E_Z \cdot u \cdot m - A_Z \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momenttiz}_3(u) := E_Z \cdot u \cdot m - A_Z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_Z \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momenttiz}_4(u) := E_Z \cdot u \cdot m - A_Z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_Z \cdot (u \cdot m - y_2) - B_Z \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$Mz(u) := \begin{cases} \text{Momenttiz}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momenttiz}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momenttiz}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momenttiz}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



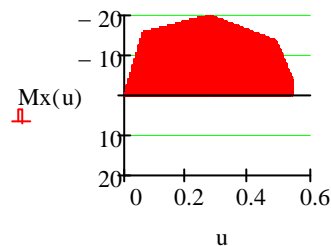
$$\text{Momenttix}_1(u) := -E_X \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momenttix}_2(u) := -E_X \cdot u \cdot m + A_X \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momenttix}_3(u) := -E_X \cdot u \cdot m + A_X \cdot (u \cdot m - y_1) + G_X \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momenttix}_4(u) := -E_X \cdot u \cdot m + A_X \cdot (u \cdot m - y_1) + G_X \cdot (u \cdot m - y_2) + B_X \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$Mx(u) := \begin{cases} \text{Momenttix}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momenttix}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momenttix}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momenttix}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Lasketaan poikkileikkausprofiilin jäyhyysmomentit. Myös reikien kohdalla erikseen. Sitten ratkaistaan suurimmat taivutusjännitykset jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$\begin{array}{l} \text{korkeus} \qquad \qquad \qquad \text{reikien korkeudet} \\ b := t \quad b = 0.01 \text{ m} \quad h = 0.04 \text{ m} \quad h_a := 0.011 \cdot \text{m} \quad h_b := 0.009 \cdot \text{m} \end{array}$$

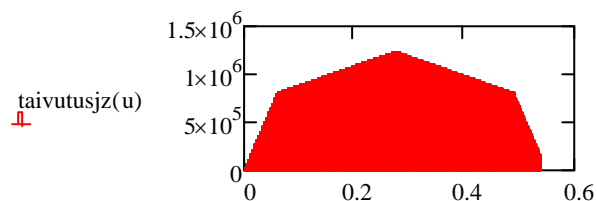
suurin etäisyys taivutusakselista

$$x := \frac{t}{2} = 5 \times 10^{-3} \text{ m} \quad I_Z := \frac{b \cdot h^3}{12} = 5.3 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_{za} := \frac{b \cdot h_a^3}{12} = 1.1 \times 10^{-9} \text{ m}^4 \quad I_{zb} := \frac{b \cdot h_b^3}{12} = 6.1 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$\text{taivutusjza}(u) := \frac{Mz(u)}{I_Z - I_{za}} \cdot x \quad \text{taivutusjzb}(u) := \frac{Mz(u)}{I_Z - I_{zb}} \cdot x \quad \text{taivutusjz1}(u) := \frac{Mz(u)}{I_Z} \cdot x$$

$$\text{taivutusjz}(u) := \begin{cases} \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } -0.025 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq -0.001 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjza}(u) & \text{if } -0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.001 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.060 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjzb}(u) & \text{if } 0.060 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.062 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.062 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.488 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjzb}(u) & \text{if } 0.488 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.490 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.490 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.549 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjza}(u) & \text{if } 0.549 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.551 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.551 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.575 \cdot \text{m} \end{cases}$$

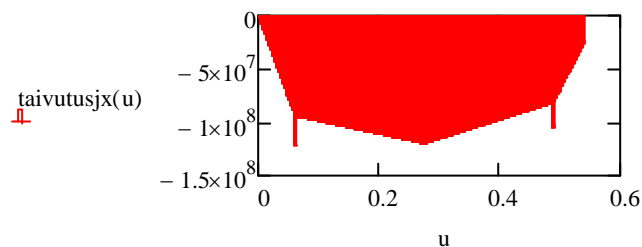


$$z := \frac{h}{2} = 0.02 \text{ m} \quad I_x := \frac{h \cdot b^3}{12} = 3.3 \times 10^{-9} \text{ m}^4 \quad \text{taivutusjx1}(u) := \frac{Mx(u)}{I_x} \cdot z$$

$$I_{xa} := \frac{h_a \cdot b^3}{12} = 9.2 \times 10^{-10} \text{ m}^4 \quad I_{xb} := \frac{h_b \cdot b^3}{12} = 7.5 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$\text{taivutusjxa}(u) := \frac{Mx(u)}{(I_x - I_{xa})} \cdot z \quad \text{taivutusjxb}(u) := \frac{Mx(u)}{I_x - I_{xb}} \cdot z$$

$$\text{taivutusjx}(u) := \begin{cases} \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } -0.025 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq -0.001 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjxa}(u) & \text{if } -0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.001 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.060 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjxb}(u) & \text{if } 0.060 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.062 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.062 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.488 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjxb}(u) & \text{if } 0.488 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.490 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.490 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.549 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjxa}(u) & \text{if } 0.549 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.551 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.551 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.575 \cdot \text{m} \end{cases}$$



Lasketaan pinta-ala jokaisessa poikkileikkauksessa.

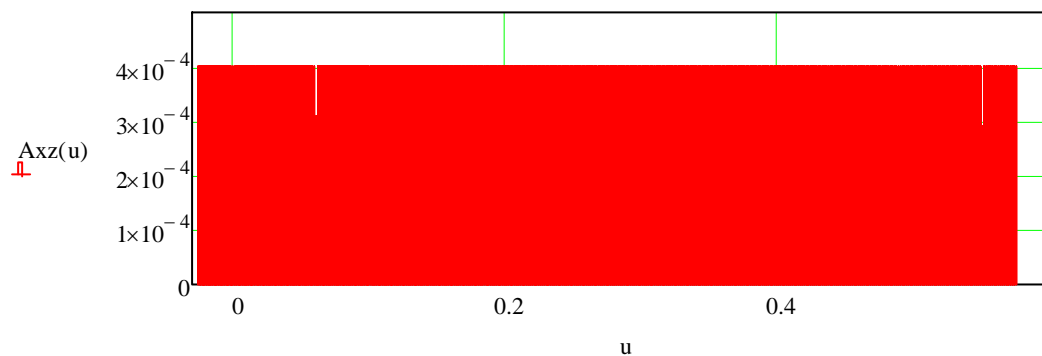
$$a := h \quad a = 0.04 \text{ m} \quad t = 0.01 \text{ m}$$

$$A_1 := a \cdot t = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_2 := (a \cdot t - t \cdot 0.011 \text{ m}) = 2.9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

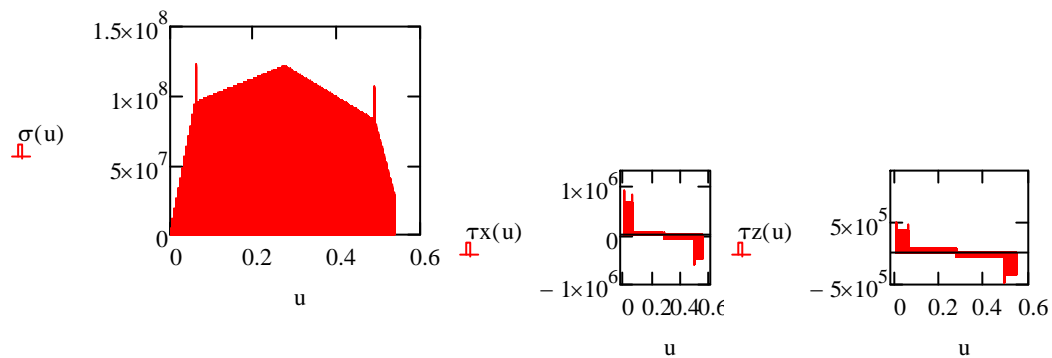
$$A_3 := a \cdot t - t \cdot 0.009 \text{ m} = 3.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Axz(u) := \begin{cases} A_1 & \text{if } -0.025 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq -0.001 \cdot \text{m} \\ A_2 & \text{if } -0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.001 \cdot \text{m} \\ A_1 & \text{if } 0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.060 \cdot \text{m} \\ A_3 & \text{if } 0.060 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.062 \cdot \text{m} \\ A_1 & \text{if } 0.062 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.488 \cdot \text{m} \\ A_3 & \text{if } 0.488 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.490 \cdot \text{m} \\ A_1 & \text{if } 0.490 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.549 \cdot \text{m} \\ A_2 & \text{if } 0.549 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.551 \cdot \text{m} \\ A_1 & \text{if } 0.551 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.575 \cdot \text{m} \end{cases}$$



Normaalijännitys vedosta ja taivutuksista sekä leikkausjännitykset jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$\sigma(u) := \left| \frac{Veto(u)}{Axz(u)} \right| + |taivutusjx(u)| + |taivutusjz(u)| \quad \tau_z(u) := \frac{Qz(u)}{Axz(u)} \quad \tau_x(u) := \frac{Qx(u)}{Axz(u)}$$

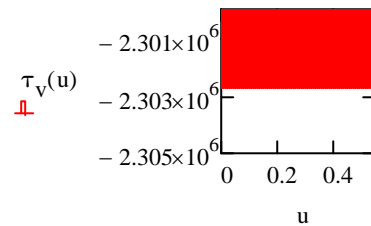


Vääntö

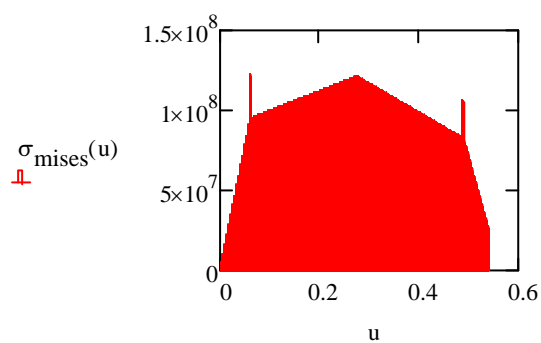
$$T(u) := -E_z \cdot \frac{t}{2} - A_z \cdot \frac{t}{2} - B_z \cdot \frac{t}{2} - F_z \cdot \frac{t}{2} \quad \text{vääntömomentti}$$

$$W_v := C_2 \cdot h \cdot t^2 \quad C_2 := 0.282 \quad \text{Tekniikan taulukkokirja s. 362}$$

$$\tau_v(u) := \frac{T(u)}{W_v} \quad \text{vääntöjännitys}$$



$$\sigma_{\text{mises}}(u) := \sqrt{(\sigma(u))^2 + 3 \cdot [(\tau_x(u))^2 + (\tau_z(u))^2 + (\tau_v(u))^2]}$$



Etsitään suurimmat jännitykset, joita voidaan verrata vetomyötölujuuteen 220 MPa ja leikkausmyötölujuuteen 127 MPa

$u := 0.3$  given

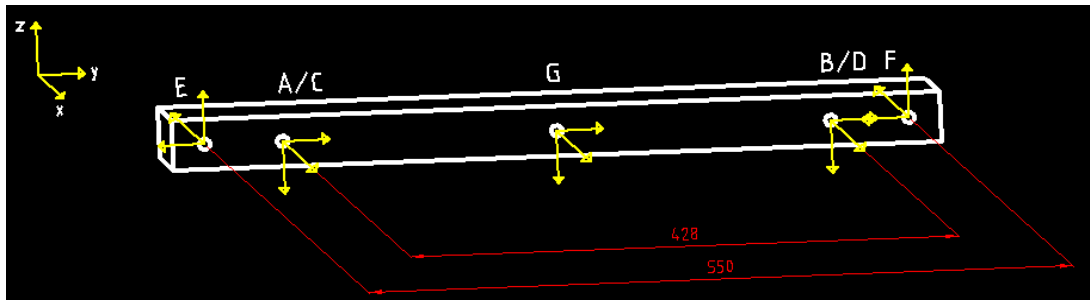
$$u_{\text{max}} := \text{Maximize}(\sigma_{\text{mises}}, u) \quad u_{\text{max}} = 0.3$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u_{\text{max}}) = 121.1 \cdot \text{MPa}$$

$u_{\text{max}} := 0.06156$  haettu trace-toiminnolla

$$\sigma_{\text{mises}}(u_{\text{max}}) = 122.3 \cdot \text{MPa}$$

Alakiinnike tasolla +17.40 asennossa 0° Seinäkiinnitys



$$y := 0.428 \cdot m_{\text{sw}} := 0.55 \cdot m \quad t := 0.010 \cdot m \quad h := 0.040 \cdot m \quad \rho := 7850 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ teräksen tiheys}$$

väli A - B      väli E - F      latan paksuus      latan leveys

$$\text{mass} := t \cdot h \cdot (s + 0.050 \cdot m) \cdot \rho = 1.9 \text{ kg} \quad \text{latan massa}$$

Massa kerrotaan maanjärityksestä aiheutuvilla kiihtyvyyksillä ja varmuuskertoimella 1,5.

$$G_x := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot g \cdot 1.8 = 49.9 \text{ N} \quad G_y := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.34 \cdot g = 37.1 \text{ N} \quad G_z := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.55 \cdot g = 43 \text{ N}$$

Annetaan kotelon kiinnityksissä vaikuttavat voimat.

$$A_x := 120.8 \cdot \text{N} \quad A_y := 102.992 \cdot \text{N} \quad A_z := 119.132 \cdot \text{N}$$

$$B_x := 40 \cdot \text{N} \quad B_y := A_y \quad B_z := A_z$$

$$E_x := 1 \cdot \text{N} \quad E_y := 1 \cdot \text{N} \quad E_z := 1 \cdot \text{N} \quad F_x := 1 \cdot \text{N} \quad F_y := 1 \cdot \text{N} \quad F_z := 1 \cdot \text{N}$$

Given      Annetaan ohjelmalle arvaus tukireaktioista

etukuvanto (yz-taso)

$$E_y = F_y \quad -E_y + A_y + G_y + B_y - F_y = 0 \quad E_z - A_z - G_z - B_z + F_z = 0$$

$$-A_z \cdot \left( \frac{s}{2} - \frac{y}{2} \right) - G_z \cdot \left( \frac{s}{2} \right) - B_z \cdot \left( \frac{y}{2} + \frac{s}{2} \right) + F_z \cdot s = 0$$

Ratkaistaan tukireaktiot statiikan tasapainoyhtälöiden avulla

yläkuvanto (xy-taso)

$$-E_x + A_x + G_x + B_x - F_x = 0$$

$$-A_x \cdot \left( \frac{s}{2} - \frac{y}{2} \right) - G_x \cdot \left( \frac{s}{2} \right) - B_x \cdot \left( \frac{s}{2} + \frac{y}{2} \right) + F_x \cdot s + A_y \cdot t + B_y \cdot t + G_y \cdot \frac{t}{2} = 0$$

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \\ F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} := \text{Find}(E_x, E_y, E_z, F_x, F_y, F_z)$$

Pisteissä E ja F vaikuttavat tukireaktiot

$$E_x = 140.9 \text{ N}$$

$$F_x = 69.8 \text{ N}$$

$$E_y = 121.6 \text{ N}$$

$$F_y = 121.6 \text{ N}$$

$$E_z = 140.6 \text{ N}$$

$$F_z = 140.6 \text{ N}$$

Ratkaistaan normaalivoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa  
 $y_1 := 0.061 \cdot m$     $y_2 := 0.275 \cdot m$     $y_3 := 0.489 \cdot m$     $y_4 := 0.550 \cdot m$    voimien vaikutuspisteet

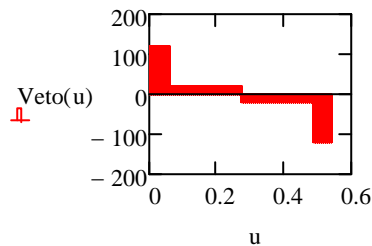
$$\text{Veto}_1 := E_y$$

$$\text{Veto}_2 := E_y - A_y$$

$$\text{Veto}_3 := E_y - A_y - G_y$$

$$\text{Veto}_4 := E_y - A_y - G_y - B_y$$

$$\text{Veto}(u) := \begin{cases} \text{Veto}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Veto}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Veto}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Veto}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan leikkausvoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

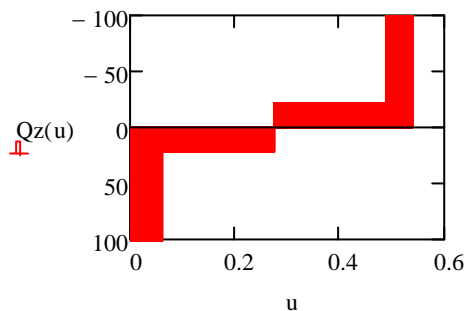
$$\text{Leikkausz}_1 := E_z = 140.6 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_2 := E_z - A_z = 21.5 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_3 := E_z - A_z - G_z = -21.5 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_4 := E_z - A_z - G_z - B_z = -140.6 \text{ N}$$

$$\text{Qz}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausz}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausz}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausz}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausz}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



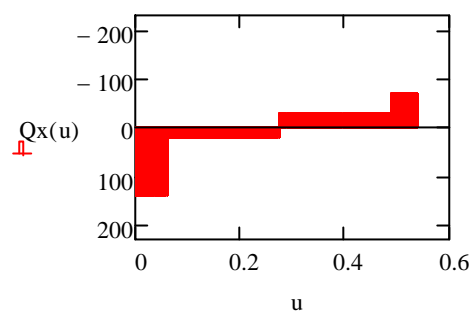
$$\text{Leikkausx}_1 := E_x = 140.9 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_2 := E_x - A_x = 20.1 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_3 := E_x - A_x - G_x = -29.8 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_4 := E_x - A_x - G_x - B_x = -69.8 \text{ N}$$

$$\text{Qx}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausx}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausx}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausx}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausx}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan voimista aiheutuva momentti kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

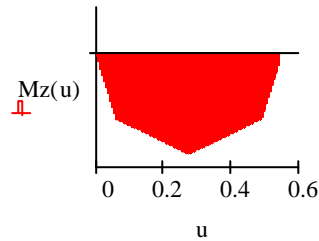
$$\text{Momenttiz}_1(u) := E_z \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momenttiz}_2(u) := E_z \cdot u \cdot m - A_z \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momenttiz}_3(u) := E_z \cdot u \cdot m - A_z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_z \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momenttiz}_4(u) := E_z \cdot u \cdot m - A_z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_z \cdot (u \cdot m - y_2) - B_z \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$Mz(u) := \begin{cases} \text{Momenttiz}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momenttiz}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momenttiz}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momenttiz}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



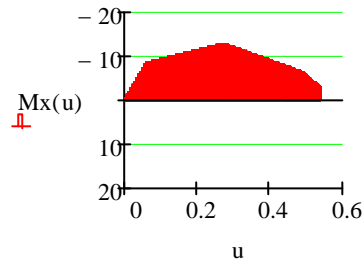
$$\text{Momenttix}_1(u) := -E_x \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momenttix}_2(u) := -E_x \cdot u \cdot m + A_x \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momenttix}_3(u) := -E_x \cdot u \cdot m + A_x \cdot (u \cdot m - y_1) + G_x \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momenttix}_4(u) := -E_x \cdot u \cdot m + A_x \cdot (u \cdot m - y_1) + G_x \cdot (u \cdot m - y_2) + B_x \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$Mx(u) := \begin{cases} \text{Momenttix}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momenttix}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momenttix}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momenttix}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Lasketaan poikkileikkauksiprofiilin jäyhyysmomentit. Myös reikien kohdalla erikseen.  
Sitten ratkaistaan suurimmat taivutusjännitykset jokaisessa poikkileikkauksessa.

$b := t$	korkeus	reikien korkeudet	suurin etäisyys taivutusakselista
$b = 0.01 \text{ m}$	$h = 0.04 \text{ m}$	$h_a := 0.011 \cdot \text{m}$ $h_b := 0.009 \cdot \text{m}$	$x := \frac{t}{2} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$ $z := \frac{h}{2} = 0.02 \text{ m}$

$$I_z := \frac{b \cdot h^3}{12} = 5.3 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \quad I_{za} := \frac{b \cdot h_a^3}{12} = 1.1 \times 10^{-9} \text{ m}^4 \quad I_{zb} := \frac{b \cdot h_b^3}{12} = 6.1 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

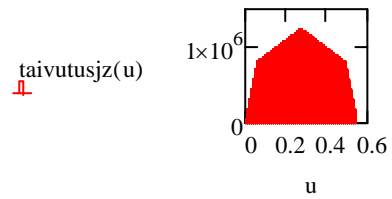
$$\text{taivutusjza}(u) := \frac{Mz(u)}{(I_z - I_{za})} \cdot x \quad \text{taivutusjzb}(u) := \frac{Mz(u)}{I_z - I_{zb}} \cdot x$$

$$I_x := \frac{h \cdot b^3}{12} = 3.3 \times 10^{-9} \text{ m}^4 \quad \text{taivutusjx1}(u) := \frac{Mx(u)}{I_x} \cdot z \quad \text{taivutusjz1}(u) := \frac{Mz(u)}{I_z} \cdot x$$

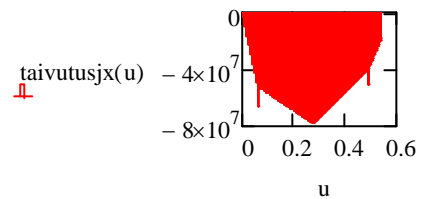
$$I_{xa} := \frac{h_a \cdot b^3}{12} = 9.2 \times 10^{-10} \text{ m}^4 \quad I_{xb} := \frac{h_b \cdot b^3}{12} = 7.5 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$\text{taivutusjxa}(u) := \frac{Mx(u)}{(I_x - I_{xa})} \cdot z \quad \text{taivutusjxb}(u) := \frac{Mx(u)}{I_x - I_{xb}} \cdot z$$

$$\text{taivutusjz}(u) := \begin{cases} \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } -0.025 \cdot m \leq u \cdot m \leq -0.001 \cdot m \\ \text{taivutusjza}(u) & \text{if } -0.001 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.001 \cdot m \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.001 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.060 \cdot m \\ \text{taivutusjzb}(u) & \text{if } 0.060 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.062 \cdot m \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.062 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.488 \cdot m \\ \text{taivutusjzb}(u) & \text{if } 0.488 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.490 \cdot m \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.490 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.549 \cdot m \\ \text{taivutusjza}(u) & \text{if } 0.549 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.551 \cdot m \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.551 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.575 \cdot m \end{cases}$$



$$\text{taivutusjx}(u) := \begin{cases} \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } -0.025 \cdot m \leq u \cdot m \leq -0.001 \cdot m \\ \text{taivutusjxa}(u) & \text{if } -0.001 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.001 \cdot m \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.001 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.060 \cdot m \\ \text{taivutusjxb}(u) & \text{if } 0.060 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.062 \cdot m \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.062 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.488 \cdot m \\ \text{taivutusjxb}(u) & \text{if } 0.488 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.490 \cdot m \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.490 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.549 \cdot m \\ \text{taivutusjxa}(u) & \text{if } 0.549 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.551 \cdot m \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.551 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.575 \cdot m \end{cases}$$



Lasketaan pinta-ala jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$\begin{aligned} a &:= h \\ a &= 0.04 \text{ m} \quad t = 0.01 \text{ m} \end{aligned}$$

$$A_1 := a \cdot t = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_2 := (a \cdot t - t \cdot 0.011 \text{ m}) = 2.9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_3 := a \cdot t = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_4 := a \cdot t - t \cdot 0.009 \text{ m} = 3.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_5 := a \cdot t = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_6 := a \cdot t - t \cdot 0.009 \text{ m} = 3.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

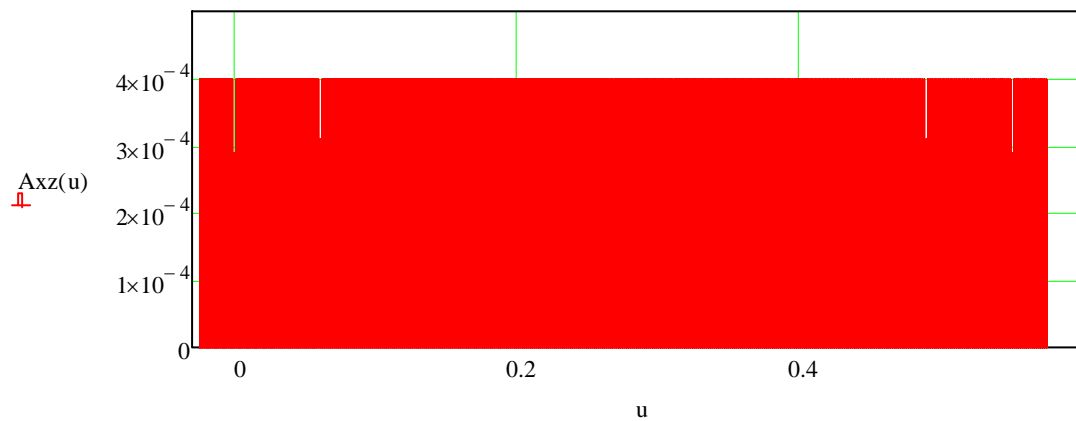
$$A_7 := a \cdot t = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_8 := a \cdot t - t \cdot 0.011 \text{ m} = 2.9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_9 := a \cdot t = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

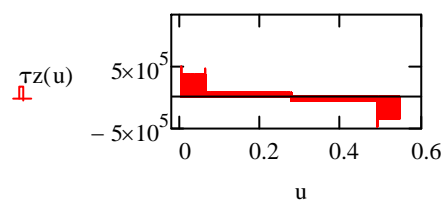
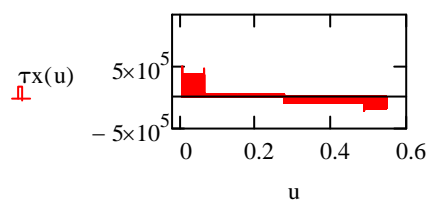
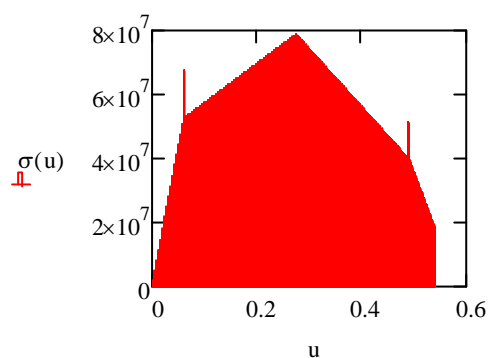


$$A_{xz}(u) := \begin{cases} A_1 & \text{if } -0.025 \cdot m \leq u \cdot m \leq -0.001 \cdot m \\ A_2 & \text{if } -0.001 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.001 \cdot m \\ A_3 & \text{if } 0.001 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.060 \cdot m \\ A_4 & \text{if } 0.060 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.062 \cdot m \\ A_5 & \text{if } 0.062 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.488 \cdot m \\ A_6 & \text{if } 0.488 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.490 \cdot m \\ A_7 & \text{if } 0.490 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.549 \cdot m \\ A_8 & \text{if } 0.549 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.551 \cdot m \\ A_9 & \text{if } 0.551 \cdot m \leq u \cdot m \leq 0.575 \cdot m \end{cases}$$



Normaalijännitys vedosta ja taiputuksista sekä leikkausjännitys jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$\sigma(u) := \left| \frac{V_{eto}(u)}{A_{xz}(u)} \right| + |taivutusj_x(u)| + |taivutusj_z(u)| \quad \tau_x(u) := \frac{Q_x(u)}{A_{xz}(u)} \quad \tau_z(u) := \frac{Q_z(u)}{A_{xz}(u)}$$



Vääntö

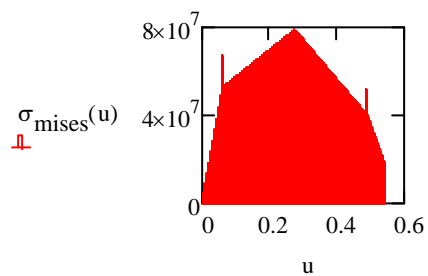
$$\underline{T} := -E_z \cdot \frac{t}{2} - A_z \cdot \frac{t}{2} - B_z \cdot \frac{t}{2} - F_z \cdot \frac{t}{2}$$

$$W_v := C_2 \cdot h \cdot t^2 \quad C_2 := 0.282 \quad \text{Tekniikan taulukkokirja s. 362}$$

$$\tau_v := \frac{T}{W_v} = -2.3 \times 10^6 \text{ vääntöjännitys}$$

Vertailujännitys

$$\sigma_{\text{mises}}(u) := \sqrt{(\sigma(u))^2 + 3 \cdot [(\tau_x(u))^2 + (\tau_z(u))^2 + (\tau_v)^2]}$$



Etsitään suurimmat jännitykset, joita voidaan verrata vetomyötölujuuteen 220 MPa ja leikkausmyötölujuuteen 127 MPa

$$u := 0.3$$

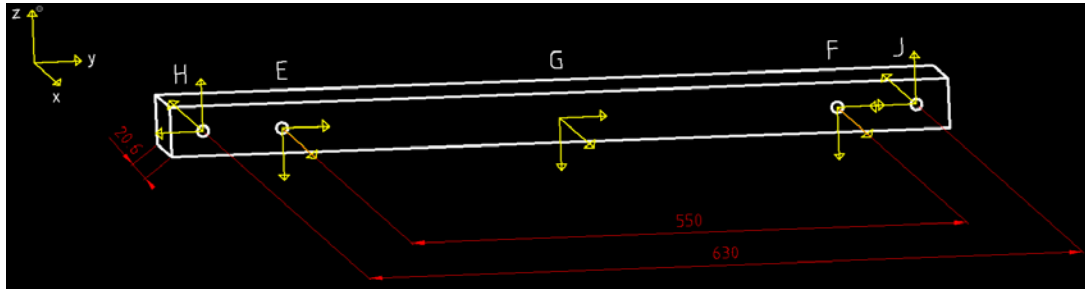
given

$$u_{\text{max}} := \text{Maximize}(\sigma_{\text{mises}}, u)$$

$$u_{\text{max}} = 0.3$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u_{\text{max}}) = 78.7 \text{ MPa}$$

Yläpalkki +17.40° Seinäkiinnitys



$$y := 0.550 \cdot \text{m} \quad r := 0.630 \cdot \text{m} \quad x := 0.0206 \cdot \text{m} \quad \text{mass} := 1.44 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 0.700 \cdot \text{m} = 1 \text{ kg}$$

Massa kerrotaan maanjärityksestä aiheutuvilla kiihtyvyyksillä ja varmuuskertoimella 1,5.

$$G_y := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot g \cdot 1.34 = 19.9 \text{ N} \quad G_x := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot g \cdot 1.8 = 26.7 \text{ N} \quad G_z := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot g \cdot 1.55 = 23 \text{ N}$$

Annetaan kotelon kiinnityksissä vaikuttavat voimat.

$$E_x := 257 \cdot \text{N} \quad E_y := 121.56 \cdot \text{N} \quad E_z := 140.61 \cdot \text{N} \quad F_x := 186 \cdot \text{N} \quad F_y := E_y \quad F_z := E_z$$

Annetaan ohjelmalle arvaus tukireaktioista

$$H_x := 1 \cdot \text{N} \quad H_y := 1 \cdot \text{N} \quad H_z := 1 \cdot \text{N} \quad J_x := 1 \cdot \text{N} \quad J_y := 1 \cdot \text{N} \quad J_z := 1 \cdot \text{N} \quad M_{Hy} := 1 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad M_{Jy} := 1 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Ratkaistaan tukireaktiot statiikan

Given

etukuvanto (yz-taso)

tasapainoyhtälöiden avulla

$$H_y = J_y \quad -H_y + E_y + G_y + F_y - J_y = 0 \quad -E_z \cdot \left(\frac{r-y}{2}\right) - G_z \cdot \frac{r}{2} - F_z \cdot \left(\frac{r+y}{2}\right) + J_z \cdot r = 0$$

$$H_z - E_z - G_z - F_z + J_z = 0$$

yläkuvanto (xy-taso)

$$-H_x + E_x + G_x + F_x - J_x = 0 \quad -E_x \cdot \left(\frac{r-y}{2}\right) + E_y \cdot x - G_x \cdot \frac{r}{2} + G_y \cdot \frac{x}{2} + F_y \cdot x - F_x \cdot \left(\frac{r+y}{2}\right) + J_x \cdot r = 0$$

Sivukuvanto (xz-taso)

$$2 \cdot M_{Hy} - G_z \cdot \frac{x}{2} - E_z \cdot x - F_z \cdot x = 0 \quad M_{Hy} = M_{Jy}$$

$$\begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \\ J_x \\ J_y \\ J_z \\ M_{Hy} \\ M_{Jy} \end{pmatrix} := \text{Find}(H_x, H_y, H_z, J_x, J_y, J_z, M_{Hy}, M_{Jy})$$

Pisteissä H ja J vaikuttavat tukireaktiot

$$H_x = 274.1 \text{ N}$$

$$J_x = 195.6 \text{ N}$$

$$H_y = 131.5 \text{ N}$$

$$J_y = 131.5 \text{ N}$$

$$H_z = 152.1 \text{ N}$$

$$J_z = 152.1 \text{ N}$$

$$M_{Hy} = 3 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_{Jy} = 3 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$y_1 := 0.040 \cdot \text{m} \quad y_2 := 0.315 \cdot \text{m} \quad y_3 := 0.590 \cdot \text{m} \quad y_4 := 0.630 \cdot \text{m}$$

Ratkaistaan normaalivoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

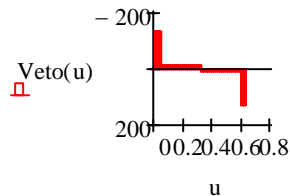
$$\text{Veto}_1 := -H_y$$

$$\text{Veto}_2 := -H_y + E_y$$

$$\text{Veto}_3 := -H_y + E_y + G_y$$

$$\text{Veto}_4 := -H_y + E_y + G_y + F_y$$

$$\text{Veto}(u) := \begin{cases} \text{Veto}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Veto}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Veto}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Veto}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan leikkausvoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

$$\text{Leikkausz}_1 := H_z = 152.1 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_1 := -H_x = -274.1 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_2 := H_z - E_z = 11.5 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_2 := -H_x + E_x = -17.1 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_3 := H_z - E_z - G_z = -11.5 \text{ N}$$

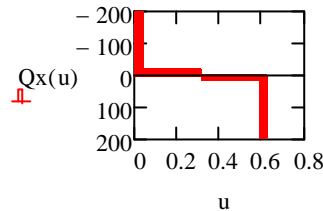
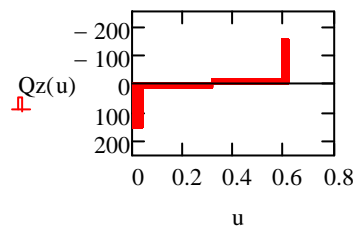
$$\text{Leikkausx}_3 := -H_x + E_x + G_x = 9.6 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_4 := H_z - E_z - G_z - F_z = -152.1 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_4 := -H_x + E_x + G_x + F_x = 195.6 \text{ N}$$

$$\text{Qz}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausz}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausz}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausz}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausz}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$

$$\text{Qx}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausx}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausx}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausx}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausx}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



$$\text{Momenttiz}_1(u) := H_z \cdot u \cdot m$$

Ratkaistaan voimista aiheutuva momentti kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

$$\text{Momenttiz}_2(u) := H_z \cdot u \cdot m - E_z \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momenttiz}_3(u) := H_z \cdot u \cdot m - E_z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_z \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momenttiz}_4(u) := H_z \cdot u \cdot m - E_z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_z \cdot (u \cdot m - y_2) - F_z \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$\text{Momenttix}_1(u) := H_x \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momenttix}_2(u) := H_x \cdot u \cdot m - E_x \cdot (u \cdot m - y_1)$$

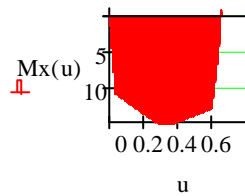
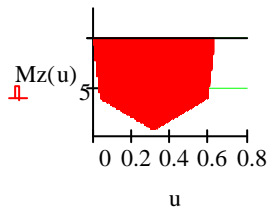
$$\text{Momenttix}_3(u) := H_x \cdot u \cdot m - E_x \cdot (u \cdot m - y_1) - G_x \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momenttix}_4(u) := H_x \cdot u \cdot m - E_x \cdot (u \cdot m - y_1) - G_x \cdot (u \cdot m - y_2) - F_x \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$\text{Momenttix}_5(u) := H_x \cdot u \cdot m - E_x \cdot (u \cdot m - y_1) - G_x \cdot (u \cdot m - y_2) - F_x \cdot (u \cdot m - y_3) - J_x \cdot (u \cdot m - y_4)$$

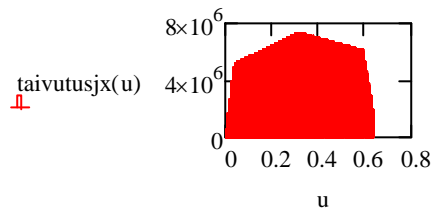
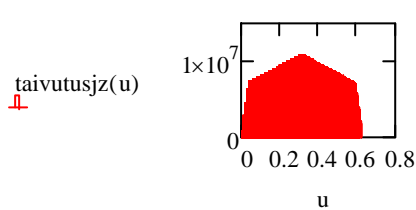
$$M_z(u) := \begin{cases} \text{Momenttiz}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momenttiz}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momenttiz}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momenttiz}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$

$$M_x(u) := \begin{cases} \text{Momenttix}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momenttix}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momenttix}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momenttix}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \\ \text{Momenttix}_5(u) & \text{if } y_4 \leq u \cdot m \leq 0.645 \cdot m \end{cases}$$



Otetaan Hiltin taulukoista taivutusvastukset. Sitten ratkaistaan suurimmat taivutusjännitykset jokaisessa poikkileikkauksessa.

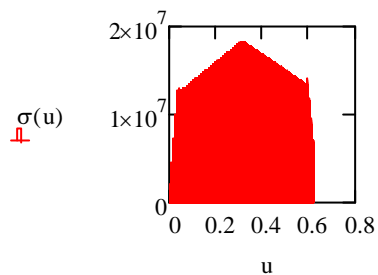
$$W_z := 0.85 \cdot \text{cm}^3 \quad \text{taivutusjz}(u) := \frac{M_z(u)}{W_z} \quad W_x := 2.13 \cdot \text{cm}^3 \quad \text{taivutusjx}(u) := \frac{M_x(u)}{W_x}$$



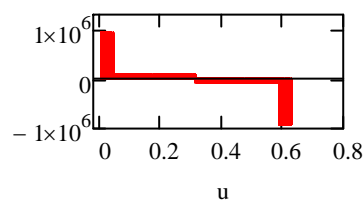
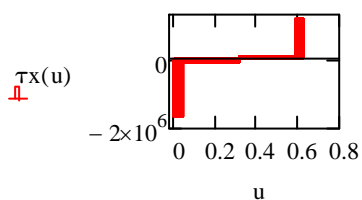
Normaalijännitys vedosta ja taivutuksista sekä leikkausjännitys jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$\text{Poikkipintaala} := 165.3 \cdot \text{mm}^2 = 1.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma(u) := \left| \frac{\text{Veto}(u)}{\text{Poikkipintaala}} \right| + |\text{taivutusjx}(u)| + |\text{taivutusjz}(u)| \quad \tau_x(u) := \frac{Q_x(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$



$$\tau_z(u) := \frac{Q_z(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$



Vääntö

$$h := 40 \cdot \text{mm} \quad b := 20 \cdot \text{mm} \quad b_1 := 7.5 \cdot \text{mm}$$

$$e := \frac{b \cdot [3 \cdot h^2 \cdot b + 6 \cdot h^2 \cdot b_1 - 8 \cdot (b_1)^3]}{h^3 + 6 \cdot h^2 \cdot b + 6 \cdot h^2 \cdot b_1 + 8 \cdot b_1^3 - 12 \cdot h \cdot b_1^2} = 10.8 \cdot \text{mm}$$

vääntökeskiön  
etäisyys profiilin  
reunasta

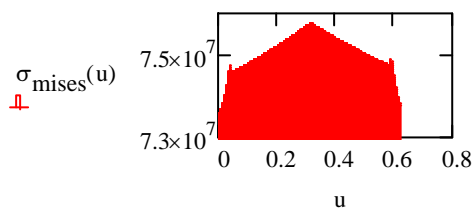
$$T := -H_Z \cdot e + F_Z \cdot (e + 20 \cdot \text{mm}) + E_Z \cdot (e + 20 \cdot \text{mm}) - J_Z \cdot e = 5.4 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad \text{vääntö}$$

$$t_{\max} := 2 \cdot \text{mm} \quad \text{ainevahvuus}$$

$$I_V := \frac{t_{\max}^3}{3} \cdot (h + 2 \cdot b + 2 \cdot b_1) \quad W_V := \frac{I_V}{t_{\max}} \quad \text{vääntövastus}$$

$$\tau_V := \frac{T}{W_V} = 4.2 \times 10^7 \text{ Pa} \quad \text{vääntöjännitys}$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u) := \sqrt{(\sigma(u))^2 + 3 \cdot [(\tau_X(u))^2 + (\tau_Z(u))^2 + (\tau_V)^2]} \quad \text{Misesin jännitys}$$



Etsitään suurimmat jännitykset, joita voidaan verrata sallittuun jännitykseen 188 MPa

$$u := 0.3$$

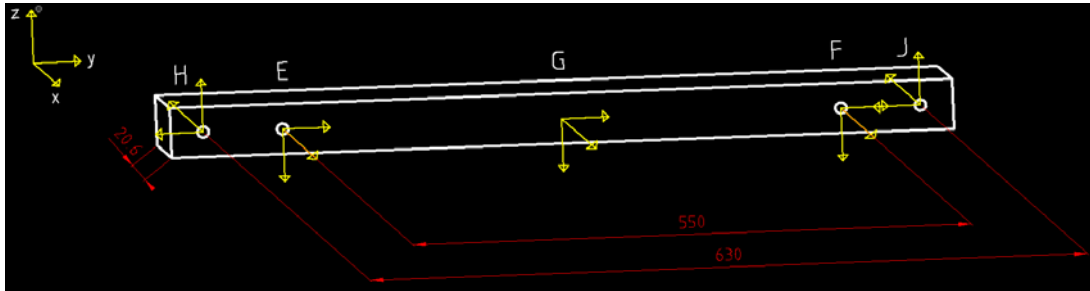
given

$$u_{\max} := \text{Maximize}(\sigma_{\text{mises}}, u)$$

$$u_{\max} = 0.3$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u_{\max}) = 75.8 \cdot \text{MPa}$$

Alapalkki +17.40 0° Seinäkiinnitys



$$y := 0.550 \cdot \text{m} \quad r := 0.630 \cdot \text{m} \quad x := 0.0206 \cdot \text{m} \quad \text{mass} := 1.44 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 0.700 \cdot \text{m} = 1.008 \text{ kg}$$

väli E - F      väli H - J      kiskon syvyys

Massa kerrotaan maanjäristyksestä aiheutuvilla kiihtyvyyksillä ja varmuuskertoimella 1,5.

$$G_y := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot g \cdot 1.34 = 19.86 \quad G_x := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot g \cdot 1.8 = 26.69 \quad G_z := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot g \cdot 1.55 = 22.983 \text{ N}$$

Annetaan kotelon kiinnityksissä vaikuttavat voimat. Alemmille kiskoille vain yksi kotelo.

$$E_x := 141 \cdot \text{N} \quad E_y := 121.56 \cdot \text{N} \quad E_z := 140.61 \cdot \text{N} \quad F_x := 70 \cdot \text{N} \quad F_y := E_y \quad F_z := E_z$$

Annetaan ohjelmalle arvaus tukireaktioista

$$H_x := 1 \cdot \text{N} \quad H_y := 1 \cdot \text{N} \quad H_z := 1 \cdot \text{N} \quad J_x := 1 \cdot \text{N} \quad J_y := 1 \cdot \text{N} \quad J_z := 1 \cdot \text{N} \quad M_{Hy} := 1 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad M_{Jy} := 1 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Given

etukuvanto (yz-taso)

$$H_y = J_y \quad -H_y + E_y + G_y + F_y - J_y = 0 \quad -E_z \cdot \left(\frac{r-y}{2}\right) - G_z \cdot \frac{r}{2} - F_z \cdot \left(\frac{r+y}{2}\right) + J_z \cdot r = 0$$

$$H_z - E_z - G_z - F_z + J_z = 0$$

yläkuvanto (xy-taso)

$$-H_x + E_x + G_x + F_x - J_x = 0 \quad -E_x \cdot \left(\frac{r-y}{2}\right) + E_y \cdot x - G_x \cdot \frac{r}{2} + G_y \cdot \frac{x}{2} + F_y \cdot x - F_x \cdot \left(\frac{r+y}{2}\right) + J_x \cdot r = 0$$

Sivukuvanto (xz-taso)

$$2 \cdot M_{Hy} - G_z \cdot \frac{x}{2} - E_z \cdot x - F_z \cdot x = 0 \quad M_{Hy} = M_{Jy}$$

Ratkaistaan tukireaktiot statiikan tasapainoyhtälöiden avulla

$$\begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \\ J_x \\ J_y \\ J_z \\ M_{Hy} \\ M_{Jy} \end{pmatrix} := \text{Find}(H_x, H_y, H_z, J_x, J_y, J_z, M_{Hy}, M_{Jy})$$

Pisteissä H ja J vaikuttavat tukireaktiot

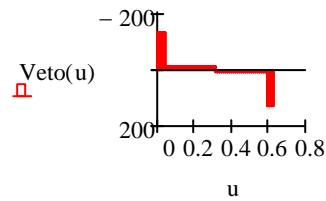
$$\begin{matrix} H_x = 158.111 \text{ N} & J_x = 79.578 \text{ N} \\ H_y = 131.495 \text{ N} & J_y = 131.495 \text{ N} \\ H_z = 152.101 \text{ N} & J_z = 152.101 \text{ N} \\ M_{Hy} = 3.015 \cdot \text{N} \cdot \text{m} & M_{Jy} = 3.015 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \end{matrix}$$

$$y_1 := 0.040 \cdot \text{m} \quad y_2 := 0.315 \cdot \text{m} \quad y_3 := 0.590 \cdot \text{m} \quad y_4 := 0.630 \cdot \text{m}$$

Ratkaistaan normaalivoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

$$\text{Veto}_1 := -H_y \quad \text{Veto}_2 := -H_y + E_y \quad \text{Veto}_3 := -H_y + E_y + G_y \quad \text{Veto}_4 := -H_y + E_y + G_y + F_y$$

$$\text{Veto}(u) := \begin{cases} \text{Veto}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Veto}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Veto}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Veto}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan leikkausvoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

$$\text{Leikkausz}_1 := H_Z = 152.101 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_1 := -H_X = -158.111 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_2 := H_Z - E_Z = 11.491 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_2 := -H_X + E_X = -17.111 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_3 := H_Z - E_Z - G_Z = -11.491 \text{ N}$$

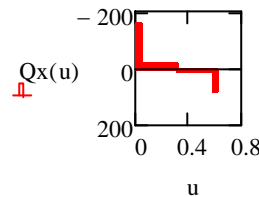
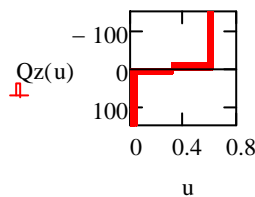
$$\text{Leikkausx}_3 := -H_X + E_X + G_X = 9.578 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_4 := H_Z - E_Z - G_Z - F_Z = -152.101 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_4 := -H_X + E_X + G_X + F_X = 79.578 \text{ N}$$

$$\text{Qz}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausz}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausz}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausz}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausz}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$

$$\text{Qx}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausx}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausx}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausx}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausx}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



$$\text{Momenttiz}_1(u) := H_Z \cdot u \cdot m$$

Ratkaistaan voimista aiheutuva momentti kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

$$\text{Momenttiz}_2(u) := H_Z \cdot u \cdot m - E_Z \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momenttiz}_3(u) := H_Z \cdot u \cdot m - E_Z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_Z \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momenttiz}_4(u) := H_Z \cdot u \cdot m - E_Z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_Z \cdot (u \cdot m - y_2) - F_Z \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$\text{Momenttix}_1(u) := H_X \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momenttix}_2(u) := H_X \cdot u \cdot m - E_X \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momenttix}_3(u) := H_X \cdot u \cdot m - E_X \cdot (u \cdot m - y_1) - G_X \cdot (u \cdot m - y_2)$$

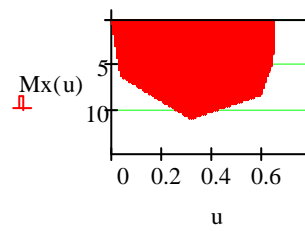
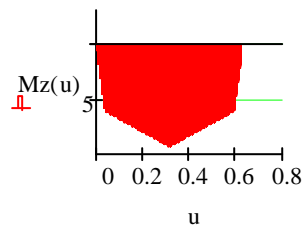
$$\text{Momenttix}_4(u) := H_X \cdot u \cdot m - E_X \cdot (u \cdot m - y_1) - G_X \cdot (u \cdot m - y_2) - F_X \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$\text{Momenttix}_5(u) := H_X \cdot u \cdot m - E_X \cdot (u \cdot m - y_1) - G_X \cdot (u \cdot m - y_2) - F_X \cdot (u \cdot m - y_3) - J_X \cdot (u \cdot m - y_4)$$

$$\text{Mz}(u) := \begin{cases} \text{Momenttiz}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momenttiz}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momenttiz}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momenttiz}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$

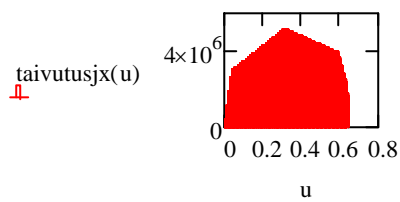
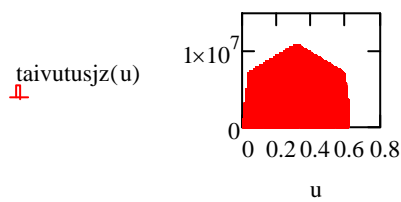
$$\text{Mx}(u) := \begin{cases} \text{Momenttix}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momenttix}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momenttix}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momenttix}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \\ \text{Momenttix}_5(u) & \text{if } y_4 \leq u \cdot m \leq 0.645 \cdot m \end{cases}$$





Otetaan Hiltin taulukoista taivutusvastukset. Sitten ratkaistaan suurimmat taivutusjännitykset jokaisessa poikkileikkauksessa.

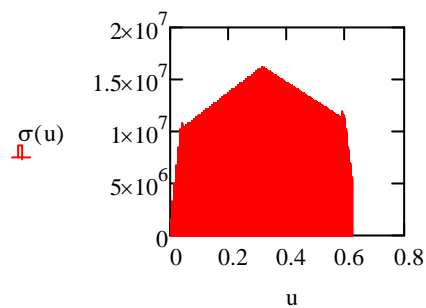
$$W_z := 0.85 \cdot \text{cm}^3 \quad \text{taivutusjz}(u) := \frac{Mz(u)}{W_z} \quad W_x := 2.13 \cdot \text{cm}^3 \quad \text{taivutusjx}(u) := \frac{Mx(u)}{W_x}$$



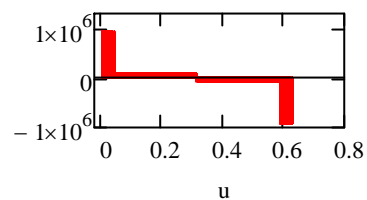
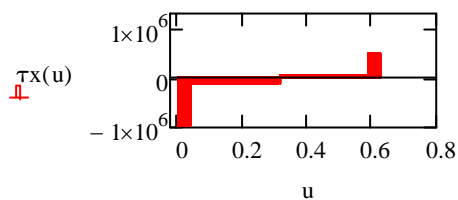
$$\text{Poikkipintaala} := 165.3 \cdot \text{mm}^2 = 1.653 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Normaalijännitys vedosta ja taivutuksista sekä leikkausjännitys jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$\sigma(u) := \left| \frac{\text{Veto}(u)}{\text{Poikkipintaala}} \right| + |\text{taivutusjx}(u)| + |\text{taivutusjz}(u)| \quad \tau_x(u) := \frac{Q_x(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$



$$\tau_z(u) := \frac{Q_z(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$



Vääntö

$$h := 40 \cdot \text{mm} \quad b := 20 \cdot \text{mm} \quad b_1 := 7.5 \cdot \text{mm}$$

$$e := \frac{b \cdot [3 \cdot h^2 \cdot b + 6 \cdot h^2 \cdot b_1 - 8 \cdot (b_1)^3]}{h^3 + 6 \cdot h^2 \cdot b + 6 \cdot h^2 \cdot b_1 + 8b_1^3 - 12h \cdot b_1^2} = 0.011 \text{ m}$$

$$T := -H_Z \cdot e + F_Z(e + 20 \cdot \text{mm}) + E_Z \cdot (e + 20 \cdot \text{mm}) - J_Z e = 5.376 \text{ J}$$

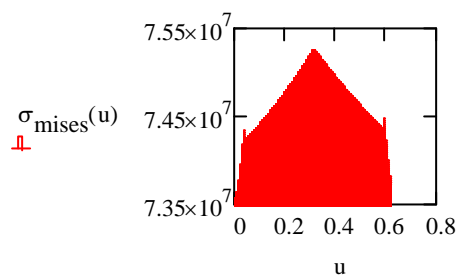
$$t_{\max} := 2 \cdot \text{mm}$$

$$I_v := \frac{t_{\max}^3}{3} \cdot (h + 2 \cdot b + 2 \cdot b_1) \quad W_v := \frac{I_v}{t_{\max}}$$

Vääntövastus

$$\tau_v := \frac{T}{W_v} = 4.244 \times 10^7 \text{ Pa} \quad \text{Vääntöjännitys}$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u) := \sqrt{(\sigma(u))^2 + 3 \cdot [(\tau_x(u))^2 + (\tau_z(u))^2 + (\tau_v)^2]}$$



Etsitään suurimmat jännitykset, joita voidaan verrata vetomyötölujuuteen 188 MPa

$$u := 0.3$$

given

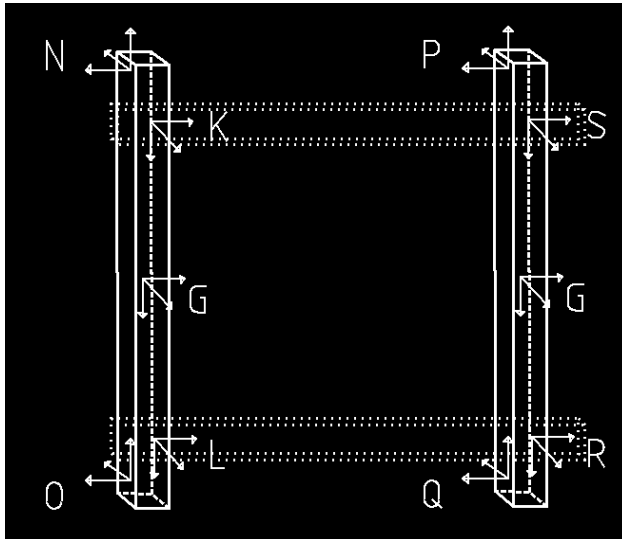
$$u_{\max} := \text{Maximize}(\sigma_{\text{mises}}, u)$$

$$u_{\max} = 0.315$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u_{\max}) = 75.255 \cdot \text{MPa}$$

Seinäkiinnikkeet +17.40 0°

Seinäkiinnitys



vaakakiskojen väli, ankkurien väli z-suuntaan, kiskon syvyys

$$z := 0.345 \cdot \text{m} \quad h := 0.500 \cdot \text{m} \quad x := 0.0413 \cdot \text{m} \quad \text{mass} := 0.6 \cdot \text{m} \cdot 2.91 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 1.7 \text{ kg}$$

Massa kerrotaan maanjäristyksestä aiheutuvilla kiihtyvyyksillä ja varmuuskertoimella 1,5.

$$G_y := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.34 \cdot g = 34.4 \text{ N} \quad G_x := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.8 \cdot g = 46.2 \text{ N} \quad G_z := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.55 \cdot g = 39.8 \text{ N}$$

Voimien vaikutuspisteet z-suunnassa

$$y_1 := 0.0775 \cdot \text{m} \quad y_2 := 0.250 \cdot \text{m} \quad y_3 := 0.4225 \cdot \text{m} \quad y_4 := 0.5 \cdot \text{m}$$

kiskojen väli y-suunnassa

$$r := 0.63 \cdot \text{m}$$

Annetaan kiskojen liitoksissa vaikuttavat voimat

K ja N: vasen yläkulma

R ja P: oikea yläkulma

L ja O: vasen alakulma

S ja Q: oikea alakulma

$$K_x := 274.1 \cdot \text{N} \quad K_y := 131.495 \cdot \text{N} \quad K_z := 152.101 \cdot \text{N} \quad M_{K_y} := 4.314 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad R_x := 195.6 \cdot \text{N} \quad R_y := K_y$$

$$L_x := 158.1 \cdot \text{N} \quad L_y := K_y \quad L_z := K_z \quad M_{L_y} := 4.314 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad S_x := 80 \cdot \text{N} \quad S_y := K_y$$

$$R_z := K_z \quad S_z := K_z \quad M_{R_y} := 4.314 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad M_{S_y} := M_{R_y}$$

Annetaan ohjelmalle arvaus tukireaktioista

$$N_x := 1 \cdot \text{N} \quad N_y := 1 \cdot \text{N} \quad N_z := 1 \cdot \text{N} \quad P_x := 1 \cdot \text{N} \quad P_y := 1 \cdot \text{N} \quad P_z := 1 \cdot \text{N}$$

$$O_x := 1 \cdot \text{N} \quad O_y := 1 \cdot \text{N} \quad O_z := 1 \cdot \text{N} \quad Q_x := 1 \cdot \text{N} \quad Q_y := 1 \cdot \text{N} \quad Q_z := 1 \cdot \text{N} \quad \text{Given}$$

Ratkaistaan tukireaktiot statiikan tasapainoyhtälöiden avulla

$$4 \cdot N_z - K_z - 2G_z - L_z - R_z - S_z = (-4 \cdot N_y + K_y + 2G_y + L_y + R_y + S_y) = 0 \quad N_z = O_z = P_z = Q_z$$

$$N_y = O_y = P_y = Q_y \quad -N_x - O_x - P_x - Q_x + K_x + G_x + L_x + R_x + G_x + S_x = 0$$

$$-(O_x + N_x + R_x + S_x) \cdot \frac{r}{2} + (K_x + L_x + P_x + Q_x) \cdot \frac{r}{2} + (K_y + L_y + R_y + S_y + P_y + Q_y + O_y + N_y) \cdot \frac{x}{2} = 0$$

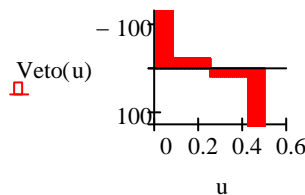
$$-(O_x + Q_x - N_x - P_x) \cdot \frac{h}{2} + (L_x + S_x - K_x - R_x) \cdot \frac{z}{2} - (N_z + P_z + K_z + R_z + L_z + S_z + O_z + Q_z) \cdot \frac{x}{2} - 4 \cdot M_{K_y} = 0$$

$\begin{pmatrix} N_x \\ N_y \\ N_z \\ O_x \\ O_y \\ O_z \\ P_x \\ P_y \\ P_z \\ Q_x \\ Q_y \\ Q_z \end{pmatrix}$	:= Find( $N_x, N_y, N_z, O_x, O_y, O_z, P_x, P_y, P_z, Q_x, Q_y, Q_z$ ) Ankkurien tukireaktiot		
	$N_x = 390.8 \text{ N}$	$P_x = 177.3 \text{ N}$	
	$N_y = 148.7 \text{ N}$	$P_y = 148.7 \text{ N}$	
	$N_z = 172 \text{ N}$	$P_z = 172 \text{ N}$	
	$O_x = 124.4 \text{ N}$	$Q_x = 107.8 \text{ N}$	
	$O_y = 148.7 \text{ N}$	$Q_y = 148.7 \text{ N}$	
	$O_z = 172 \text{ N}$	$Q_z = 172 \text{ N}$	

Ratkaistaan normaalivoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

$$\text{Veto}_1 := -O_z \quad \text{Veto}_2 := -O_z + L_z \quad \text{Veto}_3 := -O_z + L_z + G_z \quad \text{Veto}_4 := -O_z + L_z + G_z + K_z$$

$$\text{Veto}(u) := \begin{cases} \text{Veto}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Veto}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Veto}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Veto}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Sama molemmille pystykiskoille

Ratkaistaan leikkausvoimista aiheutuva kuorma kappaleiden jokaisessa poikkileikkauksessa

$$\text{Leikkausy}_1 := O_y = 148.7 \text{ N}$$

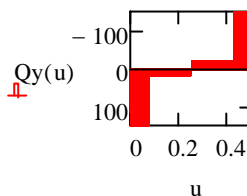
$$\text{Leikkausy}_2 := O_y - L_y = 17.2 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausy}_3 := O_y - L_y - G_y = -17.2 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausy}_4 := O_y - L_y - G_y - K_y = -148.7 \text{ N}$$

oikean puoleiseen kiskoon viitataan suureen nimessä numerolla 2

$$\text{Qy}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausy}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausy}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausy}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausy}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



$$\text{Leikkausx}_1 := -O_x = -124.4 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_2 := -O_x + L_x = 33.7 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_3 := -O_x + L_x + G_x = 80 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_4 := -O_x + L_x + G_x + K_x = 354.1 \text{ N}$$

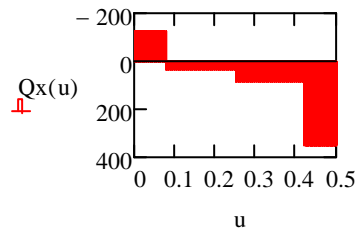
$$\text{Leikkaus2}_1 := -Q_x = -107.8 \text{ N}$$

$$\text{Leikkaus2}_2 := -Q_x + S_x = -27.8 \text{ N}$$

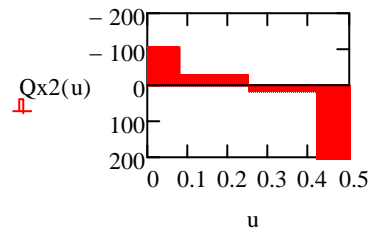
$$\text{Leikkaus2}_3 := -Q_x + S_x + G_x = 18.4 \text{ N}$$

$$\text{Leikkaus2}_4 := -Q_x + S_x + G_x + R_x = 214 \text{ N}$$

$$Q_x(u) := \begin{cases} \text{Leikkaus}x_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkaus}x_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkaus}x_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkaus}x_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



$$Q_{x2}(u) := \begin{cases} \text{Leikkaus}x_{21} & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkaus}x_{22} & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkaus}x_{23} & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkaus}x_{24} & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



$$\text{Momentti}y_1(u) := O_y \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momentti}y_2(u) := O_y \cdot u \cdot m - L_y \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momentti}y_3(u) := O_y \cdot u \cdot m - L_y \cdot (u \cdot m - y_1) - G_y \cdot (u \cdot m - y_2) \quad \text{Sama molemmille}$$

$$\text{Momentti}y_4(u) := O_y \cdot u \cdot m - L_y \cdot (u \cdot m - y_1) - G_y \cdot (u \cdot m - y_2) - K_y \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$\text{Momentti}y_5(u) := O_y \cdot u \cdot m - L_y \cdot (u \cdot m - y_1) - G_y \cdot (u \cdot m - y_2) - K_y \cdot (u \cdot m - y_3) + N_y \cdot (u \cdot m - y_4)$$

$$\text{Momentti}x_1(u) := -O_x \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momentti}x_2(u) := -O_x \cdot u \cdot m + L_x \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momentti}x_3(u) := -O_x \cdot u \cdot m + L_x \cdot (u \cdot m - y_1) + G_x \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momentti}x_4(u) := -O_x \cdot u \cdot m + L_x \cdot (u \cdot m - y_1) + G_x \cdot (u \cdot m - y_2) + K_x \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$\text{Momentti}x_5(u) := -O_x \cdot u \cdot m + L_x \cdot (u \cdot m - y_1) + G_x \cdot (u \cdot m - y_2) + K_x \cdot (u \cdot m - y_3) - N_x \cdot (u \cdot m - y_4)$$

$$\text{Momentti}x_{21}(u) := Q_x \cdot u \cdot m$$

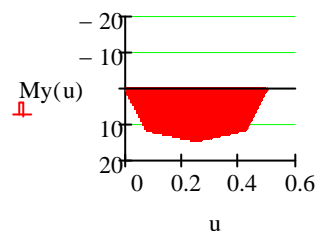
$$\text{Momentti}x_{22}(u) := Q_x \cdot u \cdot m - S_x \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momentti}x_{23}(u) := Q_x \cdot u \cdot m - S_x \cdot (u \cdot m - y_1) - G_x \cdot (u \cdot m - y_2)$$

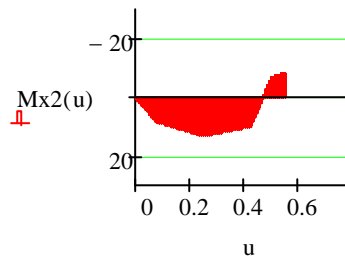
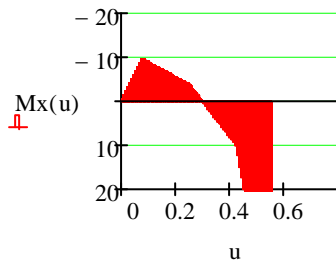
$$\text{Momentti}x_{24}(u) := Q_x \cdot u \cdot m - S_x \cdot (u \cdot m - y_1) - G_x \cdot (u \cdot m - y_2) - R_x \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$\text{Momentti}x_{25}(u) := Q_x \cdot u \cdot m - S_x \cdot (u \cdot m - y_1) - G_x \cdot (u \cdot m - y_2) - R_x \cdot (u \cdot m - y_3) + P_x \cdot (u \cdot m - y_4)$$

$$M_y(u) := \begin{cases} \text{Momentti}y_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momentti}y_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momentti}y_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momentti}y_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \\ \text{Momentti}y_5(u) & \text{if } y_4 \leq u \cdot m \leq 0.55 \cdot m \end{cases}$$



$$M_x(u) := \begin{cases} \text{Momenttix}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momenttix}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momenttix}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momenttix}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \\ \text{Momenttix}_5(u) & \text{if } y_4 \leq u \cdot m \leq 0.5 \cdot m \end{cases} \quad M_{x2}(u) := \begin{cases} \text{Momenttix2}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momenttix2}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momenttix2}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momenttix2}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \\ \text{Momenttix2}_5(u) & \text{if } y_4 \leq u \cdot m \leq 0.550 \cdot m \end{cases}$$

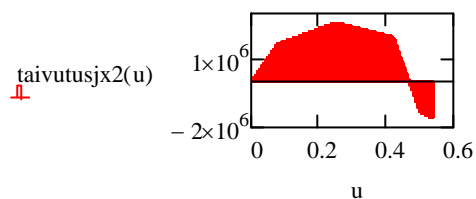
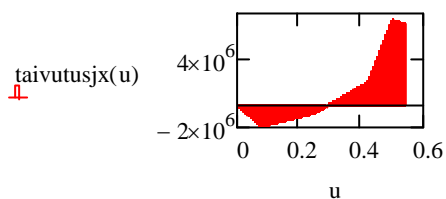
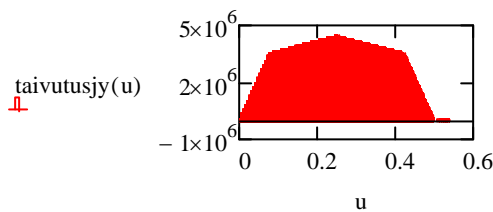


Otetaan Hiltin taulukoista taivutusvastukset. Sitten ratkaistaan suurimmat taivutusjännitykset jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$W_y := 3.26 \cdot \text{cm}^3 \quad \text{taivutusjy}(u) := \frac{M_y(u)}{W_y}$$

$$W_x := 5.06 \cdot \text{cm}^3 \quad \text{taivutusjx}(u) := \frac{M_x(u)}{W_x}$$

$$\text{taivutusjx2}(u) := \frac{M_{x2}(u)}{W_x}$$

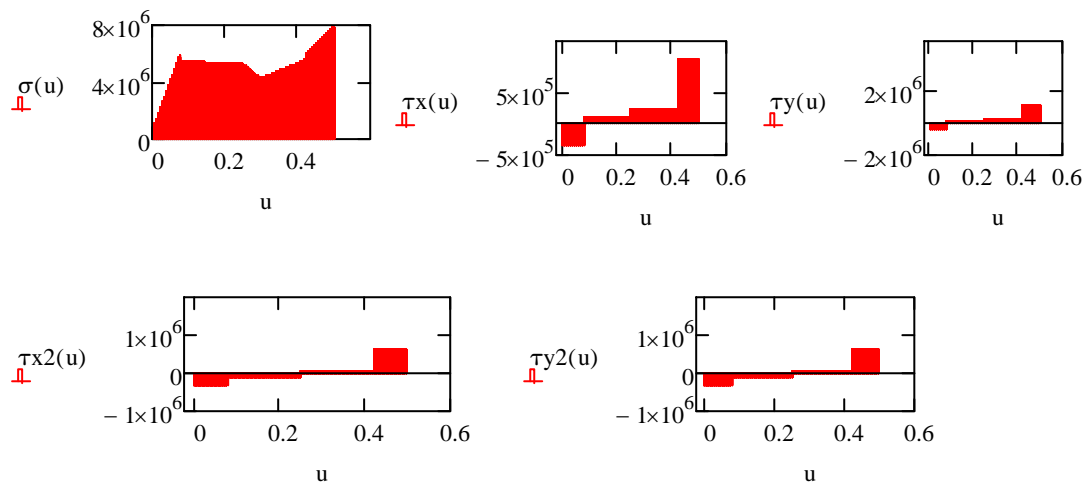


Normaalijännitys vedosta ja taivutuksista sekä leikkausjännitys jokaisessa poikkileikkauksessa.

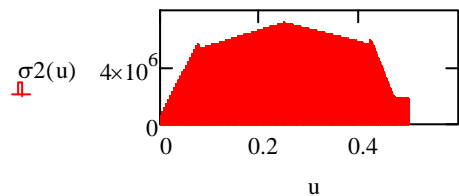
$$\text{Poikkipintaala} := 348.4 \cdot \text{mm}^2 = 3.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma(u) := \left| \frac{V_{\text{eto}}(u)}{\text{Poikkipintaala}} \right| + |\text{taivutusjx}(u)| + |\text{taivutusjy}(u)|$$

$$\tau_x(u) := \frac{Q_x(u)}{\text{Poikkipintaala}} \quad \tau_{x2}(u) := \frac{Q_{x2}(u)}{\text{Poikkipintaala}} \quad \tau_y(u) := \frac{Q_y(u)}{\text{Poikkipintaala}} \quad \tau_{y2}(u) := \frac{Q_{y2}(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$



$$\sigma_2(u) := \left| \frac{\text{Veto}(u)}{\text{Poikkipintaala}} \right| + |\text{taivutusjx2}(u)| + |\text{taivutusjy}(u)|$$



### Vääntö

$$h := 40\text{-mm} \quad b := 40\text{-mm} \quad b_1 := 7.5\text{-mm}$$

$$e := \frac{b \cdot [3 \cdot h^2 \cdot b + 6 \cdot h^2 \cdot b_1 - 8 \cdot (b_1)^3]}{h^3 + 6 \cdot h^2 \cdot b + 6 \cdot h^2 \cdot b_1 + 8 \cdot b_1^3 - 12 \cdot h \cdot b_1^2} = 21\text{-mm} \quad \text{vääntökeskiön etäisyys profiilin reunasta}$$

$$T := -N_y \cdot e - K_y \cdot (e + 40\text{-mm}) - L_y \cdot (e + 40\text{-mm}) - O_y \cdot e = -22.3 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad \text{vääntö}$$

$$T_2 := -P_y \cdot e - R_y \cdot (e + 40\text{-mm}) - S_y \cdot (e + 40\text{-mm}) - Q_y \cdot e = -22.3 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$t_{\max} := 3\text{-mm}$$

ainevahvuus

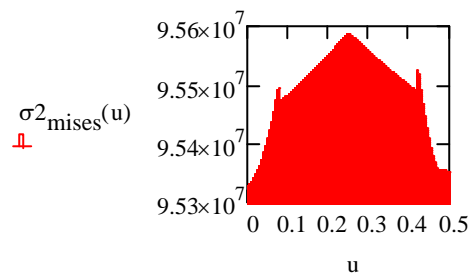
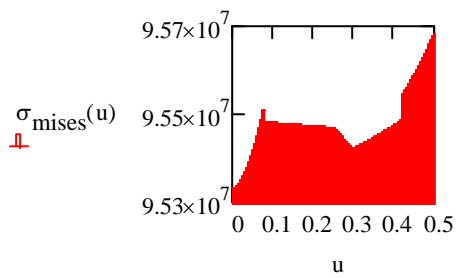
$$I_v := \frac{t_{\max}^3}{3} \cdot (h + 2 \cdot b + 2 \cdot b_1) \quad W_v := \frac{I_v}{t_{\max}} \quad \text{vääntövastus}$$

$$\tau_v := \frac{T}{W_v} = -5.5 \times 10^7 \text{ Pa} \quad \tau_{v2} := \frac{T_2}{W_v} = -5.5 \times 10^7 \text{ Pa} \quad \text{vääntöjännitys}$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u) := \sqrt{(\sigma(u))^2 + 3 \cdot [(\tau_x(u))^2 + (\tau_y(u))^2 + (\tau_v)^2]}$$

Misesin jännitys

$$\sigma^2_{\text{mises}}(u) := \sqrt{(\sigma^2(u))^2 + 3 \cdot [(\tau_{x2}(u))^2 + (\tau_{y2}(u))^2 + (\tau_{v2})^2]}$$



Etsitään suurimmat jännitykset, joita voidaan verrata sallittuun jännitykseen 188 MPa

$u := 0.5$  given

$u_{\text{max}} := \text{Maximize}(\sigma_{\text{mises}}, u)$

$u_{\text{max}} = 0.5$

$\sigma_{\text{mises}}(u_{\text{max}}) = 95.7 \cdot \text{MPa}$

$u_{\text{max2}} := \text{Maximize}(\sigma^2_{\text{mises}}, u)$

$u_{\text{max2}} = 0.2$

$\sigma^2_{\text{mises}}(u_{\text{max2}}) = 95.6 \cdot \text{MPa}$



## Lattiakiinnitteisen telineen lujuuslaskenta

Kotelon staattiset voimat +17.40 korkeudella 90° kulmassa  
Lattia-asennus yhdelle kotelolle

x on G:n etäisyys kiinnikkeiden tasosta, y ja z kiinnikkeiden välimatkat.

$$x := 0.084\text{m} \quad y := 0.428\text{m} \quad z := 0.345\text{m} \quad m := 20.9\text{kg}$$

$G_y := 1.5 \cdot m \cdot g \cdot 1.8 = 553.4\text{ N}$  Massa kerrotaan maanjäristyksestä aiheutuvilla kiihtyvyyksillä ja varmuuskertoimella 1,5.  
 $G_x := 1.5 \cdot m \cdot g \cdot 1.34 = 412\text{ N}$   
 $G_z := 1.5 \cdot m \cdot g \cdot 1.55 = 476.5\text{ N}$

$$A_x := 1\text{N} \quad B_x := 1\text{N} \quad C_x := 1\text{N} \quad D_x := 1\text{N}$$

$$A_y := 1\text{N} \quad B_y := 1\text{N} \quad C_y := 1\text{N} \quad D_y := 1\text{N}$$

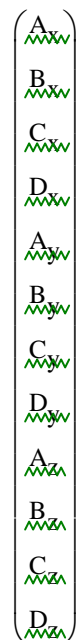
$$A_z := 1\text{N} \quad B_z := 1\text{N} \quad C_z := 1\text{N} \quad D_z := 1\text{N}$$

$$4A_z - G_z = 0 \quad 4A_y - G_y = 0$$

$$A_z = B_z = C_z = D_z \quad A_y = B_y = C_y = D_y$$

$$A_x = \frac{G_x}{4} + \frac{G_y \cdot \frac{x}{y}}{4} + \frac{G_z \cdot \frac{x}{z}}{4} \quad B_x = \frac{G_x}{4} - \frac{G_y \cdot \frac{x}{y}}{4} + \frac{G_z \cdot \frac{x}{z}}{4}$$

$$C_x = \frac{G_x}{4} + \frac{G_y \cdot \frac{x}{y}}{4} - \frac{G_z \cdot \frac{x}{z}}{4} \quad D_x = \frac{G_x}{4} - \frac{G_y \cdot \frac{x}{y}}{4} - \frac{G_z \cdot \frac{x}{z}}{4}$$



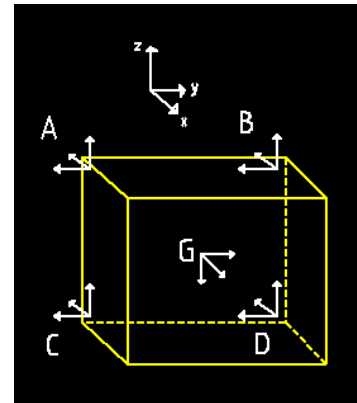
$$:= \text{Find}(A_x, B_x, C_x, D_x, A_y, B_y, C_y, D_y, A_z, B_z, C_z, D_z)$$

kiinnityksissä vaikuttavat voimat

$$A_x = 215.3\text{ N} \quad B_x = 106.7\text{ N} \quad C_x = 99.3\text{ N} \quad D_x = -9.3\text{ N}$$

$$A_y = 138.3\text{ N} \quad B_y = 138.3\text{ N} \quad C_y = 138.3\text{ N} \quad D_y = 138.3\text{ N}$$

$$A_z = 119.1\text{ N} \quad B_z = 119.1\text{ N} \quad C_z = 119.1\text{ N} \quad D_z = 119.1\text{ N}$$



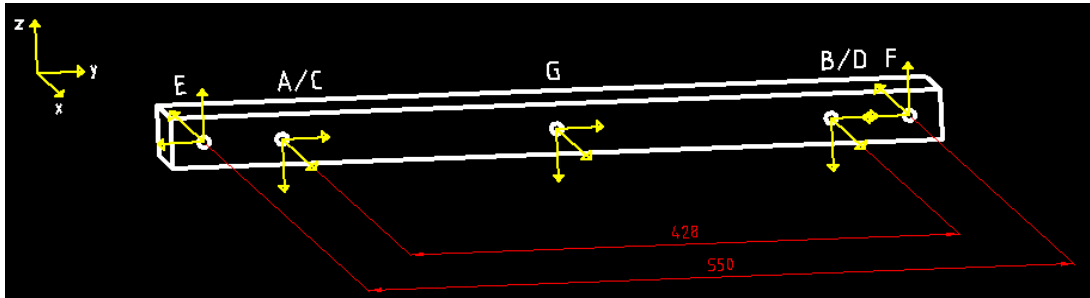
Given

Annetaan ohjelmalle arvaus tukireaktioista

y- ja z-suuntaiset voimat jakautuvat tasan kaikille kiinnityksille

niistä aiheutuu kuitenkin momenttia, joka tasapainottuu x-suuntaisissa tukivoimissa

Yläkiinnike tasolla +17.40 asennossa 90° Lattia-asennus yhdelle kotelolle



$$y := 0.428 \cdot \text{m} \quad \text{väli A - B} \quad t := 0.010 \cdot \text{m} \quad \text{latan paksuus} \quad \rho := 7850 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{teräksen tiheys}$$

$$s := 0.550 \cdot \text{m} \quad \text{väli E - F} \quad h := 0.04 \cdot \text{m} \quad \text{latan leveys}$$

$$\text{mass} := t \cdot h \cdot 0.6 \cdot \text{m} \cdot \rho = 1.9 \text{ kg} \quad \text{latan massa}$$

Massa kerrotaan maanjärityksestä aiheutuvilla kiihtyvyyksillä ja varmuuskertoimella 1,5.

$$G_y := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot g \cdot 1.8 = 49.9 \text{ N} \quad G_x := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.34 \cdot g = 37.1 \text{ N} \quad G_z := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.55 \cdot g = 43 \text{ N}$$

$$A_x := 215.309 \cdot \text{N} \quad A_y := 138.347 \cdot \text{N} \quad A_z := 119.131 \cdot \text{N} \quad \text{Annetaan kotelon kiinnityksissä}$$

$$B_x := 106.7 \cdot \text{N} \quad B_y := A_y \quad B_z := A_z \quad \text{vaikuttavat voimat.}$$

Annetaan ohjelmalle arvaus tukireaktioista

$$E_x := 1 \cdot \text{N} \quad E_y := 1 \cdot \text{N} \quad E_z := 1 \cdot \text{N} \quad F_x := 1 \cdot \text{N} \quad F_y := 1 \cdot \text{N} \quad F_z := 1 \cdot \text{N} \quad \text{Given}$$

etukuvanto (yz-taso)

$$E_y = F_y \quad -E_y + A_y + G_y + B_y - F_y = 0 \quad -A_z \cdot \left(\frac{s}{2} - \frac{y}{2}\right) - G_z \cdot \left(\frac{s}{2}\right) - B_z \cdot \left(\frac{y}{2} + \frac{s}{2}\right) + F_z \cdot s = 0$$

$$E_z - A_z - G_z - B_z + F_z = 0$$

Ratkaistaan tukireaktiot statiikan tasapainoyhtälöiden avulla

yläkuvanto (xy-taso)

$$-E_x + A_x + G_x + B_x - F_x = 0$$

$$-A_x \cdot \left(\frac{s}{2} - \frac{y}{2}\right) - G_x \cdot \left(\frac{s}{2}\right) - B_x \cdot \left(\frac{s}{2} + \frac{y}{2}\right) + F_x \cdot s + A_y \cdot t + B_y \cdot t + G_y \cdot \frac{t}{2} = 0$$

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \\ F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} := \text{Find}(E_x, E_y, E_z, F_x, F_y, F_z)$$

Pisteissä E ja F vaikuttavat tukireaktiot

$$E_x = 227.3 \text{ N}$$

$$F_x = 131.8 \text{ N}$$

$$E_y = 163.3 \text{ N}$$

$$F_y = 163.3 \text{ N}$$

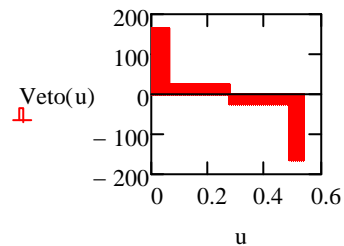
$$E_z = 140.6 \text{ N}$$

$$F_z = 140.6 \text{ N}$$

Ratkaistaan normaalivoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa  
 $y_1 := 0.061 \cdot m$     $y_2 := 0.275 \cdot m$     $y_3 := 0.489 \cdot m$     $y_4 := 0.550 \cdot m$  voimien vaikutuspisteet

$$\text{Veto}_1 := E_y \quad \text{Veto}_2 := E_y - A_y \quad \text{Veto}_3 := E_y - A_y - G_y \quad \text{Veto}_4 := E_y - A_y - G_y - B_y$$

$$\text{Veto}(u) := \begin{cases} \text{Veto}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Veto}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Veto}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Veto}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan leikkausvoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

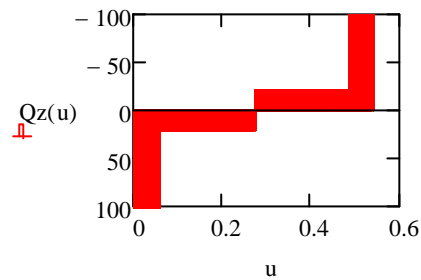
$$\text{Leikkausz}_1 := E_z = 140.6 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_2 := E_z - A_z = 21.5 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_3 := E_z - A_z - G_z = -21.5 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_4 := E_z - A_z - G_z - B_z = -140.6 \text{ N}$$

$$\text{Qz}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausz}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausz}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausz}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausz}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



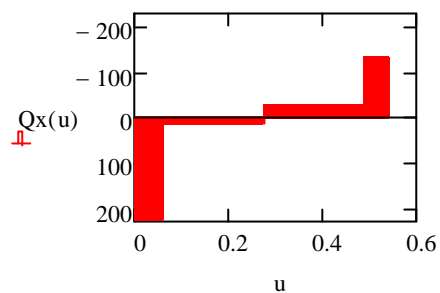
$$\text{Leikkausx}_1 := E_x = 227.3 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_2 := E_x - A_x = 12 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_3 := E_x - A_x - G_x = -25.1 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_4 := E_x - A_x - G_x - B_x = -131.8 \text{ N}$$

$$\text{Qx}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausx}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausx}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausx}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausx}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan voimista aiheutuva momentti kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

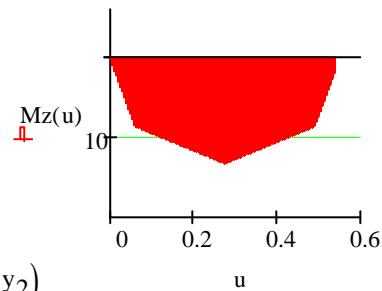
$$\text{Momentiz}_1(u) := E_Z \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momentiz}_2(u) := E_Z \cdot u \cdot m - A_Z \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momentiz}_3(u) := E_Z \cdot u \cdot m - A_Z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_Z \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momentiz}_4(u) := E_Z \cdot u \cdot m - A_Z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_Z \cdot (u \cdot m - y_2) - B_Z \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$\text{Mz}(u) := \begin{cases} \text{Momentiz}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momentiz}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momentiz}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momentiz}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



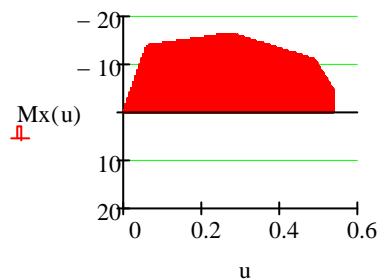
$$\text{Momentix}_1(u) := -E_X \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momentix}_2(u) := -E_X \cdot u \cdot m + A_X \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momentix}_3(u) := -E_X \cdot u \cdot m + A_X \cdot (u \cdot m - y_1) + G_X \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momentix}_4(u) := -E_X \cdot u \cdot m + A_X \cdot (u \cdot m - y_1) + G_X \cdot (u \cdot m - y_2) + B_X \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$\text{Mx}(u) := \begin{cases} \text{Momentix}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momentix}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momentix}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momentix}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



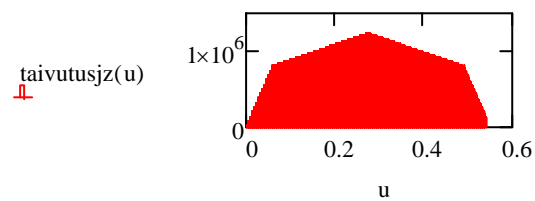
Lasketaan poikkileikkausprofiilin jäyhyysmomentit. Myös reikien kohdalla erikseen. Sitten ratkaistaan suurimmat taivutusjännitykset jokaisessa poikkileikkauksessa.

paksuus $b := t \quad b = 0.01 \text{ m}$	korkeus $h = 0.04 \text{ m}$	reikien korkeudet $h_a := 0.011 \cdot \text{m} \quad h_b := 0.009 \cdot \text{m}$	suurin etäisyys taivutusakselista $x := \frac{t}{2} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$
$I_Z := \frac{b \cdot h^3}{12} = 5.3 \times 10^{-8} \text{ m}^4$	$\text{taivutusjz1}(u) := \frac{\text{Mz}(u)}{I_Z} \cdot x$		

$I_{za} := \frac{b \cdot h_a^3}{12} = 1.1 \times 10^{-9} \text{ m}^4$	$I_{zb} := \frac{b \cdot h_b^3}{12} = 6.1 \times 10^{-10} \text{ m}^4$
---	--

$\text{taivutusjza}(u) := \frac{\text{Mz}(u)}{I_Z - I_{za}} \cdot x$	$\text{taivutusjzb}(u) := \frac{\text{Mz}(u)}{I_Z - I_{zb}} \cdot x$
--	--

$$\text{taivutusjz}(u) := \begin{cases} \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } -0.025 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq -0.001 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjza}(u) & \text{if } -0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.001 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.060 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjzb}(u) & \text{if } 0.060 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.062 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.062 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.488 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjzb}(u) & \text{if } 0.488 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.490 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.490 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.549 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjza}(u) & \text{if } 0.549 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.551 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.551 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.575 \cdot \text{m} \end{cases}$$

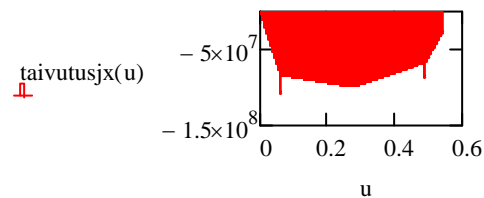


$$z := \frac{h}{2} = 0 \text{ m} \quad I_x := \frac{h \cdot b^3}{12} = 3.3 \times 10^{-9} \text{ m}^4 \quad \text{taivutusjx1}(u) := \frac{M_x(u)}{I_x} \cdot z$$

$$I_{xa} := \frac{h_a \cdot b^3}{12} = 9.2 \times 10^{-10} \text{ m}^4 \quad I_{xb} := \frac{h_b \cdot b^3}{12} = 7.5 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$\text{taivutusjxa}(u) := \frac{M_x(u)}{I_x - I_{xa}} \cdot z \quad \text{taivutusjxb}(u) := \frac{M_x(u)}{I_x - I_{xb}} \cdot z$$

$$\text{taivutusjx}(u) := \begin{cases} \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } -0.025 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq -0.001 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjxa}(u) & \text{if } -0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.001 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.060 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjxb}(u) & \text{if } 0.060 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.062 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.062 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.488 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjxb}(u) & \text{if } 0.488 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.490 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.490 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.549 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjxa}(u) & \text{if } 0.549 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.551 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.551 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.575 \cdot \text{m} \end{cases}$$



$a := h$      $a = 0.04 \text{ m}$      $t = 0.01 \text{ m}$  Lasketaan pinta-ala jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$A_1 := a \cdot t = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_2 := (a \cdot t - t \cdot 0.011 \text{ m}) = 2.9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

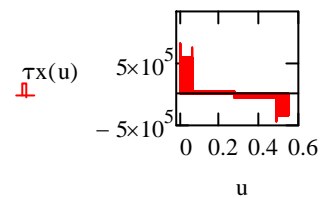
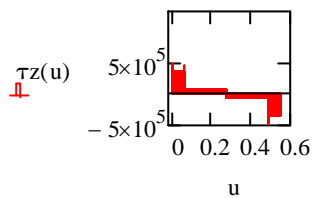
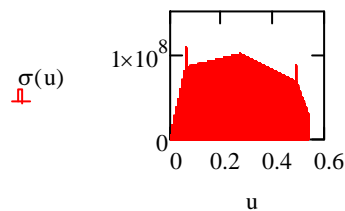
$$A_3 := a \cdot t - t \cdot 0.009 \text{ m} = 3.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

vähennetään reikien pinta-alat

$$A_{xz}(u) := \begin{cases} A_1 & \text{if } -0.025 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq -0.001 \cdot \text{m} \\ A_2 & \text{if } -0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.001 \cdot \text{m} \\ A_1 & \text{if } 0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.060 \cdot \text{m} \\ A_3 & \text{if } 0.060 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.062 \cdot \text{m} \\ A_1 & \text{if } 0.062 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.488 \cdot \text{m} \\ A_3 & \text{if } 0.488 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.490 \cdot \text{m} \\ A_1 & \text{if } 0.490 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.549 \cdot \text{m} \\ A_2 & \text{if } 0.549 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.551 \cdot \text{m} \\ A_1 & \text{if } 0.551 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.575 \cdot \text{m} \end{cases}$$

Normaalijännitys vedosta ja taivutuksista sekä leikkausjännitys jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$\sigma(u) := \left| \frac{V_{\text{eto}}(u)}{A_{xz}(u)} \right| + |\text{taivutusjx}(u)| + |\text{taivutusjz}(u)| \quad \tau_z(u) := \frac{Q_z(u)}{A_{xz}(u)} \quad \tau_x(u) := \frac{Q_x(u)}{A_{xz}(u)}$$



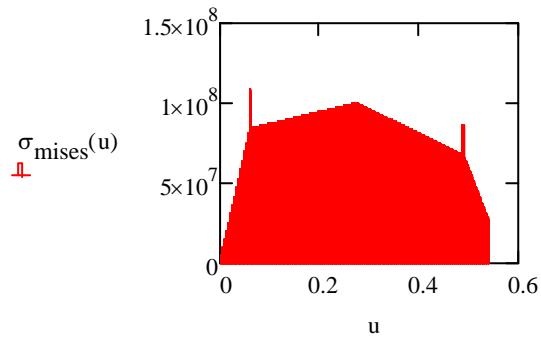
Vääntö

$$T(u) := -E_z \cdot \frac{t}{2} - A_z \cdot \frac{t}{2} - B_z \cdot \frac{t}{2} - F_z \cdot \frac{t}{2} \quad \text{vääntömomentti}$$

$$W_v := C_2 \cdot h \cdot t^2 \quad C_2 := 0.282 \quad \text{Tekniikan taulukkokirja s. 362}$$

$$\tau_v(u) := \frac{T(u)}{W_v} \quad \text{vääntöjännitys}$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u) := \sqrt{(\sigma(u))^2 + 3 \cdot [(\tau_x(u))^2 + (\tau_z(u))^2 + (\tau_y(u))^2]}$$



Etsitään suurimmat jännitykset, joita voidaan verrata vetomyötölujuuteen 220 MPa ja leikkausmyötölujuuteen 127 MPa

$u := 0.3$  given

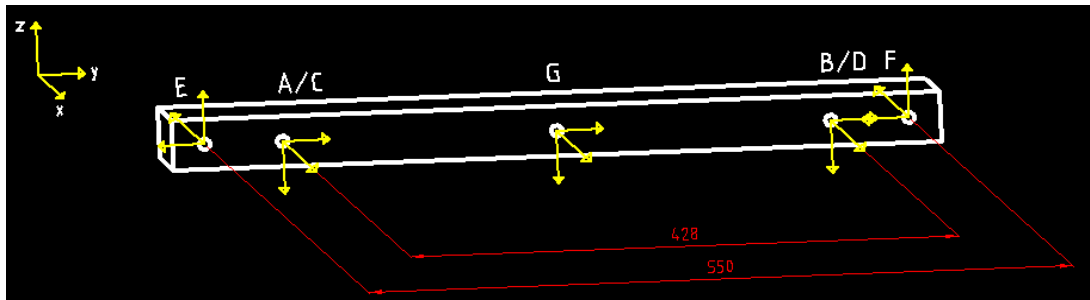
$$u_{\text{max}} := \text{Maximize}(\sigma_{\text{mises}}, u) \quad u_{\text{max}} = 0.3$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u_{\text{max}}) = 100 \cdot \text{MPa}$$

~~$u_{\text{max}} := 0.06156$~~  haettu trace-toiminnolla

$$\sigma_{\text{mises}}(u_{\text{max}}) = 108.4 \cdot \text{MPa}$$

Alakiinnike tasolla +17.40 asennossa 90° Lattia-asennus yhdelle kotelolle



$$\begin{aligned}
 y &:= 0.428 \cdot \text{m} & \text{väli A - B} & & t &:= 0.010 \cdot \text{m} & \text{latan paksuus} & & \rho &:= 7850 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & \text{teräksen tiheys} \\
 s &:= 0.550 \cdot \text{m} & \text{väli E - F} & & h &:= 0.04 \cdot \text{m} & \text{latan leveys} & & & & \\
 \text{mass} &:= t \cdot h \cdot 0.6 \cdot \text{m} \cdot \rho = 1.9 \text{ kg} & & & & & \text{latan massa} & & & & 
 \end{aligned}$$

Massa kerrotaan maanjäristyksestä aiheutuvilla kiihtyvyyksillä ja varmuuskertoimella 1,5.

$$G_y := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot g \cdot 1.8 = 49.9 \text{ N} \quad G_x := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.34 \cdot g = 37.1 \text{ N} \quad G_z := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.55 \cdot g = 43 \text{ N}$$

Annetaan kotelon kiinnityksissä vaikuttavat voimat.

$$A_x := 99.3 \cdot \text{N} \quad A_y := 138.3 \cdot \text{N} \quad A_z := 119.1 \cdot \text{N}$$

$$B_x := -9.3 \cdot \text{N} \quad B_y := A_y \quad B_z := A_z$$

$$E_x := 1 \cdot \text{N} \quad E_y := 1 \cdot \text{N} \quad E_z := 1 \cdot \text{N}$$

Annetaan ohjelmalle arvaus tukireaktioista

$$F_x := 1 \cdot \text{N} \quad F_y := 1 \cdot \text{N} \quad F_z := 1 \cdot \text{N}$$

$$M_{E_y} := 1 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad M_{F_y} := 1 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Given

etukuvanto (yz-taso)

$$E_y = F_y \quad -E_y + A_y + G_y + B_y - F_y = 0 \quad E_z - A_z - G_z - B_z + F_z = 0$$

$$-A_z \cdot \left( \frac{s}{2} - \frac{y}{2} \right) - G_z \cdot \left( \frac{s}{2} \right) - B_z \cdot \left( \frac{y}{2} + \frac{s}{2} \right) + F_z \cdot s = 0$$

Ratkaistaan tukireaktiot statiikan tasapainoyhtälöiden avulla

yläkuvanto (xy-taso)

$$-E_x + A_x + G_x + B_x - F_x = 0$$

$$-A_x \cdot \left( \frac{s}{2} - \frac{y}{2} \right) - G_x \cdot \left( \frac{s}{2} \right) - B_x \cdot \left( \frac{s}{2} + \frac{y}{2} \right) + F_x \cdot s + A_y \cdot t + B_y \cdot t + G_y \cdot \frac{t}{2} = 0$$

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \\ F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} := \text{Find}(E_x, E_y, E_z, F_x, F_y, F_z)$$

Pisteissä E ja F vaikuttavat tukireaktiot

$$E_x = 111.3 \text{ N}$$

$$F_x = 15.8 \text{ N}$$

$$E_y = 163.2 \text{ N}$$

$$F_y = 163.2 \text{ N}$$

$$E_z = 140.6 \text{ N}$$

$$F_z = 140.6 \text{ N}$$



Ratkaistaan normaalivoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

$$y_1 := 0.061 \cdot m \quad y_2 := 0.275 \cdot m \quad y_3 := 0.489 \cdot m \quad y_4 := 0.550 \cdot m \quad \text{voimien vaikutuspisteet}$$

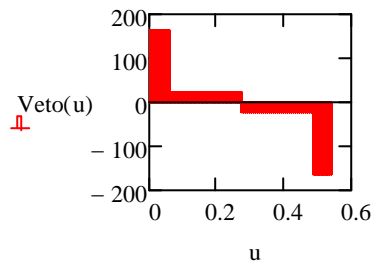
$$\text{Veto}_1 := E_y$$

$$\text{Veto}_2 := E_y - A_y$$

$$\text{Veto}_3 := E_y - A_y - G_y$$

$$\text{Veto}_4 := E_y - A_y - G_y - B_y$$

$$\text{Veto}(u) := \begin{cases} \text{Veto}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Veto}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Veto}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Veto}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan leikkausvoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

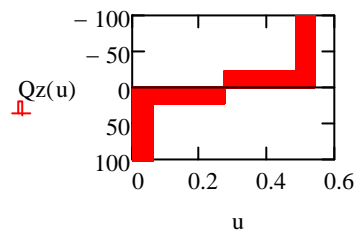
$$\text{Leikkausz}_1 := E_z = 140.6 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_2 := E_z - A_z = 21.5 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_3 := E_z - A_z - G_z = -21.5 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_4 := E_z - A_z - G_z - B_z = -140.6 \text{ N}$$

$$\text{Qz}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausz}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausz}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausz}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausz}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



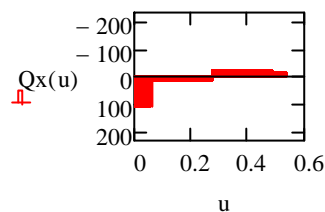
$$\text{Leikkausx}_1 := E_x = 111.3 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_2 := E_x - A_x = 12 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_3 := E_x - A_x - G_x = -25.1 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_4 := E_x - A_x - G_x - B_x = -15.8 \text{ N}$$

$$\text{Qx}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausx}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausx}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausx}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausx}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan voimista aiheutuva momentti kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

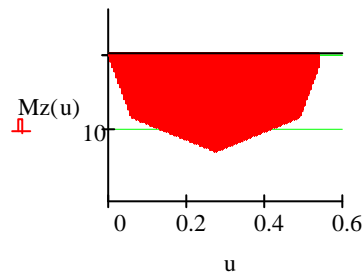
$$\text{Momenttiz}_1(u) := E_Z \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momenttiz}_2(u) := E_Z \cdot u \cdot m - A_Z \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momenttiz}_3(u) := E_Z \cdot u \cdot m - A_Z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_Z \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momenttiz}_4(u) := E_Z \cdot u \cdot m - A_Z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_Z \cdot (u \cdot m - y_2) - B_Z \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$Mz(u) := \begin{cases} \text{Momenttiz}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momenttiz}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momenttiz}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momenttiz}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



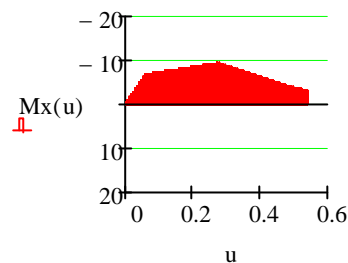
$$\text{Momenttix}_1(u) := -E_X \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momenttix}_2(u) := -E_X \cdot u \cdot m + A_X \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momenttix}_3(u) := -E_X \cdot u \cdot m + A_X \cdot (u \cdot m - y_1) + G_X \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momenttix}_4(u) := -E_X \cdot u \cdot m + A_X \cdot (u \cdot m - y_1) + G_X \cdot (u \cdot m - y_2) + B_X \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$Mx(u) := \begin{cases} \text{Momenttix}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momenttix}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momenttix}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momenttix}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



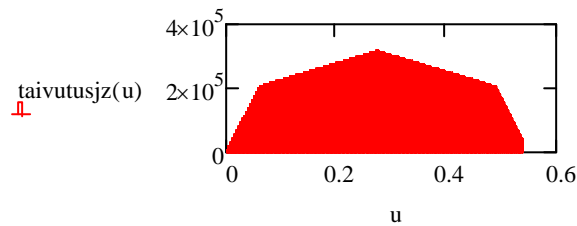
Lasketaan poikkileikkausprofiilin jäyhysmomentit. Myös reikien kohdalla erikseen. Sitten ratkaistaan suurimmat taivutusjännitykset jokaisessa poikkileikkauksessa.

$b := t$  korkeus reikien korkeudet suurin etäisyys taivutusakselista  
 $b = 0.01 \text{ m}$   $h := 0.050 \cdot \text{m}$   $h_a := 0.011 \cdot \text{m}$   $h_b := 0.009 \cdot \text{m}$   $x := 0.0025 \cdot \text{m}$   $z := 0.025 \cdot \text{m}$

$$I_Z := \frac{b \cdot h^3}{12} = 1 \times 10^{-7} \text{ m}^4 \quad \text{taivutusjz1}(u) := \frac{Mz(u)}{I_Z} \cdot x \quad I_{zb} := \frac{b \cdot h_b^3}{12} = 6.1 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$I_{za} := \frac{b \cdot h_a^3}{12} = 1.1 \times 10^{-9} \text{ m}^4 \quad \text{taivutusjza}(u) := \frac{Mz(u)}{(I_Z - I_{za})} \cdot x \quad \text{taivutusjzb}(u) := \frac{Mz(u)}{I_Z - I_{zb}} \cdot x$$

$$\text{taivutusjz}(u) := \begin{cases} \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } -0.025 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq -0.001 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjza}(u) & \text{if } -0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.001 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.060 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjzb}(u) & \text{if } 0.060 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.062 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.062 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.488 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjzb}(u) & \text{if } 0.488 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.490 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.490 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.549 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjza}(u) & \text{if } 0.549 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.551 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjz1}(u) & \text{if } 0.551 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.575 \cdot \text{m} \end{cases}$$

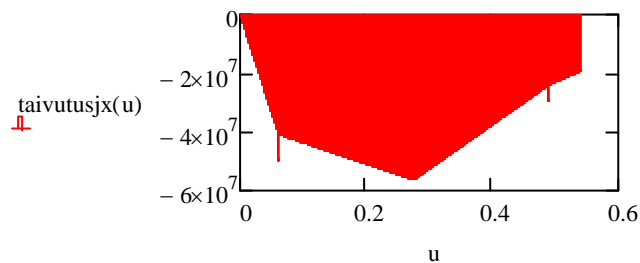


$$I_x := \frac{h \cdot b^3}{12} = 4.2 \times 10^{-9} \text{ m}^4 \quad \text{taivutusjx1}(u) := \frac{Mx(u)}{I_x} \cdot z$$

$$I_{xa} := \frac{h_a \cdot b^3}{12} = 9.2 \times 10^{-10} \text{ m}^4 \quad I_{xb} := \frac{h_b \cdot b^3}{12} = 7.5 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$\text{taivutusjxa}(u) := \frac{Mx(u)}{(I_x - I_{xa})} \cdot z \quad \text{taivutusjxb}(u) := \frac{Mx(u)}{I_x - I_{xb}} \cdot z$$

$$\text{taivutusjx}(u) := \begin{cases} \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } -0.025 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq -0.001 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjxa}(u) & \text{if } -0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.001 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.060 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjxb}(u) & \text{if } 0.060 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.062 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.062 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.488 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjxb}(u) & \text{if } 0.488 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.490 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.490 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.549 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjxa}(u) & \text{if } 0.549 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.551 \cdot \text{m} \\ \text{taivutusjx1}(u) & \text{if } 0.551 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.575 \cdot \text{m} \end{cases}$$



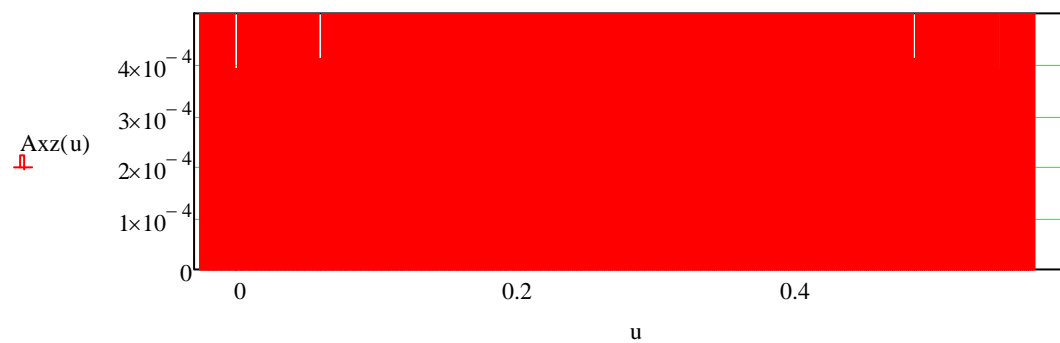
$a := h \quad a = 0.05 \text{ m} \quad t = 0.01 \text{ m}$  Lasketaan pinta-ala jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$A_1 := a \cdot t = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_2 := (a - t - t \cdot 0.011 \text{ m}) = 3.9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

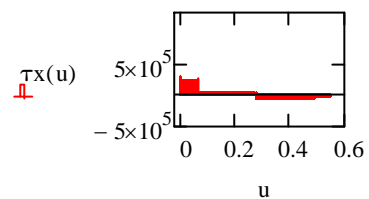
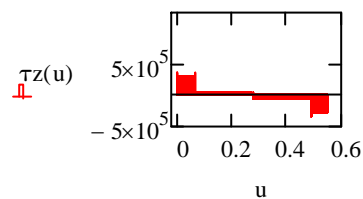
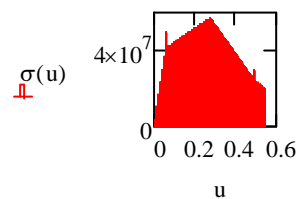
$$A_3 := a \cdot t - t \cdot 0.009 \text{ m} = 4.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \text{vähennetään reikien pinta-alat}$$

$$A_{xz}(u) := \begin{cases} A_1 & \text{if } -0.025 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq -0.001 \cdot \text{m} \\ A_2 & \text{if } -0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.001 \cdot \text{m} \\ A_1 & \text{if } 0.001 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.060 \cdot \text{m} \\ A_3 & \text{if } 0.060 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.062 \cdot \text{m} \\ A_1 & \text{if } 0.062 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.488 \cdot \text{m} \\ A_3 & \text{if } 0.488 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.490 \cdot \text{m} \\ A_1 & \text{if } 0.490 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.549 \cdot \text{m} \\ A_2 & \text{if } 0.549 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.551 \cdot \text{m} \\ A_1 & \text{if } 0.551 \cdot \text{m} \leq u \cdot \text{m} \leq 0.575 \cdot \text{m} \end{cases}$$



Normaalijännitys vedosta ja taivutuksista sekä leikkausjännitys jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$\sigma(u) := \left| \frac{V_{\text{eto}}(u)}{A_{xz}(u)} \right| + |\text{taivutusj}_x(u)| + |\text{taivutusj}_z(u)| \quad \tau_x(u) := \frac{Q_x(u)}{A_{xz}(u)} \quad \tau_z(u) := \frac{Q_z(u)}{A_{xz}(u)}$$



Vääntö

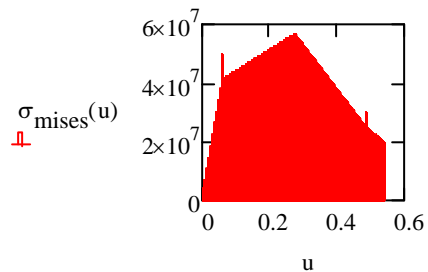
$$T := -E_z \cdot \frac{t}{2} - A_z \cdot \frac{t}{2} - B_z \cdot \frac{t}{2} - F_z \cdot \frac{t}{2}$$

$$W_v := C_2 \cdot h \cdot t^2 \quad C_2 := 0.282 \quad \text{Tekniikan taulukkokirja s. 362}$$

$$\tau_v := \frac{T}{W_v} = -1.8 \times 10^6 \text{ vääntöjännitys}$$

Vertailujännitys

$$\sigma_{\text{mises}}(u) := \sqrt{(\sigma(u))^2 + 3 \cdot [(\tau_x(u))^2 + (\tau_z(u))^2 + (\tau_v)^2]}$$



Etsitään suurimmat jännitykset, joita voidaan verrata vetomyötölujuuteen 220 MPa ja leikkausmyötölujuuteen 127 MPa

$$u := 0.3$$

given

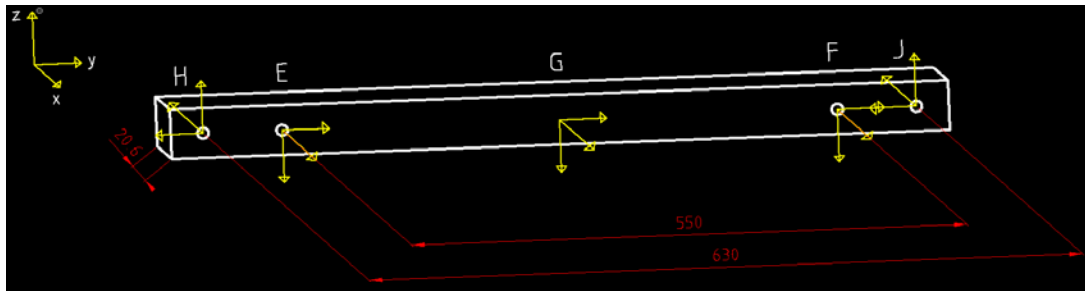
$$u_{\text{max}} := \text{Maximize}(\sigma_{\text{mises}}, u)$$

$$u_{\text{max}} = 0.3$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u_{\text{max}}) = 56.6 \cdot \text{MPa}$$

Yläpalkki +17.40 90°

Lattia-asennus yhdelle kotelolle



$$y := 0.550 \cdot \text{m} \quad \text{väli E - F} \quad x := 0.0206 \cdot \text{m} \quad \text{asennuskiskon syvyys}$$

$$r := 0.700 \cdot \text{m} \quad \text{väli H - J} \quad \text{mass} := 1.5 \cdot 1.44 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 0.9 \cdot \text{m} = 1.9 \text{ kg} \quad \text{kiskon massa}$$

Massa kerrotaan maanjäristyksestä aiheutuilla kiihtyvyyksillä ja varmuuskertoimella 1,5.

$$G_x := \text{mass} \cdot g \cdot 1.34 = 25.5 \text{ N} \quad G_y := \text{mass} \cdot g \cdot 1.8 = 34.3 \text{ N} \quad G_z := \text{mass} \cdot g \cdot 1.55 = 29.5 \text{ N}$$

Annetaan kotelon kiinnityksissä vaikuttavat voimat.

$$E_x := 227.3 \cdot \text{N} \quad E_y := 163.289 \cdot \text{N} \quad E_z := 140.609 \cdot \text{N}$$

$$F_x := 131.8 \cdot \text{N} \quad F_y := E_y \quad F_z := E_z$$

$$H_x := 1 \cdot \text{N} \quad H_y := 1 \cdot \text{N} \quad H_z := 1 \cdot \text{N}$$

$$J_x := 1 \cdot \text{N} \quad J_y := 1 \cdot \text{N} \quad J_z := 1 \cdot \text{N}$$

$$M_{Hy} := 1 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad M_{Jy} := 1 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad \text{Given}$$

Annetaan ohjelmalle arvaus tukireaktioista

etukuvanto (yz-taso)

$$H_y = J_y \quad -H_y + E_y + G_y + F_y - J_y = 0$$

$$-E_z \cdot \left( \frac{r-y}{2} \right) - G_z \cdot \frac{r}{2} - F_z \cdot \left( \frac{r+y}{2} \right) + J_z \cdot r = 0 \quad H_z - E_z - G_z - F_z + J_z = 0$$

Ratkaistaan tukireaktiot statiikan tasapainoyhtälöiden avulla

yläkuvanto (xy-taso)

$$-H_x + E_x + G_x + F_x - J_x = 0 \quad -E_x \cdot \left( \frac{r-y}{2} \right) + E_y \cdot x - G_x \cdot \frac{r}{2} + G_y \cdot \frac{x}{2} + F_y \cdot x - F_x \cdot \left( \frac{r+y}{2} \right) + J_x \cdot r = 0$$

Sivukuvanto (xz-taso)

$$2 \cdot M_{Hy} - G_z \cdot \frac{x}{2} - E_z \cdot x - F_z \cdot x = 0 \quad M_{Hy} = M_{Jy}$$

$$\begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \\ J_x \\ J_y \\ J_z \\ M_{Hy} \\ M_{Jy} \end{pmatrix} := \text{Find}(H_x, H_y, H_z, J_x, J_y, J_z, M_{Hy}, M_{Jy})$$

Pisteissä H ja J vaikuttavat tukireaktiot

$H_x = 240 \text{ N}$	$J_x = 144.7 \text{ N}$
$H_y = 180.4 \text{ N}$	$J_y = 180.4 \text{ N}$
$H_z = 155.4 \text{ N}$	$J_z = 155.4 \text{ N}$
$M_{Hy} = 3 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$	$M_{Jy} = 3 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$

Ratkaistaan normaalivoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

$$y_1 := 0.075 \cdot m \quad y_2 := 0.35 \cdot m \quad y_3 := 0.625 \cdot m \quad y_4 := 0.700 \cdot m$$

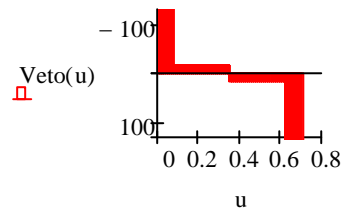
$$\text{Veto}_1 := -H_y$$

$$\text{Veto}_2 := -H_y + E_y$$

$$\text{Veto}_3 := -H_y + E_y + G_y$$

$$\text{Veto}_4 := -H_y + E_y + G_y + F_y$$

$$\text{Veto}(u) := \begin{cases} \text{Veto}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Veto}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Veto}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Veto}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan leikkausvoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

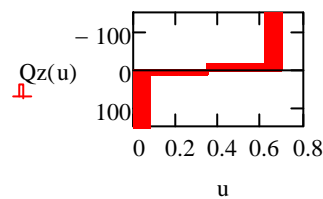
$$\text{Leikkausz}_1 := H_z = 155.4 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_2 := H_z - E_z = 14.8 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_3 := H_z - E_z - G_z = -14.8 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_4 := H_z - E_z - G_z - F_z = -155.4 \text{ N}$$

$$\text{Qz}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausz}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausz}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausz}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausz}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



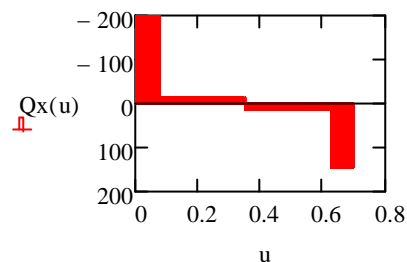
$$\text{Leikkausx}_1 := -H_x = -240 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_2 := -H_x + E_x = -12.7 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_3 := -H_x + E_x + G_x = 12.9 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_4 := -H_x + E_x + G_x + F_x = 144.7 \text{ N}$$

$$\text{Qx}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausx}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausx}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausx}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausx}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan voimista aiheutuva momentti kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

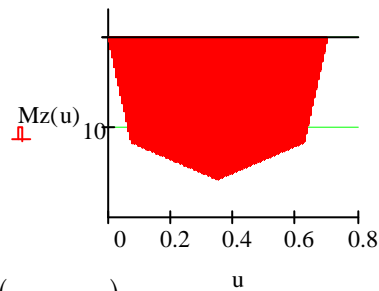
$$\text{Momentiz}_1(u) := H_Z \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momentiz}_2(u) := H_Z \cdot u \cdot m - E_Z \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momentiz}_3(u) := H_Z \cdot u \cdot m - E_Z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_Z \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momentiz}_4(u) := H_Z \cdot u \cdot m - E_Z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_Z \cdot (u \cdot m - y_2) - F_Z \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$Mz(u) := \begin{cases} \text{Momentiz}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momentiz}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momentiz}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momentiz}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



$$\text{Momentix}_1(u) := H_X \cdot u \cdot m$$

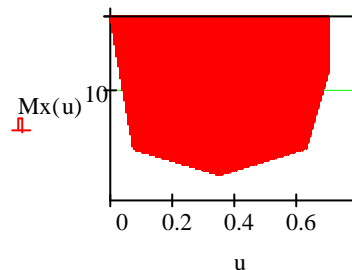
$$\text{Momentix}_2(u) := H_X \cdot u \cdot m - E_X \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momentix}_3(u) := H_X \cdot u \cdot m - E_X \cdot (u \cdot m - y_1) - G_X \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momentix}_4(u) := H_X \cdot u \cdot m - E_X \cdot (u \cdot m - y_1) - G_X \cdot (u \cdot m - y_2) - F_X \cdot (u \cdot m - y_3)$$

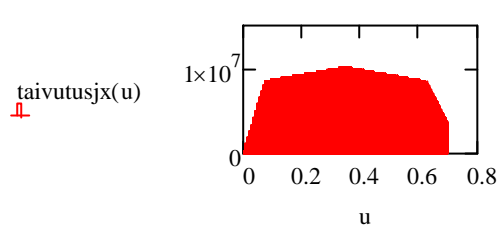
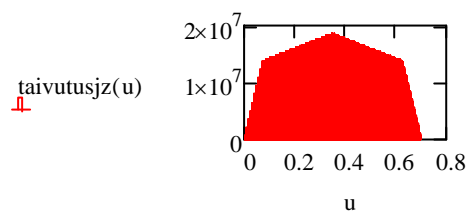
$$\text{Momentix}_5(u) := H_X \cdot u \cdot m - E_X \cdot (u \cdot m - y_1) - G_X \cdot (u \cdot m - y_2) - F_X \cdot (u \cdot m - y_3) - J_X \cdot (u \cdot m - y_4)$$

$$Mx(u) := \begin{cases} \text{Momentix}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momentix}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momentix}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momentix}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \\ \text{Momentix}_5(u) & \text{if } y_4 \leq u \cdot m \leq 0.645 \cdot m \end{cases}$$



Otetaan Hiltin taulukoista taivutusvastukset. Sitten ratkaistaan suurimmat taivutusjännitykset jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$W_Z := 0.85 \cdot \text{cm}^3 \quad \text{taivutusjz}(u) := \frac{Mz(u)}{W_Z} \quad W_X := 2.13 \cdot \text{cm}^3 \quad \text{taivutusjx}(u) := \frac{Mx(u)}{W_X}$$

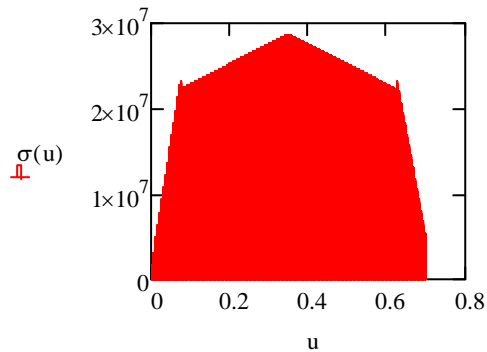




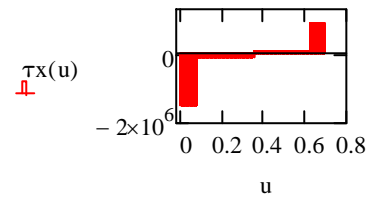
$$\text{Poikkipintaala} := 165.3 \cdot \text{mm}^2 = 1.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Normaalijännitys vedosta ja taivutuksista sekä leikkausjännitys jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$\sigma(u) := \left| \frac{\text{Veto}(u)}{\text{Poikkipintaala}} \right| + |\text{taivutusjx}(u)| + |\text{taivutusjz}(u)| \quad \tau_x(u) := \frac{Q_x(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$

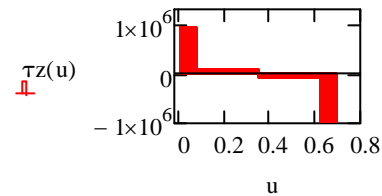


$$\tau_z(u) := \frac{Q_z(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$



Vääntö  
 $h := 40 \cdot \text{mm} \quad b := 20 \cdot \text{mm} \quad b_1 := 7.5 \cdot \text{mm}$

$$e := \frac{b \cdot [3 \cdot h^2 \cdot b + 6 \cdot h^2 \cdot b_1 - 8 \cdot (b_1)^3]}{h^3 + 6 \cdot h^2 \cdot b + 6 \cdot h^2 \cdot b_1 + 8 \cdot b_1^3 - 12 \cdot h \cdot b_1^2} = 0 \text{ m}$$



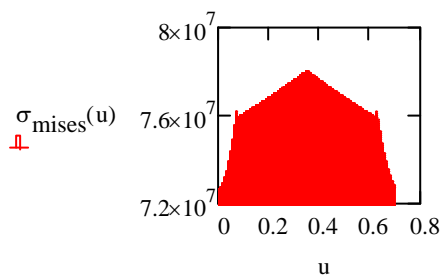
$$T := -H_z \cdot e + F_z \cdot (e + 20 \cdot \text{mm}) + E_z \cdot (e + 20 \cdot \text{mm}) - J_z \cdot e = 5.3 \text{ J}$$

$$t_{\text{max}} := 2 \cdot \text{mm} \quad I_v := \frac{t_{\text{max}}^3}{3} \cdot (h + 2 \cdot b + 2 \cdot b_1) \quad W_v := \frac{I_v}{t_{\text{max}}}$$

Vääntövastus

$$\tau_v := \frac{T}{W_v} = 4.2 \times 10^7 \text{ Pa} \quad \text{Vääntöjännitys}$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u) := \sqrt{(\sigma(u))^2 + 3 \cdot [(\tau_x(u))^2 + (\tau_z(u))^2 + (\tau_v)^2]}$$



Etsitään suurimmat jännitykset, joita voidaan verrata vetomyötölujuuteen 175 MPa

$$u := 0.3$$

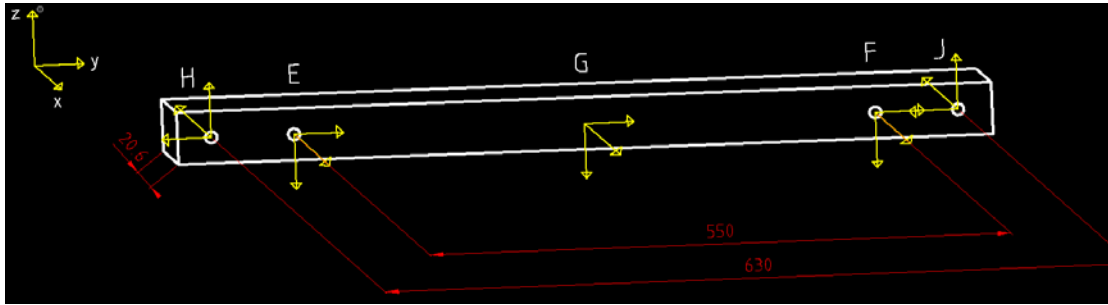
given

$$u_{\max} := \text{Maximize}(\sigma_{\text{mises}}, u)$$

$$u_{\max} = 0.4$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u_{\max}) = 78 \cdot \text{MPa}$$

Alapalkki +17.40 90° Lattia-asennus yhdelle kotololle



$y := 0.550 \cdot \text{m}$  väli E - F       $x := 0.0206 \cdot \text{m}$       asennuskiskon syvyys  
 $r := 0.700 \cdot \text{m}$  väli H - J       $\text{mass} := 1.5 \cdot 1.44 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 0.9 \cdot \text{m} = 1.9 \text{ kg}$       kiskon massa

Massa kerrotaan maanjäristyksestä aiheutuilla kiihtyvyyksillä ja varmuuskertoimella 1,5.

$G_x := \text{mass} \cdot g \cdot 1.34 = 25.5 \text{ N}$        $G_y := \text{mass} \cdot g \cdot 1.8 = 34.3 \text{ N}$        $G_z := \text{mass} \cdot g \cdot 1.55 = 29.5 \text{ N}$

Annetaan kotelon kiinnityksissä vaikuttavat voimat.

$E_x := 111.3 \cdot \text{N}$        $E_y := 163.289 \cdot \text{N}$        $E_z := 140.609 \cdot \text{N}$

$F_x := 15.8 \cdot \text{N}$        $F_y := E_y$        $F_z := E_z$

Annetaan ohjelmalle arvaus tukireaktioista

$H_x := 1 \cdot \text{N}$     $H_y := 1 \cdot \text{N}$     $H_z := 1 \cdot \text{N}$     $J_x := 1 \cdot \text{N}$     $J_y := 1 \cdot \text{N}$     $J_z := 1 \cdot \text{N}$     $M_{Hy} := 1 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$     $M_{Jy} := 1 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$   
 etukuvanto (yz-taso)      Ratkaistaan tukireaktiot statiikan tasapainoyhtälöiden avulla      Given

$H_y = J_y$        $-H_y + E_y + G_y + F_y - J_y = 0$

$-E_z \cdot \left(\frac{r-y}{2}\right) - G_z \cdot \frac{r}{2} - F_z \cdot \left(\frac{r+y}{2}\right) + J_z \cdot r = 0$        $H_z - E_z - G_z - F_z + J_z = 0$

yläkuvaranto (xy-taso)

$-H_x + E_x + G_x + F_x - J_x = 0$        $-E_x \cdot \left(\frac{r-y}{2}\right) + E_y \cdot x - G_x \cdot \frac{r}{2} + G_y \cdot \frac{x}{2} + F_y \cdot x - F_x \cdot \left(\frac{r+y}{2}\right) + J_x \cdot r = 0$

Sivukuvaranto (xz-taso)

$2 \cdot M_{Hy} - G_z \cdot \frac{x}{2} - E_z \cdot x - F_z \cdot x = 0$        $M_{Hy} = M_{Jy}$

$\begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \\ J_x \\ J_y \\ J_z \\ M_{Hy} \\ M_{Jy} \end{pmatrix} := \text{Find}(H_x, H_y, H_z, J_x, J_y, J_z, M_{Hy}, M_{Jy})$

Pisteissä H ja J vaikuttavat tukireaktiot

$H_x = 124 \text{ N}$        $J_x = 28.7 \text{ N}$   
 $H_y = 180.4 \text{ N}$        $J_y = 180.4 \text{ N}$   
 $H_z = 155.4 \text{ N}$        $J_z = 155.4 \text{ N}$   
 $M_{Hy} = 3 \text{ J}$        $M_{Jy} = 3 \text{ J}$

Ratkaistaan normaalivoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa  
 $y_1 := 0.075 \cdot m$   $y_2 := 0.35 \cdot m$   $y_3 := 0.625 \cdot m$   $y_4 := 0.700 \cdot m$

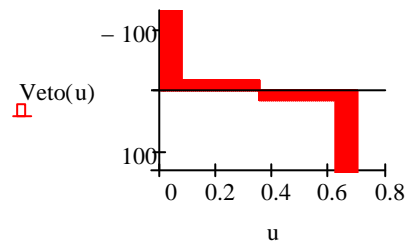
$$\text{Veto}_1 := -H_y$$

$$\text{Veto}_2 := -H_y + E_y$$

$$\text{Veto}_3 := -H_y + E_y + G_y$$

$$\text{Veto}_4 := -H_y + E_y + G_y + F_y$$

$$\text{Veto}(u) := \begin{cases} \text{Veto}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Veto}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Veto}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Veto}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan leikkausvoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

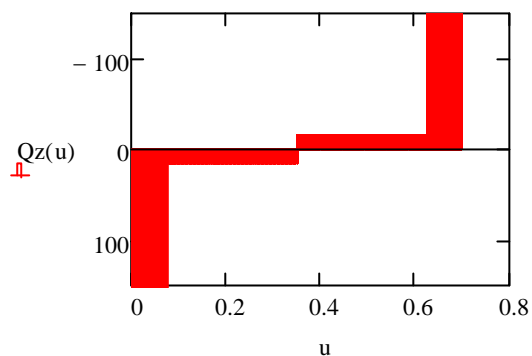
$$\text{Leikkausz}_1 := H_z = 155.4 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_2 := H_z - E_z = 14.8 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_3 := H_z - E_z - G_z = -14.8 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_4 := H_z - E_z - G_z - F_z = -155.4 \text{ N}$$

$$\text{Qz}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausz}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausz}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausz}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausz}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



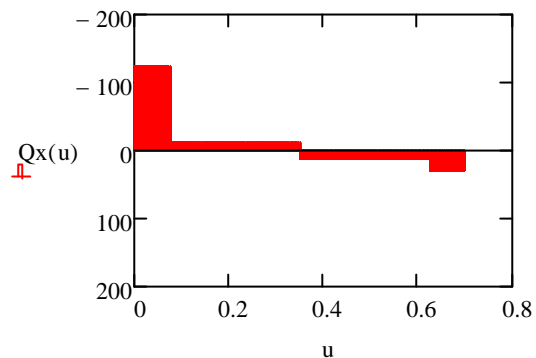
$$\text{Leikkausx}_1 := -H_x = -124 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_2 := -H_x + E_x = -12.7 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_3 := -H_x + E_x + G_x = 12.9 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_4 := -H_x + E_x + G_x + F_x = 28.7 \text{ N}$$

$$\text{Qx}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausx}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkausx}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkausx}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkausx}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan voimista aiheutuva momentti kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

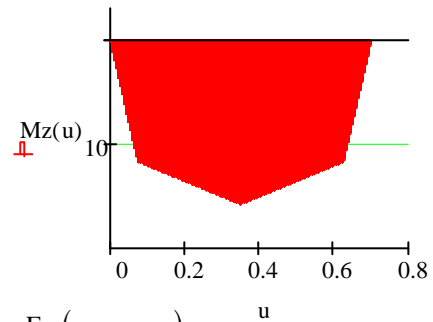
$$\text{Momentiz}_1(u) := H_Z \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momentiz}_2(u) := H_Z \cdot u \cdot m - E_Z \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momentiz}_3(u) := H_Z \cdot u \cdot m - E_Z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_Z \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momentiz}_4(u) := H_Z \cdot u \cdot m - E_Z \cdot (u \cdot m - y_1) - G_Z \cdot (u \cdot m - y_2) - F_Z \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$\text{Mz}(u) := \begin{cases} \text{Momentiz}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momentiz}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momentiz}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momentiz}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



$$\text{Momentix}_1(u) := H_X \cdot u \cdot m$$

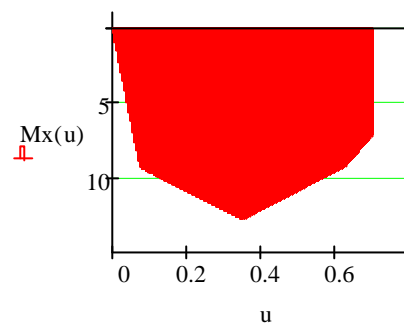
$$\text{Momentix}_2(u) := H_X \cdot u \cdot m - E_X \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momentix}_3(u) := H_X \cdot u \cdot m - E_X \cdot (u \cdot m - y_1) - G_X \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momentix}_4(u) := H_X \cdot u \cdot m - E_X \cdot (u \cdot m - y_1) - G_X \cdot (u \cdot m - y_2) - F_X \cdot (u \cdot m - y_3)$$

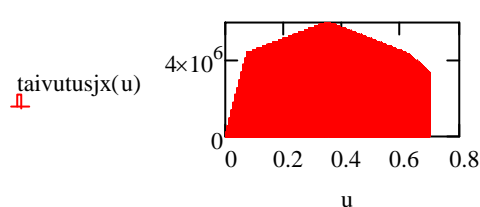
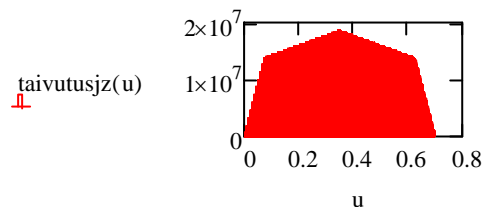
$$\text{Momentix}_5(u) := H_X \cdot u \cdot m - E_X \cdot (u \cdot m - y_1) - G_X \cdot (u \cdot m - y_2) - F_X \cdot (u \cdot m - y_3) - J_X \cdot (u \cdot m - y_4)$$

$$\text{Mx}(u) := \begin{cases} \text{Momentix}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momentix}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momentix}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momentix}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \\ \text{Momentix}_5(u) & \text{if } y_4 \leq u \cdot m \leq 0.645 \cdot m \end{cases}$$



Otetaan Hiltin taulukoista taivutusvastukset. Sitten ratkaistaan suurimmat taivutusjännitykset jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$W_Z := 0.85 \cdot \text{cm}^3 \quad \text{taivutusjz}(u) := \frac{\text{Mz}(u)}{W_Z} \quad W_X := 2.13 \cdot \text{cm}^3 \quad \text{taivutusjx}(u) := \frac{\text{Mx}(u)}{W_X}$$

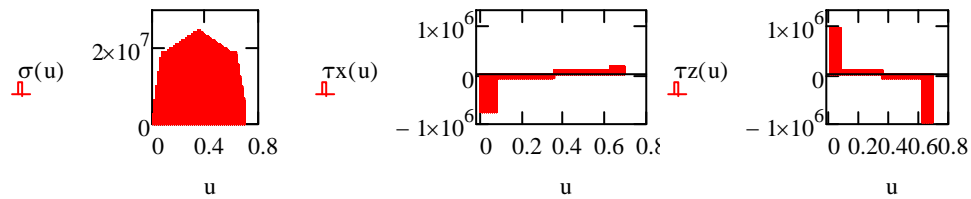


$$\text{Poikkipintaala} := 165.3 \cdot \text{mm}^2 = 1.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Normaalijännitys vedosta ja taivutuksista sekä leikkauksjännitys jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$\sigma(u) := \left| \frac{\text{Veto}(u)}{\text{Poikkipintaala}} \right| + |\text{taivutusjx}(u)| + |\text{taivutusjz}(u)|$$

$$\tau_z(u) := \frac{Q_z(u)}{\text{Poikkipintaala}} \quad \tau_x(u) := \frac{Q_x(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$



Vääntö

$$h := 40 \cdot \text{mm} \quad b := 20 \cdot \text{mm} \quad b_1 := 7.5 \cdot \text{mm}$$

$$e := \frac{b \cdot [3 \cdot h^2 \cdot b + 6 \cdot h^2 \cdot b_1 - 8 \cdot (b_1)^3]}{h^3 + 6 \cdot h^2 \cdot b + 6 \cdot h^2 \cdot b_1 + 8 \cdot b_1^3 - 12 \cdot h \cdot b_1^2} = 0 \text{ m}$$

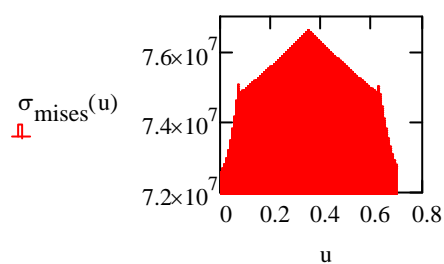
$$T := -H_z \cdot e + F_z \cdot (e + 20 \cdot \text{mm}) + E_z \cdot (e + 20 \cdot \text{mm}) - J_z \cdot e = 5.3 \text{ J}$$

$$t_{\max} := 2 \cdot \text{mm} \quad I_v := \frac{t_{\max}^3}{3} \cdot (h + 2 \cdot b + 2 \cdot b_1) \quad W_v := \frac{I_v}{t_{\max}}$$

Vääntövastus

$$\tau_v := \frac{T}{W_v} = 4.2 \times 10^7 \text{ Pa} \quad \text{Vääntöjännitys}$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u) := \sqrt{(\sigma(u))^2 + 3 \cdot [(\tau_x(u))^2 + (\tau_z(u))^2 + (\tau_v)^2]}$$



Etsitään suurimmat jännitykset, joita voidaan verrata vetomyötölujuuteen 175 MPa

$$u := 0.3$$

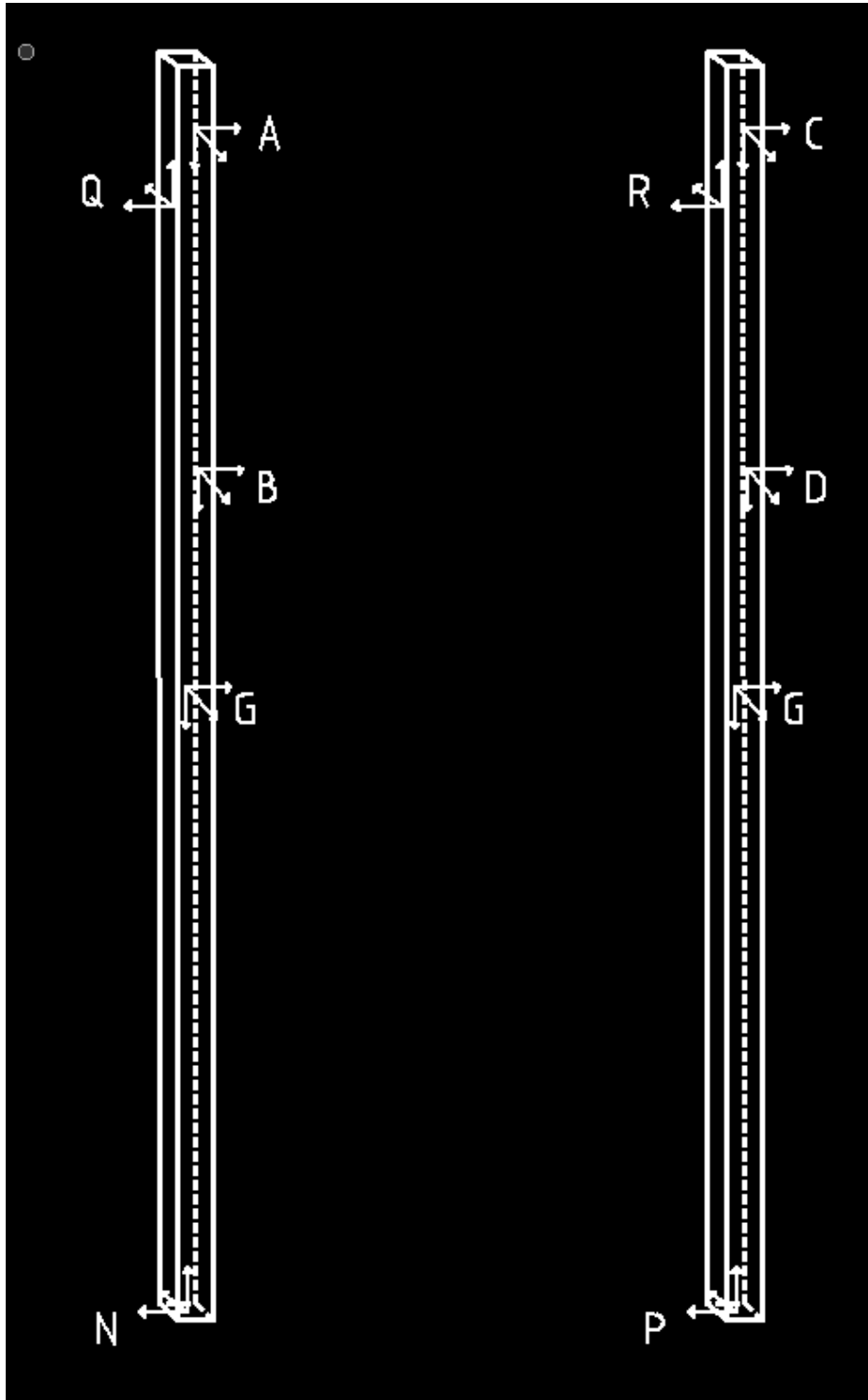
given

$$u_{\max} := \text{Maximize}(\sigma_{\text{mises}}, u)$$

$$u_{\max} = 0.4$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u_{\max}) = 76.6 \cdot \text{MPa}$$

Jalat +17\_40\_90° Lattia-asennus yhdelle kotelolle



voimien vaikutuskorkeudet  
jalassa

$$z_7 := 1.4 \cdot \text{m}$$

$$z_6 := 1.325 \cdot \text{m}$$

$$z_5 := 1.225 \cdot \text{m}$$

$$z_4 := 0.98 \cdot \text{m}$$

$$z_3 := 0.825 \cdot \text{m}$$

$$z_2 := 0.7 \cdot \text{m}$$

$$z_1 := 0.48 \cdot \text{m}$$

$$z_0 := 0 \cdot \text{m}$$

$N_x := 1 \cdot \text{N}$   $Q_x := 1 \cdot \text{N}$  Annetaan ohjelmalle  
 $N_y := 1 \cdot \text{N}$   $Q_y := 1 \cdot \text{N}$  arvaus tukireaktioista  
 $N_z := 1 \cdot \text{N}$  Given

$$Q_x \cdot z_5 - G_x \cdot z_2 - B_x \cdot z_4 - A_x \cdot z_6 = 0$$

$$A_x + B_x + G_x - N_x - Q_x = 0$$

$$N_z - G_z - B_z - A_z = 0$$

$$A_y - Q_y + B_y + G_y - N_y = 0$$

$$-A_y \cdot z_6 + Q_y \cdot z_5 - B_y \cdot z_4 - G_z \cdot z_2 = 0$$

$$\begin{pmatrix} N_x \\ N_y \\ N_z \\ Q_x \\ Q_y \end{pmatrix} := \text{Find}(N_x, N_y, N_z, Q_x, Q_y) = \begin{pmatrix} 58.4 \\ 106.1 \\ 454.4 \\ 429.8 \\ 421.6 \end{pmatrix} \text{ N}$$

Tukireaktiot putken alapäässä (N) ja konsolikannakkeen kiinnityksessä (Q)

$$P_x := 1 \cdot \text{N} \quad R_x := 1 \cdot \text{N}$$

$$P_y := 1 \cdot \text{N} \quad R_y := 1 \cdot \text{N}$$

$$P_z := 1 \cdot \text{N} \quad \text{Given}$$

$$R_x \cdot z_5 - G_x \cdot z_2 - D_x \cdot z_4 - C_x \cdot z_6 = 0$$

$$C_x + D_x + G_x - P_x - R_x = 0$$

$$P_z - G_z - D_z - C_z = 0$$

$$C_y - R_y + D_y + G_y - P_y = 0$$

$$-C_y \cdot z_6 + R_y \cdot z_5 - D_y \cdot z_4 - G_z \cdot z_2 = 0$$

$$\begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ R_x \\ R_y \end{pmatrix} := \text{Find}(P_x, P_y, P_z, R_x, R_y) = \begin{pmatrix} 47.1 \\ 106.1 \\ 454.4 \\ 250.4 \\ 421.6 \end{pmatrix} \text{ N}$$

Tukireaktiot putken alapäässä (P) ja konsolikannakkeen kiinnityksessä (R)

Tähän jalkaan viitataan tästä eteenpäin käyttäen suureiden nimissä numeroa 2

Tunnetut kiskoilta jaloille kohdistuvat voimat

$$A_x := 240 \cdot \text{N} \quad A_y := 180.447 \cdot \text{N} \quad A_z := 155.358 \cdot \text{N}$$

$$B_x := 124 \cdot \text{N} \quad B_y := 180.447 \cdot \text{N} \quad B_z := 155.358 \cdot \text{N}$$

$$C_x := 144.7 \cdot \text{N} \quad C_y := 180.447 \cdot \text{N} \quad C_z := 155.358 \cdot \text{N}$$

$$D_x := 28.7 \cdot \text{N} \quad D_y := 180.447 \cdot \text{N} \quad D_z := 155.358 \cdot \text{N}$$

A: vasen putki yläkisko      C: oikea putki yläkisko

B: vasen putki alakisko      D: oikea putki alakisko

jalan seinämän  
pituus ja paksuus

$$d := 0.05 \cdot \text{m}$$

$$t := 0.003 \cdot \text{m}$$

putken massa

$$\text{mass} := 4.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 1.400 \cdot \text{m} = 6.3 \text{ kg}$$

Massa kerrotaan maanjäristyksestä aiheutuvilla kiihtyvyyksillä ja varmuuskertoimella 1,5.

$$G_x := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.34 \cdot g = 124.2 \text{ N}$$

$$G_y := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.8 \cdot g = 166.8 \text{ N}$$

$$G_z := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.55 \cdot g = 143.6 \text{ N}$$

Ratkaistaan tukireaktiot statiikan tasapainoyhtälöiden avulla

toistetaan sama toiselle jalalle



Ratkaistaan normaalivoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

$$\text{Veto}_1 := -N_z$$

$$\text{Veto2}_1 := -P_z$$

$$\text{Veto}_2 := -N_z + G_z$$

$$\text{Veto2}_2 := -P_z + G_z$$

$$\text{Veto}_3 := -N_z + G_z + B_z$$

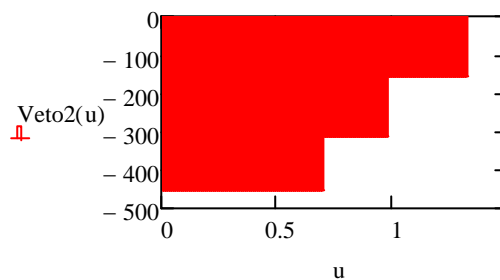
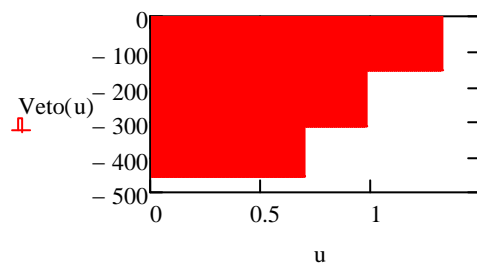
$$\text{Veto2}_3 := -P_z + G_z + D_z$$

$$\text{Veto}_4 := -N_z + G_z + B_z + A_z$$

$$\text{Veto2}_4 := -P_z + G_z + D_z + C_z$$

$$\text{Veto}(u) := \begin{cases} \text{Veto}_1 & \text{if } z_0 \leq u \cdot m \leq z_2 \\ \text{Veto}_2 & \text{if } z_2 \leq u \cdot m \leq z_4 \\ \text{Veto}_3 & \text{if } z_4 \leq u \cdot m \leq z_6 \\ \text{Veto}_4 & \text{if } z_6 \leq u \cdot m \leq z_7 \end{cases}$$

$$\text{Veto2}(u) := \begin{cases} \text{Veto2}_1 & \text{if } z_0 \leq u \cdot m \leq z_2 \\ \text{Veto2}_2 & \text{if } z_2 \leq u \cdot m \leq z_4 \\ \text{Veto2}_3 & \text{if } z_4 \leq u \cdot m \leq z_6 \\ \text{Veto2}_4 & \text{if } z_6 \leq u \cdot m \leq z_7 \end{cases}$$



Ratkaistaan leikkausvoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

$$\text{Leikkausy}_1 := N_y = 106.1 \text{ N}$$

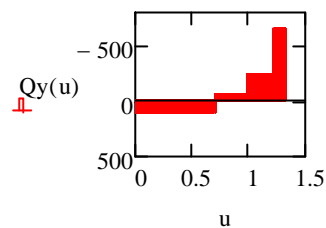
$$\text{Leikkausy}_2 := N_y - G_y = -60.7 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausy}_3 := N_y - G_y - B_y = -241.2 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausy}_4 := N_y - G_y - B_y - Q_y = -662.8 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausy}_5 := N_y - G_y - B_y + Q_y - A_y = 5.7 \times 10^{-14} \text{ N}$$

$$\text{Qy}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausy}_1 & \text{if } z_0 \leq u \cdot m \leq z_2 \\ \text{Leikkausy}_2 & \text{if } z_2 \leq u \cdot m \leq z_4 \\ \text{Leikkausy}_3 & \text{if } z_4 \leq u \cdot m \leq z_5 \\ \text{Leikkausy}_4 & \text{if } z_5 \leq u \cdot m \leq z_6 \\ \text{Leikkausy}_5 & \text{if } z_6 \leq u \cdot m \leq z_7 \end{cases}$$



$$\text{Leikkaus2y}_1 := P_y = 106.1 \text{ N}$$

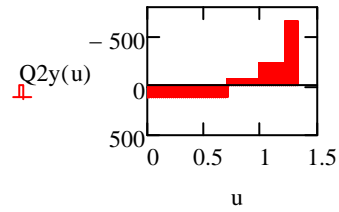
$$\text{Leikkaus2y}_2 := P_y - G_y = -60.7 \text{ N}$$

$$\text{Leikkaus2y}_3 := P_y - G_y - D_y = -241.2 \text{ N}$$

$$\text{Leikkaus2y}_4 := P_y - G_y - D_y - R_y = -662.8 \text{ N}$$

$$\text{Leikkaus2y}_5 := P_y - G_y - D_y + R_y - C_y = 5.7 \times 10^{-14} \text{ N}$$

$$Q2y(u) := \begin{cases} \text{Leikkaus2y}_1 & \text{if } z_0 \leq u \cdot m \leq z_2 \\ \text{Leikkaus2y}_2 & \text{if } z_2 \leq u \cdot m \leq z_4 \\ \text{Leikkaus2y}_3 & \text{if } z_4 \leq u \cdot m \leq z_5 \\ \text{Leikkaus2y}_4 & \text{if } z_5 \leq u \cdot m \leq z_6 \\ \text{Leikkaus2y}_5 & \text{if } z_6 \leq u \cdot m \leq z_7 \end{cases}$$



$$\text{Leikkausx}_1 := -N_x = -58.4 \text{ N}$$

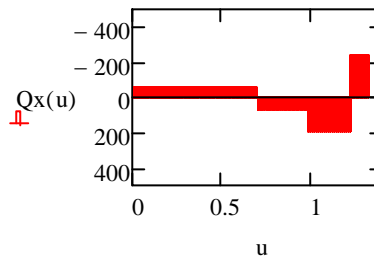
$$\text{Leikkausx}_2 := -N_x + G_x = 65.8 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_3 := -N_x + G_x + B_x = 189.8 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_4 := -N_x + G_x + B_x - Q_x = -240 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausx}_5 := -N_x + G_x + B_x - Q_x + A_x = 0 \text{ N}$$

$$Qx(u) := \begin{cases} \text{Leikkausx}_1 & \text{if } z_0 \leq u \cdot m \leq z_2 \\ \text{Leikkausx}_2 & \text{if } z_2 \leq u \cdot m \leq z_4 \\ \text{Leikkausx}_3 & \text{if } z_4 \leq u \cdot m \leq z_5 \\ \text{Leikkausx}_4 & \text{if } z_5 \leq u \cdot m \leq z_6 \\ \text{Leikkausx}_5 & \text{if } z_6 \leq u \cdot m \leq z_7 \end{cases}$$



$$\text{Leikkaus2x}_1 := -P_x = -47.1 \text{ N}$$

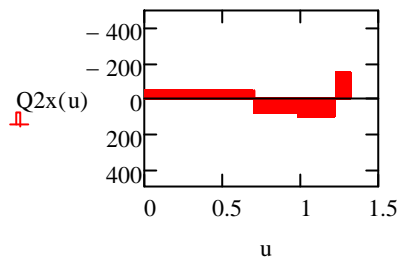
$$\text{Leikkaus2x}_2 := -P_x + G_x = 77 \text{ N}$$

$$\text{Leikkaus2x}_3 := -P_x + G_x + D_x = 105.7 \text{ N}$$

$$\text{Leikkaus2x}_4 := -P_x + G_x + D_x - R_x = -144.7 \text{ N}$$

$$\text{Leikkaus2x}_5 := -P_x + G_x + D_x - R_x + C_x = 0 \text{ N}$$

$$Q2x(u) := \begin{cases} \text{Leikkaus2x}_1 & \text{if } z_0 \leq u \cdot m \leq z_2 \\ \text{Leikkaus2x}_2 & \text{if } z_2 \leq u \cdot m \leq z_4 \\ \text{Leikkaus2x}_3 & \text{if } z_4 \leq u \cdot m \leq z_5 \\ \text{Leikkaus2x}_4 & \text{if } z_5 \leq u \cdot m \leq z_6 \\ \text{Leikkaus2x}_5 & \text{if } z_6 \leq u \cdot m \leq z_7 \end{cases}$$



$$\text{Momenttiy}_1(u) := N_y \cdot u \cdot m$$

$$\text{Momenttiy}_2(u) := N_y \cdot u \cdot m - G_y \cdot (u \cdot m - z_2)$$

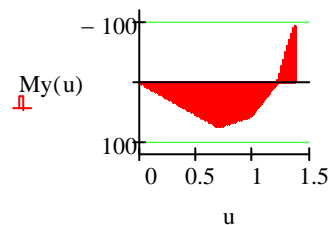
Ratkaistaan voimista aiheutuva momentti kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

$$\text{Momenttiy}_3(u) := N_y \cdot u \cdot m - G_y \cdot (u \cdot m - z_2) - B_y \cdot (u \cdot m - z_4)$$

$$\text{Momenttiy}_4(u) := N_y \cdot u \cdot m - G_y \cdot (u \cdot m - z_2) - B_y \cdot (u \cdot m - z_4) - Q_y \cdot (u \cdot m - z_5)$$

$$\text{Momenttiy}_5(u) := N_y \cdot u \cdot m - G_y \cdot (u \cdot m - z_2) - B_y \cdot (u \cdot m - z_4) - Q_y \cdot (u \cdot m - z_5) + A_y \cdot (u \cdot m - z_6)$$

$$\text{My}(u) := \begin{cases} \text{Momenttiy}_1(u) & \text{if } z_0 \leq u \cdot m \leq z_2 \\ \text{Momenttiy}_2(u) & \text{if } z_2 \leq u \cdot m \leq z_4 \\ \text{Momenttiy}_3(u) & \text{if } z_4 \leq u \cdot m \leq z_5 \\ \text{Momenttiy}_4(u) & \text{if } z_5 \leq u \cdot m \leq z_6 \\ \text{Momenttiy}_5(u) & \text{if } z_6 \leq u \cdot m \leq z_7 \end{cases}$$



$$\text{Momentix}_1(u) := N_x \cdot u \cdot m$$

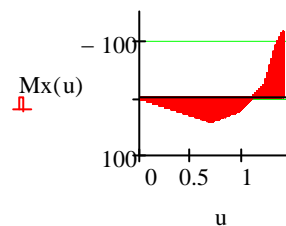
$$\text{Momentix}_2(u) := N_x \cdot u \cdot m - G_x \cdot (u \cdot m - z_2)$$

$$\text{Momentix}_3(u) := N_x \cdot u \cdot m - G_x \cdot (u \cdot m - z_2) - B_x \cdot (u \cdot m - z_4)$$

$$\text{Momentix}_4(u) := N_x \cdot u \cdot m - G_x \cdot (u \cdot m - z_2) - B_x \cdot (u \cdot m - z_4) - Q_x \cdot (u \cdot m - z_5)$$

$$\text{Momentix}_5(u) := N_x \cdot u \cdot m - G_x \cdot (u \cdot m - z_2) - B_x \cdot (u \cdot m - z_4) - Q_x \cdot (u \cdot m - z_5) + A_x \cdot (u \cdot m - z_6)$$

$$\text{Mx}(u) := \begin{cases} \text{Momentix}_1(u) & \text{if } z_0 \leq u \cdot m \leq z_2 \\ \text{Momentix}_2(u) & \text{if } z_2 \leq u \cdot m \leq z_4 \\ \text{Momentix}_3(u) & \text{if } z_4 \leq u \cdot m \leq z_5 \\ \text{Momentix}_4(u) & \text{if } z_5 \leq u \cdot m \leq z_6 \\ \text{Momentix}_5(u) & \text{if } z_6 \leq u \cdot m \leq z_7 \end{cases}$$



$$\text{Momentiy2}_1(u) := P_y \cdot u \cdot m$$

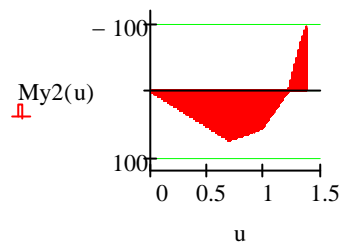
$$\text{Momentiy2}_2(u) := P_y \cdot u \cdot m - G_y \cdot (u \cdot m - z_2)$$

$$\text{Momentiy2}_3(u) := P_y \cdot u \cdot m - G_y \cdot (u \cdot m - z_2) - D_y \cdot (u \cdot m - z_4)$$

$$\text{Momentiy2}_4(u) := P_y \cdot u \cdot m - G_y \cdot (u \cdot m - z_2) - D_y \cdot (u \cdot m - z_4) - R_y \cdot (u \cdot m - z_5)$$

$$\text{Momentiy2}_5(u) := P_y \cdot u \cdot m - G_y \cdot (u \cdot m - z_2) - D_y \cdot (u \cdot m - z_4) - R_y \cdot (u \cdot m - z_5) + C_y \cdot (u \cdot m - z_6)$$

$$\text{My2}(u) := \begin{cases} \text{Momentiy2}_1(u) & \text{if } z_0 \leq u \cdot m \leq z_2 \\ \text{Momentiy2}_2(u) & \text{if } z_2 \leq u \cdot m \leq z_4 \\ \text{Momentiy2}_3(u) & \text{if } z_4 \leq u \cdot m \leq z_5 \\ \text{Momentiy2}_4(u) & \text{if } z_5 \leq u \cdot m \leq z_6 \\ \text{Momentiy2}_5(u) & \text{if } z_6 \leq u \cdot m \leq z_7 \end{cases}$$



$$\text{Momenttix2}_1(u) := P_X \cdot u \cdot m$$

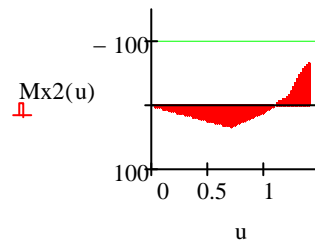
$$\text{Momenttix2}_2(u) := P_X \cdot u \cdot m - G_X \cdot (u \cdot m - z_2)$$

$$\text{Momenttix2}_3(u) := P_X \cdot u \cdot m - G_X \cdot (u \cdot m - z_2) - D_X \cdot (u \cdot m - z_4)$$

$$\text{Momenttix2}_4(u) := P_X \cdot u \cdot m - G_X \cdot (u \cdot m - z_2) - D_X \cdot (u \cdot m - z_4) - R_X \cdot (u \cdot m - z_5)$$

$$\text{Momenttix2}_5(u) := P_X \cdot u \cdot m - G_X \cdot (u \cdot m - z_2) - D_X \cdot (u \cdot m - z_4) - R_X \cdot (u \cdot m - z_5) + C_X \cdot (u \cdot m - z_6)$$

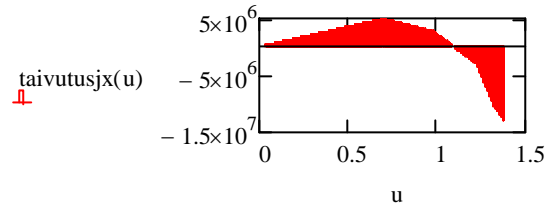
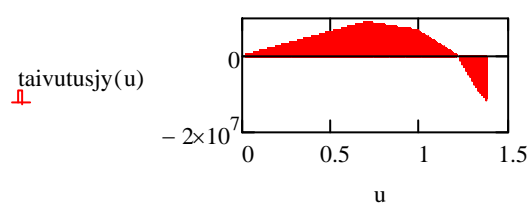
$$\text{Mx2}(u) := \begin{cases} \text{Momenttix2}_1(u) & \text{if } z_0 \leq u \cdot m \leq z_2 \\ \text{Momenttix2}_2(u) & \text{if } z_2 \leq u \cdot m \leq z_4 \\ \text{Momenttix2}_3(u) & \text{if } z_4 \leq u \cdot m \leq z_5 \\ \text{Momenttix2}_4(u) & \text{if } z_5 \leq u \cdot m \leq z_6 \\ \text{Momenttix2}_5(u) & \text{if } z_6 \leq u \cdot m \leq z_7 \end{cases}$$



Lasketaan poikkileikkausprofiilin jäyhyysmomentit. Sitten ratkaistaan suurimmat taivutusjännitykset jokaisessa poikkileikkauksessa.

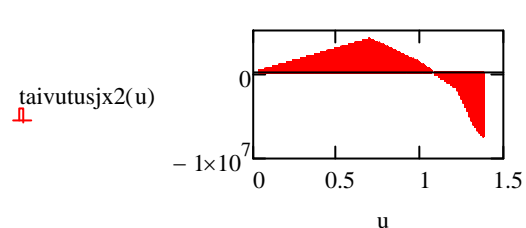
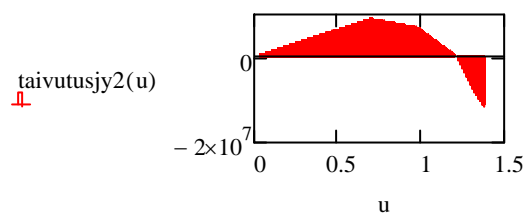
$$H := d = 0.05 \text{ m} \quad h := d - 2t = 0.044 \text{ m}$$

$$W_Y := \frac{H^4 - h^4}{6 \cdot H} = 8.3 \times 10^{-3} \text{ L} \quad \text{taivutusjy}(u) := \frac{My(u)}{W_Y} \quad W_X := W_Y \quad \text{taivutusjx}(u) := \frac{Mx(u)}{W_X}$$



$$\text{taivutusjy2}(u) := \frac{My2(u)}{W_x}$$

$$\text{taivutusjx2}(u) := \frac{Mx2(u)}{W_x}$$



$$\text{Poikkipintaala} := H^2 - h^2 = 5.6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Normaalijännitys vedosta ja taivutuksista sekä leikkausjännitys jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$\sigma(u) := \left| \frac{\text{Veto}(u)}{\text{Poikkipintaala}} \right| + |\text{taivutusjx}(u)| + |\text{taivutusjy}(u)|$$

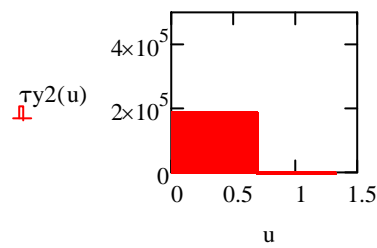
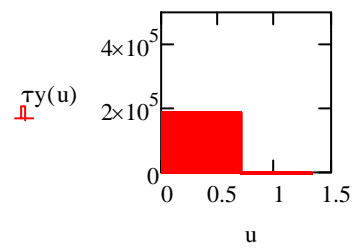
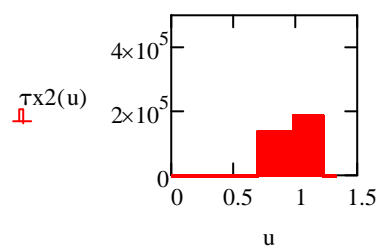
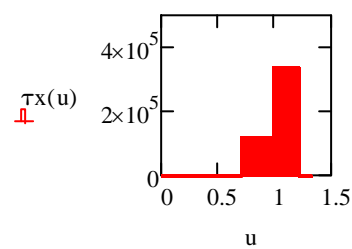
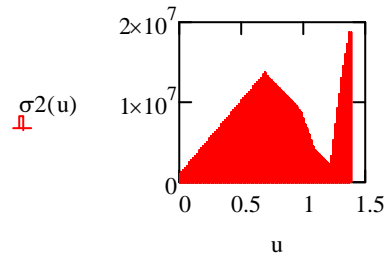
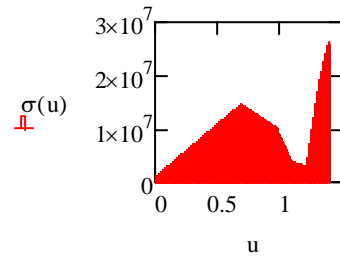
$$\sigma2(u) := \left| \frac{\text{Veto2}(u)}{\text{Poikkipintaala}} \right| + |\text{taivutusjx2}(u)| + |\text{taivutusjy2}(u)|$$

$$\tau_x(u) := \frac{Q_x(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$

$$\tau_y(u) := \frac{Q_y(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$

$$\tau_{x2}(u) := \frac{Q_{2x}(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$

$$\tau_{y2}(u) := \frac{Q_{2y}(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$



$$T_1 := A_y \cdot 25 \cdot \text{mm} + B_y \cdot 25 \cdot \text{mm} - Q_x \cdot 25 \cdot \text{mm} = -1.7 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$T_2 := C_y \cdot 25 \cdot \text{mm} + D_y \cdot 25 \cdot \text{mm} + R_x \cdot 25 \cdot \text{mm} = 15.3 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$b := 47 \cdot \text{mm} \quad h := b \quad t_{\min} := 3 \cdot \text{mm}$$

$$W_v := 2 \cdot b \cdot h \cdot t_{\min} = 1.325 \times 10^4 \cdot \text{mm}^3$$

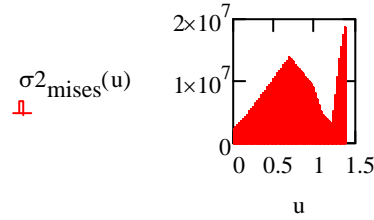
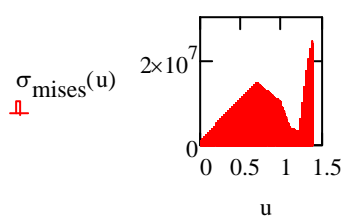
$$\tau_v := \frac{T}{W_v} = -1.3 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\tau_{v2} := \frac{T_2}{W_v} = 1.2 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u) := \sqrt{(\sigma(u))^2 + 3 \cdot [(\tau_x(u))^2 + (\tau_y(u))^2 + (\tau_v)^2]}$$

Misesin jännitys

$$\sigma^2_{\text{mises}}(u) := \sqrt{(\sigma^2(u))^2 + 3 \cdot [(\tau_{x2}(u))^2 + (\tau_{y2}(u))^2 + (\tau_{v2})^2]}$$



Etsitään suurimmat jännitykset, joita voidaan verrata sallittuun jännitykseen 188 MPa

$u := 0.5$  given

$u_{\text{max}} := \text{Maximize}(\sigma_{\text{mises}}, u)$

$u_{\text{max}} = 0.7$

$\sigma_{\text{mises}}(u_{\text{max}}) = 14.6 \cdot \text{MPa}$

$u_{\text{max2}} := \text{Maximize}(\sigma^2_{\text{mises}}, u)$

$u_{\text{max2}} = 0.7$

$\sigma^2_{\text{mises}}(u_{\text{max2}}) = 13.8 \cdot \text{MPa}$

**Jalkalappu +17.40.90°** Lattia-asennus yhdelle kotelolle

Momentti x:n ja y:n ympäri varmasti estetty konsolilla.

Toisessa jalassa vaikuttavat voimat ovat pienempiä tai yhtäsuuria, kuin toisen jalan voimat. Lasketaan suuremmilla kuormilla.

lapun pituus      leveys      paksuus      ankkureiden väli  
 $a := 0.140 \cdot m$        $b := 0.08 \cdot m$        $t := 0.008 \cdot m$        $y_F := 0.1 \cdot m$

$$\text{mass} := 5.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot a = 0.7 \text{ kg}$$

Massa kerrotaan maanjäristyksestä aiheutuvilla kiihtyvyyksillä ja varmuuskertoimella 1,5.

$$G_x := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.34 \cdot g = 13.798 \text{ N} \quad N_x := 58.4 \cdot \text{N}$$

$$G_y := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.8 \cdot g = 18.535 \text{ N} \quad N_y := 106.1 \cdot \text{N} \quad \text{Annetaan jalan alapäässä vaikuttavat voimat}$$

$$G_z := 1.5 \cdot \text{mass} \cdot 1.55 \cdot g = 15.96 \text{ N} \quad N_z := 429.8 \cdot \text{N}$$

$$F_{1x} := 1 \cdot \text{N} \quad F_{1y} := 1 \cdot \text{N} \quad F_{1z} := 1 \cdot \text{N}$$

Annetaan ohjelmalle arvaus tukireaktioista

$$F_{2x} := 1 \cdot \text{N} \quad F_{2y} := 1 \cdot \text{N} \quad F_{2z} := 1 \cdot \text{N}$$

Given

$$N_x - F_{1x} - F_{2x} + G_x = 0 \quad \text{Ratkaistaan tukireaktiot statiikan tasapainoyhtälöiden avulla}$$

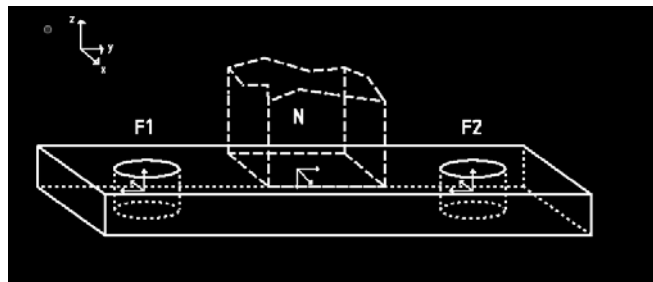
$$F_{1y} - F_{2y} = 0$$

$$N_y - F_{1y} - F_{2y} + G_y = 0$$

$$F_{1z} + F_{2z} - N_z - G_z = 0$$

$$-(N_x + G_x) \cdot \frac{y_F}{2} + F_{2x} \cdot y_F = 0$$

$$-(N_z + G_z) \cdot \frac{y_F}{2} + F_{2z} \cdot y_F - N_y \cdot \frac{t}{2} = 0$$



$\begin{pmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{1z} \\ F_{2x} \\ F_{2y} \\ F_{2z} \end{pmatrix}$

$$:= \text{Find}(F_{1x}, F_{1y}, F_{1z}, F_{2x}, F_{2y}, F_{2z})$$

Ankkureille kohdistuvat kuormat

$$F_{1x} = 36.099 \text{ N} \quad F_{1y} = 62.317 \text{ N} \quad F_{1z} = 218.636 \text{ N}$$

$$F_{2x} = 36.099 \text{ N} \quad F_{2y} = 62.317 \text{ N} \quad F_{2z} = 227.124 \text{ N}$$

$y_0 := 0 \cdot \text{m}$  voimien vaikutuspisteet

$y_1 := 0.025 \cdot \text{m}$   $x_0 := 0 \cdot \text{m}$   $z_0 := 0 \cdot \text{m}$

$y_2 := 0.045 \cdot \text{m}$   $x_1 := \frac{b}{2} = 0.04 \text{ m}$   $z_1 := \frac{t}{2} = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$

$y_3 := 0.070 \cdot \text{m}$

$y_4 := 0.095 \cdot \text{m}$   $x_2 := b = 0.08 \text{ m}$   $z_2 := t = 8 \times 10^{-3} \text{ m}$

$y_5 := 0.115 \cdot \text{m}$

$y_6 := 0.14 \cdot \text{m}$

taivutusvastukset

$$W_x := \frac{b \cdot t^2}{6} = 8.533 \times 10^{-4} \text{ L}$$

$$W_z := \frac{t \cdot b^2}{6} = 8.533 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$Veto_1 := 0$

Ratkaistaan normaalivoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

$Veto_2 := F_{1y}$

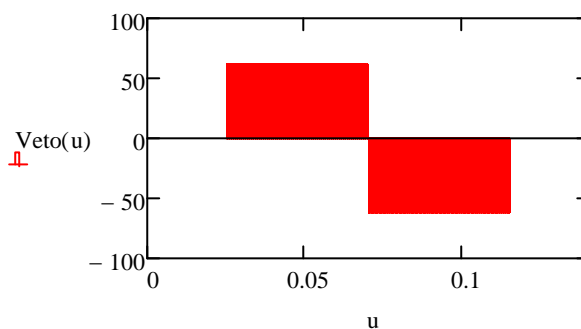
$Veto_3 := F_{1y}$

$Veto_4 := F_{1y} - N_y - G_y$

$Veto_5 := F_{1y} - N_y - G_y$

$Veto_6 := F_{1y} - N_y - G_y + F_{2y}$

$Veto(u) := \begin{cases} Veto_1 & \text{if } y_0 \leq u \cdot \text{m} \leq y_1 \\ Veto_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot \text{m} \leq y_2 \\ Veto_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot \text{m} \leq y_3 \\ Veto_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot \text{m} \leq y_4 \\ Veto_5 & \text{if } y_4 \leq u \cdot \text{m} \leq y_5 \\ Veto_6 & \text{if } y_5 \leq u \cdot \text{m} \leq y_6 \end{cases}$



$Leikkausz_1 := 0$

$Leikkausz_2 := F_{1z}$

Ratkaistaan leikkausvoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

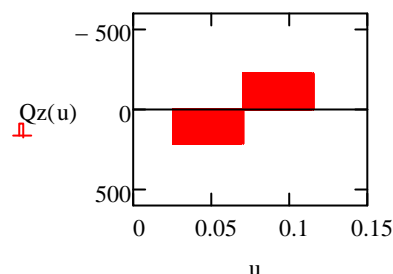
$Leikkausz_3 := F_{1z}$

$Leikkausz_4 := F_{1z} - N_z - G_z$

$Leikkausz_5 := F_{1z} - N_z - G_z$

$Leikkausz_6 := F_{1z} - N_z - G_z + F_{2z}$

$Qz(u) := \begin{cases} Leikkausz_1 & \text{if } y_0 \leq u \cdot \text{m} \leq y_1 \\ Leikkausz_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot \text{m} \leq y_2 \\ Leikkausz_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot \text{m} \leq y_3 \\ Leikkausz_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot \text{m} \leq y_4 \\ Leikkausz_5 & \text{if } y_4 \leq u \cdot \text{m} \leq y_5 \\ Leikkausz_6 & \text{if } y_5 \leq u \cdot \text{m} \leq y_6 \end{cases}$





$$\text{Leikkaus}_1 := 0$$

$$\text{Leikkaus}_2 := F_{1x}$$

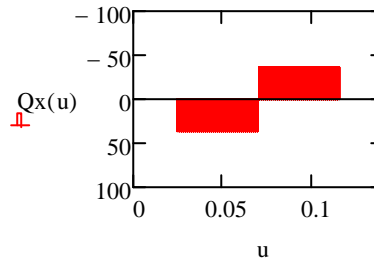
$$\text{Leikkaus}_3 := F_{1x}$$

$$\text{Leikkaus}_4 := F_{1x} - N_x - G_x$$

$$\text{Leikkaus}_5 := F_{1x} - N_x - G_x$$

$$\text{Leikkaus}_6 := F_{1x} - N_x - G_x + F_{2x}$$

$$Q_x(u) := \begin{cases} \text{Leikkaus}_1 & \text{if } y_0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkaus}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkaus}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkaus}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \\ \text{Leikkaus}_5 & \text{if } y_4 \leq u \cdot m \leq y_5 \\ \text{Leikkaus}_6 & \text{if } y_5 \leq u \cdot m \leq y_6 \end{cases}$$



$$\text{Momentiz}_1(u) := 0$$

$$\text{Momentiz}_2(u) := -F_{1x} \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momentiz}_3(u) := -F_{1x} \cdot (u \cdot m - y_1)$$

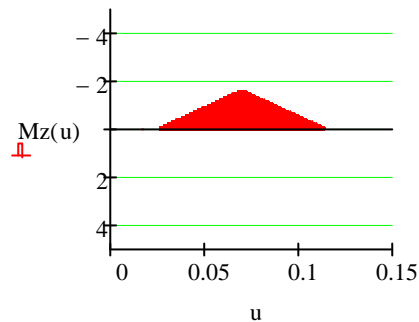
$$\text{Momentiz}_4(u) := -F_{1x} \cdot (u \cdot m - y_1) + (N_x + G_x) \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$\text{Momentiz}_5(u) := -F_{1x} \cdot (u \cdot m - y_1) + (N_x + G_x) \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$\text{Momentiz}_6(u) := -F_{1x} \cdot (u \cdot m - y_1) + (N_x + G_x) \cdot (u \cdot m - y_3) - F_{2x} \cdot (u \cdot m - y_5)$$

$$M_z(u) := \begin{cases} \text{Momentiz}_1(u) & \text{if } y_0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momentiz}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momentiz}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momentiz}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \\ \text{Momentiz}_5(u) & \text{if } y_4 \leq u \cdot m \leq y_5 \\ \text{Momentiz}_6(u) & \text{if } y_5 \leq u \cdot m \leq y_6 \end{cases}$$

Ratkaistaan voimista aiheutuva momentti kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa



$$\text{Momentix}_1(u) := 0$$

$$\text{Momentix}_2(u) := -F_{1z} \cdot (u \cdot m - y_1)$$

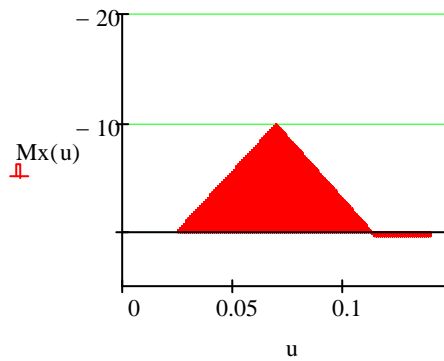
$$\text{Momentix}_3(u) := -F_{1z} \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momentix}_4(u) := -F_{1z} \cdot (u \cdot m - y_1) + N_z \cdot (u \cdot m - y_3) + G_z \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$\text{Momentix}_5(u) := -F_{1z} \cdot (u \cdot m - y_1) + N_z \cdot (u \cdot m - y_3) + G_z \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$\text{Momentix}_6(u) := \text{Momentix}_5(u) - F_{2z} \cdot (u \cdot m - y_5)$$

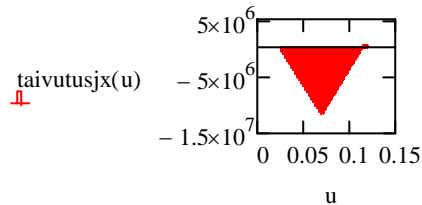
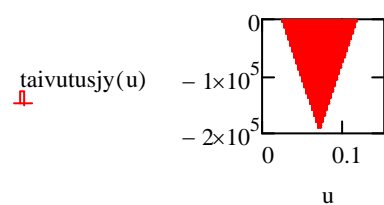
$$M_x(u) := \begin{cases} \text{Momentix}_1(u) & \text{if } y_0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momentix}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momentix}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momentix}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \\ \text{Momentix}_5(u) & \text{if } y_4 \leq u \cdot m \leq y_5 \\ \text{Momentix}_6(u) & \text{if } y_5 \leq u \cdot m \leq y_6 \end{cases}$$



ratkaistaan suurimmat taivutusjännitykset jokaisessa poikkileikkauksessa.

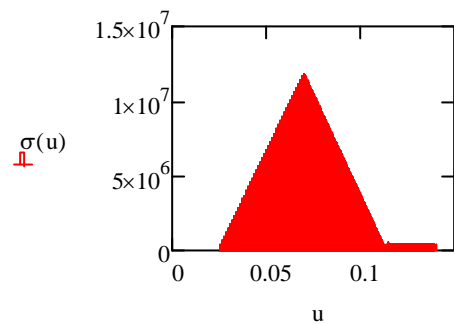
$$\text{taivutusjy}(u) := \frac{M_z(u)}{W_z} \quad \text{taivutusjx}(u) := \frac{M_x(u)}{W_x}$$

$$\text{Poikkipintaala} := b \cdot t = 6.4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$



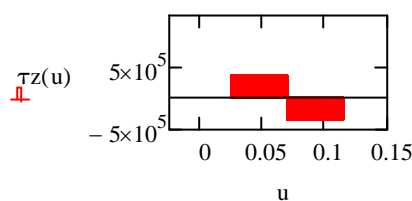
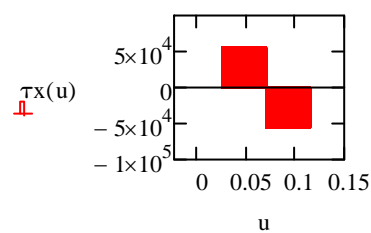
Normaalijännitys vedosta ja taivutuksista sekä leikkausjännitys jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$\sigma(u) := \left| \frac{\text{Veto}(u)}{\text{Poikkipintaala}} \right| + |\text{taivutusjx}(u)| + |\text{taivutusjy}(u)|$$



$$\tau_x(u) := \frac{Q_x(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$

$$\tau_z(u) := \frac{Q_z(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$



Vääntö

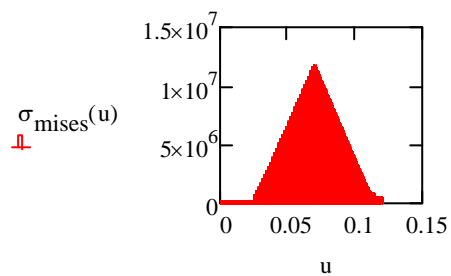
$$T := N_x \cdot \frac{t}{2} \quad h := 80 \cdot \text{mm}$$

$$W_v := C_2 \cdot h \cdot t^2 \quad C_2 := 0.312 \quad \text{Tekniikan taulukkokirja s. 362}$$

$$\tau_v := \frac{T}{W_v} = 1.462 \times 10^5 \text{ vääntöjännitys}$$

Vertailujännitys

$$\sigma_{\text{mises}}(u) := \sqrt{(\sigma(u))^2 + 3 \cdot [(\tau_x(u))^2 + (\tau_z(u))^2 + (\tau_v)^2]}$$



Etsitään suurimmat jännitykset, joita voidaan verrata vetomyötölujuuteen 220 MPa ja leikkausmyötölujuuteen 127 MPa

$$u := 0.3$$

given

$$u_{\text{max}} := \text{Maximize}(\sigma_{\text{mises}}, u)$$

$$u_{\text{max}} = 0.07$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u_{\text{max}}) = 11.836 \cdot \text{MPa}$$

**Ylälapu +17.40 90°** Lattia-asennus yhdelle kotelolle

Suurimmat jännitykset syntyvät telineen vasemmassa yläkulmassa, joten otetaan kyseisessä nurkassa oleva ylälapu tarkasteluun.

$$H_x := -240 \cdot \text{N}$$

$$H_y := 180.447 \cdot \text{N} \quad \text{Kiskolta tuleva kuormitus}$$

$$H_z := 155.384 \cdot \text{N}$$

$$M_{Hy} := 4.348 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$



Näistä jakautuu molemmille pulttikiinnityksille tasan puolet:

$$A_x := \frac{H_x}{2} = -120 \text{ N} \quad B_x := \frac{H_x}{2} = -120 \text{ N}$$

$$A_y := \frac{H_y}{2} = 90.2 \text{ N} \quad B_y := \frac{H_y}{2} = 90.2 \text{ N}$$

$$A_z := \frac{H_z}{2} = 77.7 \text{ N} \quad B_z := \frac{H_z}{2} = 77.7 \text{ N}$$

$$M_{Ay} := \frac{M_{Hy}}{2} = 2.2 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad M_{By} := M_{Ay} = 2.2 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

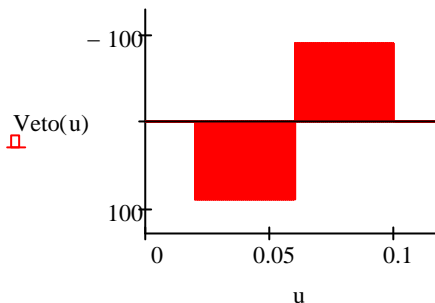
voimien vaikutuspisteet

$$y_1 := 0.020 \cdot \text{m} \quad y_2 := 0.060 \cdot \text{m} \quad y_3 := 0.100 \cdot \text{m} \quad y_4 := 0.120 \cdot \text{m}$$

Ratkaistaan normaalivoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

$$\text{Veto}_1 := 0 \quad \text{Veto}_2 := A_y \quad \text{Veto}_3 := A_y - H_y \quad \text{Veto}_4 := A_y - H_y + B_y$$

$$\text{Veto}(u) := \begin{cases} \text{Veto}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot \text{m} \leq y_1 \\ \text{Veto}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot \text{m} \leq y_2 \\ \text{Veto}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot \text{m} \leq y_3 \\ \text{Veto}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot \text{m} \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan leikkausvoimista aiheutuva kuorma kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

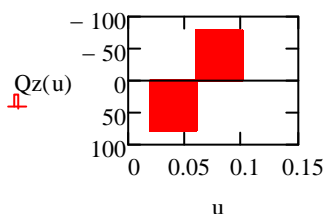
$$\text{Leikkausz}_1 := 0 = 0$$

$$\text{Leikkausz}_2 := A_z = 77.7 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_3 := A_z - H_z = -77.7 \text{ N}$$

$$\text{Leikkausz}_4 := A_z - H_z + B_z = 0 \text{ N}$$

$$\text{Qz}(u) := \begin{cases} \text{Leikkausz}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot \text{m} \leq y_1 \\ \text{Leikkausz}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot \text{m} \leq y_2 \\ \text{Leikkausz}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot \text{m} \leq y_3 \\ \text{Leikkausz}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot \text{m} \leq y_4 \end{cases}$$



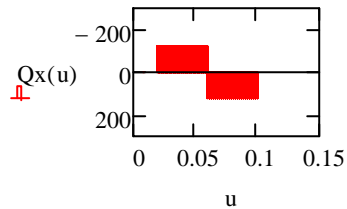
$$\text{Leikkaus}_1 := 0 = 0$$

$$\text{Leikkaus}_2 := A_x = -120 \text{ N}$$

$$\text{Leikkaus}_3 := A_x - H_x = 120 \text{ N}$$

$$\text{Leikkaus}_4 := A_x - H_x + B_x = 0 \text{ N}$$

$$Q_x(u) := \begin{cases} \text{Leikkaus}_1 & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Leikkaus}_2 & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Leikkaus}_3 & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Leikkaus}_4 & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



Ratkaistaan voimista aiheutuva momentti kappaleen jokaisessa poikkileikkauksessa

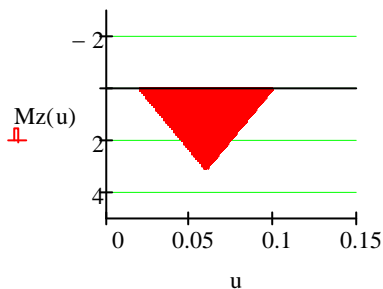
$$\text{Momentti}_1(u) := 0$$

$$\text{Momentti}_2(u) := A_z \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momentti}_3(u) := A_z \cdot (u \cdot m - y_1) - H_z \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momentti}_4(u) := A_z \cdot (u \cdot m - y_1) - H_z \cdot (u \cdot m - y_2) + B_z \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$M_z(u) := \begin{cases} \text{Momentti}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momentti}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momentti}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momentti}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$



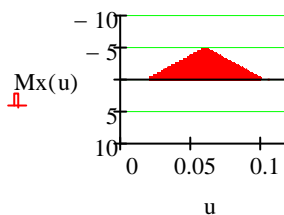
$$\text{Momentti}_1(u) := 0$$

$$\text{Momentti}_2(u) := A_x \cdot (u \cdot m - y_1)$$

$$\text{Momentti}_3(u) := A_x \cdot (u \cdot m - y_1) - H_x \cdot (u \cdot m - y_2)$$

$$\text{Momentti}_4(u) := A_x \cdot (u \cdot m - y_1) - H_x \cdot (u \cdot m - y_2) + B_x \cdot (u \cdot m - y_3)$$

$$M_x(u) := \begin{cases} \text{Momentti}_1(u) & \text{if } 0 \leq u \cdot m \leq y_1 \\ \text{Momentti}_2(u) & \text{if } y_1 \leq u \cdot m \leq y_2 \\ \text{Momentti}_3(u) & \text{if } y_2 \leq u \cdot m \leq y_3 \\ \text{Momentti}_4(u) & \text{if } y_3 \leq u \cdot m \leq y_4 \end{cases}$$

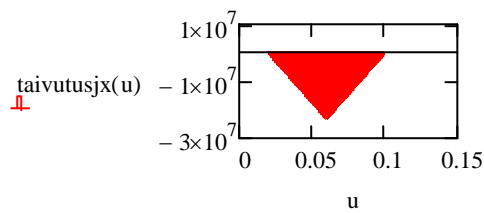
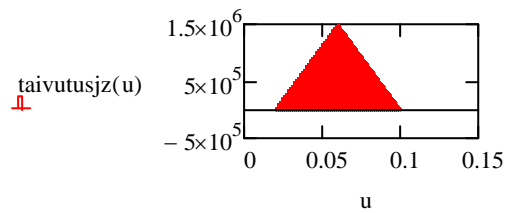


Lasketaan poikkileikkausprofiilin taivutusvastukset. Sitten ratkaistaan suurimmat taivutusjännitykset jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$b := 0.05 \cdot \text{m} \quad t := 0.005 \cdot \text{m}$$

$$W_x := \frac{b \cdot t^2}{6} = 2.1 \times 10^{-4} \text{L} \quad W_z := \frac{t \cdot b^2}{6} = 2.1 \times 10^{-3} \text{L}$$

$$\text{taivutusjz}(u) := \frac{Mz(u)}{W_z} \quad \text{taivutusjx}(u) := \frac{Mx(u)}{W_x}$$

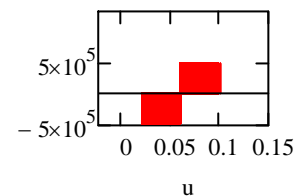
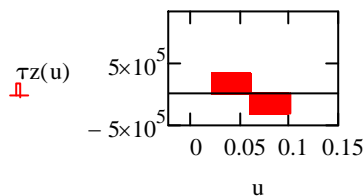
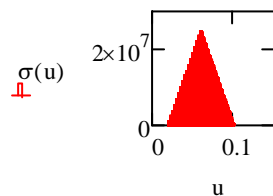


$$\text{Poikkipintaala} := 0.005 \cdot \text{m} \cdot 0.05 \cdot \text{m} = 2.5 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

Normaalijännitys vedosta ja taivutuksista sekä leikkausjännitys jokaisessa poikkileikkauksessa.

$$\sigma(u) := \left| \frac{\text{Veto}(u)}{\text{Poikkipintaala}} \right| + |\text{taivutusjx}(u)| + |\text{taivutusjz}(u)|$$

$$\tau_x(u) := \frac{Q_x(u)}{\text{Poikkipintaala}} \quad \tau_z(u) := \frac{Q_z(u)}{\text{Poikkipintaala}}$$



Vääntö

$$T := A_z \cdot \frac{t}{2} + B_z \cdot \frac{t}{2} + H_z \cdot \frac{t}{2}$$

$$h := 50 \cdot \text{mm}$$

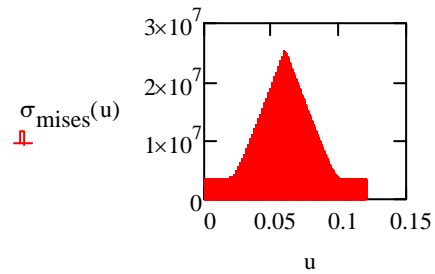
$$W_v := C_2 \cdot h \cdot t^2 \quad C_2 := 0.312$$

Tekniikan taulukkokirja s. 362

$$\tau_v := \frac{T}{W_v} = 2 \times 10^6 \text{ Pa} \quad \text{vääntöjännitys}$$

Vertailujännitys

$$\sigma_{\text{mises}}(u) := \sqrt{(\sigma(u))^2 + 3 \cdot [(\tau_x(u))^2 + (\tau_z(u))^2 + (\tau_v)^2]}$$



Etsitään suurimmat jännitykset, joita voidaan verrata vetomyötölujuuteen 220 MPa ja leikkausmyötölujuuteen 127 MPa

$$u := 0.3$$

given

$$u_{\text{max}} := \text{Maximize}(\sigma_{\text{mises}}, u)$$

$$u_{\text{max}} = 0.1$$

$$\sigma_{\text{mises}}(u_{\text{max}}) = 25.2 \cdot \text{MPa}$$

## Muut laskut

### Pultit

Kappaleiden laskuista on etsitty eri kokoisille pultteille kohdistuvat suurimmat voimat voimat, joiden perusteella varmistetaan niiden riittävä lujuus.

Käytetään vähintään lujuusluokan A4-70 pultteja.

M10 – Pultit

$$R_m := 700 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} = 700 \cdot \text{MPa}$$

Tehollinen pinta-ala Würthin taulukosta

$$A_s := 58 \cdot \text{mm}^2$$

$$R_{02} := 450 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} = 450 \cdot \text{MPa}$$

Suurin veto ja suurin leikkaus sijaitseva yläkiinnikkeen vasemmanpuoleisessa kiinnitysruuvissa ja ova seuraavan suuruiset:

$$N_{\max} := 245.6 \cdot N$$

$$\sigma_{\max} := \frac{N_{\max}}{A_s} = 4.2 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{1\max} := \frac{163.3 \cdot N}{A_s} = 2.8 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{2\max} := \frac{141 \cdot N}{A_s} = 2.4 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{mises}} := \sqrt{(\sigma_{\max})^2 + 3 \cdot [(\tau_{1\max})^2 + (\tau_{2\max})^2]} = 7.7 \cdot \text{MPa}$$



### Hitsit

Hitsejä on vain jalkojen lapuissa, joten etsitään niihin kohdistuvat suurimmat voimat

ylälapulle:

$$M_{y\max} := 11.935 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$N_{x\max} := 293 \cdot \text{N} + \frac{M_{y\max}}{0.0206 \cdot \text{m}} = 872.4 \text{ N}$$

$$Q_{y\max} := 261 \cdot \text{N}$$

$$Q_{z\max} := 304 \cdot \text{N}$$

Kuormissa on jo varmuuskerroin 1,5 joten ei lisätä enää uudestaan

$$R_1 := \sqrt{N_{x\max}^2 + Q_{y\max}^2 + Q_{z\max}^2} = 960 \text{ N}$$

Jalkalapulle:

$$P_{z\max} := 866 \cdot \text{N}$$

$$R_{x\max} := 130 \cdot \text{N}$$

$$R_{y\max} := 242 \cdot \text{N}$$

$$R_2 := \sqrt{P_{z\max}^2 + R_{y\max}^2 + R_{x\max}^2} = 908.5 \text{ N}$$

$$a := 3 \cdot \text{mm} \quad \underline{\underline{L}} := 50 \cdot \text{mm} \quad f_u := 220 \cdot \text{MPa} = 2.2 \times 10^8 \text{ Pa} \quad \gamma_{M2} := 1.2 \quad \beta_w := 0.9$$

L on yhden sivun ja samalla sauman pituus

$$f_{vwd} := \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 117.6 \cdot \text{MPa}$$

$$H_{wEd} \leq F_{wRd} := f_{vwd} \cdot a = 352.8 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$H_{wEd1} := \frac{R_1}{4 \cdot L} = 4.8 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$H_{wEd2} := \frac{R_2}{4 \cdot L} = 4.5 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Voidaan käyttää a-mittana 3 mm

### Jalan nurjahdusvoima

$$E := 210 \cdot \text{GPa} \quad \underline{H} := 0.05 \cdot \text{m} \quad t := 0.003 \cdot \text{m} \quad h := H - 2 \cdot t = 0 \text{ m}$$

seinämäpituus      -paksuus      sisäpituus

$$I := \frac{H^4 - h^4}{12} = 2.1 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Eulerin tapaus 4 välituelliselle sauvalle

$$\frac{l_2}{l_1} \approx 0,9 \quad \text{tällä suhteella saatu taulukkokirjasta kerroin m}$$

$$\underline{l} := 1400 \cdot \text{mm} \quad \underline{m} := 17.24$$

$$F_n := \frac{m \cdot E \cdot I}{l^2} = 3.9 \times 10^5 \text{ N}$$

Jaloissa olevat pystysuuntaiset kuormat ovat pienemmät kuin 385 kN -> ei nurjahdusta

### Konsolit

Suurimmat konsolille kohdistuvat kuormitukset löytyvät kolmen kotelon telineestä vasemmalta konsolilta tasolla +12.60

$$Q_x := 666 \cdot \text{N}$$

$$Q_y := 747 \cdot \text{N}$$

Konsolien teknisistä tiedoista nähdään, että MQK-41/300 konsolille suurin sallittu y-suuntainen voima konsolin päässä on 1480 N > Q<sub>y</sub>.

Vetojännityksen tarkastelussa käytetään samaa arvoa, kuin vastaavan kokoisella c-kiskolla

Sallittu jännitys on  $\sigma_{\text{sall}} := 175.3 \cdot \text{MPa}$

Poikkileikkausala  $A := 245.1 \cdot \text{mm}^2$

$$W_z := 2.66 \cdot \text{cm}^3$$

$$\sigma := \frac{Q_x}{A} + \frac{Q_y \cdot 300 \cdot \text{mm}}{W_z} = 87 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma < \sigma_{\text{sall}}$$

mitoitus on riittävä

$$\tau := \frac{Q_y}{A} = 3 \text{ MPa}$$

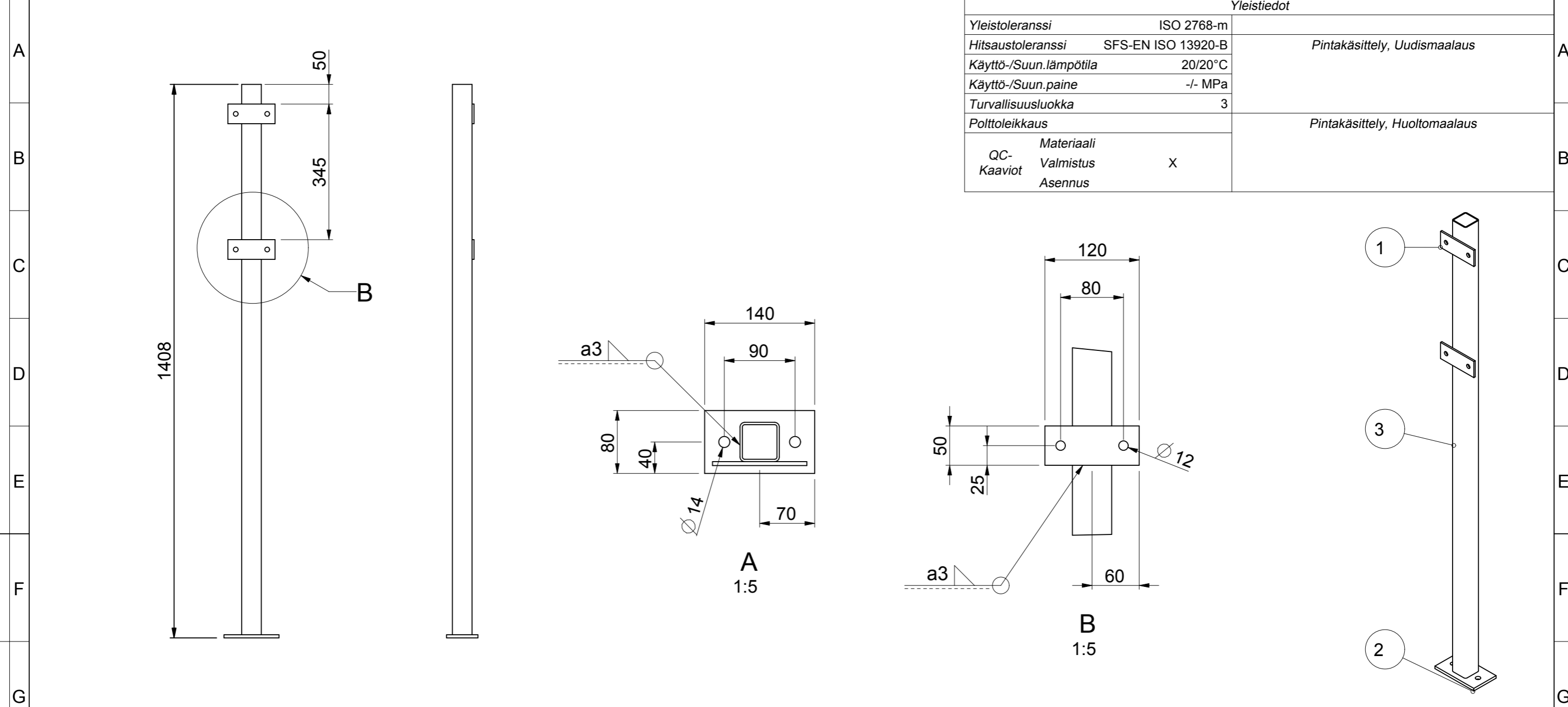
$$\sigma_{\text{miseskons}} := \sqrt{(\sigma)^2 + 3 \cdot (\tau)^2} = 87.1 \cdot \text{MPa}$$

## Piirustukset

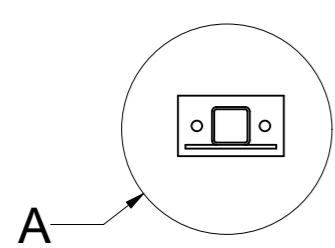
### Sisällys

1	Välikiinnike	2
2	Jalka, yhdelle	3
3	Jalka	4
4	KytKentäkoteloteline, yhdelle kotelolle	5
5	KytKentäkoteloteline, kahdelle kotelolle	6
6	KytKentäkoteloteline, kolmelle kotelolle	7
7	KytKentäkoteloteline, seinäkiinnitys, 1 kotelo	8
8	KytKentäkoteloteline tilaan 1A0331	9
9	KytKentäkoteloteline tilaan 1A0332	10
10	KytKentäkoteloteline tilaan 1A0309	11
11	KytKentäkoteloteline tilaan 1A0705	12
12	KytKentäkoteloteline tilaan 1A0709	13
13	KytKentäkoteloteline tilaan 1A1206	14
14	KytKentäkoteloteline tilaan 1A1235	15
15	KytKentäkoteloteline tilaan 1A1231	16
16	KytKentäkoteloteline tilaan 1A1718	17
17	KytKentäkoteloteline tilaan 1A1902	18





Yleistiedot		
Yleistoleranssi	ISO 2768-m	
Hitsautoleranssi	SFS-EN ISO 13920-B	Pintakäsittely, Uudismaalaus
Käyttö-/Suun.lämpötila	20/20°C	
Käyttö-/Suun.paine	-/- MPa	
Turvallisuusluokka	3	
Polttoleikkaus		Pintakäsittely, Huoltomaalaus
QC-Kaaviot	Materiaali Valmistus Asennus	X



Hitsautiedot			
NDT Hitseille	Paine-/Tiiveyskoe	-/- MPa	
VT 100%	Hitsausluokka	SFS-EN ISO 5817 C	
PT	1. Hitsausohje	Lo-88TT02	
MT	1. Hitsausmen./-lisäaine	OK Tigrod 16.30	
RT	2. Hitsausohje		
UT	2. Hitsausmen./-lisäaine		

3	1	Neliöputki	EN 1.4404	50X50X3 L=1400	EN 10219	6.3
2	1	Latta	EN 1.4404	8X80X140	EN 10025-2	0.6
1	2	Latta	EN 1.4404	5X50X120	EN 10025	0.2
Osa	Kpl	Nimitys	Materiaali	Muoto,Mitat, Piir	Huom	KG

Loppuasiakas

Otsikko

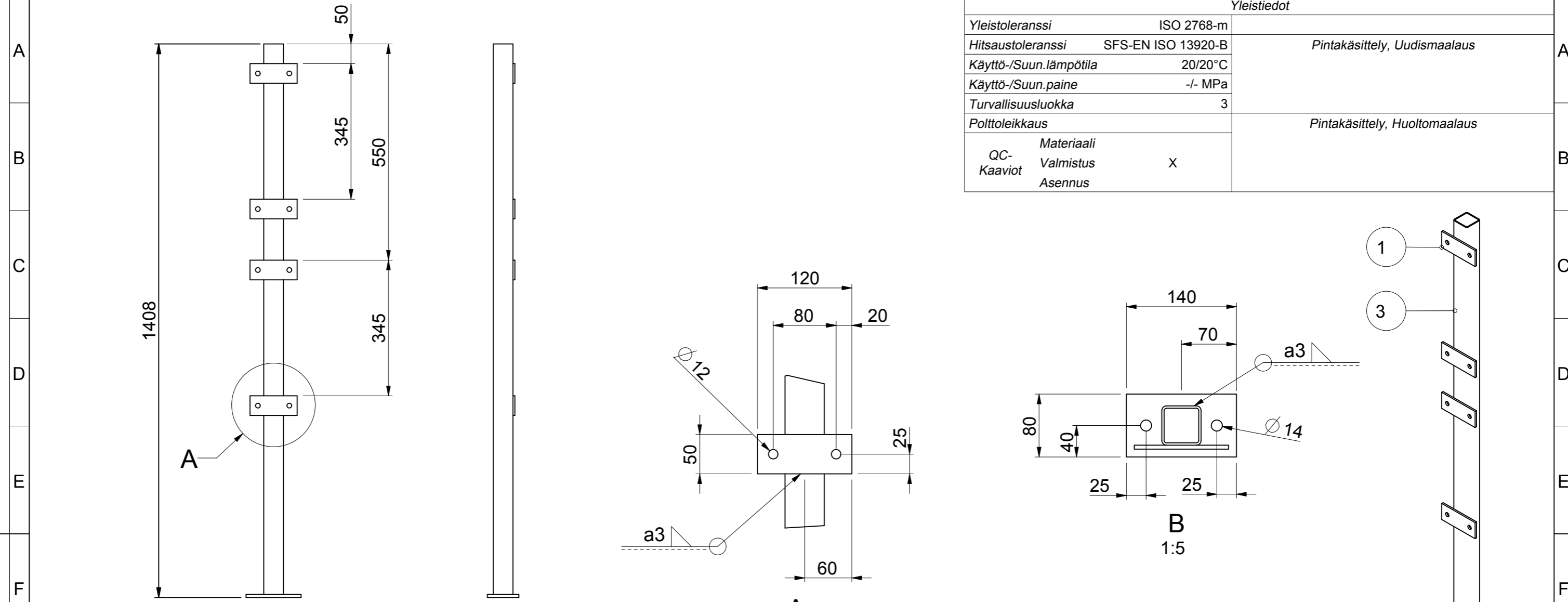
KYTKENTÄKOTELOTELIN, LATTIAASENTEINEN  
OSAKOKOONPANOPIIRUSTUS  
JALKA, YHDELLE

Vastuujärjestelmä

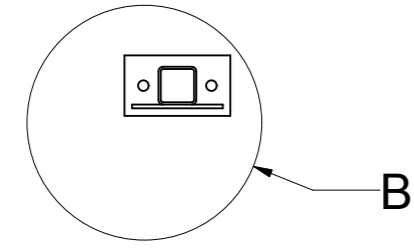
Suunnittelija PVM  
Nousilau 27.02.2014 J  
Tarkastaja PVM  
Hyväksyjä PVM  
Piirtäjä PVM

Suhde	Taso	Koko	Lehti	Kohde - Asiaturmus - Numero	Muutos
1:10		A3	1/1	KLO LO1 6950-00002	M
Yleistoleranssi	Valmispaino	Liitty	Tiedosto	JALKA_YHDELLE_LOPPUTYO	
ISO 2768-m					

M	Pvm	Selitys	Suun	Tark	Hyv



Yleistiedot		
Yleistoleranssi	ISO 2768-m	
Hitsautoleranssi	SFS-EN ISO 13920-B	Pintakäsittely, Uudismaalaus
Käyttö-/Suun.lämpötila	20/20°C	
Käyttö-/Suun.paine	-/- MPa	
Turvallisuusluokka	3	
Polttoleikkaus		Pintakäsittely, Huoltomaalaus
QC-Kaaviot	Materiaali Valmistus Asennus	X



Hitsautiedot			
NDT Hitseille	Paine-/Tiiveyskoe	-/- MPa	
VT 100%	Hitsausluokka	SFS-EN ISO 5817 C	
PT	1. Hitsausohje	Lo-88TT02	
MT	1. Hitsausmen./-lisäaine	OK Tigrod 16.30	
RT	2. Hitsausohje		
UT	2. Hitsausmen./-lisäaine		

Osa	Kpl	Nimitys	Materiaali	Muoto, Mitat, Piir	Huom	KG
3	1	Neliöputki	EN 1.4404	KLO 50X50X3 L=1400	EN 10219	9.8
2	1	Latta	EN 1.4404	8X80X140	EN 10025-2	0.6
1	4	Latta	EN 1.4404	5X50X120	EN 10025-2	0.2

Loppuasiakas

Otsikko

**KYTKENTÄKOTELOTELINE, LATTIAASENTEINEN  
OSAKOKOONPANOPIIRUSTUS  
JALKA**

Suunnittelija PVM  
Nousilau 27.02.2014

Tarkastaja PVM

Hyväksyjä PVM

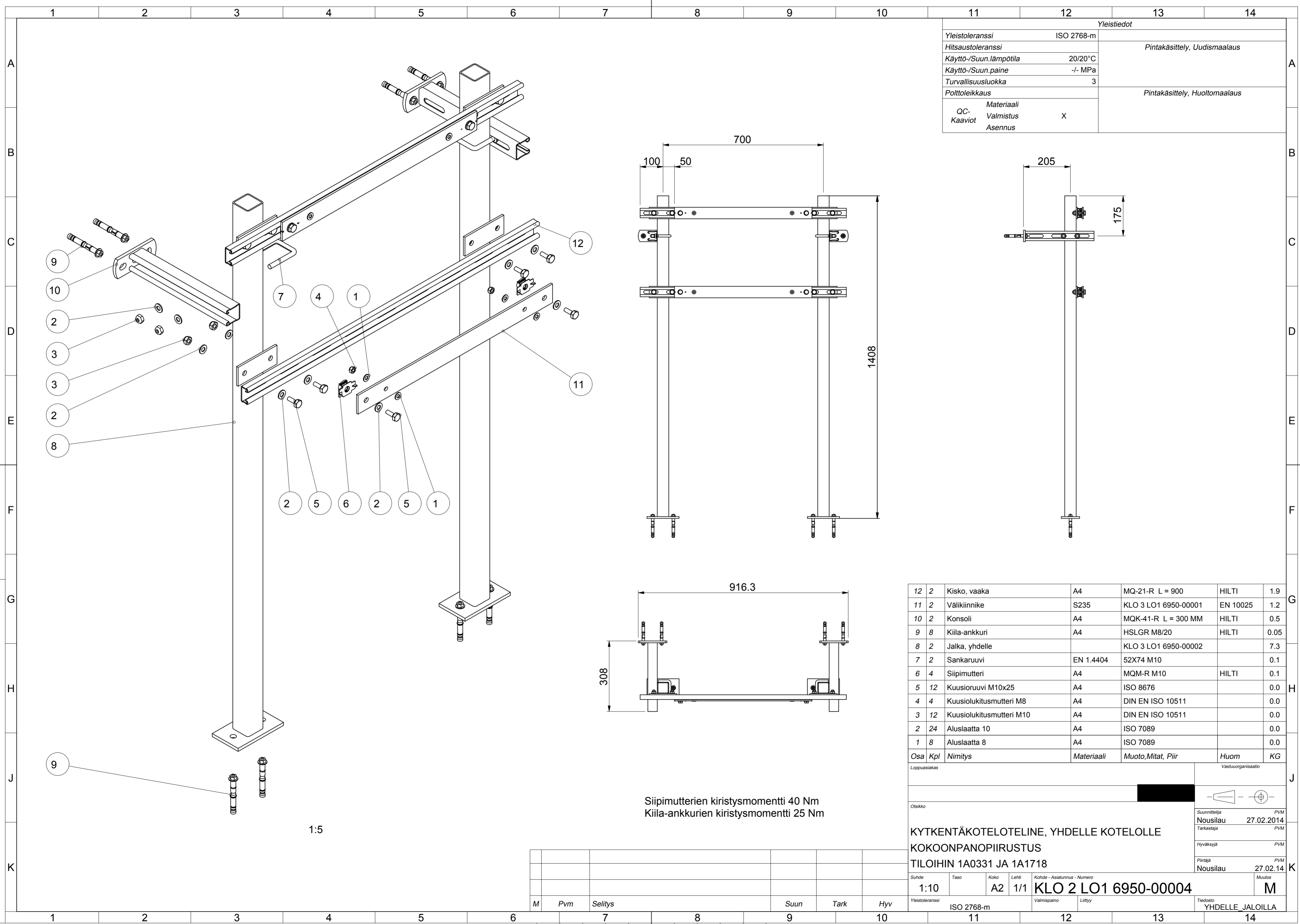
Piirtäjä PVM  
Nousilau 27.02.14

Muutos M

Suhde	Taso	Koko	Lehti	Kohde - Asiaturmus - Numero	Muutos
1:10		A3	1/1	<b>KLO 3 LO1 6950-00003</b>	M

Yleistoleranssi ISO 2768-m Valmispaino Liitty Tiedosto JALKA\_MONELLE\_LOPPUTYO

M	Pvm	Selitys	Suun	Tark	Hyv



Yleistiedot		
Yleistoleranssi	ISO 2768-m	
Hitsautoleranssi		Pintakäsittely, Uudismaalaus
Käyttö-/Suun.lämpötila	20/20°C	
Käyttö-/Suun.paine	-/- MPa	
Turvallisuusluokka	3	
Polttoleikkaus		Pintakäsittely, Huoltomaalaus
QC-Kaaviot	Materiaali Valmistus Asennus	X

12	2	Kisko, vaaka	A4	MQ-21-R L = 900	HILTI	1.9
11	2	Välikinnike	S235	KLO 3 LO1 6950-00001	EN 10025	1.2
10	2	Konsoli	A4	MQK-41-R L = 300 MM	HILTI	0.5
9	8	Kiila-ankkuri	A4	HSLGR M8/20	HILTI	0.05
8	2	Jalka, yhdelle		KLO 3 LO1 6950-00002		7.3
7	2	Sankaruuvi	EN 1.4404	52X74 M10		0.1
6	4	Siipimutteri	A4	MQM-R M10	HILTI	0.1
5	12	Kuusioruuvi M10x25	A4	ISO 8676		0.0
4	4	Kuusiolukitusmutteri M8	A4	DIN EN ISO 10511		0.0
3	12	Kuusiolukitusmutteri M10	A4	DIN EN ISO 10511		0.0
2	24	Aluslaatta 10	A4	ISO 7089		0.0
1	8	Aluslaatta 8	A4	ISO 7089		0.0
Osa	Kpl	Nimitys	Materiaali	Muoto,Mitat, Piir	Huom	KG

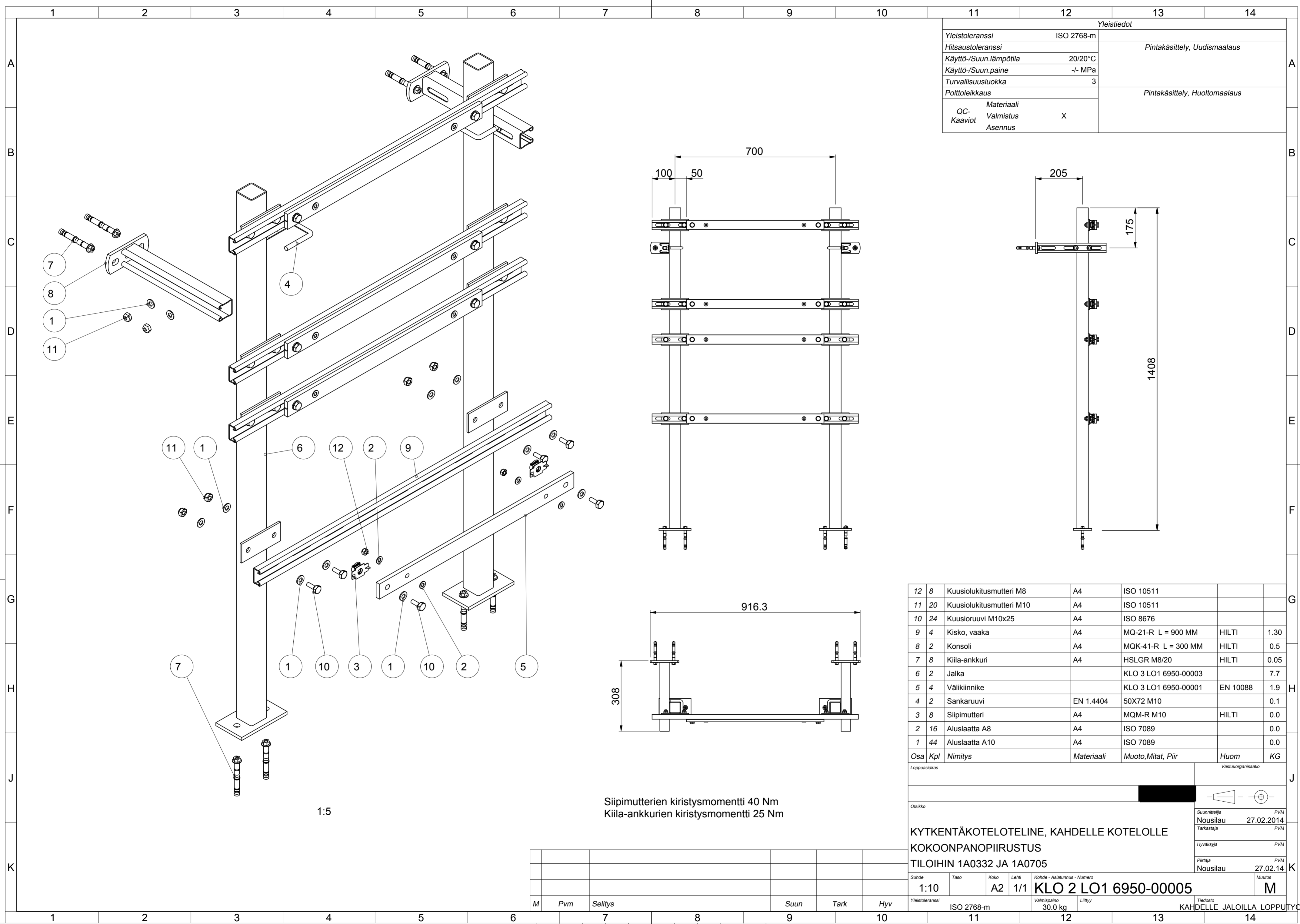
Siipimutterien kiristysmomentti 40 Nm  
Kiila-ankkurien kiristysmomentti 25 Nm

1:5

Loppuasiakas		Vastuuorganisaatio				
[Redacted]		[Redacted]				
Otsikko		Suunnittelija PVM				
KYTKENTÄKOTELOTELINE, YHDELLE KOTELOLLE		Nousilau 27.02.2014				
KOKOONPANOPIIRUSTUS		Tarkastaja PVM				
TILOIHIN 1A0331 JA 1A1718		Hyväksyjä PVM				
Suhde Taso Koko Lehti Kohde - Asiatunnus - Numero Muutos		Piirtäjä PVM				
1:10		A2	1/1	KLO 2 LO1 6950-00004		M
Yleistoleranssi ISO 2768-m		Valmispaino		Litty		Tiedosto
						YHDALLE JALOILLA

M	Pvm	Selitys	Suun	Tark	Hyv





Yleistiedot		
Yleistoleranssi	ISO 2768-m	
Hitsautoleranssi		Pintakäsittely, Uudismaalaus
Käyttö-/Suun.lämpötila	20/20°C	
Käyttö-/Suun.paine	-/- MPa	
Turvallisuusluokka	3	
Polttoleikkaus		Pintakäsittely, Huoltomaalaus
QC-Kaaviot	Materiaali Valmistus Asennus	X

Siipimutterien kiristysmomentti 40 Nm  
Kiila-ankkurien kiristysmomentti 25 Nm

12	8	Kuusiolukitusmutteri M8	A4	ISO 10511		
11	20	Kuusiolukitusmutteri M10	A4	ISO 10511		
10	24	Kuusioruuvi M10x25	A4	ISO 8676		
9	4	Kisko, vaaka	A4	MQ-21-R L = 900 MM	HILTI	1.30
8	2	Konsoli	A4	MQK-41-R L = 300 MM	HILTI	0.5
7	8	Kiila-ankkuri	A4	HSLGR M8/20	HILTI	0.05
6	2	Jalka		KLO 3 LO1 6950-00003		7.7
5	4	Välikiinnike		KLO 3 LO1 6950-00001	EN 10088	1.9
4	2	Sankaruuvi	EN 1.4404	50X72 M10		0.1
3	8	Siipimutteri	A4	MQM-R M10	HILTI	0.0
2	16	Aluslaatta A8	A4	ISO 7089		0.0
1	44	Aluslaatta A10	A4	ISO 7089		0.0
Osa	Kpl	Nimitys	Materiaali	Muoto,Mitat, Piir	Huom	KG

Loppuasiakas: [Redacted] Vastuuorganisaatio: [Redacted]

Otsikko: [Redacted]

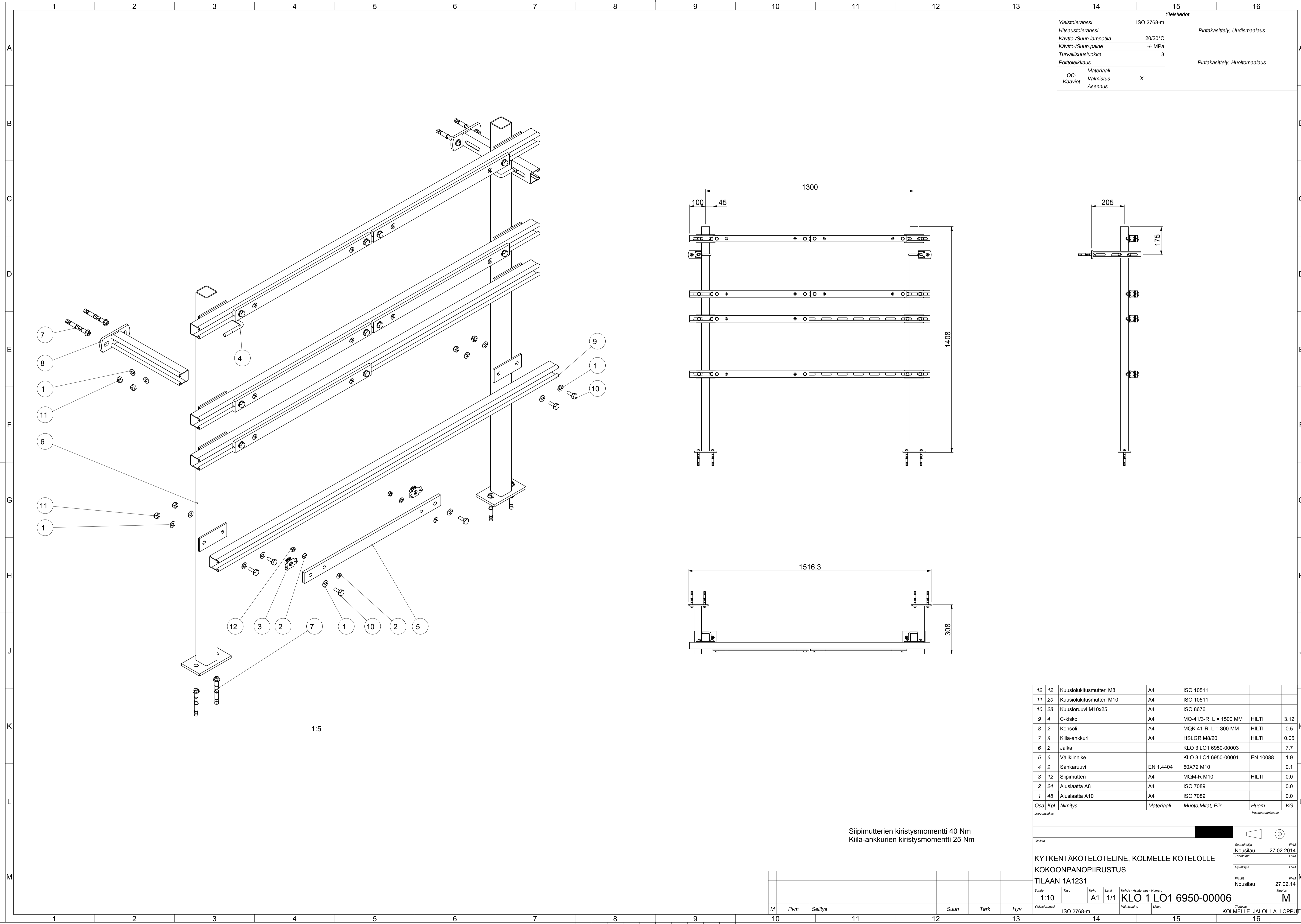
**KYTKENTÄKOTELOTELINE, KAHDELLE KOTELOLLE  
KOKOONPANOPIIRUSTUS  
TILOIHIN 1A0332 JA 1A0705**

Suhde: 1:10 Taso: A2 Koko: 1/1 Lehti: 1/1 Kohde - Asiatunnus - Numero: **KLO 2 LO1 6950-00005** Muutos: M

Yleistoleranssi: ISO 2768-m Valmispaino: 30.0 kg Liittyy: [Redacted] Tiedosto: KAHDELLE JALOILLA LOPPUITYO

Suunnittelija	PVM
Nousilau	27.02.2014
Tarkastaja	PVM
Hyväksyjä	PVM
Piirtäjä	PVM
Nousilau	27.02.14

M	Pvm	Selitys	Suun	Tark	Hyv



Yleistiedot	
Yleistoleranssi	ISO 2768-m
Hitsautoleranssi	
Käyttö-/Suun lämpötila	20/20°C
Käyttö-/Suun paine	-/- MPa
Turvallisuusluokka	3
Polttoleikkaus	
Materiaali	
QC-Valmistus	X
Kaaviot	
Asennus	

1:5

Siipimutterien kiristysmomentti 40 Nm  
Kiila-ankkurien kiristysmomentti 25 Nm

Osa	Kpl	Nimitys	Materiaali	Muoto, Mitat, Piir	Huom	KG	
12	12	Kuusiolukitusmutteri M8	A4	ISO 10511			
11	20	Kuusiolukitusmutteri M10	A4	ISO 10511			
10	28	Kuusioruuvi M10x25	A4	ISO 8876			
9	4	C-kisko	A4	MQ-41/3-R L = 1500 MM	HILTI	3.12	
8	2	Konsoli	A4	MQK-41-R L = 300 MM	HILTI	0.5	
7	8	Kiila-ankkuri	A4	HSLGR M8/20	HILTI	0.05	
6	2	Jalka		KLO 3 LO1 6950-00003		7.7	
5	6	Välikinnike		KLO 3 LO1 6950-00001	EN 10088	1.9	
4	2	Sankaruuvi	EN 1.4404	50X72 M10		0.1	
3	12	Siipimutteri	A4	MQM-R M10	HILTI	0.0	
2	24	Aluslaatta A8	A4	ISO 7089		0.0	
1	48	Aluslaatta A10	A4	ISO 7089		0.0	
Osa		Kpl	Nimitys	Materiaali	Muoto, Mitat, Piir	Huom	KG
Loppusumma							Vastuorgaanointi

Osikko

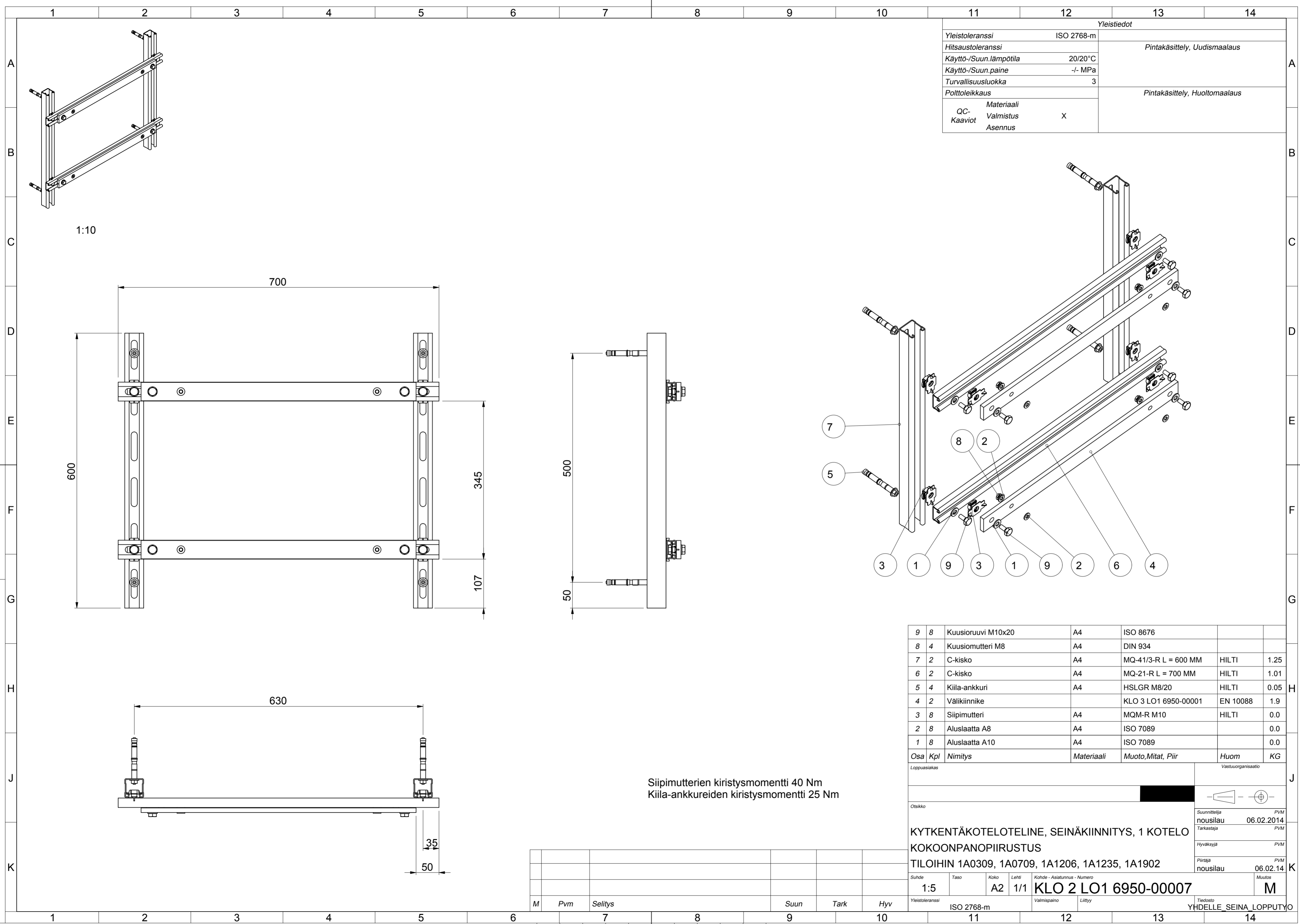
**KYTKENTÄKOTELOTELINE, KOLMELLE KOTELOLLE**  
**KOKOONPANOPIIRUSTUS**  
**TILAAN 1A1231**

Suunnittelija: PVM  
Nousilau 27.02.2014  
Tarkastaja: PVM  
Hyväksyjä: PVM  
Piirittäjä: PVM  
Nousilau 27.02.14  
Muutos: M

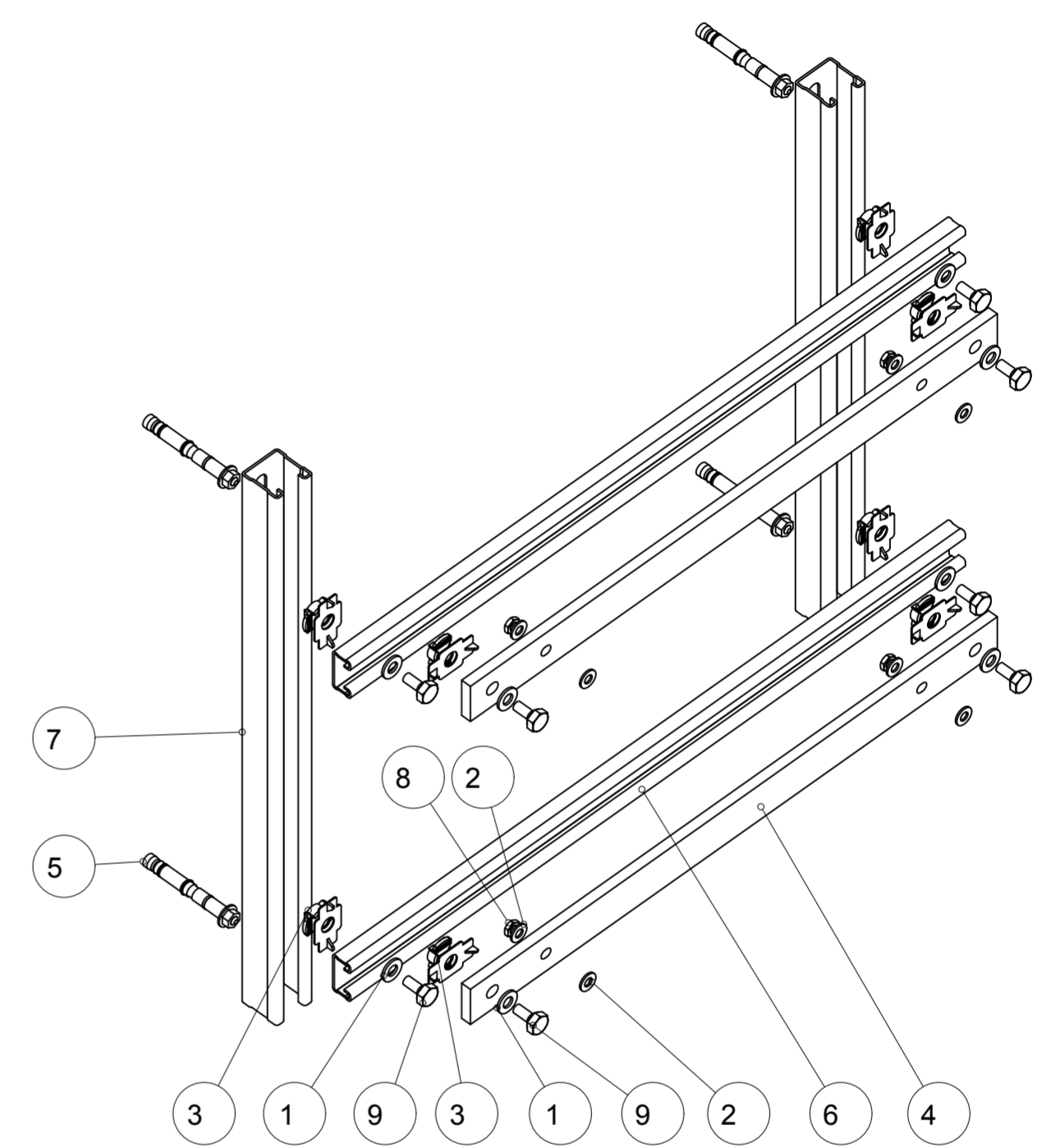
ISO 2768-m

KOLMELLE JALOILLA LOPPUTYÖ

M	Pvm	Selitys	Suun	Tark	Hyv



Yleistiedot		
Yleistoleranssi	ISO 2768-m	
Hitsaustoleranssi		Pintakäsittely, Uudismaalaus
Käyttö-/Suun.lämpötila	20/20°C	
Käyttö-/Suun.paine	-/- MPa	
Turvallisuusluokka	3	
Polttoleikkaus		Pintakäsittely, Huoltomaalaus
QC-Kaaviot	Materiaali Valmistus Asennus	X

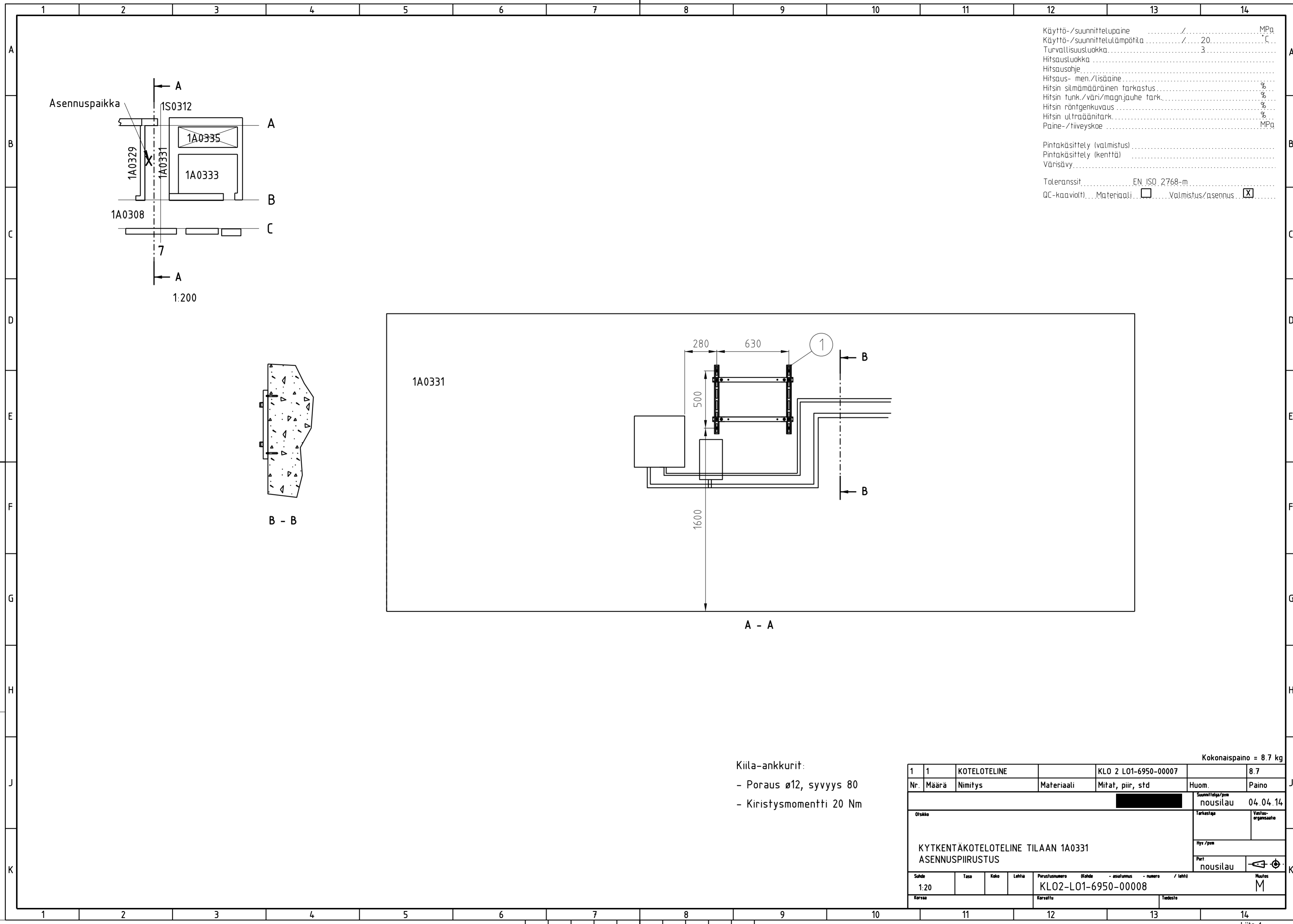


Osa	Kpl	Nimitys	Materiaali	Muoto, Mitat, Piir	Huom	KG
9	8	Kuusioruuvi M10x20	A4	ISO 8676		
8	4	Kuusiomutteri M8	A4	DIN 934		
7	2	C-kisko	A4	MQ-41/3-R L = 600 MM	HILTI	1.25
6	2	C-kisko	A4	MQ-21-R L = 700 MM	HILTI	1.01
5	4	Kiila-ankkuri	A4	HSLGR M8/20	HILTI	0.05
4	2	Välikinnike		KLO 3 LO1 6950-00001	EN 10088	1.9
3	8	Siipimutteri	A4	MQM-R M10	HILTI	0.0
2	8	Aluslaatta A8	A4	ISO 7089		0.0
1	8	Aluslaatta A10	A4	ISO 7089		0.0

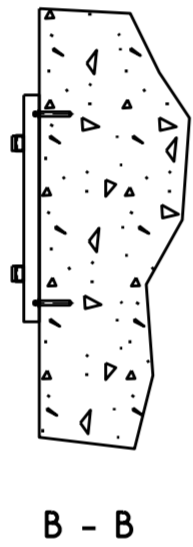
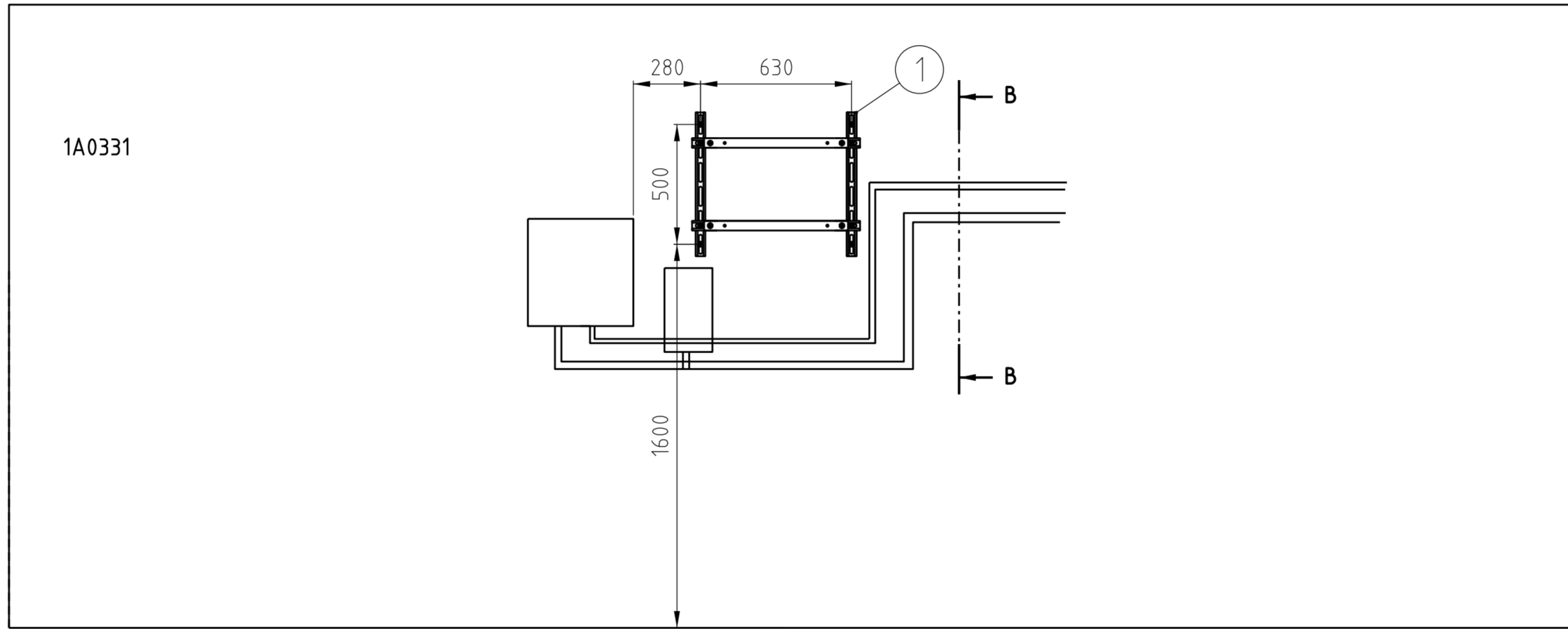
Siipimutterien kiristysmomentti 40 Nm  
Kiila-ankkureiden kiristysmomentti 25 Nm

Loppuasiakas		Vastuuorganisaatio	
Otsikko		Suunnittelija PVM	
KYTEKENTÄKOTELOTELIN, SEINÄKIINNITYS, 1 KOTELO		nouisilau 06.02.2014	
KOKOONPANOPIIRUSTUS		Tarkastaja PVM	
TILOIHIN 1A0309, 1A0709, 1A1206, 1A1235, 1A1902		Hyväksyjä PVM	
Suhte 1:5		Piirtäjä PVM	
Taso A2		nouisilau 06.02.14	
Koko 1/1		Muutos M	
Yleistoleranssi ISO 2768-m		Kohde - Asiatunnus - Numero KLO 2 LO1 6950-00007	
Valmistus		Tiedosto YHDELLE SEINÄ LOPPUTYO	

M	Pvm	Selitys	Suun	Tark	Hyv



Käyttö-/suunnittelupaine	..... / .....	MPa
Käyttö-/suunnittelulämpötila	..... / .....	°C
Turvallisuusluokka	.....	3
Hitsausluokka	.....	
Hitsausohje	.....	
Hitsaus- men./lisäaine	.....	
Hitsin silmäääräinen tarkastus	.....	%
Hitsin röntgenkuvaus	.....	%
Hitsin ultraäänitark.	.....	%
Paine-/tiiveyskoe	.....	MPa
Pintakäsittely (valmistus)	.....	
Pintakäsittely (kenttä)	.....	
Värisävy	.....	
Toleranssit	..... EN ISO 2768-m	
QC-kaaviot	..... Materiaali <input type="checkbox"/> Valmistus/asennus <input checked="" type="checkbox"/>	

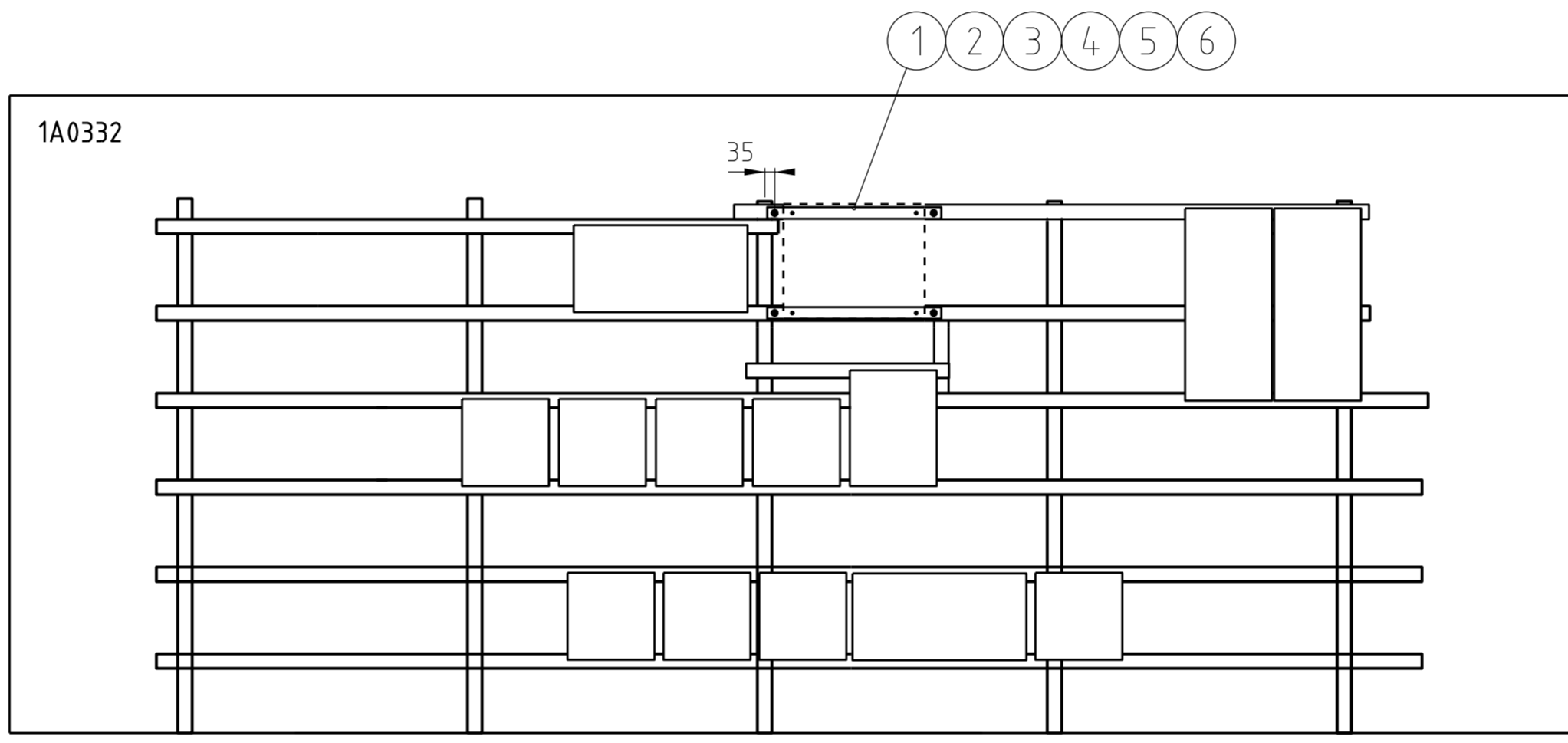
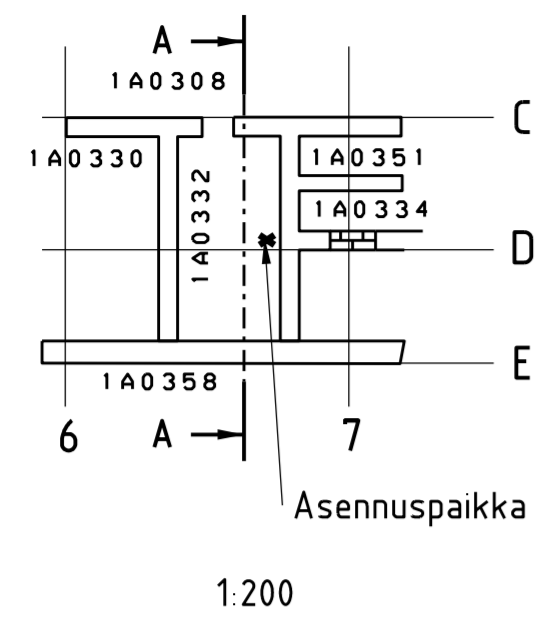


Kiila-ankkurit:  
 - Poraus ø12, syvyys 80  
 - Kiristysmomentti 20 Nm

Kokonaispaino = 8.7 kg

1	1	KOTELOTELINE		KLO 2 L01-6950-00007		8.7
Nr.	Määrä	Nimitys	Materiaali	Mitat, piir, std	Huom.	Paino
					nousilau	04.04.14
Otsikko					Tarkastaja	Vastuu-organisaatio
KYTKENTÄKOTELOTELINE TILAAN 1A0331 ASENNUSPIIRUSTUS					Hyyt / ppm	
					Parti	nousilau
Suhde	Taso	Koko	Lehtiä	Perustusnumero (Kohde - asialue - numero / lehti)	Maailma	
1:20				KLO2-L01-6950-00008	M	
Korvaa			Korvattu	Tiedosto		

Käyttö-/suunnittelupaine	..... / .....	MPa
Käyttö-/suunnittelulämpötila	..... / .....	°C
Turvallisuusluokka	..... 3	
Hitsausluokka	.....	
Hitsausohje	.....	
Hitsaus- men./lisäaine	.....	
Hitsin silmämääräinen tarkastus	.....	%
Hitsin tunk./väri/magnjauhe tark.	.....	%
Hitsin röntgenkuvaus	.....	%
Hitsin ultraäänitark.	.....	%
Paine-/tiiveyskoe	.....	MPa
Pintakäsittely (valmistus) .....		
Pintakäsittely (kenttä) .....		
Värisävy .....		
Toleranssit	..... EN ISO 2768-m	
QC-kaaviot	..... Materiaali <input type="checkbox"/> Valmistus/asennus <input checked="" type="checkbox"/>	

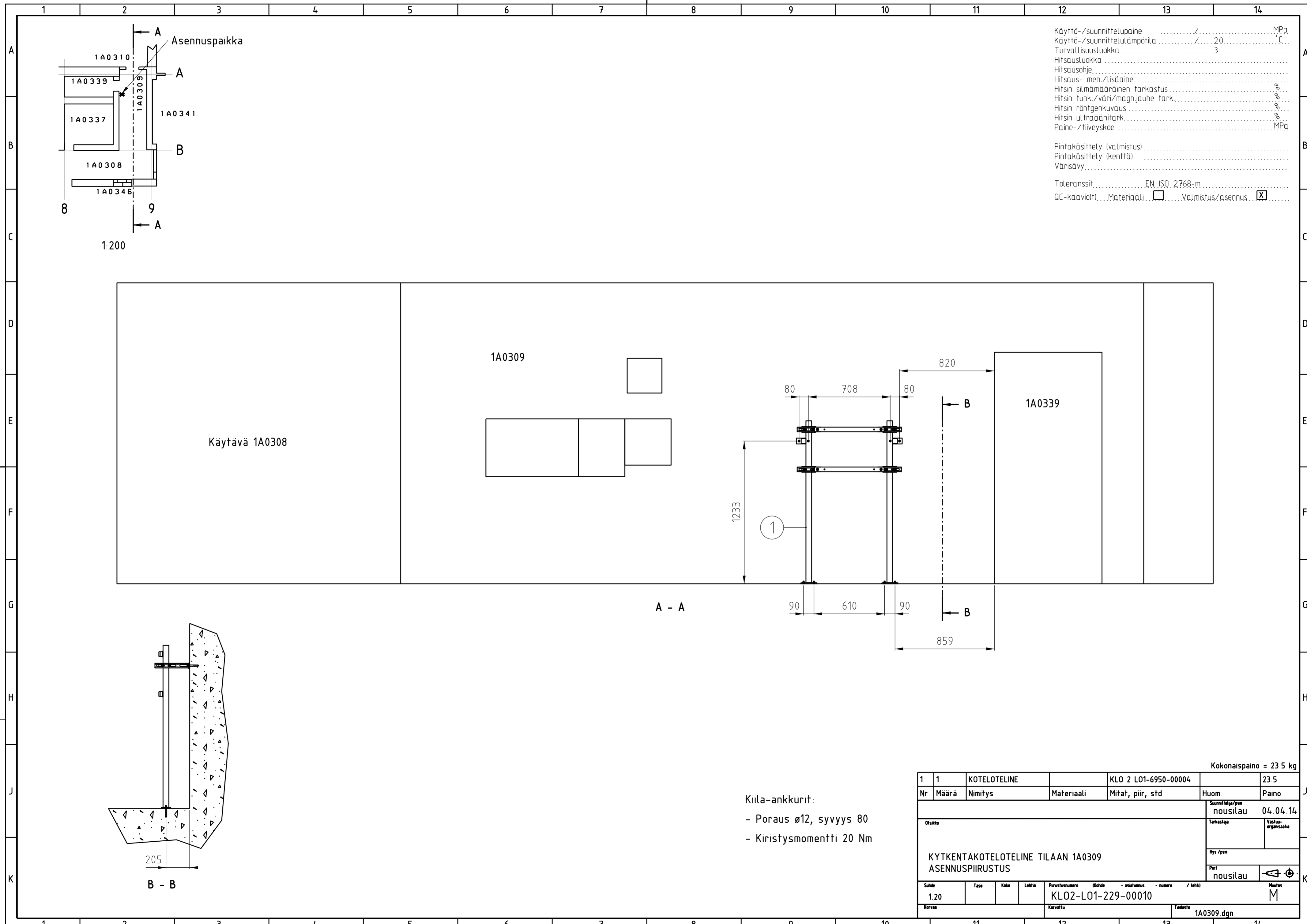


A - A

Kokoonpano soveltuvin osin kuten  
piirustuksessa KLO 2 L01 6950-00007

Kokonaispaino = 3.8 kg

Nr.	Määrä	Nimitys	Materiaali	Mitat, piir, std	Huom.	Paino																	
6	4	ALUSLAATTA 10			ISO 7089	0.00																	
5	4	SIIPIMUTTERI M10	A4		HILTI	0.00																	
4	4	KUUSIORUUVI M10x20	A4		ISO 8676	0.00																	
3	4	KUUSIOMUTTERI M8	A4	LUKITTUVA	DIN 985	0.00																	
2	8	ALUSLAATTA 8	A4		ISO 7089	0.00																	
1	2	VÄLIKIINNIKE		KLO 3 L01-6950-00001		1.9																	
<table border="0"> <tr> <td colspan="2">Suunnittelija/pvm</td> <td>nousilau</td> <td>04.04.14</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Tarkastaja</td> <td colspan="2">Vastuu-organisaatio</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Hyyr / pvm</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Parti</td> <td>nousilau</td> <td></td> </tr> </table>						Suunnittelija/pvm		nousilau	04.04.14	Tarkastaja		Vastuu-organisaatio		Hyyr / pvm				Parti		nousilau			
Suunnittelija/pvm		nousilau	04.04.14																				
Tarkastaja		Vastuu-organisaatio																					
Hyyr / pvm																							
Parti		nousilau																					
Suhde		Taso	Koko	Lehti	Perustusnumero	Kokoluokka	- asialue	- numero	/ lehti	Muutos													
1:20					KLO2-L01-6950-00009					M													
Korvaa		Korvattu		Tiedosto		1A0332.dgn																	



Käyttö-/suunnittelupaine	..... / .....	MPa
Käyttö-/suunnittelulämpötila	..... / .....	°C
Turvallisuusluokka	.....	3
Hitsausluokka	.....	
Hitsausohje	.....	
Hitsaus- men./lisäaine	.....	
Hitsin silmämääräinen tarkastus	.....	%
Hitsin röntgenkuvaus	.....	%
Hitsin ultraäänitark.	.....	%
Paine-/tiiveyskoe	.....	MPa
Pintakäsittely (valmistus) .....		
Pintakäsittely (kenttä) .....		
Värisävy .....		
Toleranssit	..... EN ISO 2768-m	
QC-kaaviot	..... Materiaali <input type="checkbox"/>	Valmistus/asennus <input checked="" type="checkbox"/>

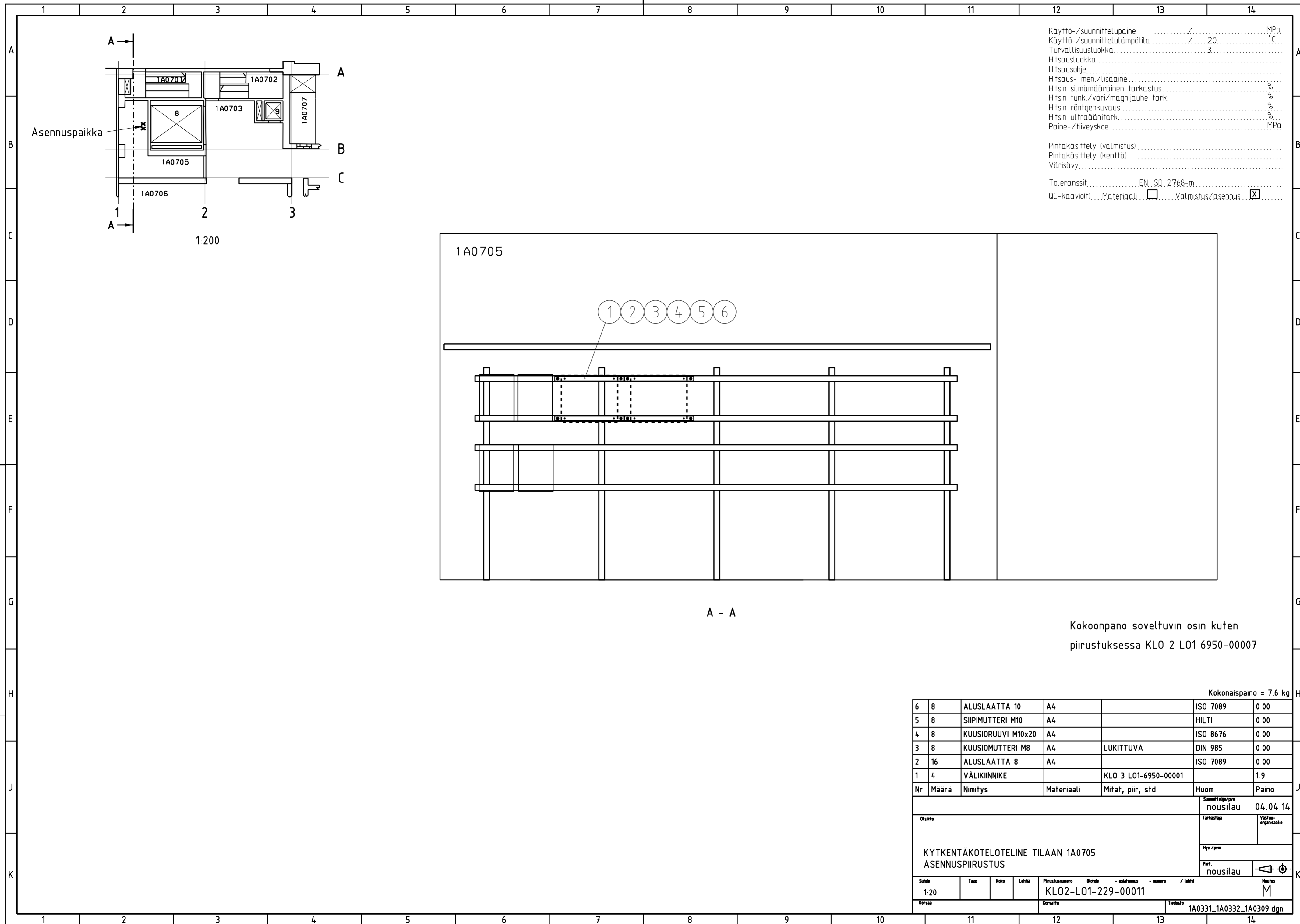
A - A

B - B

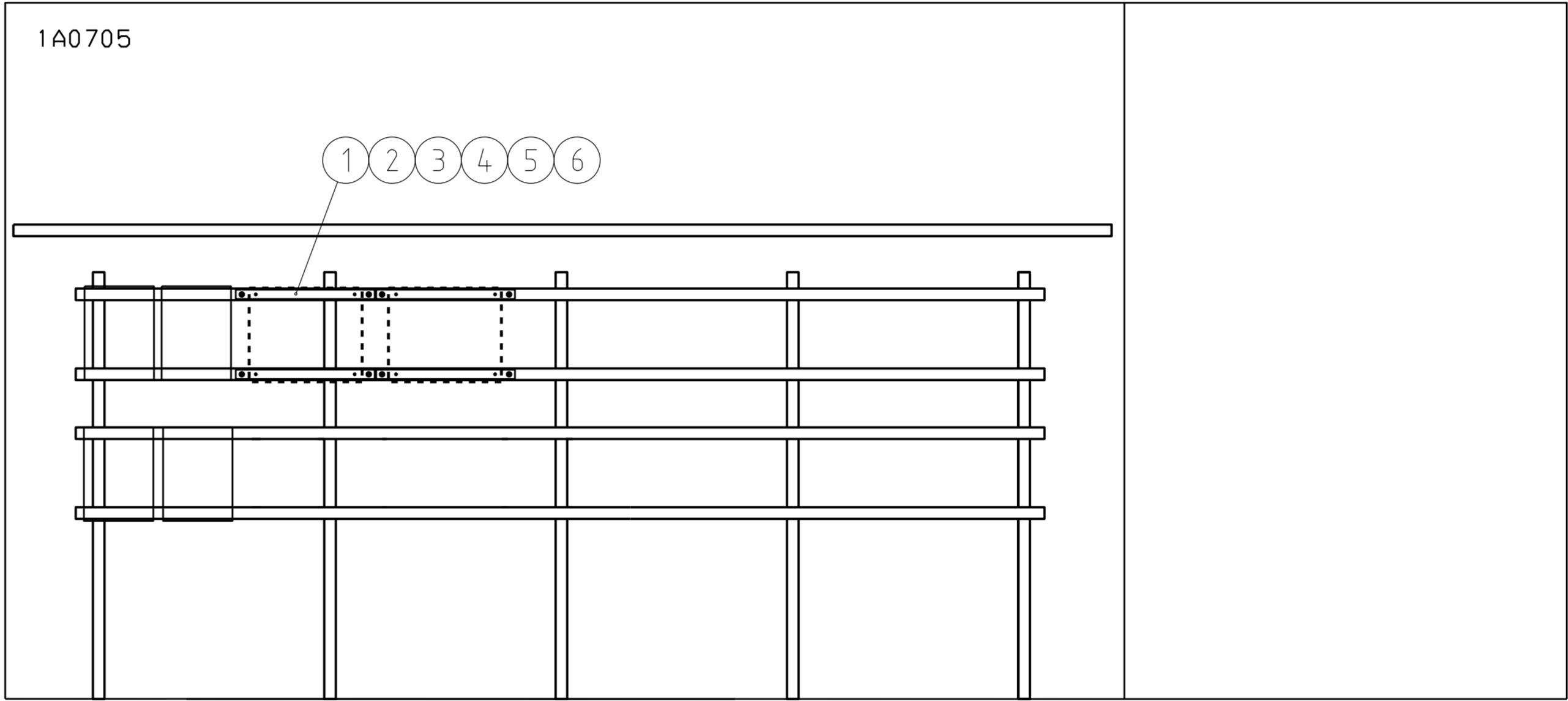
Kiila-ankkurit:  
 - Poraus ø12, syvyys 80  
 - Kiristysmomentti 20 Nm

Kokonaispaino = 23.5 kg

1	1	KOTELOTELIN		KLO 2 L01-6950-00004		23.5
Nr.	Määrä	Nimitys	Materiaali	Mitat, piir, std	Huom.	Paino
					Summitelppä/pvm	
					nousilau	04.04.14
KYTKENTÄKOTELOTELIN TILAAAN 1A0309 ASENNUSPIIRUSTUS					Tarkastaja	Vastuu-organisaatio
					Hyyt /pvm	
					Part	nousilau
Suhde	Taso	Koko	Lehtiä	Perustusnumero	(Kohde - osatunnus - numero / lehti)	Muutos
1:20				KLO2-L01-229-00010		M
Korvaa	Korvattu		Tiedosto		1A0309.dgn	



Käyttö-/suunnittelupaine	..... / .....	MPa
Käyttö-/suunnittelulämpötila	..... / .....	°C
Turvallisuusluokka	..... 3	
Hitsausluokka	.....	
Hitsausohje	.....	
Hitsaus- men./lisäaine	.....	
Hitsin silmämääräinen tarkastus	.....	%
Hitsin röntgenkuvaus	.....	%
Hitsin ultraäänitark.	.....	%
Paine-/tiiveyskoe	.....	MPa
Pintakäsittely (valmistus)	.....	
Pintakäsittely (kenttä)	.....	
Värisävy	.....	
Toleranssit	..... EN ISO 2768-m	
QC-kaaviot	..... Materiaali <input type="checkbox"/> Valmistus/asennus <input checked="" type="checkbox"/>	

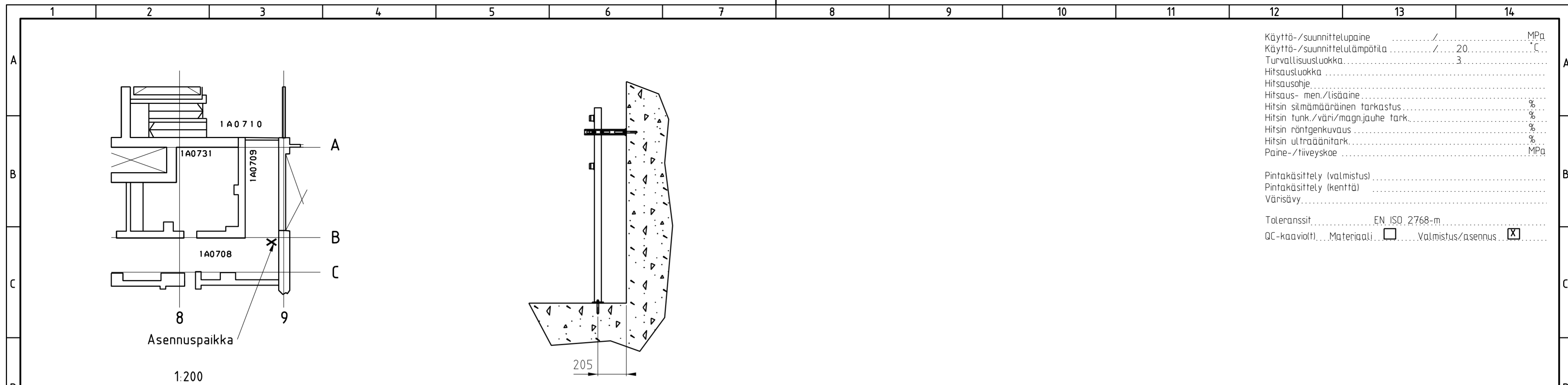


A - A

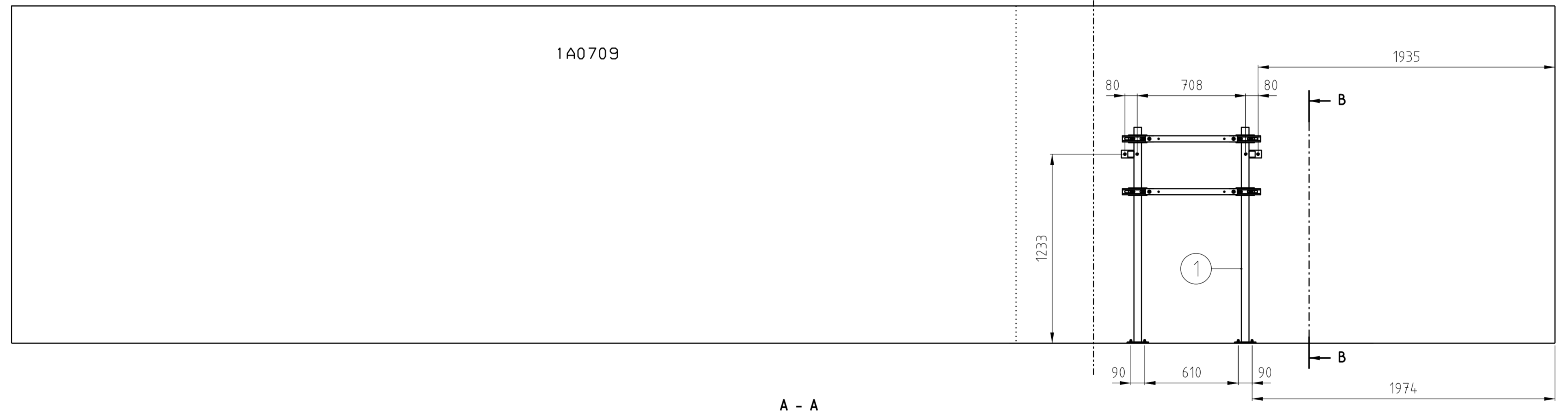
Kokoonpano soveltuvin osin kuten  
piirustuksessa KLO 2 L01 6950-00007

Kokonaispaino = 7.6 kg

Nr.	Määrä	Nimitys	Materiaali	Mitat, piir, std	Huom.	Paino
6	8	ALUSLAATTA 10	A4		ISO 7089	0.00
5	8	SIIPIMUTTERI M10	A4		HILTI	0.00
4	8	KUUSIORUUVI M10x20	A4		ISO 8676	0.00
3	8	KUUSIOMUTTERI M8	A4	LUKITTUVA	DIN 985	0.00
2	16	ALUSLAATTA 8	A4		ISO 7089	0.00
1	4	VÄLIKIINNIKE		KLO 3 L01-6950-00001		1.9
Summitilpa/pym						
nousilau						04.04.14
Otsikko					Tarkastaja	Vastuu-organisaatio
KYTKENTÄKOTELOTELINE TILAAAN 1A0705					Hyt /pym	
ASENNUSPIIRUSTUS					Part	nousilau
Suhde	Taso	Koko	Lehti	Perustusnumero	(Kohde - asialue - numero / lehti)	Muutos
1:20				KLO2-L01-229-00011		M
Korvaa				Korvattu	Tiedosto	1A0331_1A0332_1A0309.dgn



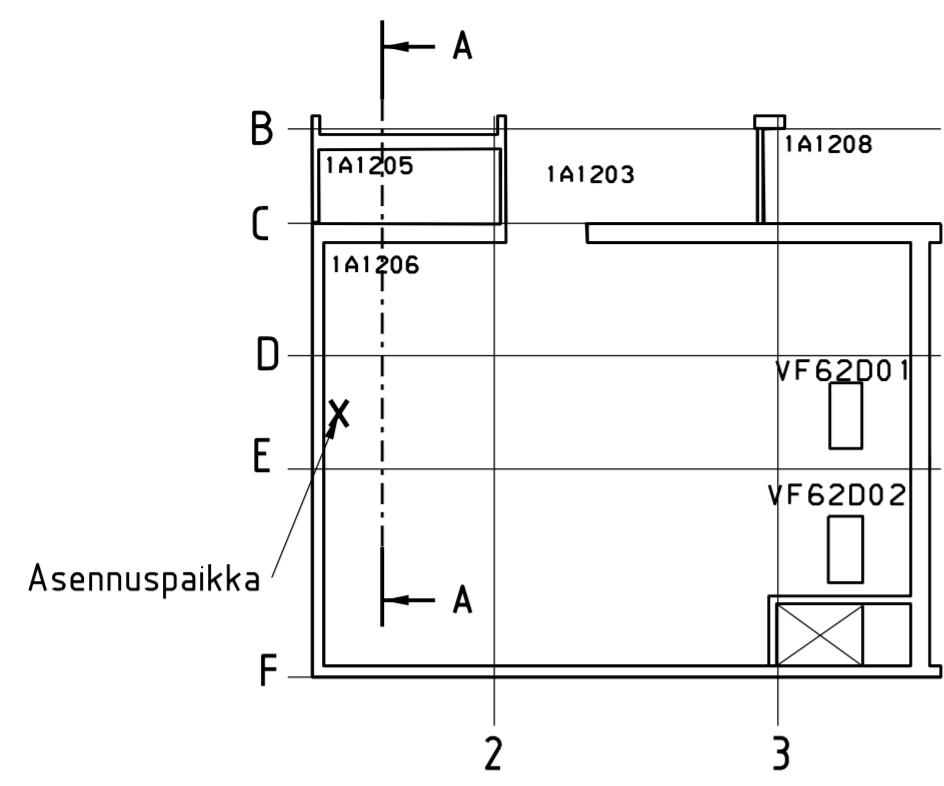
Käyttö-/suunnittelupaine	..... / .....	MPa
Käyttö-/suunnittelulämpötila	..... / .....	°C
Turvallisuusluokka	.....	3
Hitsausluokka	.....	
Hitsausohje	.....	
Hitsaus- men./lisäaine	.....	
Hitsin silmämääräinen tarkastus	.....	%
Hitsin tunk./väri/magnjauhe tark.	.....	%
Hitsin röntgenkuvaus	.....	%
Hitsin ultraäänitark.	.....	%
Paine-/tiiveyskoe	.....	MPa
Pintakäsittely (valmistus)	.....	
Pintakäsittely (kenttä)	.....	
Värisävy	.....	
Toleranssit	..... EN ISO 2768-m	
QC-kaaviot	Materiaali <input type="checkbox"/> Valmistus/asennus <input checked="" type="checkbox"/>	



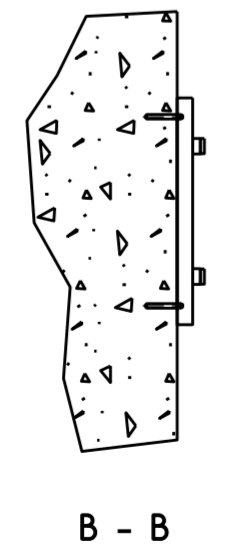
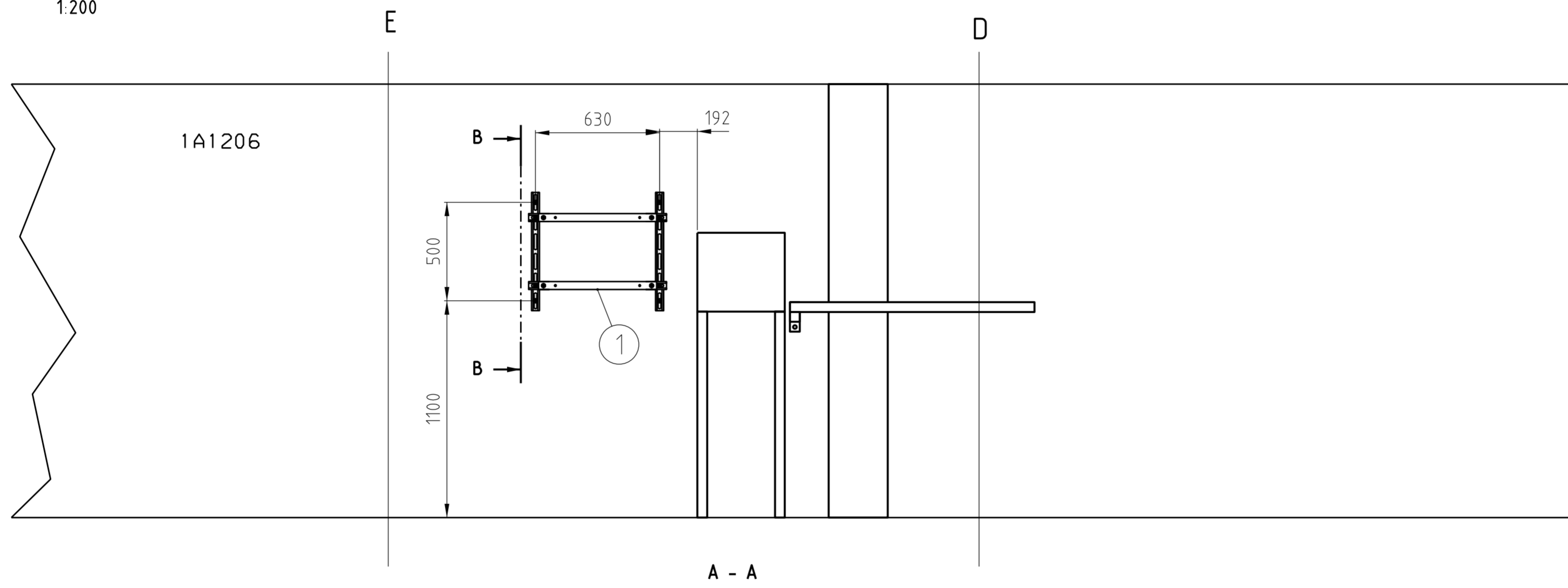
Kiila-ankkurit:  
- Poraus ø12, syvyys 80  
- Kiristysmomentti 20 Nm

Kokonaispaino = 23.5 kg					
1	1	KOTELOTELINE		KLO 2 L01-6950-00004	23.5
Nr.	Määrä	Nimitys	Materiaali	Mitat, piir, std	Huom.
					nousilau 04.04.14
Otsikko				Tarkastaja	Vastuu-organisaatio
KYTKENTÄKOTELOTELINE TILAAAN 1A0709				Hyt / ppm	
ASENNUSPIIRUSTUS				Part	nousilau
Skala	Taso	Koko	Lehti	Perustusnumero	Kehide - asiallisuus - numero / lehti
1:20				KLO2-L01-229-00012	Muutos M
Korvaa		Korvattu		Tiedosto	1A0331_1A0332_1A0309.dgn



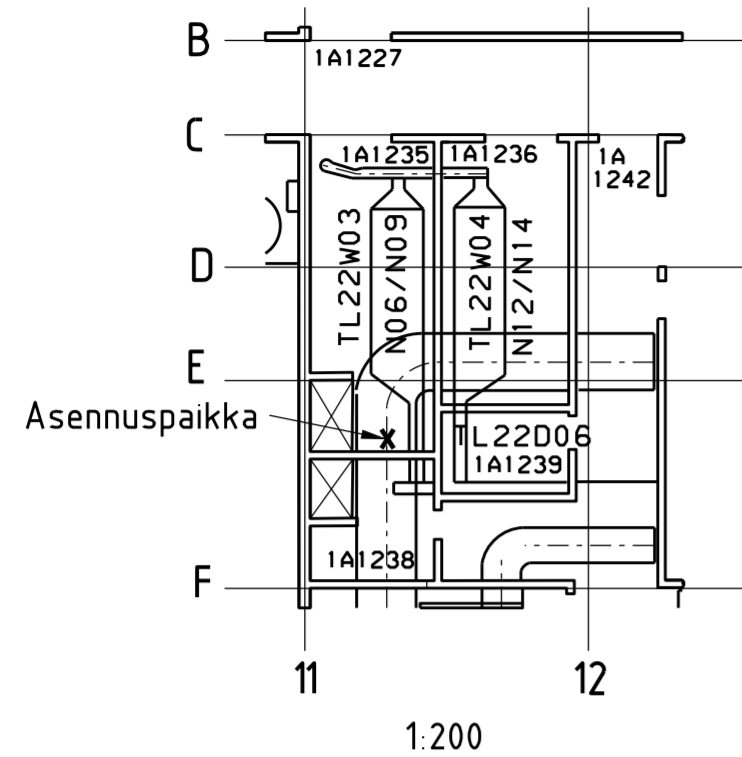


Käyttö-/suunnittelupaine	..... / .....	MPa
Käyttö-/suunnittelulämpötila	..... / .....	°C
Turvallisuusluokka	.....	3
Hitsausluokka	.....	
Hitsausohje	.....	
Hitsaus- men./lisäaine	.....	
Hitsin silmäääräinen tarkastus	.....	%
Hitsin tunk./väri/magnjauhe tark.	.....	%
Hitsin röntgenkuvaus	.....	%
Hitsin ultraäänitark.	.....	%
Paine-/tiivetysoike	.....	MPa
Pintakäsittely (valmistus)	.....	
Pintakäsittely (kenttä)	.....	
Värisävy	.....	
Toleranssit	..... EN ISO 2768-m	
QC-kaaviot	..... Materiaali <input type="checkbox"/> Valmistus/asennus <input checked="" type="checkbox"/>	



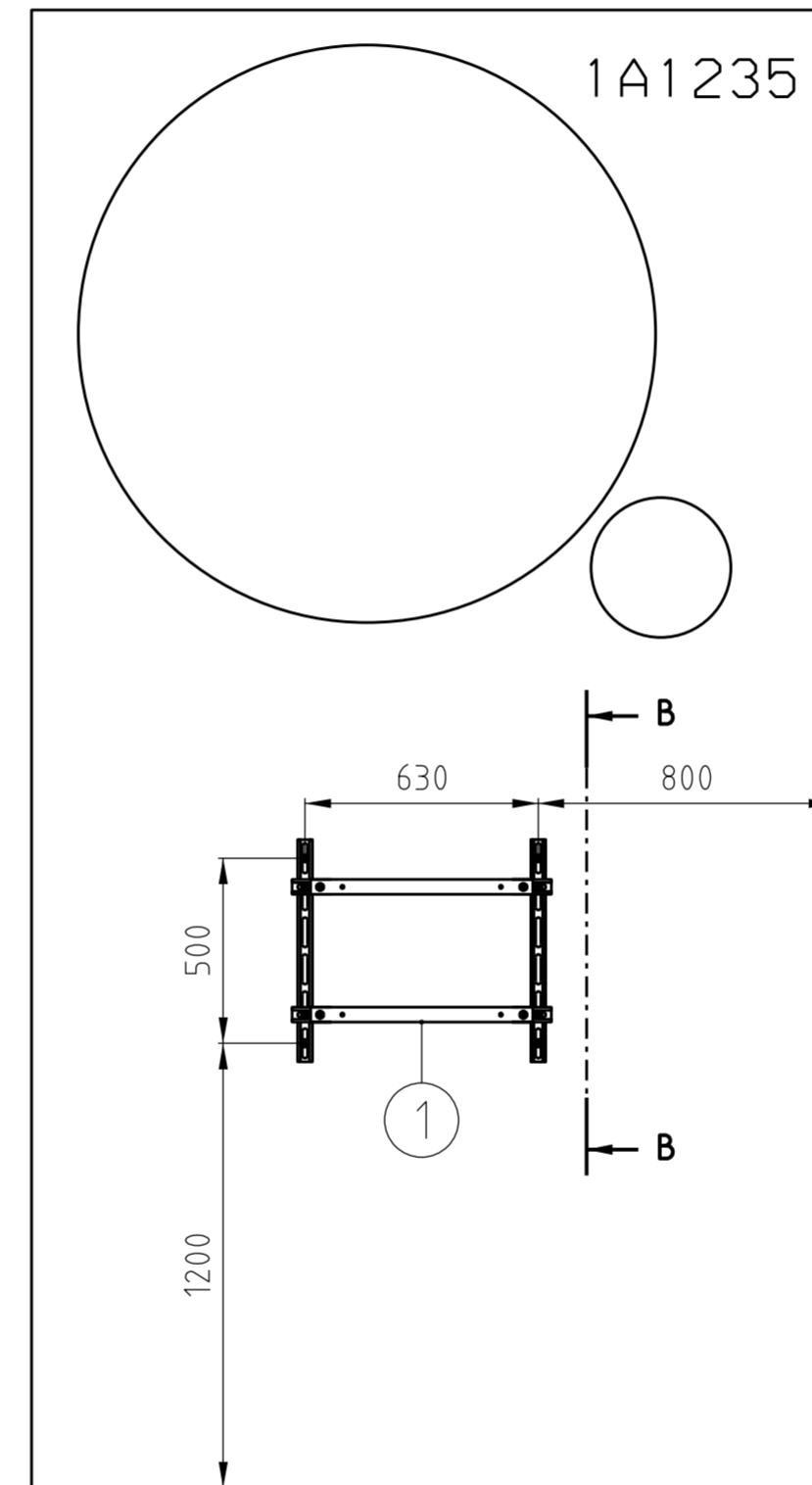
Kiila-ankkurit:  
 - Poraus  $\varnothing 12$ , syvyys 80  
 - Kiristysmomentti 20 Nm

Kokonaispaino = 8.7 kg					
1	1	KOTELOTELINE		KLO 2 L01-6950-00007	8.7
Nr.	Määrä	Nimitys	Materiaali	Mitat, piir, std	Huom.
					nousilau 04.04.14
Otsikko				Tarkastaja	Vastuu-organisaatio
KYTKENTÄKOTELOTELINE TILAAAN 1A1206				Hyy / ppm	
ASENNUSPIIRUSTUS				Part	nousilau
Suhde	Taso	Koko	Lehtiä	Perustusnumero (Kohde - osaluokitus - numero / lehti)	Muutos
1:20				KLO2-L01-229-00013	M
Korvaa		Korvattu		Tiedosto	1A0331_1A0332_1A0309.dgn



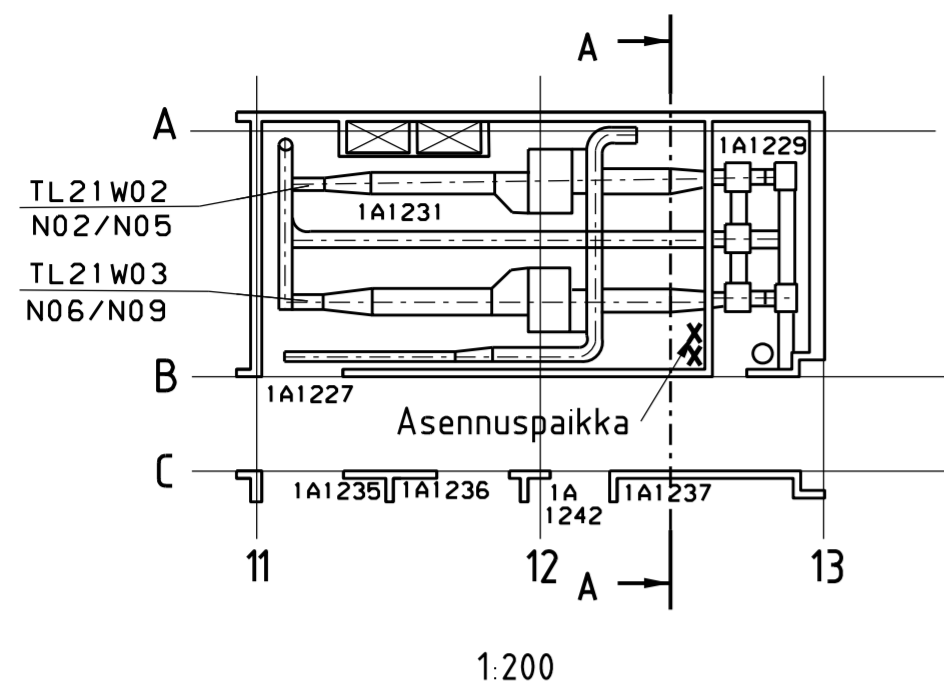
Käyttö-/suunnittelupaine	..... / .....	MPa
Käyttö-/suunnittelulämpötila	..... / .....	°C
Turvallisuusluokka	.....	3
Hitsausluokka	.....	
Hitsausohje	.....	
Hitsaus- men./lisäaine	.....	
Hitsin silmäääräinen tarkastus	.....	%
Hitsin tunk./väri/magnjauhe tark.	.....	%
Hitsin röntgenkuvaus	.....	%
Hitsin ultraäänitark.	.....	%
Paine-/tiiveyskoe	.....	MPa

Pintakäsittely (valmistus)	.....
Pintakäsittely (kenttä)	.....
Värisävy	.....
Toleranssit	..... EN ISO 2768-m
QC-kaaviot	..... Materiaali <input type="checkbox"/> Valmistus/asennus <input checked="" type="checkbox"/>

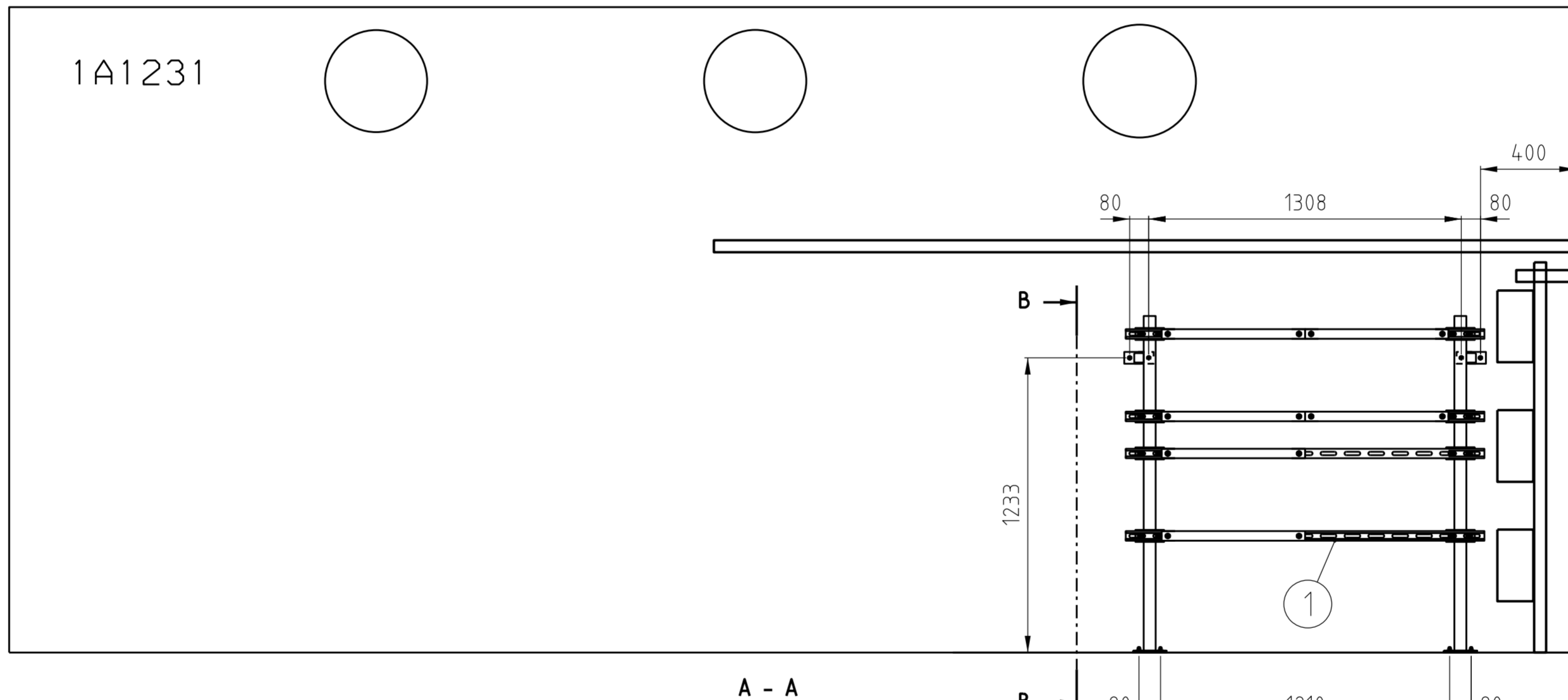


Kiila-ankkurit:  
- Poraus ø12, syvyys 80  
- Kiristysmomentti 20 Nm

Kokonaispaino = 8.7 kg					
1	1	KOTELOTELINE		KLO 2 L01-6950-00007	8.7
Nr.	Määrä	Nimitys	Materiaali	Mitat, piir, std	Huom.
					nousilau 04.04.14
Otsikko				Tarkastaja	Vastuu-organisaatio
KYTKENTÄKOTELOTELINE TILAAAN 1A1235				Hyy / ppm	
ASENNUSPIIRUSTUS				Part	nousilau
Skala	Taso	Koko	Lehti	Perustusnumero (Kohde - osatunnus - numero / lehti)	Muutos
1:20				KLO2-L01-229-00014	M
Korvaa			Korvattu	Tiedosto	
				1A0331_1A0332_1A0309.dgn	



Käyttö-/suunnittelupaine	..... / .....	MPa
Käyttö-/suunnittelulämpötila	..... / .....	°C
Turvallisuusluokka	.....	3
Hitsausluokka	.....	
Hitsausohje	.....	
Hitsaus- men./lisäaine	.....	
Hitsin silmäääräinen tarkastus	.....	%
Hitsin tunk./väri/magnjauhe tark.	.....	%
Hitsin röntgenkuvaus	.....	%
Hitsin ultraäänitark.	.....	%
Paine-/tiiveyskoe	.....	MPa
Pintakäsittely (valmistus) .....		
Pintakäsittely (kenttä) .....		
Värisävy .....		
Toleranssit .....		
EN ISO 2768-m		
QC-kaaviot	Materiaali	<input type="checkbox"/>
	Valmistus/asennus	<input checked="" type="checkbox"/>

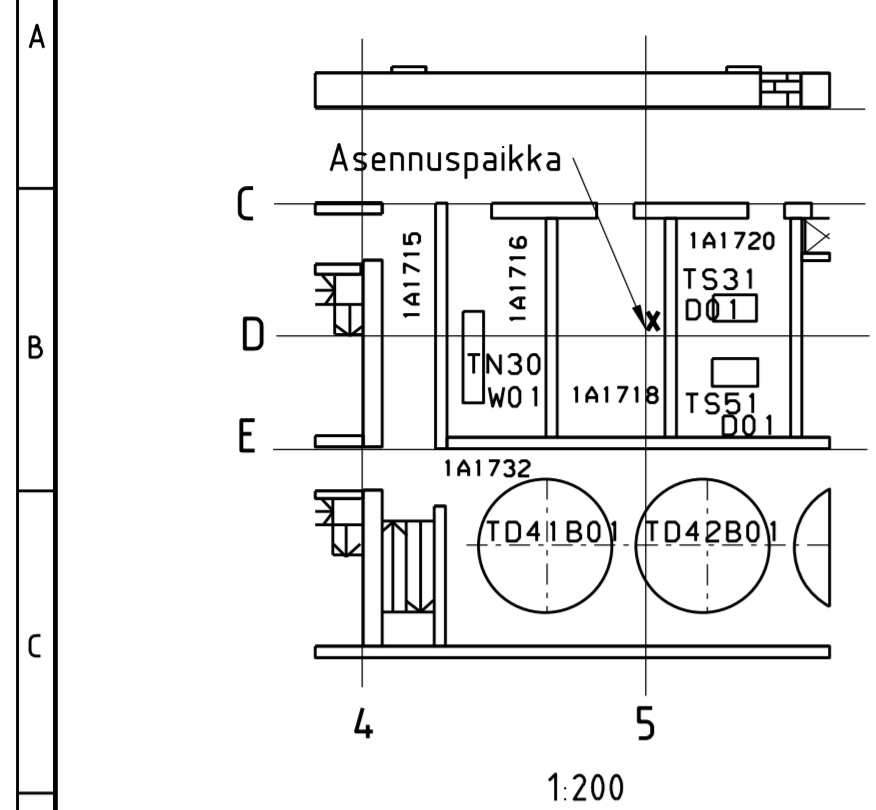


Kiila-ankkurit:  
 - Poraus  $\varnothing 12$ , syvyys 80  
 - Kiristysmomentti 20 Nm

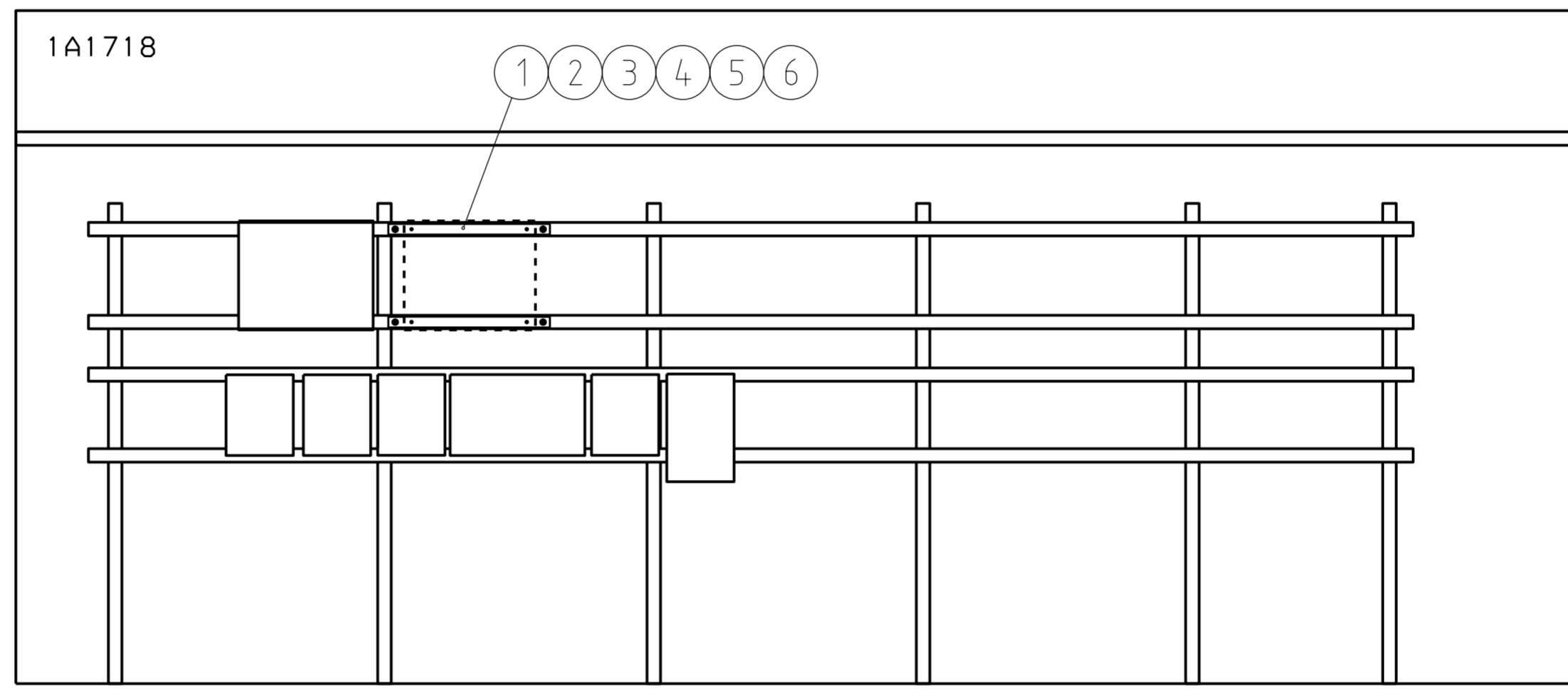
Kokonaispaino = 40.9 kg

1	1	KOTELOTELINE		KLO 2 L01-6950-00006		40.9
Nr.	Määrä	Nimitys	Materiaali	Mitat, piir, std	Huom.	Paino
					Suunnitelma/pvm nousilau	04.04.14
Ostaja					Tarkastaja	Vastuu-organisaatio
					Hyy / pvm	
KYTKENTÄKOTELOTELINE TILAAN 1A1231 ASENNUSPIIRUSTUS					Parti	nousilau
Suhde	Taso	Koko	Lehtiä	Perustusnumero	(Kohde - osaluettelo - numero / lehti)	Muutos
1:20				KLO2-L01-229-00015		M
Korvaa		Korvattu		Tiedosto	1A1231	

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14



Käyttö-/suunnittelupaine	..... / .....	MPa
Käyttö-/suunnittelulämpötila	..... / .....	°C
Turvallisuusluokka	.....	3
Hitsausluokka	.....	
Hitsausohje	.....	
Hitsaus- men./lisäaine	.....	
Hitsin silmämääräinen tarkastus	.....	%
Hitsin tunk./väri/magnjauhe tark.	.....	%
Hitsin röntgenkuvaus	.....	%
Hitsin ultraäänitark.	.....	%
Paine-/tiiveyskoe	.....	MPa
Pintakäsittely (valmistus)	.....	
Pintakäsittely (kenttä)	.....	
Värisävy	.....	
Toleranssit	..... EN ISO 2768-m	
QC-kaaviot	Materiaali <input type="checkbox"/> Valmistus/asennus <input checked="" type="checkbox"/>	



A - A

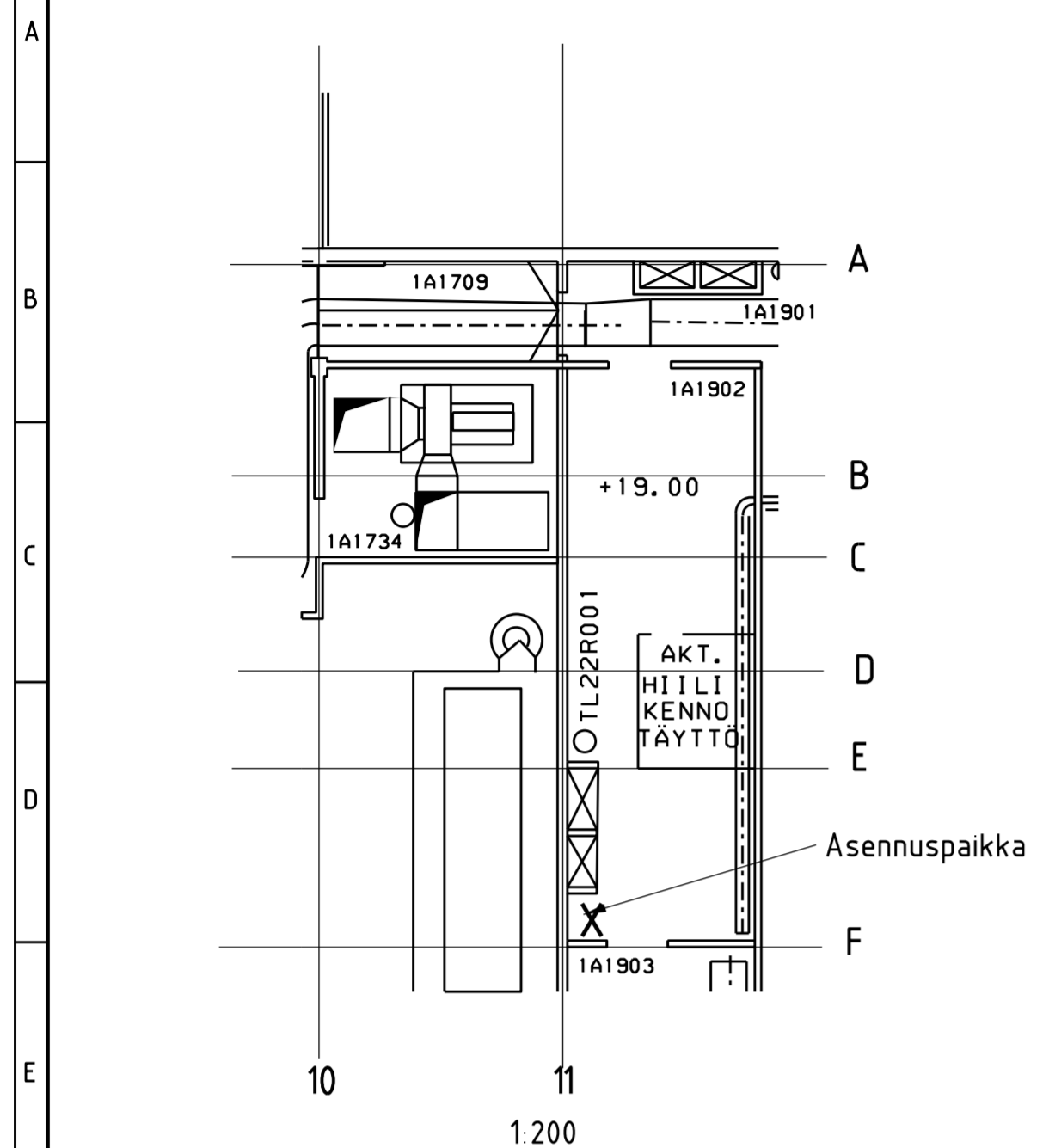
Kokoonpano soveltuvin osin kuten  
piirustuksessa KLO 2 L01 6950-00007

Kokonaispaino = 3.8 kg

6	4	ALUSLAATTA 10	A4		ISO 7089	0.00
5	4	SIIPIMUTTERI M10	A4		HILTI	0.00
4	4	KUUSIORUUVI M10x20	A4		ISO 8676	0.00
3	4	KUUSIMUTTERI M8	A4	LUKITTUVA	DIN 985	0.00
2	8	ALUSLAATTA 8	A4		ISO 7089	0.00
1	2	VÄLIKIINNIKE		KLO 3 L01-6950-00001		1.9
Nr.	Määrä	Nimitys	Materiaali	Mitat, piir, std	Huom.	Paino
					Suunnitelma/pvm	
					nousilau	04.04.14
Otsikko					Tarkastaja	Vastuu-organisaatio
KYTKENTÄKOTELOTELINE TILAAAN 1A1718					Hyy /pvm	
ASENNUSPIIRUSTUS					Part	nousilau
Suhde	Taso	Koko	Lehti	Perustusnumero	Kohde - asialue - numero / lehti	Muutos
1:20				KLO2-L01-229-00016		M
Korvaa	Korvattu	Tiedosto	1A0331_1A0332_1A0309.dgn			

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

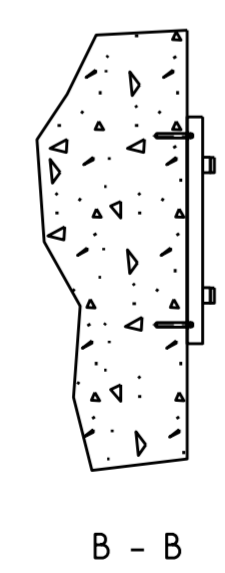
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14



Käyttö-/suunnittelupaine	..... / .....	MPa
Käyttö-/suunnittelulämpötila	..... / .....	°C
Turvallisuusluokka	.....	3
Hitsausluokka	.....	
Hitsausohje	.....	
Hitsaus- men./lisäaine	.....	
Hitsin silmämääräinen tarkastus	.....	%
Hitsin tunk./väri/magnjauhe tark.	.....	%
Hitsin röntgenkuvaus	.....	%
Hitsin ultraäänitark.	.....	%
Paine-/tiiveyskoe	.....	MPa
Pintakäsittely (valmistus) .....		
Pintakäsittely (kenttä) .....		
Värisävy .....		
Toleranssit	..... EN ISO 2768-m	
QC-kaaviot	Materiaali <input type="checkbox"/> Valmistus/asennus <input checked="" type="checkbox"/>	



A - A



B - B

Kiila-ankkurit:  
- Poraus ø12, syvyys 80  
- Kiristysmomentti 20 Nm

Kokonaispaino = 8.7 kg						
1	1	KOTELOTELINE		KLO 2 L01-6950-00007	8.7	
Nr.	Määrä	Nimitys	Materiaali	Mitat, piir, std	Huom.	
					nousilau 04.04.14	
Otsikko					Tarkastaja	Vastuu-organisaatio
KYTKENTÄKOTELOTELINE TILAAN 1A1902					Hyt /pym	
ASENNUSPIRUSTUS					Part	nousilau
Suhde	Taso	Koko	Lehtia	Perustusnumero (Kohde - osaluokitus - numero / lehti)	Muutos	
1:20				KL02-L01-229-00017	M	
Korvaa		Korvattu		Tiedosto	1A0331_1A0332_1A0309.dgn	