

Teräksinen tarkastuskuilu

Esisuunnittelu ja tarjouskyselypiirustukset

Petri Kesälahti

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka
Konetekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä	Petri Kesälahti	Vuosi	2015
Ohjaaja	Ari Pikkarainen		
Toimeksiantaja	Hannu Vittaniemi		
Työn nimi	Teräksinen tarkastuskuilu		
Sivu- ja liitemäärä	59 + 13		

Opinnäytetyön tavoitteena oli esisuunnitella teräksestä valmistettava vaihtoehto raskaan ajoneuvokaluston katsastustoiminnassa tarvittavalle perinteiselle betoniselle tarkastuskuilulle. Vaihtoehtoisella rakennemuodolla on tarkoitus nopeuttaa uuden katsastustoiminnassa tarvittavan tarkastushallin kokonaisrakennus aikataulua.

Suunniteltava rakenne on valmistettavissa toisaalla, riippumatta itse varsinaisesta rakennuskohteesta, näin ollen sen valmistuttaminen on kilpailutettavissa sekä valmistettavissa myös mahdollisesti ulkomailla. Siirrettävyyden vuoksi suunnittelussa on huomioitu rakenteen kuljetettavuus ajoneuvoyhdistelmällä normaalina tieliikennekuljetuksena.

Suunnittelutyön tuloksena on laadittu tarjouskyselyyn soveltuvat työpiirustukset. Rakenne on mallinnettu ensin 3D-mallina, jonka pohjalta työpiirustukset on toteutettu. Koska kyseessä on terärakenne, on suunnittelussa perehdytty 1.7.2014 siirtymäajan päätyttyä voimaan tulleisiin teräsrakentamistakin koskeviin harmonisoituihin hEN - tuotestandardeihin.

Kyseisiä standardeja on noudatettu ohjaavina rakenteen suunnittelussa. Tämän työn laajuuden puitteissa ei ollut kuitenkaan mahdollista edetä kyseisten standardien vaatimien dokumentointien suhteen. Myös Lapin AMK: n osalta eletään työn tekemisen aikaan vielä siirtymäkautta standardien kohdalla, mikä omalta osaltaan rajoitti niiden perusteellista noudattamista.

Suunnittelu on pyritty kuitenkin toteuttamaan siten, että myöhemmin jatkosuunnittelu tarpeen niin mahdollisesti vaatiessa, työtä pystytään jatkamaan standardien osalta ilman niihin liittyviä suurempia muutoksia.

Avainsanat teräsrakenteet, suunnittelu, 3D- mallinnus,
eurokoodit, tarkastus, ajoneuvoyhdistelmät,

Industry and Natural Resources
Mechanical and Production Engineering

Author	Petri Kesälahti	Year	2015
Supervisor(s)	Ari Pikkarainen		
Commissioned by	Hannu Vittaniemi		
Subject of thesis	Pre- Fabricated Steel Inspection Pit		
Number of pages	59 + 13		

The objective of this thesis was to predesign an alternative steel framed option for a traditional concrete inspection pit used in inspecting heavy-duty vehicles. The alternative form of the structure is intended to accelerate the total construction schedule of the new inspection hall required by the Ministry of Transport and Communication.

The designed structure can be manufactured in another place despite the actual building place itself. The manufacturer is possible to be invited to tender for the design and it can also be manufactured abroad. Because of transferability the design takes account of the structure of the vehicle so that it can be moved by an articulated vehicle in the normal road traffic.

As a result of the design the applicable workshop drawings were drawn up for the request of quotation. The structure is first 3D modeled, which was implemented on the basis of the technical drawings. Being a steel structure the design also takes account of the hEN product standards of steel construction that took effect after the transitional period of 1 July 2014.

These standards have been directional in the structure design. However, due to the scope of this wide study it was not possible to make progress in terms of offering documentation required by these standards. Lapland University of Applied Sciences is still in the transitional period as to these standards. So this had a limited impact on this study.

The design was aimed at being implemented so that a possible extension design can be carried out considering the standards without making major adjustments.

Key words steel structures, design, 3D modeling, eurocodes, inspection, articulated vehicles

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
1.1	Suunnittelun lähtötiedot	10
1.2	Aiheen rajaukset	11
2	TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY	12
2.1	Toimialan kuvaus	12
2.2	Toimintakapasiteetti	13
3	SUUNNITTELUTYÖN POHJALLA OLEVA TEORIA	14
3.1	Teräs	14
3.1.1	Teräsrakentamisen historiaa	15
3.1.2	Rakenneteräket	17
3.1.3	Rakenneterästen merkintä	18
3.2	Teräsrakentamista koskevat standardit	19
3.2.1	Standardit SFS-EN 1090-1+A1 ja SFS-EN 1090-2+A1	20
3.2.2	Eurokoodi 3	22
3.3	Ce- merkintä	23
3.4	Työturvallisuus	24
3.5	Konstruktiosuunnittelu	25
3.6	CAD- suunnittelu	27
3.7	Lujuuslaskenta	28
4	TARKASTUSKUILUN LUONNOSTELU	30
4.1	Rasitukset ja kuormitukset	30
4.2	Rakenteelliset vaatimukset sekä valmistettavuus	31
4.3	Standardien ja työsuojeluehtojen huomioiminen	32
5	OSARAKENTEET	34
6	RAKENNEKUVAUS	36
7	LASKELMAT	39
7.1	Pistekuormitus	39
7.2	Laskenta parametrit	40
7.3	Ajotasanteet ja kevenin	42
7.4	Jarru- ja välystesterin koteloinnit	43
7.5	Portaiden mitoitus	45
7.6	Pohjarakenne	46

8 PINTAKÄSITTELY	48
9 SUUNTAA ANTAVA KUSTANNUSARVIO	50
10 JÄLJELLE JÄÄNEET TOIMENPITEET	52
10.1 Lisäsuunnittelu	52
10.2 Dokumentaatiot	53
11 POHDINTA	54
LÄHTEET	56
LIITTEET	59

ALKUSANAT

Opinnäytetyö on tehty Paattion autokatsastus Oy:lle Hannu Vittaniemen toimeksiantona. Hannulle kiitokset mielenkiintoisen ja haastavan opinnäytetyöaiheen tarjoamisesta, neuvoista sekä osallisuudesta rakenteen suunnittelussa tarvittujen lisätietojen hankkimisessa.

Työn ohjaajana toimi Lapin ammattikorkeakoulun puolelta Ari Pikkarainen. Hänelle kiitokset opastuksesta ja erittäin arvokkaista neuvoista työn suorittamisen yhteydessä.

Haluan esittää kiitokset myös läheisilleni ja kaikille niille, jotka työn etenemisen aikana ovat jaksaneet kannustaa ja olla ymmärtäväisiä työn suorittamisen suhteen.

”Pyri tekemään kunnolla loppuun asti se, minkä olet aloittanutkin” on kotoani aikoinaan saatu kommentti, joka on myös omalta osaltaan avittanut työn suorittamista. Kiitokset siis sinnekin suuntaan varhaisesta opastuksesta.

Keminmaassa 6.5.2015

Petri Kesälahti

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

CAD	Computer Aided Design (Tietokoneavusteinen suunnittelu)
CEN	European Committee for Standardization (Eurooppalainen standardoimisjärjestö)
EN	European Standard (Eurooppalainen standardi)
EU	European Union (Euroopan unioni)
FEM	Finite Element Method (Tietokoneavusteinen elementti menetelmä lujuuslaskentaohjelma)
hEN	Harmonised European Standards (Harmonisoitu tuote standardi)
ISO	International Organization for Standardization (Kansainvälinen standardoimisjärjestö)
SFS	Suomen Standardoimisliitto SFS ry
3D	3D Computer Aided Design (Tietokoneavusteinen kolmiulotteinen suunnittelu)

1 JOHDANTO

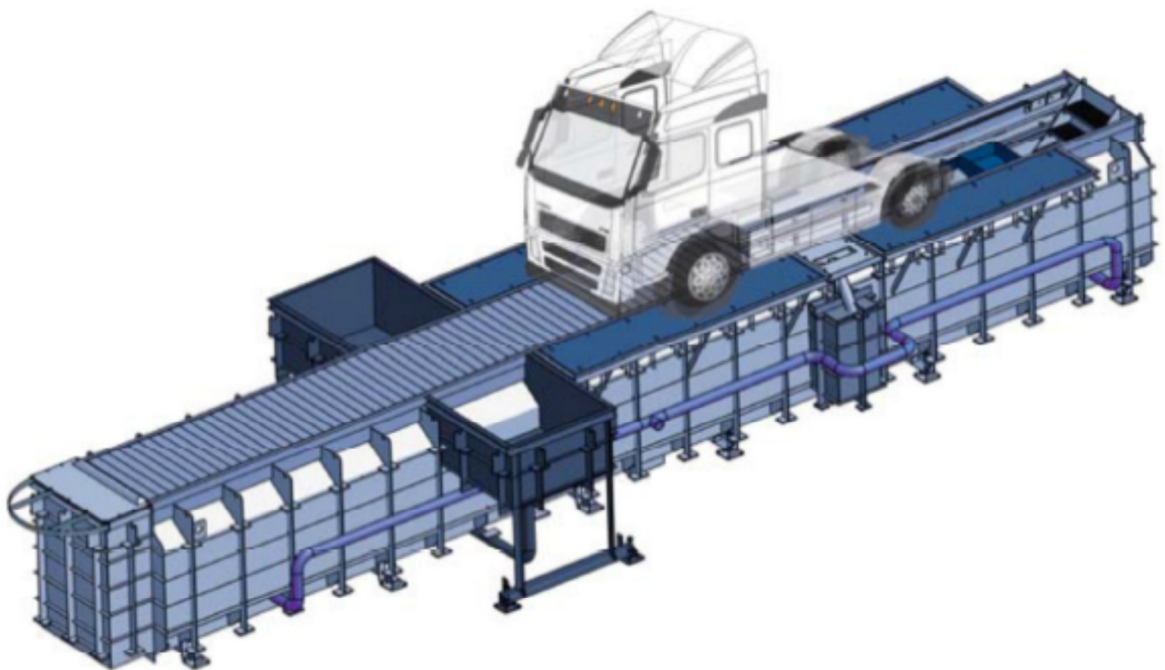
Opinnäytetyön aiheena on esisuunnitella teräksestä valmistettava tarkastuskuilu. Tarkastuskuilua on tarkoitus käyttää katsastustoiminnan yhteydessä raskaan ajoneuvokaluston kunnon määrittämiseen. Tavallisesti kyseiset rakenteet valmistetaan betonista valamalla hallin rakentamisen yhteydessä. Tämän kaltainen valmistaminen vie noin 1 ½ kuukautta kokonaisrakennusaikataulusta. Tästä johtuen työn toimeksiantajalla on mielenkiinto selvittää vaihtoehtoisia ratkaisua perinteisen valmistustavan rinnalle.

Toimeksiantajana työlle toimii Paattion Autokatsastus Oy:n toimitusjohtaja Hannu Vittaniemi. Idean työlle hän on saanut toimialaansa liittyvillä messuilla, missä vastaavankaltainen rakenne oli esiteltävänä. Mahdollisen uuden hallin rakentamisen ajankohdan lähestyessä, halusi hän kartoittaa vaihtoehtoa teräksisen tarkastuskuilun valmistuttamisesta. Tämän myötä hän tarjosi suunnittelutyötä opinnäytetyönä suoritettavaksi.

Työn valvovana opettajana toimi Lapin AMK:n lehtori Ari Pikkarainen. Suunnittelutyön edetessä on pidetty säännöllisesti palavereja hänen kanssaan. Palaverissa on käyty läpi suunnittelun edetessä, niin eri vaihtoehtojen soveltamisia kuin ongelmakohtien ratkaisuja. Toimeksiantajan puolesta yhdyshenkilönä toimi Hannu Vittaniemi. Hänen kanssaan on myös pidetty tiiviisti yhteyttä työtä suoritettaessa. Työn edetessä häneltä on kysytty mielipiteitä ja hyväksyntöjä suunnitelluille ratkaisuille, sekä neuvoa hänen alaansa liittyvissä kysymyksissä suunniteltavaa rakennetta koskien.

Suunnittelutyön tarkoituksena on esisuunnitella ja laatia tarjouskyselyyn soveltuvat työpiirustukset lähtötietoina annetun kaltaiselle tarkastuskuilu rakenteelle. Rakenne tulisi olemaan valmis komponentti, joka asennetaan valmiina tuotteena osaksi uutta katsastustoimintaan tarkoitettua hallirakennetta sen rakentamisen yhteydessä. Valmistusmateriaalina tulisi olemaan teräs, jonka johdosta kuilu pystyttäisiin näin ollen valmistuttamaan tarvittaessa hyvissä ajoin, jo ennen varsinaisen rakennustoiminnan aloittamista riippumatta itse rakennuspaikasta.

Suomessa vastaavanlaisia rakennelmia ei ole suoranaisesti markkinoilla. Asennettuna vastaavanlaisia tuotteita Suomesta löytyy tiettävästi vain yksi (Vittanie-
mi 2015). Lähimmät vastaavankaltaisten tuotteiden valmistajat löytyvät EU:n
alueelta. Näiden valmistajien tuotteita on tarkoitettu käytettäväksi, niin uudisra-
kentamisen yhteydessä kuin saneerauskohteissakin. Esimerkkinä INGTOP
METAL nimisen yrityksen vastaava tuote (Kuva 1). Tämäkään tuote, kuten
useimmat muut markkinoilla olevista vastaavanlaisista tuotteista eivät tietyin
ominaisuuksin vastaa kuitenkaan täysin toimeksiantajan tarpeita. (Ingtop Metal
2015.)

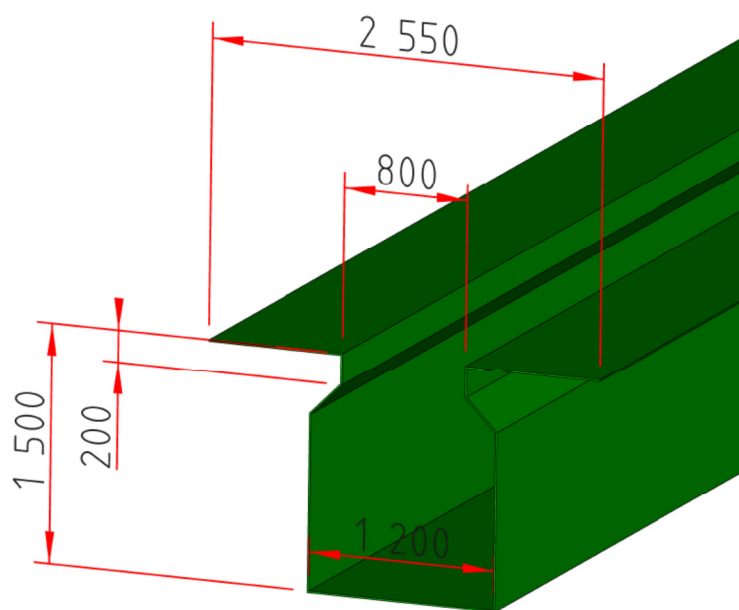


Kuva 1. Tarkastuskuilu (Ingtop Metal.)

1.1 Suunnittelun lähtötiedot

Työssä suunniteltavan tarkastuskuilun valmistusmateriaaliksi on määritelty teräs. Rakenteeltaan tarkastuskuilun tulee olla valmistuttuaan tieliikenteessä normaalisti raskaalla ajoneuvoyhdistelmällä asennuspaikalle kuljetettavissa. Suunniteltavassa rakenteessa tulee olla asennusvalmiudet suoraan integroitavissa oleville katsastustoiminnassa välttämättömille valmiskomponenteille: jarru- ja välysterille, akselinkeventimelle sekä näihin liittyville käyttökoneikoille ja järjestelmille. Kyseisistä komponenteista on toimeksiantajan toimesta hankittu asennusmittapiirustukset. Rakenteessa tulee myös olla kiinteät sivuilla olevat ajotasot koko pituudeltaan ajotasoritilöillä suojattuna sekä näiden alla poistovesikaukalot. Rakenteen pohjalla työskentelytason alla tulee olla myös poistovesikaukalointo.

Rakenteelle on toimeksiannon myötä määritetty sen muotoon ja pituuksiin liittyen ohjeistuksia (Liite 1). Määrittelyt koskevat rakenteen sisäosan profiilin muotoa ja sen päämittoja (Kuva 2). Rakenteen kokonaispituus sekä siihen sijoitettavien komponenttien väliset etäisyydet ovat ohjeistettu toimeksiannon myötä. Rakenteen kokonaispituuden johdosta tarkastuskuilu tulisi kuljetettavuuden vuoksi suunnitella kahdesta puoliskosta koostuvaksi. Puoliskot tulisi olla asennuspaikalla yhdeksi rakennekokonaisuudeksi liitettävissä.



Kuva 2. Luonnos rakenteelle annetuista profiilin ohjeistusmitoista (mitat mm)

1.2 Aiheen rajaukset

Suunnittelu toteutetaan toimeksiantajan antamien lähtötietojen pohjalta. Tarkastuskuilun suunnittelussa noudatetaan nykyisiä voimassa olevia teräsrakenteita koskevia teknisiä säännöksiä. Uusien teräsrakentamista koskevien standardien vuoksi työtä on jouduttu rajaamaan tietyiltä osiltaan. Ulkopuolelle rajataan nykyisin teräsrakennesuunnitteluun kuuluvat toteutuseritelmän laatiminen sekä siihen liittyvät oheisdokumentit. Tämä siitä syystä, koska uudet teräsrakenteita koskevat säädökset ovat olleet voimassa suhteellisen vähän aikaa, ja tästä syystä ne elävät vielä siirtymävaihetta Lapin Amk:n toiminnoissakin. Kyse on myös ajallisista resursseista, joita uuden menettelyn mukainen täydellinen suorittaminen vaatisi lisää, jolloin työ myös kasvaisi kohtuuttoman suureksi ammattikorkeakoulutason opinnäytetyöksi.

Suunnittelussa huomioidaan valmiskomponentit sekä niiden tarvitsemat oheislaitteistot ynm. komponenttien toimintaan liittyvät tekijät. Rakenne suunnitellaan annetuille komponenttimalleille soveltuvaksi. Komponenttien rakenteeseen kiinnitystä koskevat yksityiskohtaiset suunnittelut rajataan suoritettavaksi suunnittelutyön ulkopuolelle. Rakenteen käyttötarkoitukseen ja toimintaan liittyvät sähkö-, paineilma-, hydraulikka ja poistovesilinjat sekä niiden tarvitsemat läpiviennit huomioidaan suunnittelussa, mutta niiden tarkempi suunnittelu suljetaan myös suunnittelun ulkopuolelle. Teräksen ja betonin välinen liittorakenne, kuten myös tarkemmat rakenteen asennuskiinnitykset käyttökohteeseen eivät kuulu suoritettavan suunnittelun piiriin.

Esisuunnittelun pohjalta laadittavat piirustukset toteutetaan tarjouskyselyyn soveltuviksi vähintään sen mukaiset valmistus- sekä toleranssimitoitukset täyttäen. Suoritettavaan suunnitteluun sisältyvät tarvittavien laskelmien suorittaminen rakenteen toimivuuden varmistamiseksi. Asennukseen, käyttöönottoon ja huoltoon liittyvät dokumentit eivät liity suoritettavan työn sisältöön. Mikäli toimeksiantaja aikoo myöhemmin valmistuttaa nyt suunniteltavan rakenteen, jää hänen tehtäväksi viedä nyt suoritettava suunnittelutyö jatkosuunnitteluun, jossa edellä mainitut rajaukset otetaan tarvittaessa huomioon.

2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Paattion Autokatsastus Oy. Yritys on perustettu vuonna 2010 ja nykyiset toimipaikat sijaitsevat Kemissä ja Pellossa. Kemin kaksi toimipistettä työllistävät seitsemän henkilöä ja Pellon toimipiste yhden henkilön.

Hannu Vittaniemi toimii myös Katsastuspiste Suomi Oy:n toimitusjohtajana. Katsastuspiste Suomi Oy työllistää 25 henkilöä 11 toimipaikan verkostolla Pohjois-Suomen alueella. Liikevaihto oli Paattion Autokatsastus Oy:llä 800 000 euroa ja Katsastuspiste Suomi Oy:llä 1,8 milj. euroa vuonna 2014. (Vittaniemi 2015).

2.1 Toimialan kuvaus

Katsastustoiminta alkoi Suomen osalta Helsingissä vuonna 1907. Koko maan kattavaksi toiminta laajennettiin vuonna 1922. Katsastustoiminta liitettiin osaksi Ajoneuvorekisterikeskusta vuonna 1968, jonka myötä katsastustoiminnan organisaatorakenne koki suuria muutoksia. Suomen ensimmäinen varsinainen pelkkään katsastustoimintaan rakennettu katsastusasema valmistui Raumalle vuonna 1974. Asemien tuleminen myötä katsastushenkilökunnan niin työolot kuin työturvallisuus paranivat huomattavasti. Tätä ennen katsastuksia oli suoritettu vaihtelevissa olosuhteissa pääsääntöisesti taivasalla, tai joillakin paikkakunnilla erilaisissa katoksissa. Ajoneuvorekisterikeskus muutettiin 1990-luvulla kilpailun avaamisen yhteydessä ensin liikelaitokseksi ja yhtiöitettiin myöhemmin. (Sornikivi 1996, 21, 130, 310, 321, 324.)

Nykyään katsastustoiminta Suomessa on yksityistettyä, luvanvaraista toimintaa. Toimilupien myöntämisestä, katsastustoiminnan valvonnasta ja tarkastamisesta vastaa Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Ajoneuvo on katsastettava määräajoin ajoneuvolain asetusten mukaisesti. Katsastuksessa tarkistetaan ajoneu-

von olevan varusteiltaan säädösten mukainen, täyttävän liikenneturvallisuuden ja päästöjen osalta sille asetetut vaatimukset sekä ajoneuville määriteltyjen maksujen ja vakuutuksien olevan ajan tasalla. (Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi 2015.)

2.2 Toimintakapasiteetti

Toimeksiantajan suorittama katsastustoiminta pitää sisällään niin henkilöautojen, kuin raskaan ajoneuvokalustonkin katsastuksia. Kokonaiskatsastuksien määrä on Paattion Autokatsastus Oy:n osalta noin 8 000 katsastusta vuotta kohden. Tästä noin kymmenesosa, eli 800 katsastusta on raskaaseen ajoneuvokalustoon kohdistuvaa (Kuva 3). (Vittaniemi 2015.)



Kuva 3. Raskaankaluston katsastus (Vittaniemi 2015)

Kun käytetään kuukaudessa olevien työpäivien määränä 22 pv/kk, vuodelle saadaan työpäivää kohden keskimääräisesti kolme raskaan ajoneuvokaluston katsastusta. Yhden raskaanajoneuvon katsastaminen vie kokonaisuudessaan ajallisesti noin pari tuntia. Kun katsastusta suoritetaan yhden tähän soveltuvan tarkastuskuilun avulla, kolme edellä mainitun kaluston katsastusta työllistääkin miltei kokopäiväisesti kyseisen tarkastuskuilupisteen. Henkilöautojen osalta katsastuskapasiteetti on edellä mainittuja lukuja käyttäen noin 27 ajoneuvoa työpäivää kohden, katsastuksen läpimenoajan ollessa noin 15 - 20 minuuttia. (Vittaniemi 2015).

3 SUUNNITTELUTYÖN POHJALLA OLEVA TEORIA

Opinnäytetyön suorittaminen pohjautuu pitkälti seuraavassa esitettyjen, tiivistettyjen aihealueiden teorioiden ympärille. Aihealueet kuuluvat tutkintoon valmistavien opintojen pariin. Ennen varsinaisen työn aloittamista, kuten myös sen edessä, tietomäärää aihealueiden ympärillä on kasvatettu työssä käytettyjä lähteitä hyväksikäyttäen.

3.1 Teräs

Ihminen kehitti tekniikan, jolla rautaa saadaan tuotettua malmista noin 3 400 vuotta sitten Lähi-idässä. Rautaa käytettiin aluksi työkaluissa ja aseissa. Rauta sana pysyi pitkään yleisnimityksenä kaikille rautaseoksille. Vähitellen erottui kuitenkin valurauta ja takorauta omiksi tuotteiksi. Valuraudan etuna on samankaltaisten tuotteiden sarjavalmistus sekä monimuotoistentuotteiden toteutus. Takomalla raudasta saatiin taas sitkeää ja tasalaatuista, kuten teräs. Suomessa rautaa, joka jalostettiin edelleen takoraudaksi, alettiin valmistaa vuonna 1616 Mustion rautaruukissa. (Hämeen ammattikorkeakoulu 2008, 14; Keinänen & Kärkkäinen 2009, 7.)

Nykyisin käytetyn määritelmän mukaan Teräkset ovat metalleja, joiden rauta (Fe) pitoisuus on vähintään 50 % ja hiilipitoisuus (C) 0,03 - 2,0 %. Vähemmän hiiltä sisältäviä ns. teknisiä rautametalleja nimitetään vain raudaksi (meltorauta). Kun hiilipitoisuus nousee yli 2,0 % kyseessä on valurauta. Ruostumattomiksi luokitellaan taas teräkset, joiden hiilipitoisuus on enintään 1,2 % ja kromipitoisuus vähintään 10,5 %. Teräs, rauta ja valurauta eivät siis ole yksi ja sama asia. Jokaisella näistä metalleista on omat ominaisuutensa ja käyttökohteensa. (Kaitila 2010,13; Koivisto ym. 2001, 76.)

Hitsattavuutensa, työstettävyytensä, muovattavuutensa ja edullisuutensa ansiosta teräs on käytetyin metalli konepaja- ja rakennustoiminnassa. Teräs on li-

säksi kestävä, luja ja paloturvallinen materiaali, ja sen käytettävyyys muiden materiaalien rinnalla on ongelmaton. Teräksestä valmistettuja rakenteita on vai- vatonta esivalmistaa joko valmiiksi rakenteiksi tai rakenneosiksi, jotka siirretään itse käyttökohteeseen paikoilleen asennettavaksi. Valmistettu rakenne on hel- posti edelleen muokattavissa tarpeen vaatiessa, sekä elinkaarensa lopussa täysin kierrätettävissä uudelleen. Teräs on metalli, jota on valmiiksi saatavilla useaa eri laatua, käyttökohteen ja -tarpeen vaatimusten mukaan. Nämä teräk- set eroavat toisistaan ominaisuuksiensa ja koostumuksiensa puolesta. Käyttö- tarkoituksen perusteella teräset voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan: raken- neteräksiin, työkaluteräksiin ja ruostumattomiin teräksiin. Näitä teräksiä pysty- tään luokittelemaan edelleen omiin alaluokkiinsa. (Koivisto ym. 2001, 76; Hä- meen ammattikorkeakoulu 2008, 20; Moos, Beck, Flor, Kalb, & Wagenleiter 2008, 4.)

3.1.1 Teräsrakentamisen historiaa

Varsinaisen teräsrakentamisen katsotaan alkaneen teollisen vallankumouksen myötä. Englannissa vuonna 1779 rakennettu Severn- joen ylittävä silta Iron Bridge on ensimmäinen valuraudasta rakennettu merkittävä rakennus (Kuva 4). Sillalla oli suuri merkitys siltojen suunnittelun ja valuraudan käyttömahdollisuuksien ymmärtämiseen. Paloturvallisuuteen perustuen alkoi myös talonrakennus- tekniikan parissa yleistyä valuraudan ja teräksen käyttö rakennusmateriaalina. Maailman ensimmäinen valurautarunkoinen tehdasrakennus oli viisikerroksinen pellavaa valmistava Ditherington Flax Mill joka valmistui 1796 Englannissa. Vuonna 1837 perustettiin Suomen ensimmäinen konepaja Fiskarsiin. (Kaitila 2010,10; Keinänen & Kärkkäinen 2009, 8.)



Kuva 4. Ironbridge silta (Ironbridge.)

Teräksen tuotanto kehittyi merkittävästi vuonna 1855 kun Englannissa patentoitu Bessemer- menetelmä mahdollisti teräksen massatuotannon uudella tavalla. Tämän myötä terästä ja valurautaa alettiin käyttää mittasuhteiltaan entistä suuremmissa ja kunnianhimoisissa toteutuksissa. Tunnetuimpia rakennelmia tältä ajalta ovat muun muassa: Pariisissa sijaitseva Eiffel-torni (rakennettu 1889) ja Skotlannissa sijaitseva rautatiesilta Firth of Forth Bridge (rakennettu 1890) (Kuva 5). Seuraava merkittävä kehitys askel tapahtui vuonna 1895, kun Yhdysvalloissa patentoitiin I-palkin valssaus, jonka ansiosta kerrostalorakentaminen yleistyi nopeasti. Hieman tästä eteenpäin 1900-luvun alussa kehitettiin hitsaus, joka alkoi syrjäyttää ruuviliitosten kanssa siihen asti käytettyä liittämistapaa niitaamista. Näiden kehityssaskelien kautta teräksen monimuotoinen käyttö on kehittynyt nykyiselle tasolleen niin rakentamisen kuin konepajateollisuudenkin eniten käytetyksi metalliksi. (Kaitila 2010,10; Hämeen ammattikorkeakoulu 2008, 15, 16.)



Kuva 5. Firth of Forth rautatiesilta (Railway-technology.)

3.1.2 Rakenneteräkset

Tähän kategoriaan kuuluvia teräksiä yhdistäviä tekijöitä ovat taatut lujuusominaisuudet, hitsattavuus ja muovattavuus. Rakenneteräkset ovat niukkahiillisiä sekä seostamattomia tai niukkaseosteisia. Uuden EU:n alueella voimaan tulleen teräs ja alumiinirakenteita koskevan standardin SFS-EN 1090-2+A1 mukaan rakenneteräkset luokitellaan teknistentoimitusvaatimusten mukaisesti (Taulukko 1-3). Näillä toimitusvaatimuksilla määritellään tarkasti terästen tekniset toimintuehdot, jotka sisältävät niin kemiallisia kuin mekaanisia ominaisuuksia koskevia arvoja eri teräslaatuojen valmistuksessa.

Taulukko 1. Rakenneterästen tuotestandardit
(SFS-EN 1990-2+A1, 22.)

Tuotteet	Tekniset toimitusvaatimukset	Mitat	Toleranssit
I- ja H-profiilit	EN 10025-1 ja EN 10025-2 EN 10025-3 EN 10025-4 EN 10025-5 EN 10025-6 Tuotteen mukaan	Ei olemassa	EN 10034
Kuumavalssatut viistolaippaiset I-profiilit		Ei olemassa	EN 10024
U-teräkset		Ei olemassa	EN 10279
Tasakylkiset ja ei-tasakylkiset kulmateräkset		EN 10056-1	EN 10056-2
T-profiilit		EN 10055	EN 10055
Levyt, latat, leveät latat		Ei määritelty	EN 10029 EN 10051
Tangot ja sauvat		EN 10017, EN 10058, EN 10059, EN 10060, EN 10061	EN 10017, EN 10058, EN 10059, EN 10060, EN 10061
Kuumamuovatut rakenneputket	EN 10210-1	EN 10210-2	EN 10210-2
Kylmämuovatut rakenneputket	EN 10219-1	EN 10219-2	EN 10219-2

Taulukko 2. Ruostumattomien rakenneterästen tuotestandardit
(SFS-EN 1990-2+A1, 23.)

Tuotteet	Tekniset toimitusvaatimukset	Toleranssit
Ohutlevyt, levyt ja nauhat	EN 10088-2	EN 10029, EN 10048, EN 10051, EN ISO 9445
Putket (hitsatut)	EN 10296-2	EN ISO 1127
Putket (saumattomat)	EN 10297-2	
Tangot, sauvat ja profiilit	EN 10088-3	EN 10017, EN 10058, EN 10059, EN 10060, EN 10061

Taulukko 3. Kylmämuovaukseen soveltuvien rakenneteräs nauhojen ja levyjen tuotestandardit (SFS-EN 1990-2+A1, 22.)

Tuotteet	Tekniset toimitusvaatimukset	Toleranssit
Seostamattomat rakenneteräkset	EN 10025-2	EN 10051
Hitsattavat hienoraerakenneteräkset	EN 10025-3, EN 10025-4	EN 10051
Lujat kylmämuovattavat teräkset	A1> EN 10149 <A1 , EN 10268	A1> EN 10029, EN 10048, EN 10051, EN 10131, EN 10140 <A1
Kylmämuokatut rakenneteräkset	ISO 4997	EN 10131
Jatkuvatoimisella kuumaupotusmenetelmällä pinnoitetut ohutlevyteräkset	A1> EN 10346 <A1	EN 10143
Orgaanisilla aineilla pinnoitetut ohutlevyteräkset	A1> EN 10169 <A1	A1> EN 10169 <A1
Kapeat nauhat	EN 10139	EN 10048 EN 10140

Rakenneteräksiä on saatavilla eri tuotemuotoina, joista yleisimpiä ovat: T- ja H-profiilit, perinteinen I- sekä kuumavalssattu viistolaippainen I-profiili, U-teräkset, tasakylkiset ja ei- tasakylkiset kulmateräkset, levyt, latat, tangot, sauvat ja putket. Tuotevalikoima on varsin laaja ja erityisesti rakentamistarpeisiin muokkautunut. (Koivisto ym. 2001, 134; SFS-EN 1090-2+A1, 22.)

3.1.3 Rakenneterästen merkintä

Rakenneteräksien merkintä tapahtuu SFS-EN 10025 [10, 2-4], SFS-EN 10027-1 [11] ja SFS-10027-2 [12] standardien mukaan. Kuluttajan kannalta oleellisin edellä mainituista standardeista on SFS-EN 10027-1 [11], joka käsittelee nimekejärjestelmän mukaista merkintätapaa. Tämän mukaisesti teräksen nimike koostuu päätunnuksista, ja mahdollisista lisätunnuksista jotka määrittelevät mm. teräksen laatuluokan. Rakenneteräksien päätunnus muodostuu S- kirjaimesta (structural). Tunnuksen perään lisätään teräksen ohuimman paksuusalueen, myötölujuuden vähimmäisvaatimus. Lisätunnuksilla ilmoitetaan ensimmäisenä laatuluokka, joka ilmoittaa iskutheydestä ja transitiolämpötilasta. Muita tunnuksilla ilmaistavia asioita ovat soveltuvuus määrättyyn käyttötarkoitukseen, esim. säänkestävyys W (waterproof) ja kylmämuokkaussopivuus C (cold-

forming), sekä myös teräksen profiilirakenteen ilmaiseminen, esim. rakenneputki H (hollow-section). Edellisen perusteella voidaan purkaa esimerkiksi teräsmerkintä EN 10025-2-S355J0C+N seuraavasti:

- EN10025-2: Eurooppalainen standardi numero. Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 2: kuumavalssatut seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot.
- S: rakenneteräs
- 355: myötörajan vähimmäisarvo huoneenlämpötilassa on 355 MPa
- J0: vähimmäisiskusitkeysvaatimus 27 J 0° C (J0)
- C: soveltuu kylmänä särmäykseen
- +N: toimitustila normalisointivalssattu (tai kuumavalssattu)

(Kaitila. 2010, 22; SFS-EN 10025-2, 8, 14.)

3.2 Teräsrakentamista koskevat standardit

Kuten kaikkea tuotteistustoimintaa myös teräsrakentamista koskevat erilaiset säädökset ja ohjeet. Suunnittelutyötä suorittaessa näitä ohjeita noudattamalla tuotteesta saadaan valmistettavuuden ja käytettävyydenkin osalta paras mahdollinen tuote, joka täyttää sille asetetut vaatimukset ja luvanvaraisuudet.

Niin elinkeinoelämää kuten viranomaisten ja kuluttajienkin elämää helpottamaan on laadittu erilaisia standardeja, joiden tarkoitus on hyödyntää koko yhteiskuntaa. Standardoimisella lisätään tuotteiden yhteensopivuutta, laatua ja turvallisuutta, suojellaan kuluttajaa niin kuin myös ympäristöä, sekä edesautetaan kansainvälistä ja kotimaista kaupankäyntiä. Kaikilla aloilla teollisuudesta kauppaan ja tutkimukseen on yhteisesti hyväksytyt käsitteet sekä määritelmät. Näiden avulla standardoimisella saadaan tuotannossa tehostettua: työtä, vähennettyä virheiden määrää sekä parannettua käytännön tuloksia, jolloin saadaan tuotettua oikeat tuotteet, palvelut ja menetelmät jotka ovat juuri siihen käyttöön ja olosuhteisiin tarkoitettu.

Kansallisesti sekä useisiin EU:n säädöksiin liittyvät läheisesti standardit. Säädökset voivat olla asetuksia, direktiivejä tai päätöksiä. Standardien noudattaminen on enimmäkseen vapaaehtoista, mutta tällöin valmistajan on osoitettava muulla tavoin, että tuote täyttää sitä mahdollisesti koskevien säädösten mukaiset vaatimukset. Monissa kansallisissa ja EU:n asettamissa säädöksissä viitataan usein kuitenkin yksittäisiin standardeihin. Tällä tavoin standardin noudattaminen voidaan tehdä pakolliseksi, tai pitää sen noudattamista edellytyksenä säädösten mukaisen ratkaisun tuottamisessa. (SFS ry, 2015, a.)

Standardit ovat asiakirjoja, joita kuka tahansa voi käyttää. Asiakirjoja Suomessa tuottaa SFS ry, joka toimii maassamme standardisoinnin keskusjärjestönä. Liittoon kuuluu elinkeinoelämänjärjestöjä ja Suomen valtio. Suurin osa SFS-standardeista perustuu kansainvälisiin tai eurooppalaisiin standardeihin. SFS on jäsenenä kansainvälisessä ISO standardoimisjärjestössä, sekä eurooppalaisessa CEN standardoimisjärjestö. Näiden organisaatioiden kirjainyhdistelmä ISO tai EN on lisätty SFS tunnuksen perään, mikäli standardi on myös vahvistettu heidän organisaatiossaan. Esim. SFS-EN ISO tarkoittaa, että kyseessä oleva standardi on vahvistettu Suomen lisäksi myös kansainvälisessä ja eurooppalaisessa standardoimisorganisaatiossa. (SFS ry 2015. b, c.)

3.2.1 Standardit SFS-EN 1090-1+A1 ja SFS-EN 1090-2+A1

Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutusta varten on laadittu 1.7.1014 voimaan tulleet SFS-EN 1090-1+A1, SFS-EN 1090-2+A1 ja SFS-EN 1090-3 standardit. Nämä standardit kuuluvat teräksestä ja alumiinista valmistettavien rakenteiden suunnittelua, ja valmistusta koskevien rakennustuotteiden harmonisoitujen hEN tuotestandardien joukkoon. Rakenteet joita standardit koskevat voivat olla kantavia kokonpanoja tai rakenteita. Standardeja koskevia kokonpanoja ja rakenteita voidaan käyttää joko suoraan rakennuskohteessa tai osana sitä, sekä rakenteellisena kokonpanona tuotejärjestelmässä. Rakenteellinen kokonpano voi olla joko sarjavalmistainen tai yksilöllisesti valmistettava. Nämä standardit eivät suoraan koske rakenteellista suunnittelua tai valmistusta, vaan rakenteen

vaatimustenmukaisuuden arviointia ja rakenteita koskevia teknisiä vaatimuksia. SFS-EN 1091-1+AC ja SFS-EN 1090-2+A1 (tai SFS-EN 1090-3) ovat laadittu käytettäväksi aina yhdessä. Teräsrakentamista koskevia standardeja on kaikkiaan yhteensä noin 200 kpl. Yhdessä näitä standardeja noudattaessa voidaan saavuttaa lopputulos mihin SFS-EN 1091-1+AC ja SFS-EN 1090-2+A1 standardien käyttämisellä pyritään. (SFSedu.fi. Koistinen 2015; SFS-EN 1090-1+A1, 8.)

Standardi SFS-EN 1090-1+A1 koskee vaatimuksenmukaisuuksien arviointia toiminnallisten ominaisuuksien osalta teräs- ja alumiinikokoonpanoissa. Ominaisuuksia joita arviointi kattaa, määräytyvät valmistuksen ja mahdollisesti rakenteellisen suunnittelun pohjalta. Toisin sanoen, vaatimuksenmukaisuuden arvioinnin piiriin kuuluvat käytettävien tuotteiden, eli aineiden ja tarvikkeiden perusteella määräytyvät ominaisuudet, sekä valmistuksen ja suunnittelun perusteella määräytyvät mahdolliset rakenteelliset ominaisuudet. Vaatimuksenmukaisuuden perusteella arvioitavia ominaisuuksia ovat muun muassa: mittojen ja muodon toleranssit, hitsattavuus, murtumasitkeys, kantavuus, väsytslujuus ja palonkestävyys. Standardi itsessään ohjaa hyväksytyjen raaka-aineiden ja tarvikkeiden valinnassa sekä käytössä, jotta rakenne täyttäisi sille standardissa asetetut vaatimustenmukaisuudet. (SFS-EN 1090-1+A1, 16 - 20.)

Standardin SFS-EN 1090-2+A1 tarkoitus on tuoda esiin ne vaatimukset joilla teräsrakenteen teknisessä toteutuksessa varmistetaan, että se täyttää riittävän mekaanisen kestävyys ja stabiilisuden, sekä käytettävyyden ja ominaisuuksien säilyvyyden. Standardin avulla määritellään rakenteen toteutusluokka sekä standardin piiriin kuuluvat materiaalit ja tuotteet. Rakenteen toteutukseen liittyen standardi sisältää tekniset vaatimukset muun muassa: esivalmisteluille ja koamisille, hitsaamisen suorittamiselle, mekaanista kiinnittämistä, pintakäsittelyä ja geometrisiä toleransseja koskien. Standardin noudattaminen edellyttää erilaisten dokumenttien tuottamista. Tällaisia dokumentteja ovat esimerkiksi suunnittelijan laatima toteutuseritelmä. Toteutuseritelmä on dokumentti joka tulee olla laadittuna ennen rakenteen varsinaisen toteutuksen aloitusta. Doku-

mentista tulee ilmetä kaikki suunnittelun ratkaisut joilla standardin osoittamat vaatimukset rakennetta kohtaan täytetään. (SFS-EN 1090-2+A1, 18 - 20.)

3.2.2 Eurokoodi 3

Eurooppalaista rakennusteollisuutta koskemaan on laadittu yhteinen eurooppalainen suunnittelua koskeva Eurokoodi mitoitusjärjestelmä. Mitoitusjärjestelmä pitää sisällään kantavien rakenteiden, tai niiden osien suunnitteluun liittyvien ominaisuuksien määrittämistä rakenteellisilla laskelmilla. Laskelmien avulla voidaan osoittaa rakenteen täyttävän sille asetetut vaatimukset. Järjestelmän olisi tarkoitus helpottaa kansainvälistä yhteistyötä ja avata kilpailua rakennusalaalla Euroopan maiden välillä, sekä maailmanlaajuisesti. (Kaitila 2010,9.)

Suomessa Eurokoodi- standardit ovat tulleet voimaan 1.9.2014 Ympäristöministerin asetuksen pohjalta. Tämän jälkeen Eurokoodi järjestelmää on tarkoitus käyttää rakentamismääräyskokoelman B-osien tilalla, jotka ovat aiemmin ohjanneet rakentamistoimintaa. Edelleen on kuitenkin maakohtaisesti Eurokoodi-standardeja täydentämään lisätty ns. kansalliset liitteet, joissa jäsenvaltio voi määritellä tiettyjen parametrien arvot itsenäisesti. Liitteiden lisääminen on seurausta maiden erilaisista olosuhteista ja rakentamisperinteistä. Eurokoodi-standardit jakautuvat seuraaviin pääosiin:

- EN 1990 Eurokoodi 0: Suunnittelun perusteet
- EN 1991 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormitukset
- EN 1992 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu
- EN 1993 Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu
- EN 1994 Eurokoodi 4: Teräs-betoni-liittorakenteiden suunnittelu
- EN 1995 Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu
- EN 1996 Eurokoodi 6: Muurattujen rakenteiden suunnittelu
- EN 1997 Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu
- EN 1998 Eurokoodi 8: Rakenteiden suunnittelu kestävyys suhteen maanjäristyksissä

- EN 1999 Eurokoodi 9: Alumiinirakenteiden suunnittelu

Jokainen näistä pääryhmistä pitää sisällään edelleen omat alaryhmänsä. Kaikkiaan Eurokoodi standardiryhmä pitää sisällään noin 60 standardia.

Teräsrakentamista koskee Eurokoodi 3 standardi. Tämä standardi on sidoksissa edellä mainittuihin SFS-EN 1090-1+AC ja SFS-EN 1090-2+AC standardeihin. Tuotteiden vaatimusten mukainen toteuttaminen vaatii siis kaikkien näiden standardien, ja näissä muihin alastandardeihin viitattujen standardien noudattamista. (SFS ry 2015,d.)

3.3 Ce- merkintä

Euroopan unionin alueella on voimassa myös teräskokoonpanoille Ce-merkintä. Siirtymäaika merkin kiinnittämiseksi päättyi 1.7.2014. Merkintä on nyt siis pakollinen tuotteille joita koskevat direktiivit niin vaativat. Ce-merkinnällä määritetään, että tuotteen valmistaja on valmistanut tuotteen Euroopan yhteisön uuden menettelyn mukaisten direktiivien asetettujen vaatimusten mukaan, jotta se täyttää sille asetetut vaatimuksenmukaisuudet Ce-merkinnän kiinnittämiseksi. Käytännössä tämä tarkoittaa teräsrakenne tuotteiden kohdalla standardin SFS-EN 1090-1+A1 ja sen myötä SFS-EN 1090-2+A1, Eurokoodi 3 sekä näihin liittyvien alastandardien noudattamista. Ce-merkinnällä varustetusta tuotteesta taataan luotettavien tietojen saanti sen ominaisuuksiin liittyen. Merkittyä tuotetta voi viedä ja myydä vapaasti Euroopan talousalueella ilman erillisiä mahdollisia maa-kohtaisia lisäselvityksiä. Merkinnän suorittamisesta vastaa valmistaja. Valmistaja todistaa joissain tapauksissa itse vaadituin tosittein, että tuote täyttää Ce-merkinnälle asetettavat vaatimukset. Joidenkin tuotteiden kohdalla on voitu direktiivissä myös erikseen määrittää ulkopuolinen taho joka suorittaa tarkastuksen. (SFS ry 2010,9,19.)

Vaikkei tuote sisältyisikään suoraan minkään direktiivin piiriin ja edellyttäisi suoraan SFS-EN 1090 sarjan standardien ja Ce-merkinnän käyttöä, voidaan kuitenkin esim. rakennustarkastuksen yhteydessä vaatia todistettavaksi jollain

muulla tavoin rakenteen soveltuvuudesta käyttötarkoitukseensa ennen sen hyväksyntää. Mikäli tuote toteutetaan Ce-merkintää edellyttävän ohjeistuksen mu-

kaan, sen mahdollinen hyväksyttäminen tulee olemaan, joko sitten Ce-merkinnällä tai ilman helpompaa, koska useat rakentamiseen liittyvät kansalliset ohjeistukset liittyvät samoihin rakentamista koskeviin standardeihin kuin Ce-merkinnän vaatimuksetkin. Ce-merkintä voidaan myös hakea määriteltyjen nettelyjen avulla tuotteelle jolta sitä ei direktiivein, tai muilla tavoin vaadittaisikaan. Ce-merkinnästä on tärkeää muistaa, että se ei ole suoranainen laadun-, tai turvallisuuden takaava merkintä. Merkintä ei myöskään takaa tuotteen kaikkia käyttöominaisuuksia, vaan esimerkiksi vain jonkun osan mekaanisen kestävyiden. Pääasiassa merkintä onkin tarkoitettu viranomaisten käyttöön, tuotteen vapaan liikkuvuuden sallimiseksi Euroopan markkinoilla. (Tukes 2014.)

3.4 Työturvallisuus

Suomessa työsuojelua ohjaa sosiaali- ja terveysministeriö. Ministeriö vastaa työsuojelu- ja työterveyshuollonlainsäädännöstä. Yhdessä aluehallintovirastojen kanssa ministeriön työsuojeluosasto muodostaa työsuojeluhallinnon. Aluehallintovirastot vastaavat oman alueensa työnsuojelun valvonnasta ja ohjeistuksesta. Suomi on jaettu viiteen aluehallintovirasto alueeseen. Aluehallintovirastoista saa neuvontaa niin jo sattuneiden ongelmien ratkaisun, kuin ennaltaehkäisevän toiminnan suhteen. (Työsuojeluhallinto 2014.)

Suomessa on voimassa työturvallisuuslaki 2002/738 vuodelta 2003. Lain tarkoitus on parantaa työolosuhteita, sekä edistää työntekijöiden turvallisuutta ehkäisemällä tapaturmia, ammattitauteja, tai muita työstä mahdollisesti terveydelle olevia uhkia. Terveydellä laissa tarkoitetaan niin fyysistä kuin henkistäkin terveyttä. Laki edellyttää, että jo suunnitteluvaiheessa otetaan huomioon suunnittelun vaikutukset valmiissa tuotteessa olevien ominaisuuksien toimivuudesta työntekijöiden turvallisuuteen ja terveyteen nähden. (Työturvallisuuslaki 738/2002 1:1,12§.)

3.5 Konstruktiosuunnittelu

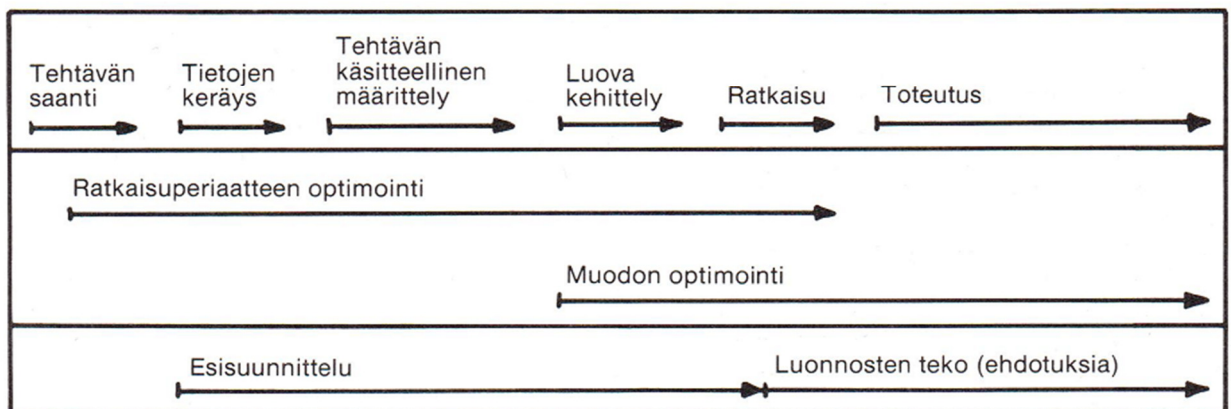
Uuden tuotteen luomisen perustana ovat tuotteen käyttäjän, eli asiakkaan tarpeet. Nämä tarpeet ovat ominaisuuksia ja vaikutusmahdollisuuksia jotka tuotteeseen olisi suunnittelun avulla kiteytettävä. Tuotteen avulla asiakas tyydyttää tiettyjä juuri sillä tuotteella saavutettavia käyttö- ja arvostustarpeita, tai saavuttaa taloudellista hyötyä. Tuotesuunnittelun lähtökohtana on jokin abstraktinen idea joka täytyisi toteuttaa konkreettiseksi tuotteeksi. Uuden tuotteen luomisen, tai vanhan tuotteen parantamisen yhteydessä tavoitteeseen pääsyn määrittelevät niin teknisten-, markkinateknisten-, taloudellisten-, inhimillisten- ja ympäristötekijöiden huomioon ottaminen. (Huhtala, Makkonen, Ojanen & Rusanen 1991, 7.)

Kokonaisuutena suunnittelu on moniosaista toimintaa, missä jokainen pieni muutos jollain osa-alueella vaikuttaa aina jollain tavoin suunnittelulla tähdättävään päämäärään, tai tiettyihin sen osiin. Tuotesuunnittelu kokonaisuus on laaja-alainen toimiala joka pitää sisällään yrityksen tuoteohjelmansuunnittelun, konstruktio toiminnan sekä tuotantoteknisen suunnittelun. Teknisen suunnittelun ollessa kyseessä puhutaan usein konstruktiotekniikasta. Se pitää sisällään valmiin tuote ehdotuksen vaatimusten pohjalta toteutettavan suunnittelun, jonka lopputuloksena on vaatimusten mukainen tuote. Konstruktiotekniikka on siis tuotesuunnittelua suppeampi kokonaisuus. Voidaan sanoa, että konstruktiotekniikka sisältää suunnittelun konkreettisen osuuden, konstruoinnin. Tämän lopputuloksena syntyvät valmiit dokumentit, joiden pohjalta annettu tuote ehdotus voidaan toteuttaa. (Huhtala ym. 1991, 7.)

Konstruointi soveltaa kaikkia luonnontieteellisiä lainalaisuuksia käytännön sovellutuksiksi. Pääsääntöisesti suunnittelussa on aina löydettävissä useita eri ratkaisuvaihtoehtoja kuten myös useita eri muuttujia, absoluuttista optimaalista lopputulosta ei voida näin ollen saavuttaa. Suunnittelijan on kuitenkin aina pyrittävä parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen, vallitsevien rajoitusten puitteissa. Lopputulokseen vaikuttavat niin suunnittelijan ammattitaito, kokemus ja

luonne kuin käytettävissä olevat resurssit. Suunnittelijan ratkaisut vaikuttavat ratkaisevasti valmiiseen tuotteeseen valmistajan kuin käyttäjänkin osalta. Tuotteen kokonaiskustannuksista koko tuotesuunnittelu vie vain noin 1 - 5 %, mutta suunnittelussa itse suunnittelija ratkaisuihin määrittää noin 75 % tuotteen kustannuksista. Suunnittelun tehostamiseksi on kehitetty erilaisia menetelmiä joilla pyritään suunnittelun tulosta parantamaan niin tuloksellisesti, taloudellisesti kuin myös aikataulullisesti. (Huhtala ym. 1991, 8, 37.)

Menetelmiä on erilaisia niin yksilötasolle kuin ryhmätyöskentelyyn tarkoitetuiksi. Eri menetelmille on yhteneväistä se, että niissä edetään pääsääntöisesti analyysi, synteesi ja arvostelu vaiheistuksella läpi koko suunnittelutyön. Näiden vaiheiden aikana tutkitaan havaittua ongelmaa, etsitään tietoa siihen liittyen ja sovelletaan sitä ongelman ratkaisemiseksi, sekä suoritetaan arviointia sen toimivuuden toteamiseksi. Menetelmien avulla on tarkoitus muun muassa: tuottaa ratkaisuja jotka eivät ole sattumanvaraisia, virheiden välttäminen, mahdollistaa aiempien ratkaisujen soveltamisen uusiin tehtäviin, edistää suunnittelijan kekseliäisyyttä ja oppimista, sekä helpottaa, tehostaa ja nopeuttaa työtä. Usein suunnittelu koostuu eri menetelmien tai niiden sisältämien erilaisten työkalujen soveltavasta käytöstä joko tietoisesti tai alitajuntaisesti. Teknisessä suunnittelussa yleisimmin käytetyt menetelmät pohjautuvat systemaattisiin ja luoviin metodeihin. Suunnittelijalla, varsinkin kokeneimmilla, voi olla myös oma suunnittelu menetelmänsä jota hän noudattaa. Suunnittelutyö noudattaa pääpiirteiltään rakenteeltaan miltei aina samaa eri työvaiheisiin jaottelua (Kuva 6). (Gerhard & Wolfgang 1992, 6.)



Kuva 6. Tuotesuunnittelun eteneminen (Huhtala ym. 1991, 37.)

3.6 CAD- suunnittelu

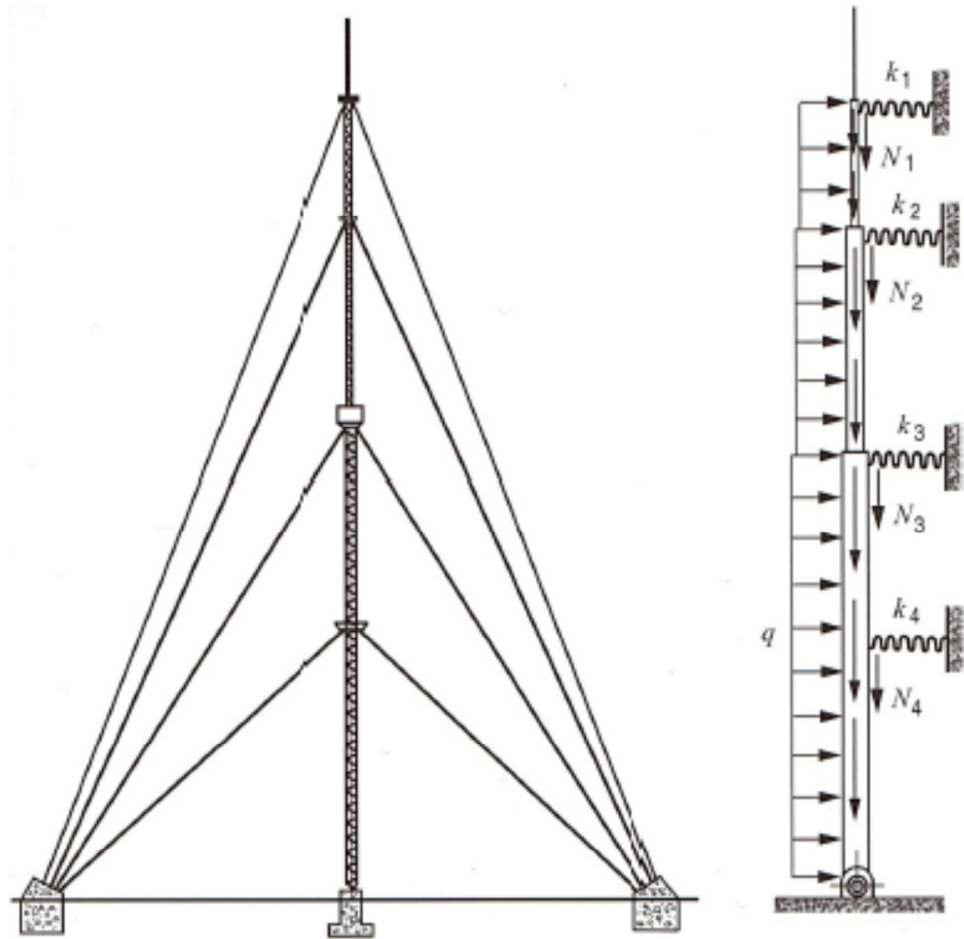
Nykyaikainen suunnittelun tärkeimpiin apuvälineisiin kuuluu 3D-mallintaminen. Se on tehnyt suunnittelusta sujuvampaa ja tarkempaa. Mallintaminen vaatii pohjaksi kuitenkin edelleen saman tietomäärän ja huolellisen suunnittelun kuin aiemminkin. 2D-piirustustekniikka on tärkeä hallita, jotta 3D-mallin informaatio sisältö olisi oikeanlaista. Huolella toteutettu suunnittelu ja 3D-mallintaminen mahdollistavat yhdessä suunnitteluvirheiden määrän alentamisen ja estävät tehokkaasti etenkin niiden pääsyä tuotantoon saakka.

Se, että tuote mallinnetaan kolmiulotteisesti, tuo mahdolliseksi nähdä tuotteen kokonaisuus ja osat jo suunnitteluvaiheessa sellaisena kuin se tulee valmiina tuotteena näyttämään, niillä fysikaalisilla ja mekaanisilla ominaisuuksilla mitkä se tulee omaamaan todellisuudessaakin. Mallinnetuista tuotteista voidaan näin nähdä helposti esimerkiksi osien liitoksien yhteensopimattomuus, tai mahdollisten osien välisten liikeratojen väliset virheet. Tämän myötä mahdolliset malliin tehtävät korjaukset päivittyvät automaattisesti kaikkiin tuotetta koskeviin piirustuksiin, joka puolestaan vähentää huolimattomuusvirheiden määrää piirustusten päivittämisen suhteen. Visuaalisuutensa ansiosta 3D-malli on myös 2D-mallia huomattavasti paremmin tulkittavissa, jolloin palautteen saanti niin tuotekehityksen muiden osapuolien, kuin mahdollisen asiakkaankin taholta on helpompaa suunnittelun edetessä. Dokumentoinnin osalta 3D-mallintaminen mahdollistaa visuaalisesti totuuden mukaisen kuvan antamisen tuotteesta esimerkiksi markkinoinnin tarpeisiin halutusta kuvakulmasta, tai detaljeista tarkennettuna. Eri mallinnusohjelmat sisältävät useita mallintamista helpottavia työkaluja tarkempaa suunnittelutulosta edesauttaen. Ohjelmat sisältävät myös lujuuslaskennallisia tarkastustoimintoja sekä kinemaattisia, liikerata- ja törmäystarkasteluita. (Tuhola & Viitanen 2008, 33, 127.)

3.7 Lujuuslaskenta

Rakenteita ja koneenosia suunniteltaessa sekä mitoittaessa tärkeää on huomioida suunniteltavaan kohteeseen kohdistuvat voimasuureet eli rasitukset, ja sen myötä määritellä suunnittelu kohteen kestävyys. Näiden asioiden määrittäminen onnistuu fysikaalisten tieteiden alaan kuuluvan lujuusopin avulla. Lujuusoppi on osa teknillistä matematiikkaa, ja sen teoria perustuu yleisen mekaniikan ja staatiikan periaatteisiin. Sitä hyödyntämällä kyetään selvittämään kappaleiden mekaaninen käyttäytyminen kuormituksien alaisena. Kuormitukset aiheuttavat niin levossa kuin liikkeessä olevaan kiinteään kappaleeseen kohdistuvia sisäisiä voimajakautumia, eli jännityksiä. Näitä jännityksiä laskemalla voidaan määritellä kappaleen muodonmuutos- ja kuormituskestävyyteen liittyviä tekijöitä. (Salmi & Pajunen 2010, 13.)

Laskeminen tapahtuu kappaleen mekaanisia ominaisuuksia kuvaavien yhtälöiden avulla. Yhtälöillä voidaan yhdistää kappaleeseen kuormituksen vaikutuksesta välittyviä erimuotoisia sisäisiä voimia, sekä muodonmuutoksia ja siirtymiä. Koska laskemisella tarkistettavat kohteet ovat usein monimuotoisia ja -ulotteisia, kohde yksinkertaistetaan laskentaa varten mekaaniseksi malliksi (Kuva 7). Mallin tarkoituksena on pelkistää tarkasteltavaa kohdetta geometrian ja materiaaliominaisuuksien osalta, kuten myös havainnollistaa siihen kohdistuvat kuormitukset. Mekaanisen mallin muodostamista ja kuormitusten kuvaamista varten on muodostunut omat vakiintuneet esitystapansa.

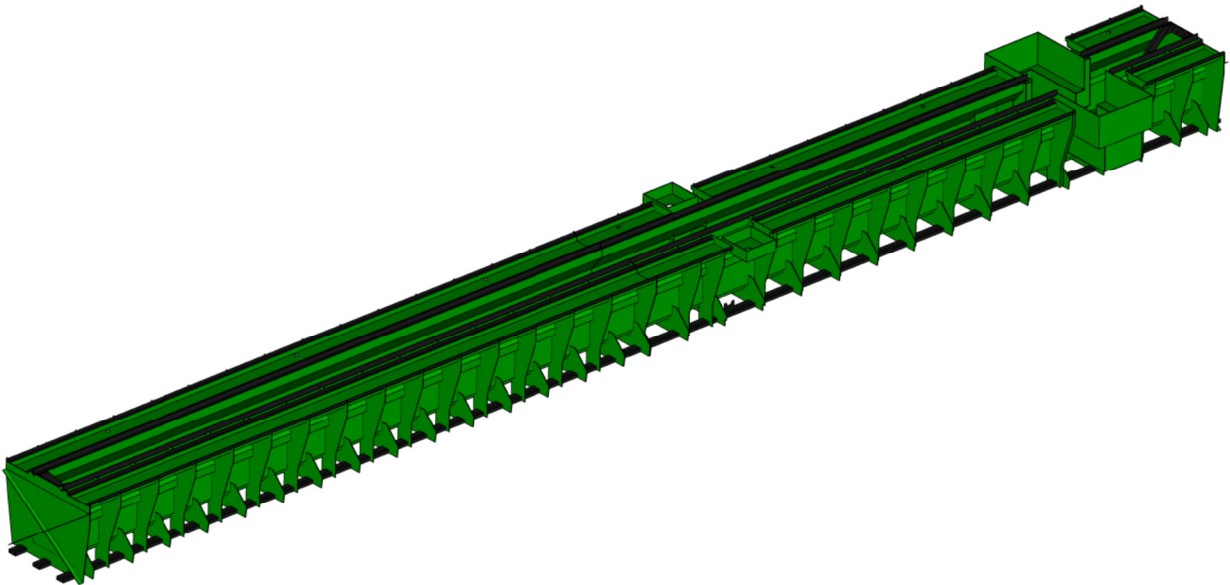


Kuva 7. Mastorakenteen yksinkertaistettu mekaaninen malli
(Salmi & Pajunen 2010, 17.)

Mekaanisen mallin luomisen jälkeen luodaan matemaattinen malli johtamalla matemaattisia yhtälöitä fysiikan lakeja soveltamalla. Tietotekniikan kehitys on mahdollistanut vaativien ja mutkikkaidenkin ongelmien tarkan ja tehokkaan ratkaisemisen. Nämä FEM-ohjelmistot tarjoavat tehokkaan työkalun lujuusopillisten asioiden tarkasteluun. Ohjelmistojen käyttö edellyttää kuitenkin, että niin mekaniikan kuin lujuuslaskennan perustat ovat suunnittelijan hallinnassa, jotta analyysien tulokset ajavat luotettavasti parhaalla mahdollisella tavalla suunnittelun tavoitteita. (Salmi & Pajunen 2010, 16.)

4 TARKASTUSKUILUN LUONNOSTELU

Tämän luvun tarkoitus on esittää ne seikat ja asiat, mitkä rakenteen suunnitteluun liittyen on huomioitu ennen rakenteen varsinaisen luonnostelun aloittamista. Näiden huomioitujen seikkojen pohjalta on laadittu luonnos, jonka perusteella suunnittelua on viety eteenpäin (Kuva 8). Suunnittelutyölle annetut lähtötiedot on käsitelty luvussa 3. Tästä syystä perusmitoitukseen liittyviä asioita ei ole tarkemmin tässä yhteydessä käsitelty, ellei niihin liity jotain erityisesti huomioitavaa.



Kuva 8. Tarkastuskuilun luonnos

4.1 Rasitukset ja kuormitukset

Rakenteeseen kohdistuvat kuormitukset tulevat pääsääntöisesti raskaankaluston ajoneuvoyhdistelmien painosta. Suurin tällä hetkellä sallittu kokonaisyhdistelmäpaino on 73 tonnia, ja ajoneuvon yksittäiselle akselistolle enimmäispaino 10,5 tonnia. Koska rakenne tulee osaksi valettua lattiaa, tulee lattia ottamaan vastaan suurimman osan näistä painoista. Kyseisiä painoja on käytetty rakenteen suunnittelussa kuitenkin ohjaavina lujuuslaskelmien kuormituksena, rakenteen materiaalien varmuuden takaamiseksi. (Tieliikennelaki 407/2013 1. 20, 23§.)

Osansa kuormituksista tuo myös rakennetta vasten tuleva maa- ja lattiamateriaalin aiheuttamat puristukset rakenteen sivuilla, sekä rakenteeseen asennettavien valmiskomponenttien aiheuttamat tärinät, iskut ja pistemäiset kuormitukset. Näistä huomioitavimmat rasitukset tulevat itse komponenttien käytön yhteydessä rakenteeseen välittyvien voimien muodossa. Rakenteeseen komponenteista välittyvät voimat on esitetty komponenttien toimittajan puolesta toimeksiantajan hankkiman materiaalin yhteydessä.

4.2 Rakenteelliset vaatimukset sekä valmistettavuus

Rakenteeseen asennettaviksi suunniteltujen komponenttien osalta on toimeksiantajan puolesta hankittuna komponenttien asennusmittapiirustukset. Näiden piirustuksien pohjalta komponenteille, ja niiden tarvitsemille oheislaitteistoille pystytään suunnittelemaan niiden tarkat asennuspaikat. Komponenttien sähkö- ja hydraulikkalinjastojen vaatimat tilat sekä sijoituskohdat selviävät myös kyseisistä piirustuksista.

Rakenteen sivuille tulevien ajotasoritilöiden suhteen toimeksiantajalta on myös saatu niiden leveyttä ja sijoituskohtaa koskevat tiedot. Leveydeltään ritilöiden tulisi olla 500 - 600 mm ja sijoitukseltaan noin 1 200 mm sivussa rakenteen keskilinjasta. Ajotasoritilöiden tulisi soveltua raskaalle kalustolle ja tärkeää olisi huomioida myös ritilöiden vaatimat asennuskehikot. Ajotasoritilöiden alle sijoitettavien poistovesikaukaloiden suhteen on mietitty mahdollisimman yksinkertainen, mutta vedet tehokkaasti pois johtava rakenne. Kaukaloiden leveys määräytyy niiden päälle asetettavien ajotasoritilöiden perusteella. Rakenteen pohjalle tulevan kävelytasoritilän, ja sen alle tulevan poistovesikaukalon mitoituksessa on huomioitu portaikkojen leveydet ja niiden pituus. Portaikot tulevat olemaan rakenteen kummassakin päädyssä.

Yleisesti valmistettavuuden osalta rakenne on suunniteltu suhteellisen vakiokonepajatyöstövälinein valmistettavaksi. Niin materiaalien kuin valmistuskustannuksien osalta on pyritty ratkaisuihin jotka pitävät rakenteelle muodostuvat ko-

konauskustannukset mahdollisimman alhaisina. Tähän on pyritty mahdollisimman yksinkertaisella rakenne ratkaisulla, eri osien vähäisellä lukumäärällä sekä standardi materiaaleja käyttäen. Rakenteen tulevan pintakäsittelyn osalta on rakennetta suunniteltu niin, että pintakäsittelyllä, joka tulisi todennäköisesti olemaan maalaus, päästäisiin käsiksi rakenteen jokaiseen paikkaan. Myös yleinen kunnossapito ja itse rakenteen kuin komponenttien huollettavuus on huomioitu suunnittelussa.

4.3 Standardien ja työsuojeluehtojen huomioiminen

Standardien osalta on noudettu SFS-EN 1090-sarjan standardeja sekä Eurokoodi 3 standardia. Luonnostelua tehtäessä tämä lähinnä tarkoittaa rakenneratkaisujen ja materiaalien tarkkailua, jotta rakenne täyttäisi standardien vaatimukset lopullisen suunnittelutyön edetessä. Standardien mukaisten terästen joukosta käytettäväksi teräkseksi lujuusluokan puolesta on valittu S355 rakenneteräs. Kyseinen teräs omaa hyvät materiaaliominaisuudet sekä on hyvin työstettävissä ja hitsattavissa. Teräksen laatuluokan valintaa voidaan tarkentaa muun muassa materiaalin käyttölämpötilan perusteella suurimman sallitun materiaalapaksuuden kautta (Taulukko 4).

Taulukko 4. S235, S275 ja S355 teräksien sallitut paksuudet käyttölämpötilan perusteella. (SFS-EN1993-1-10,12.)

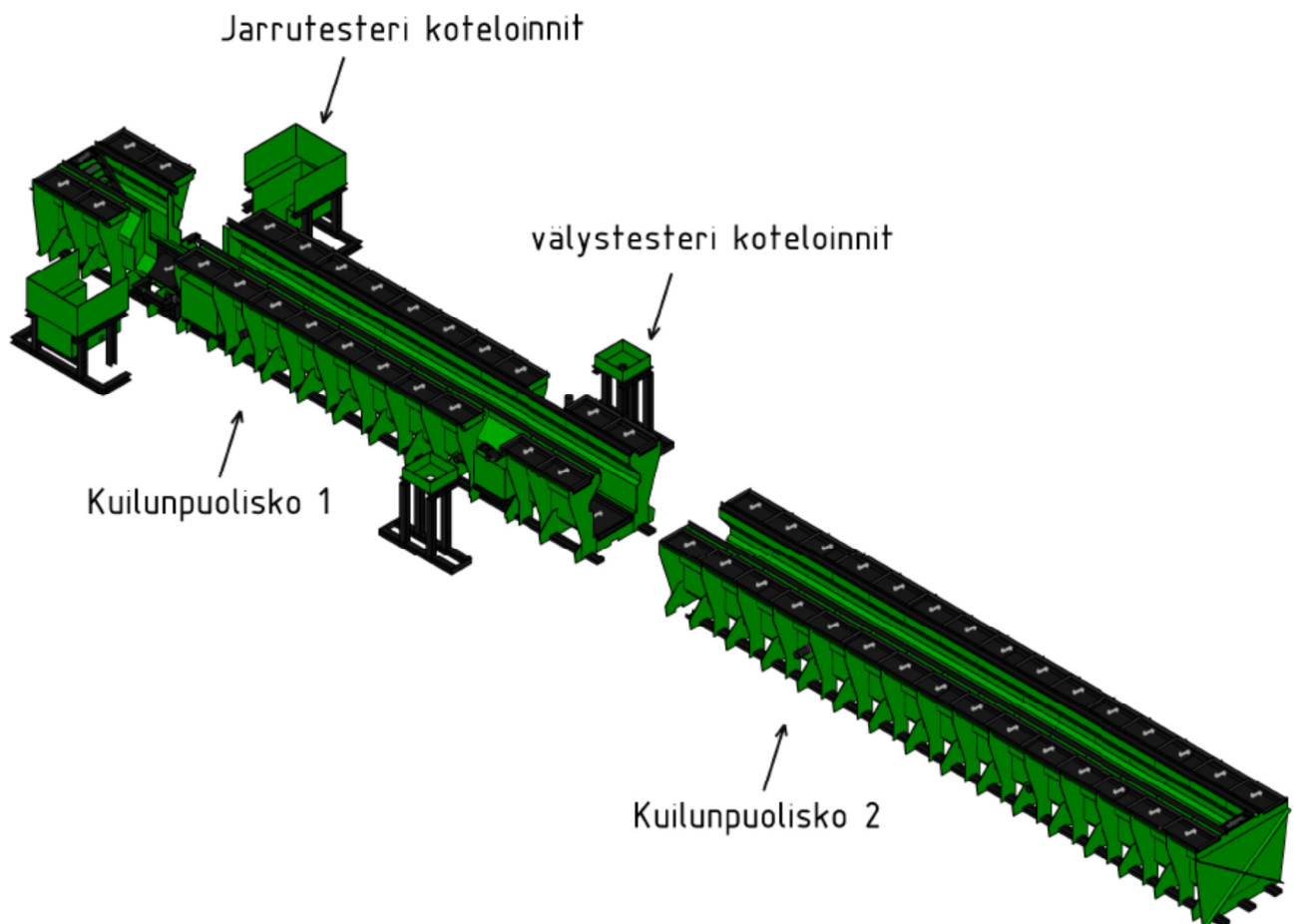
Teräslaji	Laatu-luokka	Charpy energia CVN		Referenssilämpötila T _{Ed} [°C]																							
		T [°C]	J _{min}	σ _{Ed} = 0,75 f _y (t)												σ _{Ed} = 0,50 f _y (t)								σ _{Ed} = 0,25 f _y (t)			
				10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50			
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60			
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75			
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100			
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55			
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70			
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95			
	M,N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110			
	ML,NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65	200	200	180	155	130	115	95	230	200	200	200	190	165	145			
S355	JR	20	27	40	35	25	20	15	10	10	65	55	45	40	30	25	25	110	95	80	70	60	55	45			
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15	95	80	65	55	45	40	30	150	130	110	95	80	70	60			
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80			
	K2,M,N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	200	175	150	130	110	95			
	ML,NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	80	210	200	200	200	175	150	130			

Muita laatuluokan valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat: rakenteen muotoilu, pinta-käsittely, kuormitustavat ja -asteet, valmistusmenetelmät, murtumisen seuraus ja teräksen hinta. Suunnittelu on toteutettu standardien mukaisia S355 teräksen vakiotuotevalikoiman materiaaleja noudattaen. Latuluokituksen osalta on myös edetty vakiotuotevalikoiman tarjoamien luokitusten mukaan, koska rakenne ei edellytä mitään erityisten luokitusten käyttöä. (SFS-EN 1933-1-10.)

Aiheeseen liittyvät työsuojelunäkökohdat on selvitetty työsuojeluhallinnon Pohjois-Suomen aluehallintoviraston kautta. Työhön sovelletaan yleisiä autokorjaamotoimintaan liittyviä säädöksiä. Tämän lisäksi myös aluehallintokohtaiset säädökset on huomioitu. Työturvallisuuden osalta huomioitavat asiat koskevat liukastumisiin, kompastumisiin, hätäpoistumiseen, paloturvallisuuteen sekä ilmanvaihtoon liittyviä asioita. Hätäpoistumisteiden suhteen rakenteen kummasakin päädyssä tulee olla kulkuportait. Portait tulee suunnitella hoitotasoille ja portaitkoja koskevien standardien mukaan. Liukastumisen estämiseksi rakenteen yläpinnassa tulee olla 100 mm korkea potkulista kuilun reunan molemmin puolin. Pohjalla liukastumista tulee estämään poistovesikaukaloiden päällä oleva tasoritilä. Paloturvallisuuteen liittyen rakenteessa tulee olla mahdollisuus käsisammuttimien asentamiselle. Ilmanvaihto kuilun pohjalta tulee toteuttaa poistoimurein. Ilmanvaihdolle on määritelty vakio 150 l/s, tämän johdosta vaihtoputkiston mitoitus voidaan suorittaa toimeksiantajan edellisen betonista valmistetun ilmanvaihtoputkiston mitoilla. Poikkeuksena vain se, että valmistettava rakenne tulee pituutensa suhteen tarvitsemaan 4 erillistä ilmanvaihtopistettä. (Ranta 2015.)

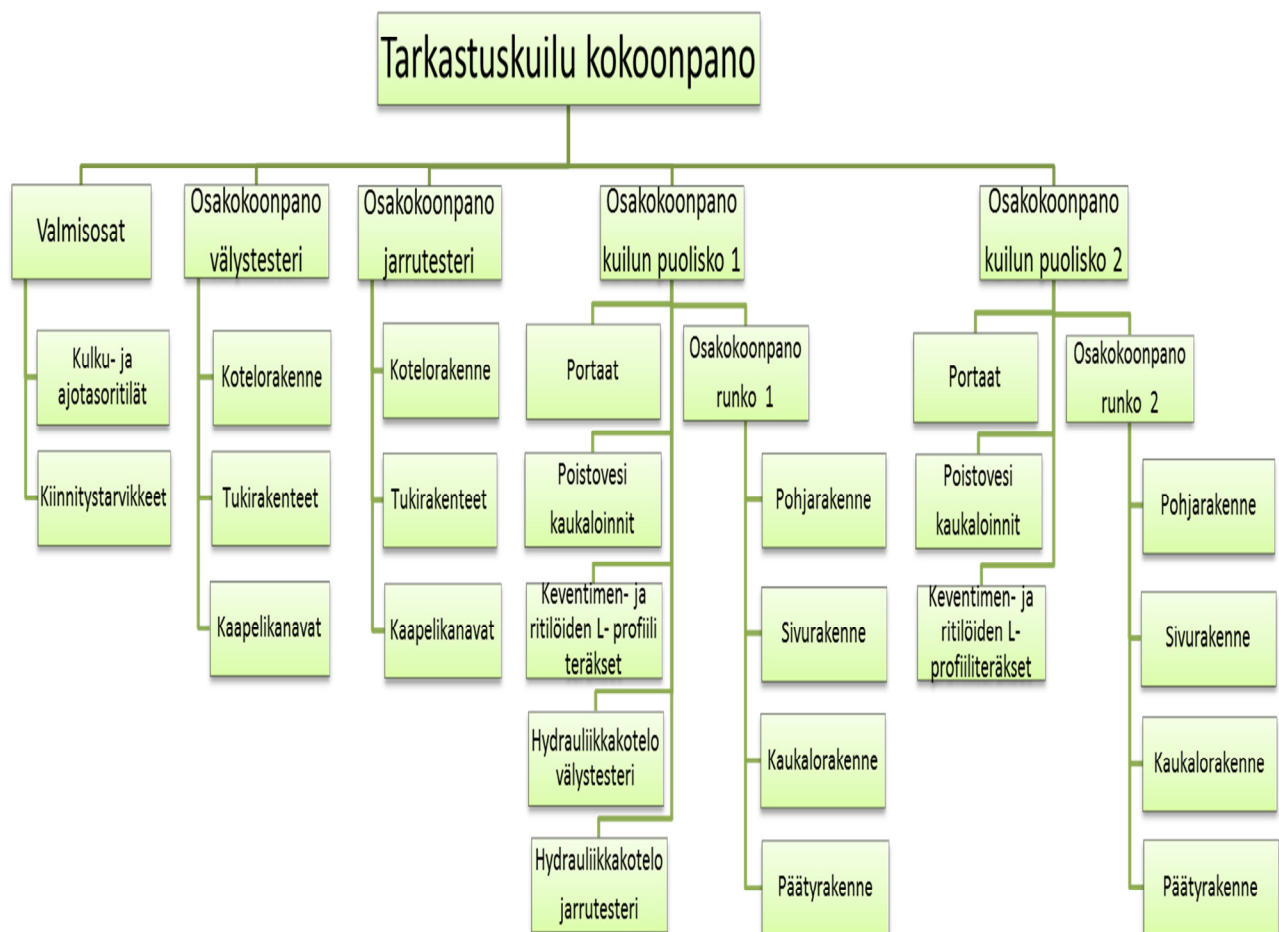
5 OSARAKENTEET

Tarkastuskuilu koostuu kahdesta 15 metriä pitkästä yhteen liitettävästä moduulista. Lisäksi rakenteeseen liitettävien jarru- ja välystesteri komponenttien koteloinnit tuentoineen ovat erillisiä osakokonaisuuksia, jotka liitetään asennuspai-
kalla itse kuilurakenteen kiinteäksi osaksi (Kuva 9). Edellä kuvattu rakennerat-
kaisu on suunniteltu toimeksiannossa annettujen kuljetusteknisten vaatimusten
perusteella. Irrallisten jarru- ja välystesteri kotelointien ansiosta tarkastuskuilun
kuljetus leveys on 2 550 mm, ja näin ollen normaalissa tieliikenteessä vielä liiku-
teltavissa ilman erillistä erikoiskuljetusta.



Kuva 9. Tarkastuskuilun osakokonaisuudet

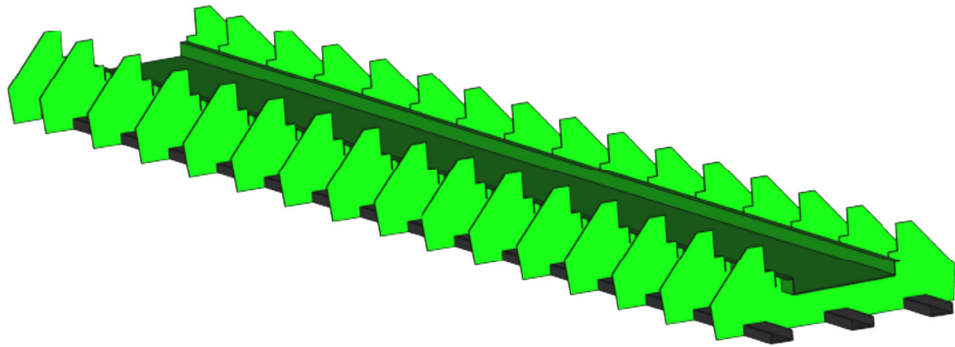
Rakenne on tästä jaoteltu eteenpäin edelleen pienempiin osarakenteisiin ja osakokonaisuuksiin (Kuvio 1). Kaaviossa esitetyt osakokonaisuudet koostuvat edelleen pääsääntöisesti kahdesta tai useammasta komponentista. Näiden jaottelu erilliseksi osarakenteeksi ei suoranaisesti ole tarpeen johtuen kokonaisuuk-
sien yksinkertaisesta rakenteesta. Nämä rakenteet pystytään kuvaamaan kokonaisuutenaan samassa laadittavassa työpiirustuksessa.



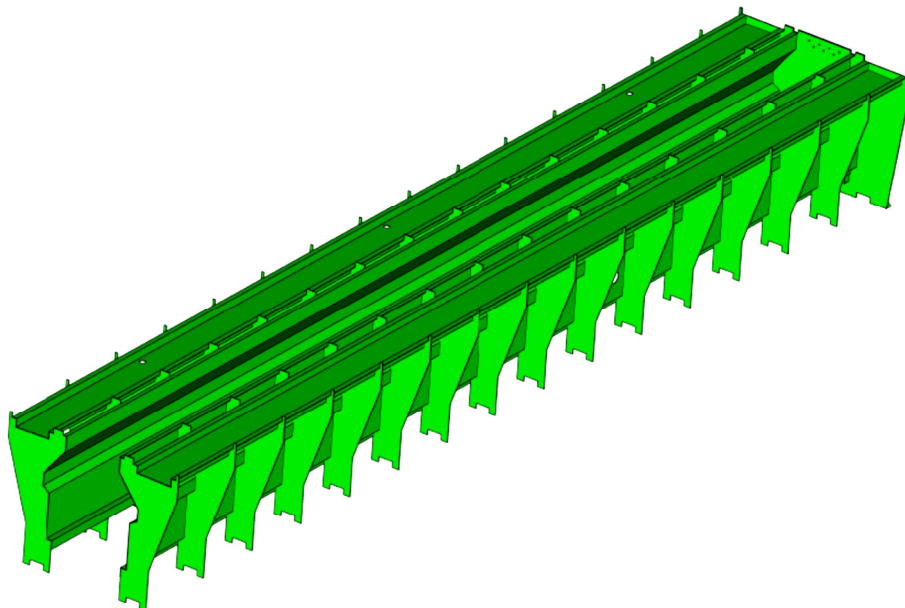
Kuvio 1. Osarakennehierarkia

6 RAKENNEKUVAUS

Tarkastuskuilua valmistettaessa ensimmäinen suoritettava osakokoonpano muodostuu sen runkorakenteesta. Runkorakenne koostuu erillisestä pohjarakenteesta (Kuva 10) sekä siihen liitettävistä sivujen pellityksistä tuentoineen, päätyrakenteineen ja ajotasanteiden pohja pellityksin (Kuva 11). Tarkastuskuilu puoliskojen pohja- ja sivurakenteet eroavat toisistaan toiseen puoliskoon asennettavien valmiskomponentti valmiuksien vuoksi. Materiaaleina rakenteissa käytetään S355 rakenneterästä 6 mm, 8 mm ja 12 mm paksuisina teräslevyinä sekä UNP-240 palkkia.



Kuva 10. Pohjarakenne (kuilu puolisko 2)



Kuva 11. Päälyrakenne (kuilu puolisko 2)

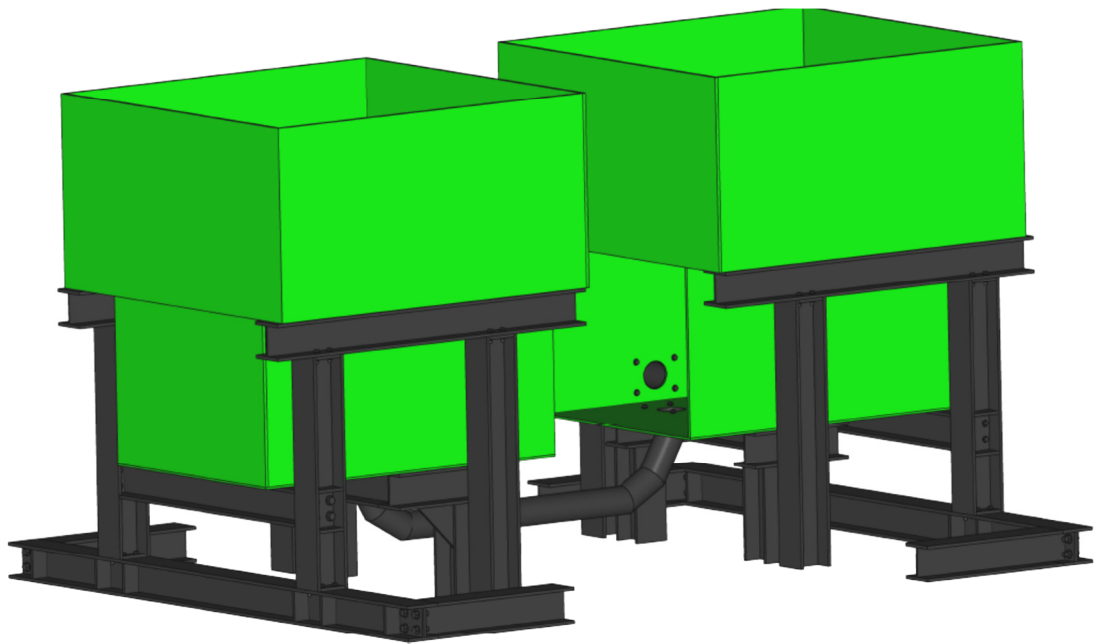
Runkorakenne valmistetaan kasaamalla pohjarakenne ensin koko pituuteensa puoliskokohtaisesti. Tämän jälkeen sivupellitys kiinnitetään kerrallaan noin 3 metrin (pituus riippuu valmistavan konepajan konekannasta) kappaleina tuentoineen pohjarakenteeseen. Sivutuntojen päälle tuleva kaukalorakenne kiinnitetään 3 - 5 metrin (riippuen jälleen valmistajan konekannasta) kappaleina rakenteeseen. Päätykappale kiinnitetään paikalleen valmistuvaan rakenteeseen. Pääty on päämateriaaliltaan samaa kuin edellä mainittu 12 mm teräslevy.

Runkorakenteiden valmistuttua niihin liitetään loput kunkin kuilunpuoliskon osakoonpanoon liittyvät komponentit. Kumpaiseenkin puoliskoon tulevat kulma-
rautaprofiilit (S355) 6 000 mm ja 3 000 mm pituisina yksikköinä, poistovesikaukalot 2,5 mm vahvuisesta ohutlevystä, 1 000 - 2 500 mm pituisina komponentteina. Kuilunpuoliskojen päihin tulevat myös portaikot (Kuva 12), joiden valmistusmateriaalina on UPE-160 palkki, FINNRASTI Oy: n askelmaritilä TH6-S sekä 12 mm ja 50 mm vahvuinen S355 lattateräs.



Kuva 12. Portaikko

Kuilun puolisko 1 tulee sisältämään edellä mainittujen lisäksi jarru- ja välystesterein, sekä niiden hydraulikkakoneikkojen koteloinnit. Testerien asennuspaikat rakentuvat asennuskotelosta sekä sitä tukevasta asennuskehikosta (Kuva 13). Kehikot on suunniteltu valmistettavaksi HEB-100 palkista, ja kotelo 12 mm vahvuisesta S355 rakenneteräslevystä. Koteloiden väliset yhdysputket kaapeloinneille ovat S355 rakenneputkea ulkohalkaisijaltaan 108 mm ja 159 mm, sisähalkaisijoiden täyttäessä vaaditut laitevalmistajien asettamat 100 mm ja 150 mm.



Kuva 13. Jarrutesterin asennuskotelointirakenne

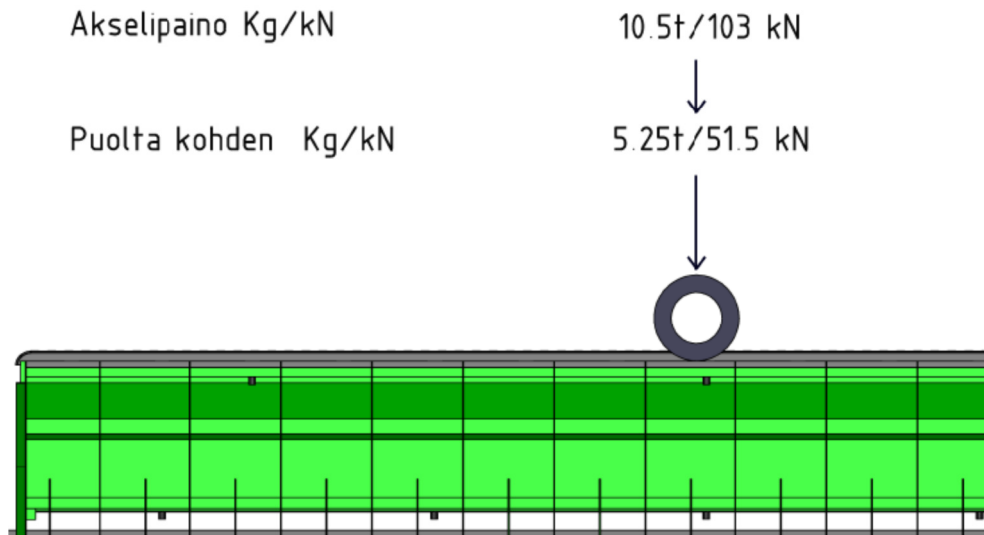
Kuvatut rakenteet ja osat liitetään pääsääntöisesti hitsaamalla toisiinsa. Portaiden askelmaritilöiden kiinnitys sekä niiden yläpään kiinnitys kuilun päätyrakenteeseen, kuten myös testereiden asennuskehikot kasataan ruuviliitoksin. Kuilun puoliskojen liittäminen toisiinsa on suunniteltu suoritettavan asennusvaiheessa ruuviliitoksella. Liitoksen pitävyys kosteuden suhteen tulee varmistaa siihen parhaiten soveltuvalla tiivistystavalla.

7 LASKELMAT

Laskennallisesti suunniteltu rakenne olisi haasteellinen, mikäli kyseessä olisi pelkkä teräsrakenne ilman betonin antamaa tukea. Kyseisen kaltaisella rakenteella ja materiaaleilla ei tällaista itseään ja kuormaansa kantavaa rakennetta pystyisi toteuttamaan, vaan rakenteen tulisi olla huomattavasti tukevampi. Tämän kaltainen rakenne taas nostaisi rakenteen materiaalikustannuksia, jolloin sen valmistuttaminen ei enää olisi taloudellisesti järkevää. Rakenteen suunnittelussa käytetyssä MicroStation V8 3D-ohjelma ei sisällä erillistä FEM-lujuusanalyysi työkalua. Kyseisellä työkalulla rakenteen tarkastelu kuormituksen vaikutuksesta olisi ollut helppo havainnollistaa. Nyt suoritetuissa laskuissa on lähinnä tarkasteltu rakennetta yksittäisten eri materiaalien osalta ilman betonin antamaa tuentaa. Laskut on suoritettu koulutusohjelmaan sisältyvien lujuuslaskennallisten oppien sekä teräsrakentamista koskevien standardien mukaan.

7.1 Pistekuormitus

Lujuuslaskennallisissa tarkasteluissa on lähdetty liikkeelle jakamalla tieliikenne laissa asetetut suurimmat sallitut akselipainot pistekuormiksi ajoneuvon yhtä puolta kohden (Liite 2). Painojakautuma on toteutettu tieliikennelaissa määriteltyjen maksimi akselimassojen perusteella 9-akseliselle yhdistelmälle. Kokonaismassa voi kyseisen kaltaisella yhdistelmällä olla 76 tonnia, josta aiheutuu noin 746 kN kokonaiskuormitus rakenteelle. Käytännössä painojakauma vaihtelee auton akselivälien ja -määrien, sekä ajoneuvoyhdistelmä mallin mukaisesti. Laissa suurin sallittu yksittäinen akselipaino on kuitenkin 10,5 tonnia, josta aiheutuu rakenteeseen 103 kN pistekuormitusta (Kuva 14). Pistekuormitus kartoitus antaa siis tarvittavan suunnan ja tarkkuuden kuormitusten tarkkailulle. (Tieliikennelaki 407/2013 1. 20, 23§.)



Kuva 14. Maksimi akseliston aiheuttama pistekuormitus

Todellisuudessa rakenteen päälle ajettavat ajoneuvot ovat ilman kuormaa. Tällöin todellinen esitetyn 9-akselisen yhdistelmän kokonaispaino liikkuu noin 20 - 25 tonnin luokassa. Akseleille kohdistuvat painot ovat siis huomattavasti edellä esitettyjä arvoja alempia. Yhdistelmästä rakenteeseen välittyvät kuormitukset olisivat tällöin noin 22 - 27 kN akselistoa kohden, kun kuormitus jaetaan tasan jokaisen akselin suhteen. Tämän perusteella rakenteeseen kohdistuisi pistekuormituksena akseliston puoliskoa kohdin 11 - 13,5 kN.

7.2 Laskenta parametrit

Rakenteeseen kohdistuvat kuormitukset tulevat välittymään sitä ympäröivään betoni rakenteeseen pääsääntöisesti. Pistekuormituskartoituksesta ja sen vaikutuksesta rakenteen materiaaleihin on myöhemmin mahdollisesti hyötyä teräs–betoni-liittorakennetta mitoitettaessa. Laskelmissa on käytetty suuruudeltaan 1,5 olevaa varmuuskerrointa. Kerroin on valittu teräsrakentamisen Eurokoodi 3 mukaisena osavarmuuskertoimena. Rakenteesta johtuen suoraan siihen sovellettavaa kerrointa ei löytynyt, joten kerroin on valittu niin rakennuksia ja siltoja koskevista eri kerroin taulukoista löytyneen korkeimman kertoimen mukaan. Kyseinen kerroin on myös ennen Eurokoodeihin siirtymistä käytetyn RIL 90 teräsrakenteiden suunnitteluohjeen mukainen varmuuskerroin. Teräksen

materiaalivakioiden mitoitusarvot on valittu Eurokoodi 3 standardin mukaisesti. Materiaalivakioiden mitoitusarvoja ovat:

- Kimmokerroin $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$
- Liukkerroin $G = 81\,000\text{ N/mm}^2$
- Poissonin luku kimmoisella alueella $\nu = 0,3$
- Lineaarinen lämpölaajeneminen $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ (kun $T \leq 100\text{ }^\circ\text{C}$)

Laskuissa käytetty teräksen myötöraja on valittu myös edellä mainitun standardin mukaan. Standardissa on määritelty rakenneterästen myötörajan ja vetomurtolujuuden nimellisarvot käytetyn teräksen nimellispaksuuden mukaisesti (Taulukko 5). (SFS-EN 1990+A1+AC, liitteet A1 & A2. SFS-EN 1993-1-1, 25 - 28.)

Taulukko 5. Myötörajan (f_y) ja vetomurtolujuuden (f_u) nimellisarvot (SFS-EN 1993-1-1.)

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S 460 Q/QL/QLI	460	570	440	550

7.3 Ajotasanteet ja kevenin

Pistekuorma kartoituksen perusteella voidaan todeta rakenteen ajotasanteeseen suunniteltujen ajotasoritilöiden täyttävän sille asetetut kuormitusraja-arvot (Taulukko 6). Ritilöiden valmistajan ilmoittama maksimikuormitus ajoneuvon pyörän välityksellä ritilää kohden on 105 kN. Kun aiemmin mainitun tieliikennelain asettaman maksimi akselipainon mukainen kuormitus jaetaan puolta kohden, saadaan 51,5 kN. Tällöinkin ritilälle ilmoitettu maksimikuormitus alittuu vielä lähes puolella. Kyseisen rakenteen kohdalla vastaavat todennäköiset kuormitukset tyhjillä yhdistelmillä pyörivät reilun 10 - 20 kN:n välillä. Ritilät ovat 1 000 mm pitkiä, jolloin akseliväleistä johtuen ritilälle ei käytännössä tule kuin yksi pyörästä kerrallaan. Edellä mainitut arvot riittävät siis ritilää kohden, reilusti maksimi kuormituskestävyyden alapuolelle jääden. Ajotasanne valmistajan antamat arvot on laskettu Eurocode-normien mukaisesti ja näin ollen ne täyttävät sen osalta nykyiset asetetut määräykset. (Oy Finnraasti Ab 2012, 20.)

Taulukko 6. Ajotasoritilöiden kuormitukset

Ajotasoritilöiden kuormitus		
Sallittu kuormitus (kN)	Laskettu maksimikuormitus (kN)	Arvioitu todellinen käyttö- kuormitus (kN)
105	51.5	10 - 20

Ajotasoritilöiden asennuskehikot ovat 75 x 75 x 8 L-profiili S355 teräksestä. Kuormitus jakautuu kahdelle L-profiilille ajoneuvon puolta kohden. Sallittu taivutusjännitys on laskettu yhtä L-profiilia kohden, rakenteessa 1 000 mm olevalla tuenta välillä (Taulukko 7). Laskujen perusteella L-profiilit taivutusjännityksen puolesta kestäisivät juuri lasketun maksimi pistekuormituksen ilman betonin antamaa tukeakin. (Liite 3).

Taulukko 7. Ajotasoritolöiden tuki L-profiilin taivutusjännitys

Ajotasoritolöiden tuki L- profiilin taivutusjännitys	
Sallittu taivutusjännitys σ (Mpa)	Laskettu taivutusjännitys σ (Mpa)
236.7	213.8

Keventimelle eli tarkastuskuilun sisälaidoilla kulkevalle hydrauliselle nostimelle kohdistuu koko akseliston paino. Kevennin kulkee kahden 130 x 65 x10 S355 L-profiilin varassa. Taivutusjännitys on laskettu yhtä L-profiilia kohden (Taulukko 8). Suoritetun tarkastelun perusteella voidaan jälleen todeta näidenkin L-profiilien kestävän ilman betonin tuentaa tarvittaessa kyseisten arvojen osalta. (Liite 4).

Taulukko 8. Keventimen L-profiilin taivutusjännitys

Keventimen L- profiilin taivutusjännitys	
Sallittu taivutusjännitys σ (Mpa)	Laskettu taivutusjännitys σ (Mpa)
236.7	175

7.4 Jarru- ja välystesterin koteloinnit

Jarrutesterin osalta on tarkistettu HEB-100 palkin taivutus- ja vääntönurjahduskestävyys (Taulukko 9). Kuormitus jakautuu testeri puoliskossa 4 pystypalkin kesken, joiden varassa rakenne seisoo. Näiden lisäksi osan kuormituksesta ottaa vastaan kotelon alla sijaitseva tukirakenne. Tämän johdosta pystypalkkia kohden tuleva kuormitus on vielä laskettua arvoa matalampi. Laskelman kuormitus koostuu ajoneuvon mukaisesta maksimi pistekuormituksesta sekä testerin kahden telaston välityksellä 45° kulmassa rakenteeseen välittyvistä 120 kN voimista. Rakenteen massasta aiheutuvia kuormituksia ei ole huomioitu suoritetuissa laskelmissa. Laskelmien perusteella palkkien kokoa on mahdollista tar-

kistaa keveämpään suuntaan lopullisen teräs-betoni-liittorakenne suunnittelun yhteydessä. (Liite 5).

Taulukko 9. Jarrutesterin kehikon jalkojen kuormituskestävyys jalkaa kohden

Jarrutesterin pysty HEB- palkkien kuormitus			
Sallittu taivutusnurjahdus kuormitus (kN)	Sallittu vääntönurjahdus kuormitus (kN)	Poikkileikkauksen puristuskestävyys (kN)	Laskettu maksimi käyttökuormitus (kN)
307.5	347.3	615.3	108.5

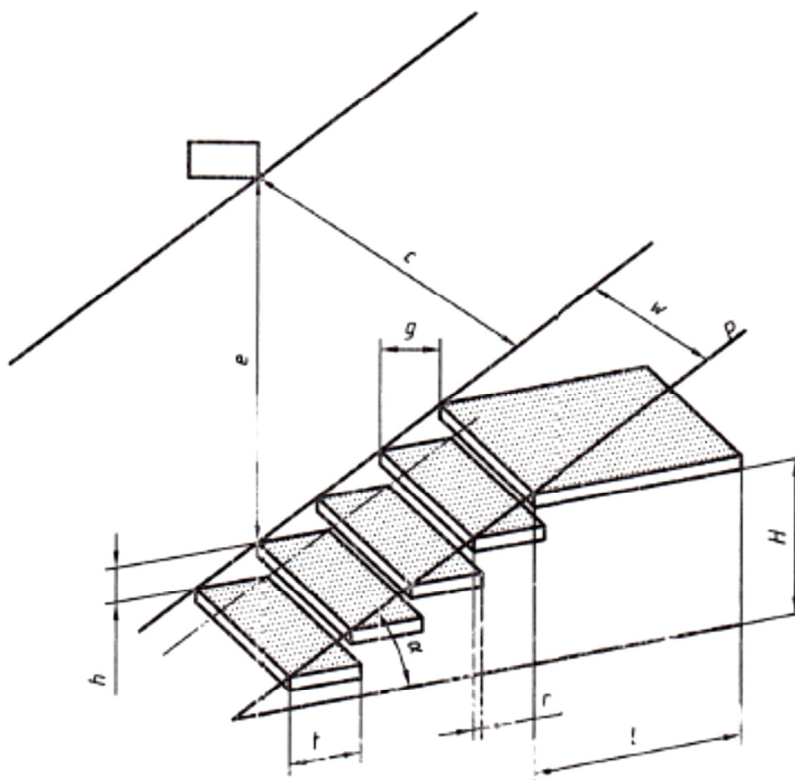
Vällystesterin osalta on myös tarkistettu HEB-100 palkin taivutus- ja vääntönurjahduskestävyys (Taulukko 10). Testerin valmistajan toimesta ei ole ilmoitettu sen käytöstä rakenteelle aiheutuvia mahdollisia kuormituksia. Tämän johdosta laskelmissa on käytetty pelkästään pistekuormituksista aiheutuvaa maksimikuormitusta rakenteeseen kohdistuvana rasituksena. Rakenteen omaa massaa ei myöskään ole huomioitu laskelmissa. Tämän rakenteen kohdalla on myös mahdollista keventää palkkikokoa lopullisen suunnittelun yhteydessä. (Liite 6).

Taulukko 10. Vällystesterin kehikon jalkojen kuormituskestävyys jalkaa kohden

Vällystesterin pysty HEB- palkkien kuormitus			
Sallittu taivutusnurjahdus kuormitus (kN)	Sallittu vääntönurjahdus kuormitus (kN)	Poikkileikkauksen puristuskestävyys (kN)	Laskettu maksimi käyttökuormitus (kN)
190.7	250.7	615.3	17.7

7.5 Portaiden mitoitus

Portaat on suunniteltu niiden suunnittelua ohjaavan standardin mukaisesti. Koska kyseessä on nousukulmaltaan 47° oleva kiinteä kulkutie, kutsutaan sitä porrastikkaiksi. Portaiksi luokitellaan nousukulmaltaan yli 20° ja korkeintaan 45° olevat kiinteät kulkutiet, porrastikkaiksi vastaavasti yli 45° ja korkeintaan 75° olevat kiinteät kulkutiet. Portaiden suunnittelulle on annettu turvallisuusvaatimuksia askelmien etenemän ja nousun suhteen kuten myös askelmien limityksen ja syvyyden osalta. Kyseisten termien määrittelyt on kuvattu alla (Kuva 15).



Merkintöjen selitykset

H	Nousukorkeus
g	Etenemä
e	Kulkukorkeus
h	Nousu
l	Tasanteen pituus
r	Limitys
α	Nousukulma
w	Leveys
p	Nousulinja
t	Askelman syvyys
c	vapaa tila

Kuva 15. Portaiden mitoitusta koskeva termistö
(SFS-EN 14122-3, 10.)

Portaiden on täytettävä seuraava kaava etenemän (g) ja nousun (h) osalta (Kaava 1).

$$600 \leq g + 2h \leq 660$$

Kaava (1)

missä

g on etenemä

h on nousu

Tähän on päästy asettamalla nousu olemaan 215 mm ja etenemä 200,5 mm. Tällöin edellä mainitulla yhtälöllä saadaan arvoksi 630,5 joka täyttää yhtälön asettaman vaatimuksen. Etenemä on saatu askelman syvyyden (t) ja askelmien limityksen (r) erotuksena. Askelmien syvyys on 230 mm ja limitys 29,5 mm, vastaavat standardin asettamat minimiarvot ovat 80 mm ja 10 mm. Alimman askelman nousu on 209 mm portaan muiden askelmien nousun ollessa 215 mm. Askelmien välinen ero täyttää standardin lähtötason ja ensimmäisen askeleen välisen sallitun nousun 15 % muutoksen muuten käytettyyn vakionousuun nähden. (SFS-EN ISO 14122-3+A1, 10, 14, 16.)

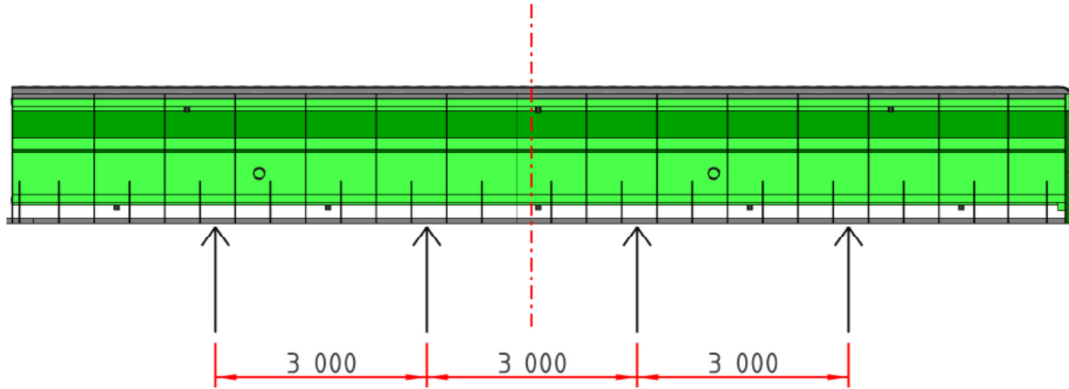
7.6 Pohjarakenne

Lujuuslaskennallisesti pohjarakenteen kohdalla tarkastelua on suoritettu yksittäisen rakenteenpuoliskon siirtämistä ajatellen. Rakenteen koko paino jakautuu kolmen UNP-240 palkin kesken, joiden päälle pohjarakenne, ja sen myötä koko rakenne on kasattuna. Tarkastelu on suoritettu rakenteen kokonaispainoa tasaisena voimana kuormittavana tekijänä, ilman tasoritilöiden tuomaa kuormitusta käyttäen. Tämän myötä on määritetty palkkia kohden tuleva taivutusjännitys (Taulukko 11).

Taulukko 11. UNP- palkin taivutusjännitys

Pohjarakenteen UNP- palkin taivutusjännitys	
Sallittu taivutusjännitys σ (Mpa)	Laskettu taivutusjännitys σ (Mpa)
236.7	216.1

Nostamisen kannalta rakenne tulisi tämän tarkastelun ja taivutusjännityksen mukaan nostaa neljästä kohden tuettuna (Kuva 16). Nostokohtien jännevälin tulisi olla kolme metriä, jolloin pysytään sallitun taivutusjännityksen alapuolella (LIITE 7).



Kuva 16. Määritelty nostopiste väli

Kahden tuentapisteen nostoa varten kyseisten palkkien kokoa tulisi kasvattaa huomattavasti. Tällöin rakenteen kokonaispaino ja sen myötä materiaalikustannukset nousivat jälleen. UNP-palkkien osalta seuraava S355 terästä oleva koko olisi UNP-350. Kyseisen esimerkkipalkin käyttäminen lisäisi rakenteen kokonaispainoa noin 2500 kg, palkin metri menekin ollessa noin 90 metriä (Kuva 17).

Tyyppi Type	Mitat / Dimensions, mm				Teoreettinen paino Theoretical weight kg/m	Teräslaji / Steel grade		
	h	b	s	t		S235JR 6 m	S235JR 12 m	S355J2 12 m
40 x 20	40	20	5	5,5	2,9	•		
40 x 35	40	35	5	3,5	4,9	•		
50	50	38	5	7	5,6	•	•	
65	65	42	5,5	7,5	7,1	•	•	
80	80	45	6	8	8,6	•	•	
100	100	50	6	8,5	10,6	•	•	•
120	120	55	7	9	13,4	•	•	•
140	140	60	7	10	16	•	•	•
160	160	65	7,5	10,5	18,8		•	•
180	180	70	8	11	22		•	•
200	200	75	8,5	11,5	25,3		•	•
220	220	80	9	12,5	29,4		•	•
240	240	85	9,5	13	33,2		•	•
260	260	90	10	14	37,9		•	
280	280	95	10	15	41,8		•	
300	300	100	10	16	46,2		•	
320	320	100	14	17,5	59,5		•	
350	350	100	14	16	60,6			•
400	400	110	14	18	71,8			•

Kuva 17. UNP-palkkien varastomitat. (Ruukki. Hakupäivä 20.4.2015)

8 PINTAKÄSITTELY

Rakenneteräkset ovat suojaamattomina herkkiä korroosion vaikutuksille. Korroosion esiintymismuotoja on useita materiaaliominaisuuksista ja ympäristötekijöistä riippuen. Yleisimmät korroosiota aiheuttavia tekijöitä ovat vesi / kosteus, eri jalousasteisten metallien väliset kontaktit sekä happi. Poistamalla tai vähentämällä näitä edellä mainittuja tekijöitä pystytään välttämään korroosion ilmentymistä. Tähän voidaan pyrkiä materiaalivalinnoilla, käyttöympäristön mukauttamisella, sekä suojaamalla käytettävä materiaali joko pinnoittamalla, tai katodisesti eli sähköisesti.

Suunnittelun työn osalta sen suojaamismuoto korroosiota vastaan on pinnoitus. Pinnoitus voidaan toteuttaa joko korroosionestomaalauksella, tai suojaamalla teräs toisella jalommalla / epäjalommalla metallilla. Suojaavaa metallipinnoitusta käytettäessä teräsrakentamisen osalta on yleisempi tapa suojata teräs epäjalommalla metallilla, tavallisesti tämä tapahtuu joko sinkkiä tai alumiinia käyttäen. Nyt kyseessä olevan rakenteen kohdalta sen sinkitys on haasteellista jo rakenteen mittasuhteiden ja rakenteen eri rakenneosien välisten paksuuserojen puolesta. Pinnoitusmenetelmäksi valitaan siis korroosionestomaalaus.

Korroosionestomaalauksen suojaava vaikutus perustuu terästä suojaavaan kalvoon. Jos kalvoon tulee reikä, pääsee korroosio etenemään sitä myöten rakenteeseen. Suojauksen onnistuminen edellyttää pinnan hyvää esikäsitteilyä sekä oikeiden maaliyhdistelmien valintaa, käyttöolosuhteiden ja pinnoitteen kestävyiden osalta. Korroosionestomaalauksen suorittamista ohjaavatkin sitä koskeva standardisarja SFS-EN ISO 12944-1 - SFS-EN ISO 12944-6 [10, 25–26], jotka pohjautuvat Eurokoodi 3 standardiin. Nämä standardit koskevat maalattavien rakenteiden suunnittelua, teräksen pinnan puhdistusmenetelmiä, esikäsitteilyä, maaliyhdistelmiä sekä maalausjärjestelmiä. Näistä esimerkiksi standardi SFS-EN ISO 12944-3 käsittelee tarkasti suunnittelun osalta korroosionestotyössä käytettävien työkalujen tarvitsemia etäisyyksiä (Taulukko 12). (Kaitila 2010,164; SFS-EN ISO 12944-3.)

Taulukko 12. Korroosionesto työssä käytettävien työkalujen tarvitsemia etäisyyksiä. (SFS-EN ISO 12944-3.)

Toiminta	Työkalun pituus (D_2) mm	Työkalun ja alustan väli- nen etäisyys (D_1) mm	Työskentely- kulma (α) astetta
Raesuihkupuhdistus	800	200...400	60...90
Koneellinen puhdistus			
— neulapistoolilla	250...350	0	30...90
— hiertämällä/hiomalla	100...150	0	—
Puhdistus käsi- työkaluilla			
— harjaamalla/hakkurilla	100	0	0...30
Metalliruiskutus	300	150...200	90
Maalin levitys			
— ruiskuttamalla	200...300	200...300	90
— siveltimellä	200	0	45...90
— telalla	200	0	10...90

Tässä yhteydessä ei ole lähdetty syventymään yksityiskohtaisemmin pintakäsittelyyn, koska sen määrittelemine kuuluu myös suunnittelijan laatiman toteutuseritelmän kanssa laadittavien oheisdokumenttien pariin. Työn rajauksissa näiden dokumenttien laatiminen on jätetty työn ulkopuolelle rajauksissa mainittujen ajallisten ja standardien siirtymävaiheen aiheuttamien epäkohtien vuoksi. Rakenteen tarjouskyselyyn riittää, että korroosiosuojaus pintakäsittely on tarkoitus toteuttaa korroosionestomaalauksella.

9 SUUNTAA ANTAVA KUSTANNUSARVIO

Rakenteen kustannukset tulevat koostumaan itse rakennusmateriaalien hankintahinnoista sekä valmistuttamisen aiheuttamista kustannuksista. Oman lisänsä kokonaiskustannuksiin tuo myös rakenteen kuljetuskustannukset. Koska työn tarkoituksena on luoda työn toimeksiantajalle tarjouskyselyyn soveltuvat piirustukset, ei tässä vaiheessa ole suoraan pyydetty tarjouksia mahdollisilta valmistajilta.

Karkeaa teräsrakenteen kustannusarviota käyttäen voidaan kuitenkin varovaisesti arvioida rakenteen valmistuskustannuksia (Taulukko 13). Arvio perustuu Suomessa kilohinnan määrittämiseen valmiin tuotteen massan mukaan. Kilohinta pitää sisällään niin materiaalin, valmistamisen ja pintakäsittelyn kustannukset. Arvio on määritetty viidelle eri kokonaismassalle. Suunnitellun rakenteen kokonaismassa on noin 30 000 kg mukaan lukien tasoritilä materiaalit, jotka ovat valmisosina hankittavia. Ilman kyseisiä ritilävalmisteita rakenteen konepajalla valmistettavaksi massaksi jää noin 27 000 kg. Materiaalikokoja mahdollisesti tarkentamalla teräs-betoni-liittorakenteen suunnittelun yhteydessä, voidaan kokonaismassaa alentaa hieman. Alimmat kustannusarviot on laskettu malliksi kustannushintojen suunnan näyttäjiksi. Rakenteen massan alentaminen kyseisille tasoille tuskin onnistuisi toimivan rakenteen aikaansaamisen puitteissa, rakenteen mittasuhteet ja käyttötarkoituksen huomioiden.

Taulukko 13. Kokonaiskustannusarvio

Kokonaiskustannus arvio		
Euro /kilo (€/kg)	Massa (kg)	Arviokustannushinta (€)
5 - 7	30 000	150 000 - 210 000
5 - 7	26 000	130 000 - 182 000
5 - 7	22 000	110 000 - 154 000
5 - 7	18 000	90 000 - 126 000
5 - 7	14 000	70 000 - 98 000

Kun rakenteen pituus on 30 metriä, voidaan edellä kuvatus laskentataulukon perusteella edelleen muodostaa arvio rakenteen pituusmetriä kohti olevan massan ja hinnan välisestä kustannusarviosta (Taulukko 14).

Taulukko 14. Rakenteen metrihinnan kustannusarvio

Rakenteen metrihinnan kustannusarvio		
Kokonaismassa (kg)	Massa / Metri (kg / m)	Arviokustannushinta / Metri (5 - 7 € / m)
30 000	1000	5 000 – 7 000
26 000	867	4 335 – 6 069
22 000	733	3 665 – 5 131
18 000	600	3 000 – 4 200
14 000	467	2 335 – 3 269

Kuljetuskustannuksien arviointi on vaikeaa, koska rakenteen valmistuspaikka voi sijaita hyvinkin lähellä, tai sitten jopa ulkomailla. Rakenteen kuljettaminen vaatii kokonaisen ajoneuvoyhdistelmän kuljetus kapasiteetin, jonka kustannukset määräytyvät matkan ja lastin painon perusteella. Karkeasti arvioituna yhdistelmän polttoaineen kulutus on noin 35 - 40 l / 100 km, eli noin 45,5 - 52 € /100 km, 1,3 €: n litrahintaa käytettynä. Jos matkaa tulee edestakaisin esimerkiksi 1400 km, niin polttoainekulut tekevät noin 700 €. Kun tähän lisätään muut kuljetusyrittäjälle kertyvät kulut, niin kyseisen matkan rahtihinnaksi muodostuu todennäköisesti karkeasti arvioituna noin 2 000 €. Rahtikustannukset tulevat siis muodostamaan pienen osan rakenteen kokonaiskustannuksista, eivätkä todennäköisesti tule vaikuttamaan oleellisesti itse valmistuspaikan valintaan.

10 JÄLJELLE JÄÄNEET TOIMENPITEET

Suoritetun esisuunnittelutyön jälkeen jääviä toimenpiteitä on niin itse suunnittelun kuin sen dokumentointiin liittyen. Mahdolliset asennus- ja käyttöohjeiden laadinta, sekä lupa-asiat rakenteen käyttöönoton suhteen ovat toimenpiteitä jotka jäävät nyt suoritetun työn ulkopuolelle. Näin ollen myös nämä mainitut ohjeet ja lupa asiat ovat jäljelle jäävien toimenpiteiden joukossa. Lopullisen suunnittelutyön myötä on syytä tehdä rakenteelle lisäksi tarkempi sen käyttöturvallisuuteen ja riskien hallintaan liittyvä tarkastelu.

10.1 Lisäsuunnittelu

Suunnittelun osalta lisäsuunnittelua vaativia kohteita ovat teräs-betoni-liittorakenteeseen liittyvät seikat. Liittorakenteen suunnittelun myötä on mahdollista myös tarkentaa käytettävien materiaalien kokoja. Liittorakenteen suunnittelua koskevat SFS-EN 1994-standardisarjan Eurokoodi 4 säännökset. Asiaan perehtyessä on syytä lisäksi olla yhteydessä rakennusalan suunnittelusta vastaaviin tahoihin.

Liitosten suunnittelu ja lopullinen mitoitus, niin ruuvi, kuin hitsiliitosten osalta on suoritettava lopullisten materiaalikokojen tarkennuttua. Näitä liitoksia koskevat SFS-EN 1993 1-8 Eurokoodi 3 standardi alaviite standardeineen, muun muassa mitoituksen, käyttökohteen, materiaalien, lisäaineiden ja toleranssien osalta.

Rakenteen siirrettävyyden osalta on huomioitava sen rungon muoto. Valmistetun rakenteen nosto kuljetusalustalle onnistuu ilman ongelmia esimerkiksi kahdelta nostokapasiteetiltään riittävällä vastapainotrukilla yhteisnostolla suoritettuna. Sen sijaan rakenteen lasku mahdolliselle asennuspaikalleen todennäköisesti joudutaan suorittamaan ajoneuvonosturilla. Tällöin on huomioitava, että rakenne on yläosastaan leveämpi kuin kantavien UNP-palkkien kohdalta. Rakenteesta johtuen sen sivut eivät kestä todennäköisesti niihin nostosta kohdistuvaa

puristusta ilman muodonmuutosta. Onkin syytä käyttää erillistä nosto alustaa, tai suunnitella pohjarakennetta pidemmälle siten, että se mahdollistaa ongelmattoman noston.

10.2 Dokumentaatiot

Rakenteen mahdollinen käyttöönoton hyväksyminen tai CE-merkinnän vaatiminen voi edellyttää, että rakenne on toteutettu teräsrakennetta koskevien nyky-normien mukaan, jolloin se on kyettävä osoittamaan tarvittavin dokumentein SFS-EN 1090-1 ja SFS-EN 1090-2-standardien mukaan. Tämä on otettu huomioon nyt suoritetussa suunnittelussa siten, että on noudatettu standardeja, jotka pohjautuvat näihin edellä mainittuihin standardeihin.

Laadittavista dokumenteista laajin on SFS-EN 1090-2+A1-standardin vaatima suunnittelijan laatima toteutuseritelmä, joka on edellytyksenä ennen kuin rakenteen valmistus voidaan aloittaa. Tästä dokumentista ilmenee kaikki rakenteen toteutusta koskevat vaatimukset. Toteutuseritelmässä käsitellään tarpeen mukaan standardin SFS-EN 1090-2+A1: lisäliitteiden A.1 ja A.2 koskevia lisätietoja, toteutusluokkaa, esikäsitteilyasteita, toleranssiluokkia sekä rakennustöiden turvallisuutta koskevia teknisiä vaatimuksia.

11 POHDINTA

Suoritettu suunnittelutyö oli kaiken kaikkeaan hyvin mielenkiintoinen ja opettavainen. Vaikka suunniteltu rakenne kokonsa puolesta on suuri, niin se ei silti rakennu kovinkaan monesta komponentista. Itse rakenteen toteutus 3D-mallinnuksena ei ollutkaan kovin haastavaa, mutta rakenteen suunnittelu sen sijaan vei yllättävänkin paljon aikaa.

Rakenteelle annettujen lähtömittatietojen ja rakennetta käyttävien ajoneuvojen akselivälien yhteensovittaminen siten, että suunniteltava rakenne olisi standardien mukaisista vakiomateriaaleista ja profiileista valmistettavissa vaati oman osansa työhön käytetystä kokonaisajasta. Tähän käytetty aika kuitenkin korvasi itsensä varsinaisen mallinnuksen yhteydessä. Mallinnus sujui vähäisin muutoksin juuri suunnittelun pohjustukseen käytetyn ajan johdosta. Edelleen kuitenkin tuli huomattua se tosiasia, että pieni muutos, jolla on kauaskantoinen vaikutus läpi koko rakenteen, voi ajallisesti teettää huomattavan paljon töitä kesken mallinnuksen.

Oman osansa ajasta vei nykyisiin teräsrakentamista koskeviin standardeihin perehtyminen. Perusajatus nykyisin voimassa olevissa SFS-EN 1090-1 ja SFS-EN 1090-2 sekä näiden myötä Eurocode 3, ja siihen liittyvissä oheisstandardeissa on hyvä. Tarkoitus yli maiden rajojen helpottuneesta kaupankäynnistä ja tuotteiden tasavertaisuudesta eri valmistajien kesken helpottaa monen yrityksen kilpailukykyä. Varjopuolena näen asialle kuitenkin sen, kuinka ison resurssimäärän uuden standardin noudattaminen vaatii tuotteen valmistamisessa, suunnittelusta tuotantoon ja sen myötä markkinoille. Asiaan työn tekemisen myötä hieman perehtyneenä tuntuu, että monelle pienemmälle yritykselle kyseisten standardien mukainen toimintavaatimus voi olla kuolinisku kilpailukykyiselle yritystoiminnalle. Usealle tuotteelle nykyään vaadittu CE-merkintä vaatii kyseisten standardien mukaista valmistusta, ja ilman tätä merkintää tuote ei välttämättä läpäise sille asetettuja vaatimuksia ja näin ollen ei ole markkinakykyinen.

Tämän työn osalta myös täysin kyseisten standardien mukainen toiminta työn ajallisten puitteiden varjossa oli mahdotonta. Valtaosan työhön käytetystä ajasta olisi vienyt pelkästään SFS-EN 1090-2+A1 mukaisen suunnittelijan laatiman toteutuseritelmän laatiminen. Voimassa olevien teräsrakentamista koskevien standardien seuraaminen työn suorittamisen osalta oli opettavasta niiden käytöstä ja rakenteesta. Standardien noudattaminen ja niihin perehtyminen esimerkiksi teräsrakentamisen osalta vaatii niiden parissa ajallisesti pidempään työskentelyä, kun kaiken kaikkiaan siihen liittyviä standardeja on noin 200.

Suunniteltu tarkastuskuilurakenne itsessään on toteutuskelpoinen tarkemman loppusuunnittelun jälkeen. Rakenteen valmistamiseen liittyvien kustannuksien osalta on kuitenkin syytä miettiä sen kannattavuutta. Valmistuttaminen Suomessa ei todennäköisesti ainakaan ole järkevää. Syytä on myös tutkailla riittääkö 1 - 2 kuukauden rakennuksen aikaisempi käyttöönotto kaventamaan hintaeroa perinteiseen betonista valmistettavaan tarkastuskuiluun. Nämä ovat kysymyksiä, jotka selviävät toimeksiantajan myöhemmän toiminnan myötä. Kustannuskysymyksen selvittäminenhän työn pohjimmainen tarkoitus olikin, tarjouskyselytyökuvien laatimisen muodossa.

LÄHTEET

- Gerhard, P & Wolfgang, B. 1992. Koneensuunnitteluoppi. 2. korjattu painos. Porvoo: Suomen Metalli-, Kone- ja Sähköteknisen Teollisuuden Keskusliitto, MET.
- Huhtala, V., Makkonen, T., Ojanen, T. & Rusanen A. 1987. Konstruktitekniikka. 1.- 2. painos. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
- Hämeen ammattikorkeakoulu. 2008. Teräsrakentaminen. Hämeenlinna: Hämeenlinnan ammattikorkeakoulu.
- Ingtop Metal 2015. Products. Viitattu 29.1.2015
<http://www.servicepits.com/products/887631.html>
- Ironbridge birhplace of industry 2015. About Us. Viitattu 1.2.2015
<http://www.ironbridge.org.uk/about-us/>
- Keinänen, T., Kärkkäinen, P. 2009. Konetekniikan perusteet. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
- Kaitila, O. 2010. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus: Eurocode 3. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
- Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P., Tuomikoski, J. 2001. Konetekniikan materiaalioppi. 9. painos. Helsinki: Edita Oyj.
- Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi 2015. Katsastustoiminta. Viitattu 27.1.2015
http://www.trafi.fi/tieliikenne/luvat_ja_hyvaksynnat/katsastustoiminta
- Moos. Beck. Flor. Kalb. & Wagenleiter 2008. Metallirakentajan käsikirja. Hämeenlinna: Hämeenlinnan ammattikorkeakoulu.
- OY Finnraști AB 2012. Käsikirja. 5. painos. Viitattu 30.3.2015
<http://www.finnrasti.fi/fi-fi/pdf/kaasikirja5.pdf>
- Railway technology com. 2015. Forth Rail Bridge, Firth of Forth, Scotland. Viitattu 1.2.2015. <http://www.railway-technology.com/projects/forth-rail-bridge-firth-scotland/>
- Ranta, J. 2015. Työsuojeluhallinto Pohjois- Suomen aluehallintovirasto. Työsuojeluviranomaisen haastattelu 18.2.2015.
- Salmi, T., Pajunen, S. 2010. Lujuusoppi. Tampere: Pressus Oy.

- SFSedu.fi. Koistinen 2015. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus pähkinänkuoressa. Viitattu 2.2.2015 http://www.sfsedu.fi/files/160/Teras-_ja_alumiinirakenteiden_toteutus.pdf
- SFS ry. 2015, a. Standardien suhde muihin asiakirjoihin. Viitattu 2.2.2015 http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/standardien_suhde_muihin_asiakirjoihin
- SFS ry. 2015, b. Suomalainen standardoimisjärjestelmä. Viitattu 2.2.2015 http://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on/suomalainen_standardisointijarjestelma
- SFS ry. 2015, c. SFS, EN, ISO? Viitattu 2.2.2015 http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/sfs_en_iso
- SFS ry. 2015, d. Eurokoodit. Viitattu 3.2.2015 <http://www.sfs.fi/aihealueet/eurokoodit>
- SFS-EN 1090-1+A1, 2012. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 1: Vaatimukset rakenteellisten kokoonpanojen vaatimuksenmukaisuuden arviointiin. Viitattu 3.2.2015 <www.sfs.fi>
- SFS-EN 1090-2+A1, 2012. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. Viitattu 3.2.2015. www.sfs.fi
- SFS-EN 1990+A1+AC, 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Viitattu 1.4.2015. www.sfs.fi
- SFS-EN 1993-1-1, 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännökset. Viitattu 1.4.2015. www.sfs.fi
- SFS-EN 1993-1-10, 2005. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-10: Materiaalin sitkeys ja paksuussuuntaiset ominaisuudet. Viitattu 1.4.2015. www.sfs.fi
- SFS ry. 2010. SFS käsikirja 133, Ce- merkintä. Perustiedot 2010. Helsinki: SFS.
- SFS-EN ISO 12944-3, 1998. Teräsrakenteiden suojamaaliyhdistelmillä. Osa 3: rakenteen suunnitteluun liittyviä näkökohtia. Viitattu 8.4.2015. www.sfs.fi
- SFS-EN ISO 14122-3+A1, 2010. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet. Viitattu 2.4.2015 www.sfs.fi
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 10.09.2007. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Nosturia kannattavat rakenteet. 1993-6+AC

- SFS 10025-2, 2004. Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 2: seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot. Viitattu 1.2.2015 <www.sfs.fi>
- Sornikivi, U.1996. Yhdeksän vuosikymmentä liikenteen turvallisuutta. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy.
- Tieliikennelaki 6.6.2013/407. Viitattu 1.4.2015.
- Tuhola, E., Viitanen, K. 2008. 3D- mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. 1. painos. Tampere: Tammertekniikka (Amk- Kustannus Oy:n aputoiminimi)
- Työsuojeluhallinto 2014. Organisaatio. Viitattu 15.2.2015.
<http://www.tyosuoja.fi/fi/tyosuojeluhallinto-organisaatio>
- Työsuojelulaki 23.8.2002/738. Viitattu 15.2.2015
- Tukes 2014. Ce- merkintä. Viitattu 3.2.2015.
<http://tukes.fi/fi/Toimialat/Kuluttajaturvallisuus/CE-merkki/>
- Vittaniemi, H. 2015. Paattion Autokatsastus Oy. Toimitusjohtajan haastattelu 19.1.2015.

LIITTEET

LIITE 1: Ohjeistettujen rakennemittojen luonnoskuva

LIITE 2: Pistekuormitus luonnoskuva

LIITE 3: Lujuuslasku: Ajotasoritolöiden kehikon L-profiilin taivutusjännitys tarkastelu

LIITE 4: Lujuuslasku: Keventimen L-profiilin taivutusjännitys tarkastelu

LIITE 5: Lujuuslasku: Jarrutesterin asennuskehikon HEB- palkin nurjahdus tarkastelu

LIITE 6: Lujuuslasku: Välystesterin asennuskehikon HEB- palkin nurjahdus tarkastelu

LIITE 7: Lujuuslasku: UNP- palkin taivutusjännitys tarkastelu

LIITE 8: Materiaalilista

LIITE 9: 1100_L01 Työpiirustus kokoonpano

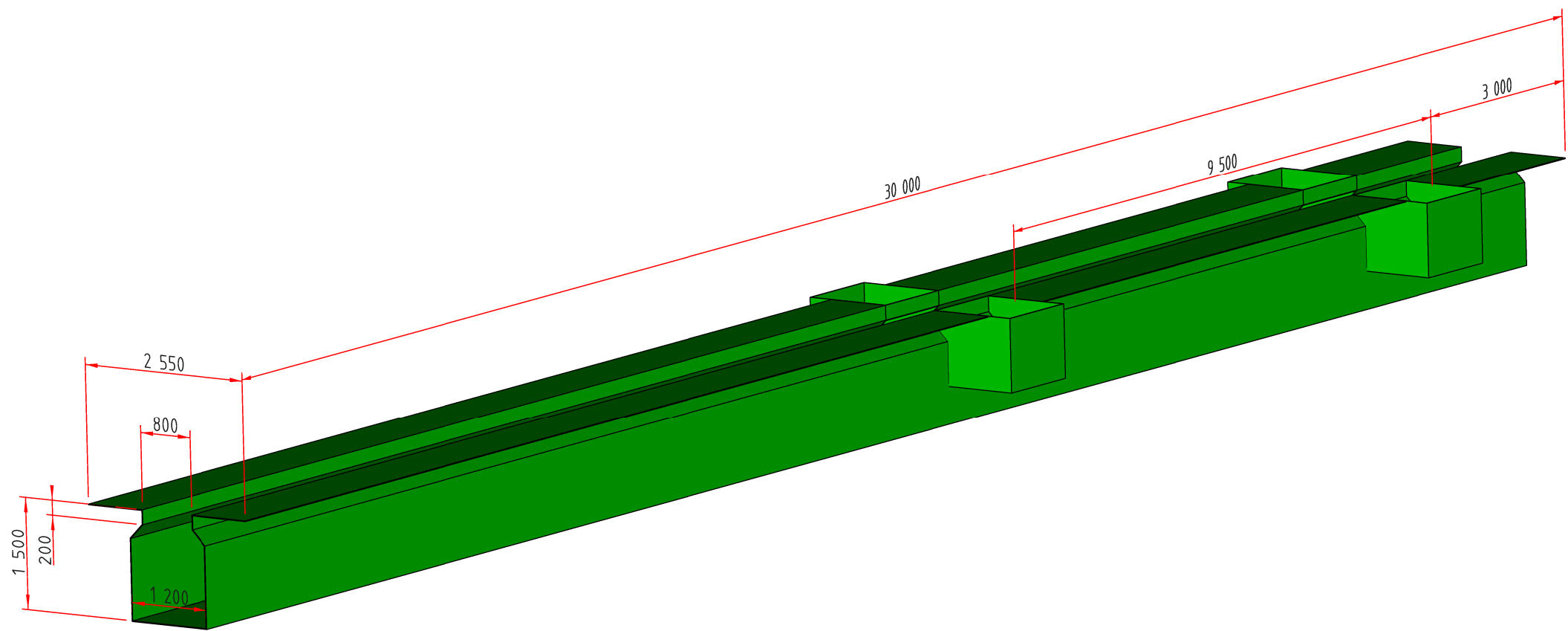
LIITE 10: 1100_L02 Työpiirustus osakokoonpano: kuilu puolisko 1

LIITE 11: 1100_L03 Työpiirustus osakokoonpano: kuilu puolisko 2

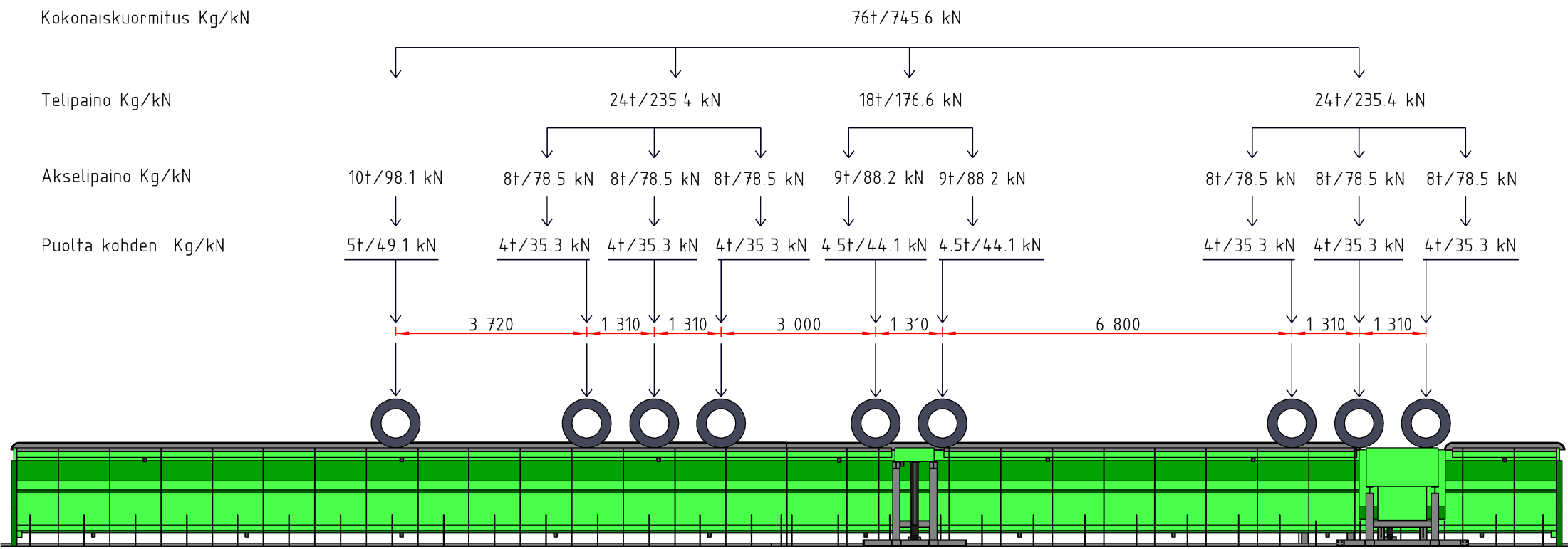
LIITE 12: 1100_L04 Työpiirustus osakokoonpano: jarrutesterin asennuskotelointi

LIITE 13: 1100_L05 Työpiirustus osakokoonpano: välystesterin asennuskotelointi

Liite 1.



Liite 2.



Liite 3. Ajotasoritolöiden kehikon L-profiilin taivutusjännitystarkastelu

Materiaalitiedot 75 x 75 x8

S355 $R_{eh} := 355\text{MPa}$ SFS – EN1993 – 1 – 1

Neliömomentti SFS 2024 mukaan

$$I_x := 0.589 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Pinta-ala SFS 2024 mukaan

$$A := 1.15 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

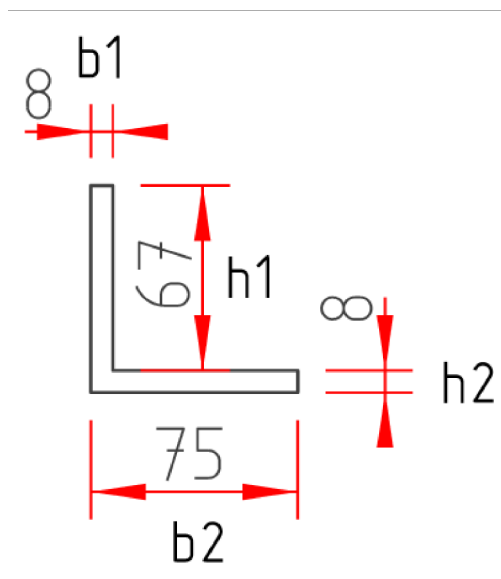
Sallittu taivutusjännitys

$$\text{varmuus } n := 1.5$$

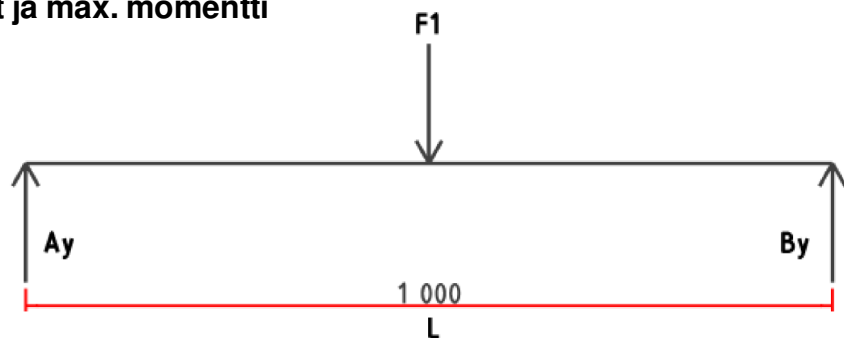
$$\sigma_{\text{sall}} := \frac{R_{eh}}{n} \quad \sigma_{\text{sall}} = 236.667 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

L - palkin mitat

$$L := 1000\text{mm} \quad b_1 := 8\text{mm} \quad h_1 := 67\text{mm} \quad b_2 := 75\text{mm} \quad h_2 := 8\text{mm}$$



Tukivoimat ja max. momentti



$$F := 51.5 \text{ kN}$$

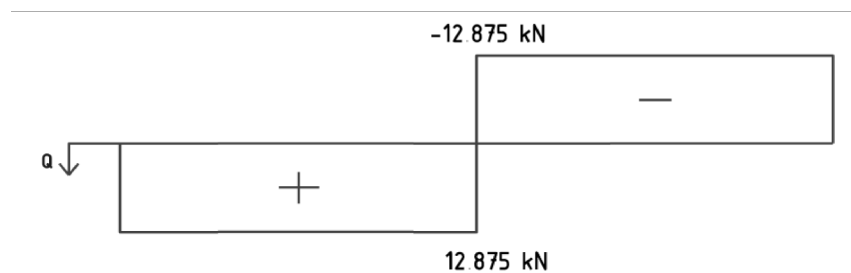
Kuormitus jakautuu kahdelle L-profiilille ajoneuvon puolta kohden

$$F_1 := \frac{F}{2} \quad F_1 = 25.75 \cdot \text{kN}$$

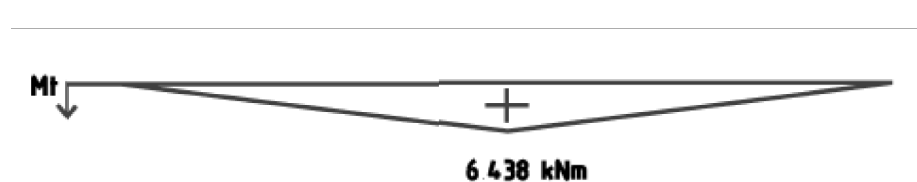
$$A_y := \frac{F_1 \cdot \frac{L}{2}}{L} \quad A_y = 12.875 \cdot \text{kN}$$

$$B_y := \frac{F_1 \cdot \frac{L}{2}}{L} \quad B_y = 12.875 \cdot \text{kN}$$

Leikkausvoimakuvio



Taivutusmomenttikuvio



$$M_{\max} := A_y \cdot \frac{L}{2} \quad M_{\max} = 6.438 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Taivutus jännitys

$$e_1 := 37.5\text{mm} \quad e_2 := 4\text{mm}$$

$$S_z := b_1 \cdot h_1 \cdot e_1 + b_2 \cdot h_2 \cdot e_2 \quad S_z = 2.25 \times 10^4 \cdot \text{mm}^3$$

$$a_1 := \frac{S_z}{A} \quad a_1 = 19.565 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma := \frac{M_{\max}}{I_x} \cdot a_1 \quad \sigma = 213.839 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

LIITE 4. Keventimen L- profiilin taivutusjännitys tarkastelu

Materiaalitiedot L-palkki 130 x 65 x 10

S355 $R_e := 355\text{MPa}$ SFS – EN1993 – 1 – 1

Pinta ala SFS 2025 mukaan

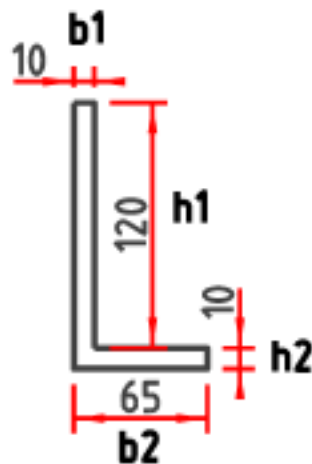
$$A := 1.86 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Neliömomentti SFS 2025 mukaan

$$I_x := 3.21 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

L- palkin mitat

$L := 1000\text{mm}$ $b_1 := 10\text{mm}$ $h_1 := 120\text{mm}$ $b_2 := 65\text{mm}$ $h_2 := 10\text{mm}$



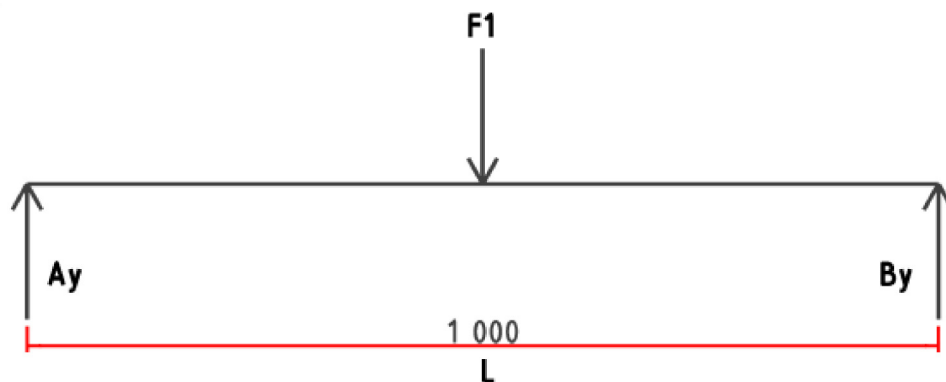
Sallitu taivutusjännitys

varmuus $n := 1.5$

$$\sigma_{\text{sall}} := \frac{R_e}{n} \qquad \sigma_{\text{sall}} = 236.667 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Tukivoimat ja max. momentti

Vk – kuva



$$F_1 := 103 \text{ kN}$$

$$L := 1000 \text{ mm}$$

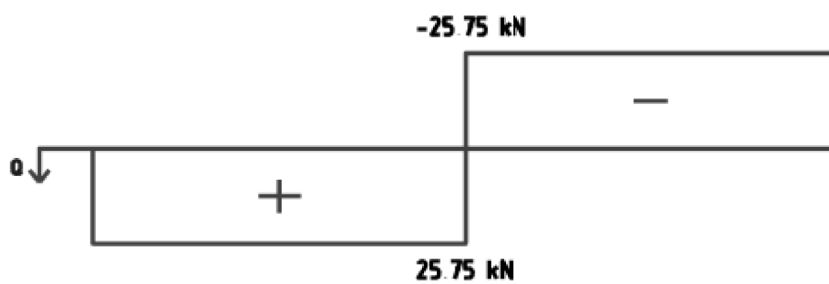
Yhtä L-profiilia kohden

$$F_1 := \frac{F_1}{2} \quad F_1 = 51.5 \cdot \text{kN}$$

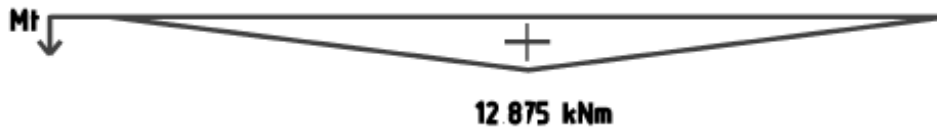
$$A_y := \frac{F_1 \cdot \frac{L}{2}}{L} \quad A_y = 25.75 \cdot \text{kN}$$

$$B_y := \frac{F_1 \cdot \frac{L}{2}}{L} \quad B_y = 25.75 \cdot \text{kN}$$

Leikkausvoimakuvio



Taivutusmomenttikuvio



$$M_{\max} := Ay \cdot \frac{L}{2} \quad M_{\max} = 12.875 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Taivutus jännitys

$$e_1 := 65 \text{ mm} \quad e_2 := 5 \text{ mm}$$

$$S_z := b_1 \cdot h_1 \cdot e_1 + b_2 \cdot h_2 \cdot e_2 \quad S_z = 8.125 \times 10^4 \cdot \text{mm}^3$$

$$a_1 := \frac{S_z}{A} \quad a_1 = 43.683 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_1 := \frac{M_{\max}}{I_x} \cdot a_1 \quad \sigma_1 = 175.207 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Liite 5. Jarrutesterin asennuskehikon HEB- palkin nurjahdus tarkastelu

Materiaalitiedot HEB-100 palkki

S355 $R_{eh} := 355 \text{ MPa}$ SFS-EN 1993-1-1

$$\epsilon := \sqrt{\frac{235}{355}} \quad \epsilon = 0.814 \quad E := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad G := 81000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Neliömomentit ja -säteet standardin SFS 2013 mukaan

$$I_x := 4.5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \quad I_y := 1.67 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_x := 41.6 \text{ mm} \quad i_y := 25.3 \text{ mm}$$

Poikkipinta - ala SFS 2013 mukaan

$$A := 2.60 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

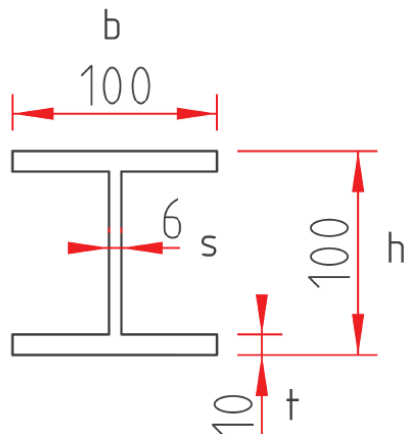
Sallittu taivutusjännitys

Varmuus $n := 1.5$

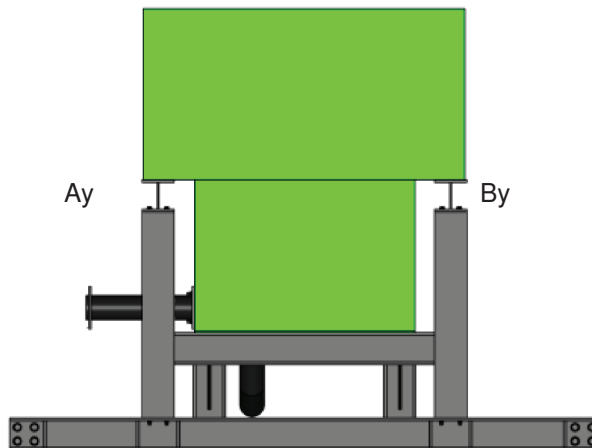
$$\sigma_{\text{sall}} := \frac{R_{eh}}{n} \quad \sigma_{\text{sall}} = 236.667 \cdot \text{MPa}$$

HEB- palkin mitat

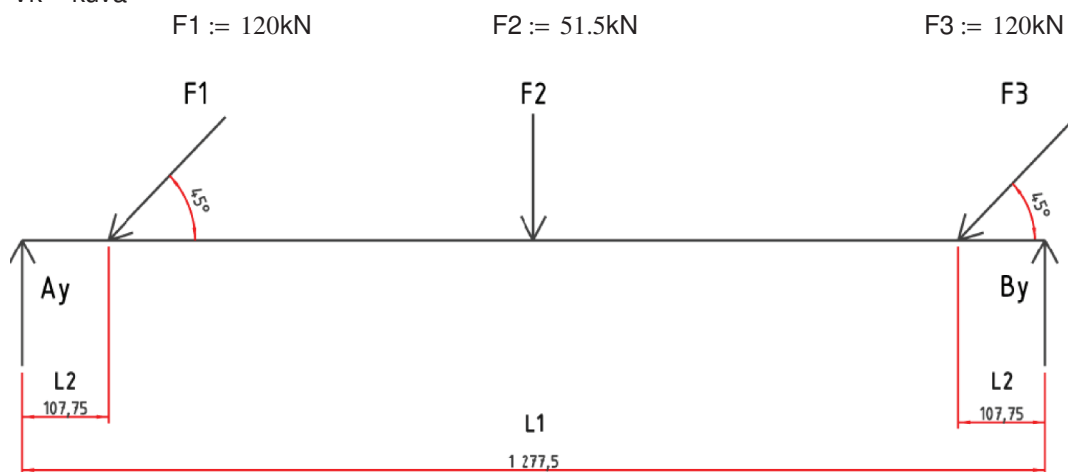
$b := 100 \text{ mm}$ $h := 100 \text{ mm}$ $s := 6 \text{ mm}$ $t := 10 \text{ mm}$ $L := 901.8 \text{ mm}$



Tukivoimat kehikon puolta kohden



Vk – kuva



$$F_{1y} := 120\text{kN} \cdot \sin(45)$$

$$F_{1y} = 102.108 \cdot \text{kN}$$

$$F_{1x} := 120\text{kN} \cdot \cos(45)$$

$$F_{1x} = 63.039 \cdot \text{kN}$$

$$F_2 := 51.5\text{kN}$$

$$F_{3y} := F_{1y}$$

$$F_{3y} = 102.108 \cdot \text{kN}$$

$$F_{3x} := F_{1x}$$

$$F_{3x} = 63.039 \cdot \text{kN}$$

$$L_1 := 1277.5\text{mm}$$

$$L_2 := 107.75\text{mm}$$

$$A_y := \frac{F_{1y} \cdot (L_1 - L_2) + F_2 \cdot \frac{L_1}{2} + F_{3y} \cdot L_2}{L_1}$$

$$A_y = 127.858 \cdot \text{kN}$$

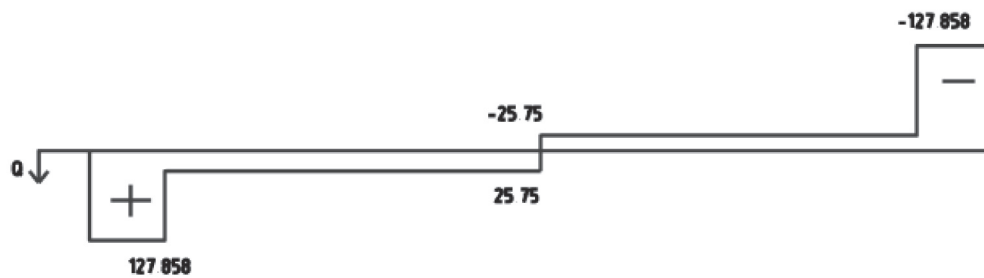
$$B_y := \frac{F_{3y} \cdot (L_1 - L_2) + F_2 \cdot \frac{L_1}{2} + F_{1y} \cdot L_2}{L_1}$$

$$B_y = 127.858 \cdot \text{kN}$$

$$A_x := F_{1x} \quad B_x := F_{3x}$$

$$\longrightarrow A_x - B_x = 0 \text{ N}$$

Leikkausvoimakuvio



$$Q_1 := A_y \quad Q_1 = 127.858 \cdot \text{kN}$$

$$Q_2 := Q_1 - F_{1y} \quad Q_2 = 25.75 \cdot \text{kN}$$

$$Q_3 := Q_2 - F_2 \quad Q_3 = -25.75 \cdot \text{kN}$$

$$Q_4 := Q_3 - F_{3y} \quad Q_4 = -127.858 \cdot \text{kN}$$

Maksimimomentti

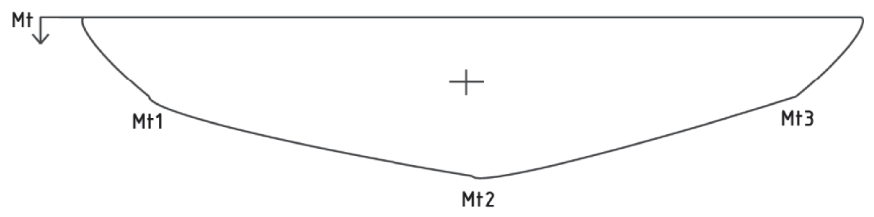
$$M_{t1} := Q_1 \cdot L_2 \quad M_{t1} = 13.777 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{t2} := M_{t1} + Q_2 \cdot \left(\frac{L_1}{2} - L_2 \right) \quad M_{t2} = 27.45 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{t3} := M_{t2} + Q_3 \cdot \left(\frac{L_1}{2} - L_2 \right) \quad M_{t3} = 13.777 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

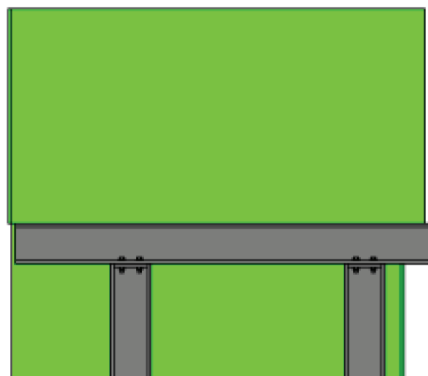
$$M_{t0} := M_{t3} + Q_4 \cdot L_2 \quad M_{t0} = -1.819 \times 10^{-15} \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusmomenttikuvio



$$M_{\max} := M_{t2} \quad M_{\max} = 27.45 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

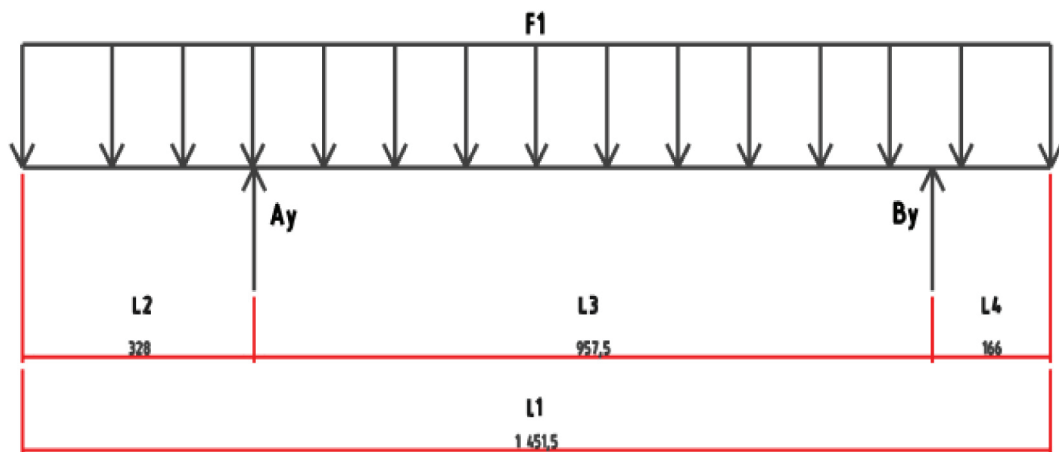
Tukivoimat ja momentti keuhikon jalkaa kohden



Ay

By

Vk – kuva



$$F_1 := 127.858 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$L1 := 1451.5\text{mm}$$

$$L2 := 328\text{mm}$$

$$L3 := 957.5\text{mm}$$

$$L4 := 166\text{mm}$$

$$A_y := \frac{F_1 \cdot (L2 + L3) \cdot \frac{L2 + L3}{2} - F_1 \cdot L4 \cdot \frac{L4}{2}}{L3}$$

$$A_y = 108.493 \cdot \text{kN}$$

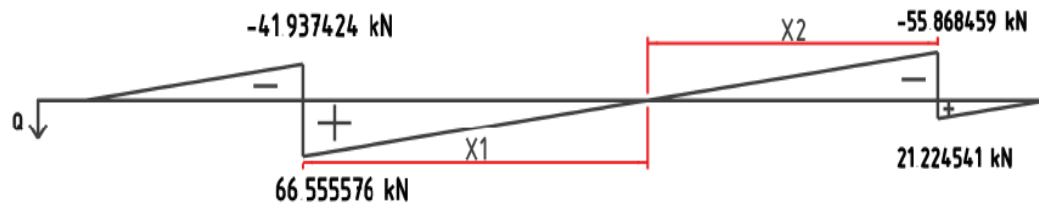


$$B_y := -A_y + F_1 \cdot L1$$

$$B_y = 77.093 \cdot \text{kN}$$

$$A_y - (F_1 \cdot L1) + B_y = 0 \cdot \text{kN}$$

Leikkausvoimakuvio



$$Q1 := -F_1 \cdot L2 \quad Q1 = -41.937 \cdot \text{kN}$$

$$Q2 := Q1 + A_y \quad Q2 = 66.555 \cdot \text{kN}$$

$$Q3 := Q2 - F_1 \cdot L3 \quad Q3 = -55.869 \cdot \text{kN}$$

$$Q4 := Q3 + B_y \quad Q4 = 21.224 \cdot \text{kN}$$

Maksimi momentti

$$M_{t,1} := Q1 \cdot L2 \cdot \frac{1}{2}$$

$$M_{t,1} = -6.878 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$x_1 := \frac{Q_2}{F_1} \quad x_1 = 520.54 \cdot \text{mm}$$

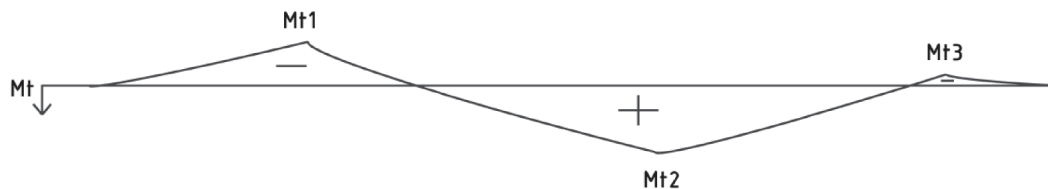
$$M_{t,2} := M_{t,1} + Q_2 \cdot x_1 \cdot \frac{1}{2} \quad M_{t,2} = 10.445 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$x_2 := L_3 - x_1 \quad x_2 = 436.96 \cdot \text{mm}$$

$$M_{t,3} := M_{t,2} + Q_3 \cdot x_2 \cdot \frac{1}{2} \quad M_{t,3} = -1.762 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{t,0} := M_{t,3} + Q_4 \cdot L_4 \cdot \frac{1}{2} \quad M_{t,0} = 1.137 \times 10^{-15} \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusmomenttikuvio



$$M_{\max.} := M_{t,2} \quad M_{\max.} = 10.445 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys yläpoikkipalkille

$$\sigma := \frac{M_{\max.}}{I_x} \cdot \frac{h}{2} \quad \sigma = 116.051 \cdot \text{MPa}$$

Kuormituksesta aiheutuva puristusjännitys pysty HEB- palkkia kohden

$$\sigma_{ay} := \frac{A_y}{A} \quad \sigma_{ay} = 41.728 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{by} := \frac{B_y}{A} \quad \sigma_{by} = 29.651 \cdot \text{MPa}$$

Kuormituksesta aiheutuva puristusvoima keuhikon pysty HEB- palkkia kohden

$$P_{ay} := A \cdot \sigma_{ay} \quad P_{ay} = 108.493 \cdot \text{kN}$$

$$P_{by} := A \cdot \sigma_{by} \quad P_{by} = 77.093 \cdot \text{kN}$$

SFS-EN 1993-1-1 mukaan jalan nurjahdus kestävyys laskeminen

Symbolit

$f_y := R_{eh}$	$f_y = 355 \cdot \text{MPa}$	myötölujuus
$\gamma_{M0} := n$	$\gamma_{M0} = 1.5$	varmuus
$t_f := s$	$t_f = 6 \cdot \text{mm}$	uuman paksuus
$t_w := t$	$t_w = 10 \cdot \text{mm}$	laipan paksuus
$r := 12 \text{mm}$		pyörityssäde
$h_s := h - t_f$	$h_s = 94 \cdot \text{mm}$	laippojen painopisteiden väli
$L_k := 1035.4 \cdot \text{mm}$		Pystypalkkien pituus (pitemmän jalan mukaan)
$L_{cr} := 2 \cdot L_k$	$L_{cr} = 2.071 \times 10^3 \cdot \text{mm}$	Euler 1

Poikkileikkausluokan valinta

Uuma

$$c_{t1} := \frac{h - 2 \cdot (t_f + r)}{t_w} \quad c_{t1} = 6.4$$

$$33 \cdot \epsilon = 26.849 \quad 8.5 < 33\epsilon \quad \text{poikkileikkausluokka 1}$$

Laippa

$$c_{t2} := \frac{h - 2 \cdot \left(\frac{t_w}{2} + r \right)}{t_w} \quad c_{t2} = 6.6$$

$$9 \cdot \epsilon = 7.323 \quad 10 \cdot \epsilon = 8.136$$
$$9\epsilon < 8.667 < 10\epsilon \quad \text{poikkileikkausluokka 2}$$

Koko palkin poikkileikkausluokka on 2 (Nurjahduskestävyyden ja muunnetun hoikkuuden kaavat sen perusteella valitut)

Pilarin poikkileikkauksen puristuskestävyys

$$N_{cRd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{cRd} = 615.333 \cdot \text{kN}$$

(Sallittu puristusvoima Ril 90 mukaan) $P_{sall} := A \cdot \sigma_{sall} \quad P_{sall} = 615.333 \cdot \text{kN}$

Pilarin taivutusnurjahdus heikomman akselin suhteen (y-y akseli)

$$\frac{h}{t} = 10 \quad \text{ja} \quad t_f < 100 \text{mm} \quad \text{joten} \quad \text{nurjahduskäyrä on c eli } 0.49$$

Epävarmuustekijä ja muunnettu hoikkuus kerroin

$$\alpha_1 := 0.49$$

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \epsilon \quad \lambda_1 = 76.399$$

Muunnettu hoikkuus

$$\lambda := \frac{L_{cr}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} \quad \lambda = 1.071$$

$$\theta := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_1 \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2 \right] \quad \theta = 1.287$$

Kestävyys pienennystekijä

$$X := \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \lambda^2}} \quad X = 0.5$$

Taivutus nurjahdusvoima

$$N_{bRd} := X \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{bRd} = 307.481 \cdot \text{kN}$$

Pilarin vääntönurjahdus

Vapaan väännön vääntövakio

$$I_t := \frac{1}{3} \cdot \left(2 \cdot b \cdot t_f^3 + h_s \cdot t_w^3 \right) \quad I_t = 4.573 \times 10^4 \cdot \text{mm}^4$$

Estetyn väännön vääntövakio

$$I_w := \left(\frac{h_s}{2} \right)^2 \cdot I_x \quad I_w = 9.941 \times 10^9 \cdot \text{mm}^6$$

Kimoteorianmukainen vääntönurjahduskuorma

$$N_{crT} := \frac{1}{i_x^2 + i_y^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \left(\frac{\pi}{L_k} \right)^2 \cdot E \cdot I_w \right] \quad N_{crT} = 9.669 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Kaksois symmetrinen kappale

$$N_{cr} := N_{crT}$$

Muunnettu hoikkuus

$$\lambda_T := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{crT}}} \quad \lambda_T = 0.309$$

$$\theta_T := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_1 \cdot (\lambda_T - 0.2) + \lambda_T^2 \right] \quad \theta_T = 0.574$$

Kestävyyden pienennystekijä

$$X_T := \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \lambda_T^2}} \quad X_T = 0.564$$

Vääntö nurjahdusvoima

$$N_{TbRd} := X_T \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{TbRd} = 347.325 \cdot \text{kN}$$

Liite 6. Välystesterin asennuskehikon HEB- palkin nurjahdus tarkastelu

Materiaalitiedot HEB- 100 palkki

S355 $R_{eh} := 355 \text{ MPa}$ SFS-EN 1993-1-1

$$\epsilon := \sqrt{\frac{235}{355}} \quad \epsilon = 0.814 \quad E := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad G := 81000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Neliömomentit ja -säteet standardin SFS 2013 mukaan

$$I_x := 4.5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \quad I_y := 1.67 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_x := 41.6 \text{ mm} \quad i_y := 25.3 \text{ mm}$$

Poikkipinta - ala SFS 2013 mukaan

$$A := 2.60 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

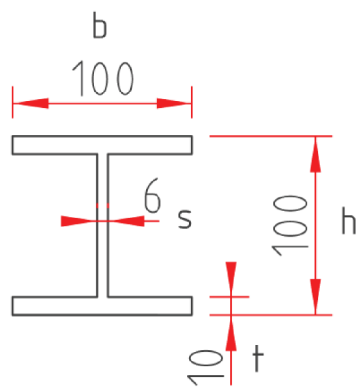
Sallittu taivutusjännitys

Varmuus $n := 1.5$

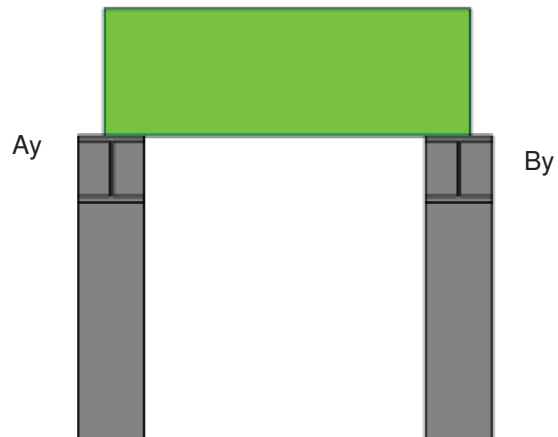
$$\sigma_{\text{sall}} := \frac{R_{eh}}{n} \quad \sigma_{\text{sall}} = 236.667 \cdot \text{MPa}$$

HEB-palkin mitat

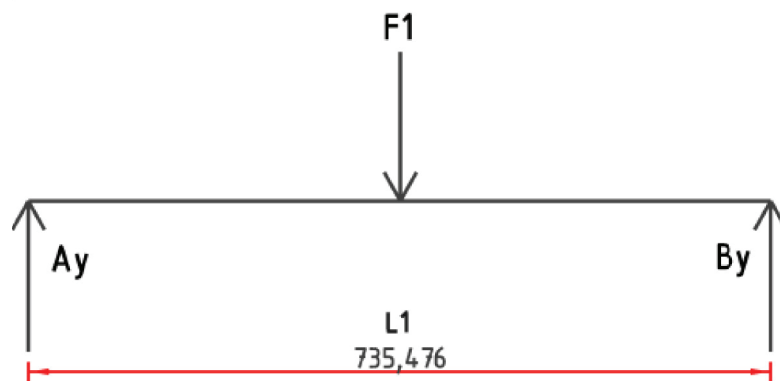
$b := 100 \text{ mm}$ $h := 100 \text{ mm}$ $s := 6 \text{ mm}$ $t := 10 \text{ mm}$ $L := 981.8 \text{ mm}$



Tukivoimat kehon puolta kohden



Vk – kuva

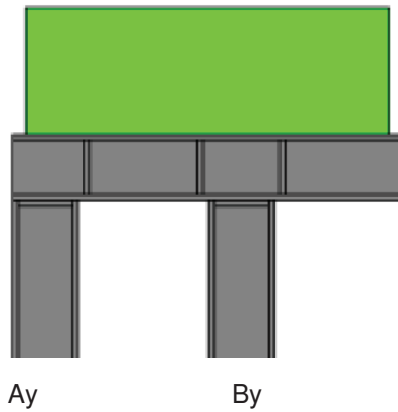


$$F_1 := 51.5 \text{ kN} \quad L_1 := 735.476 \text{ mm}$$

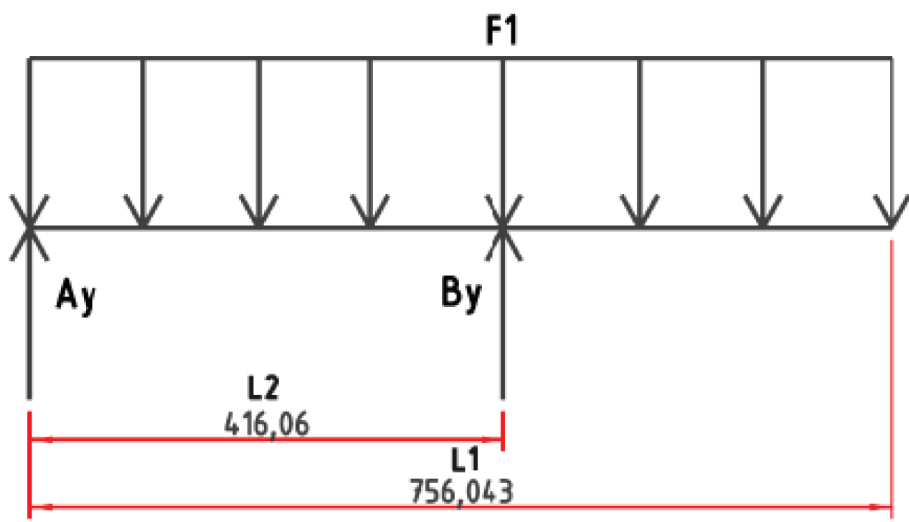
$$A_y := \frac{F_1 \cdot \frac{L_1}{2}}{L_1} \quad A_y = 25.75 \cdot \text{kN}$$

$$\uparrow \quad B_y := -A_y + F_1 \quad B_y = 25.75 \cdot \text{kN}$$

Tukivoimat ja momentti kehikon kahta jalkaa kohden



Vk – kuva



$$F1 := 25.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad L1 := 756.043 \text{ mm} \quad L2 := 416.06 \text{ mm}$$

$$A_y := \frac{F1 \cdot L2 \cdot \frac{L2}{2} - F1 \cdot (L1 - L2) \cdot \frac{L1 - L2}{2}}{L2}$$

$$A_y = 1.78 \cdot \text{kN}$$

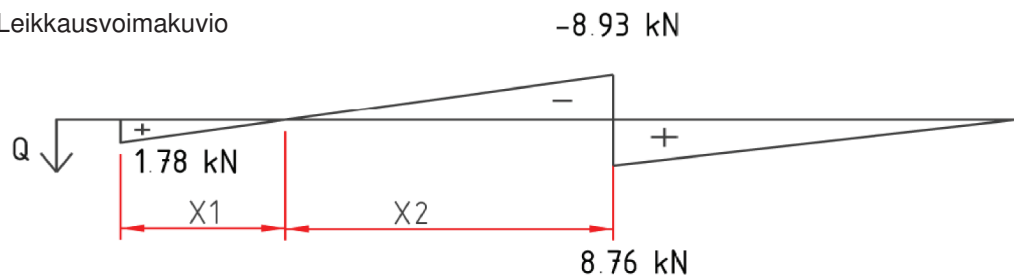


$$B_y := -A_y + F1 \cdot L1$$

$$B_y = 17.688 \cdot \text{kN}$$

$$A_y - (F1 \cdot L1) + B_y = 0 \cdot \text{kN}$$

Leikkausvoimakuvio



$$Q_1 := A_y \quad Q_1 = 1.78 \cdot \text{kN}$$

$$Q_2 := Q_1 - F_1 \cdot L_2 \quad Q_2 = -8.934 \cdot \text{kN}$$

$$Q_3 := Q_2 + B_y \quad Q_3 = 8.755 \cdot \text{kN}$$

$$Q_4 := Q_3 - F_1 \cdot (L_1 - L_2) \quad Q_4 = 0 \cdot \text{kN}$$

Maksimi momentti

$$x_1 := \frac{Q_1}{F_1} \quad x_1 = 69.122 \cdot \text{mm}$$

$$M_{t1} := Q_1 \cdot x_1 \cdot \frac{1}{2} \quad M_{t1} = 0.062 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$x_2 := L_2 - x_1 \quad x_2 = 346.938 \cdot \text{mm}$$

$$M_{t2} := M_{t1} + Q_2 \cdot (L_2 - x_1) \cdot \frac{1}{2} \quad M_{t2} = -1.488 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{t0} := M_{t2} + Q_3 \cdot (L_1 - L_2) \cdot \frac{1}{2} \quad M_{t0} = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusmomenttikuvio



$$M_{\max} := M_{t2}$$

$$M_{\max} = -1.488 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Max}} := -1 \cdot M_{\max}$$

$$M_{\text{Max}} = 1.488 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys yläpoikkipalkille

$$\sigma := \frac{M_{\text{Max}}}{I_x} \cdot \frac{h}{2}$$

$$\sigma = 16.536 \cdot \text{MPa}$$

Kehikon pystypalkit

Kuormituksesta aiheutuva puristusjännitys pysty HEB- palkkia kohden

$$\sigma_{ay} := \frac{A_y}{A}$$

$$\sigma_{ay} = 0.685 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{by} := \frac{B_y}{A}$$

$$\sigma_{by} = 6.803 \cdot \text{MPa}$$

Kuormituksesta aiheutuva puristusvoima kehon HEB- palkkia kohden

$$P_{ay} := A \cdot \sigma_{ay}$$

$$P_{ay} = 1.78 \cdot \text{kN}$$

$$P_{by} := A \cdot \sigma_{by}$$

$$P_{by} = 17.688 \cdot \text{kN}$$

SFS-EN 1993-1-1 mukaan jalan kestävyys laskeminen

Symbolit

$f_y := R_{eh}$	$f_y = 355 \cdot \text{MPa}$	myötölujuus
$\gamma_{M0} := n$	$\gamma_{M0} = 1.5$	varmuus
$t_f := s$	$t_f = 6 \cdot \text{mm}$	uuman paksuus
$t_w := t$	$t_w = 10 \cdot \text{mm}$	laipan paksuus
$r := 12 \text{mm}$		pyöristyssäde
$h_s := h - t_f$	$h_s = 94 \cdot \text{mm}$	laippojen painopisteiden väli
$L_K := 1463.8 \cdot \text{mm}$		Pystypalkkien pituus
$L_{cr} := 2 \cdot L_K$	$L_{cr} = 2.928 \times 10^3 \cdot \text{mm}$	Euler 1

Poikkileikkausluokan valinta

Uuma

$$c_{t1} := \frac{h - 2 \cdot (t_f + r)}{t_w} \quad c_{t1} = 6.4$$

$$33 \cdot \epsilon = 26.849 \quad 8.5 < 33\epsilon \quad \text{poikkileikkausluokka 1}$$

Laippa

$$c_{t2} := \frac{h - 2 \cdot \left(\frac{t_w}{2} + r \right)}{t_w} \quad c_{t2} = 6.6$$

$$9 \cdot \epsilon = 7.323 \quad 10 \cdot \epsilon = 8.136 \\ 9\epsilon < 8.667 > 10\epsilon \quad \text{poikkileikkausluokka 2}$$

Koko palkin poikkileikkausluokka on 2 (N_{cRd} ja λ laskenta kaavat sen mukaan

Pilarin poikkileikkauksen puristuskestävyys

$$N_{cRd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{cRd} = 615.333 \cdot \text{kN}$$

Pilarin taivutusnurjahdus heikkomman akselin suhteen (y-y akseli)

$$\frac{h}{t} = 10 \quad \text{ja} \quad t_f < 100 \text{ mm} \quad \text{joten} \quad \text{nurjahduskäyrä on c eli 0.49}$$

Epävarmuustekijä ja muunnettu hoikkuus kerroin

$$\alpha_1 := 0.49$$

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \epsilon \quad \lambda_1 = 76.399$$

Muunnettu hoikkuus

$$\lambda := \frac{L_{cr}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} \quad \lambda = 1.515$$

$$\theta := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_1 \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2 \right] \quad \theta = 1.969$$

Kestävyyden pienennystekijä

$$X := \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \lambda^2}} \quad X = 0.31$$

Taivutus nurjahdusvoima

$$N_{bRd} := X \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{bRd} = 190.656 \cdot \text{kN}$$

Pilarin vääntönurjahdus

Vapaan väännön vääntövakio

$$I_t := \frac{1}{3} \cdot \left(2 \cdot b \cdot t_f^3 + h_s \cdot t_w^3 \right) \quad I_t = 4.573 \times 10^4 \cdot \text{mm}^4$$

Estetyn väännön vääntövakio

$$I_w := \left(\frac{h_s}{2} \right)^2 \cdot I_x \quad I_w = 9.941 \times 10^9 \cdot \text{mm}^6$$

Kimboteorianmukainen vääntönurjahduskuorma

$$N_{crT} := \frac{1}{i_x^2 + i_y^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \left(\frac{\pi}{L_k} \right)^2 \cdot E \cdot I_w \right] \quad N_{crT} = 5.619 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Kaksois symmetrinen kappale

$$N_{cr} := N_{crT}$$

Muunnettu hoikkuus

$$\lambda_T := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{crT}}}$$

$$\lambda_T = 0.405$$

$$\theta_T := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_1 \cdot (\lambda_T - 0.2) + \lambda_T^2 \right]$$

$$\theta_T = 0.632$$

Kestävyyden pienennystekijä

$$X_T := \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \lambda_T^2}}$$

$$X_T = 0.407$$

Vääntö nurjahdusvoima

$$N_{TbRd} := X_T \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{TbRd} = 250.683 \cdot \text{kN}$$

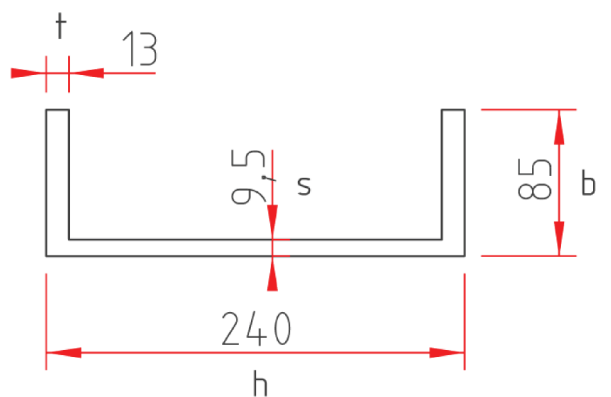
Liite 7. UNP- palkin taivutusjännitys tarkastelu

Materiaalitiedot UNP- 240 palkki

S355 $R_{eH} := 355 \text{ MPa}$

UNP- palkin mitat

$h := 240 \text{ mm}$ $b := 85 \text{ mm}$ $s := 9.5 \text{ mm}$ $t := 13 \text{ mm}$



Pinta-ala SFS-EN 10279 mukaan

$A := 4.23 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$

Neliömomentit, staattinen momentti SFS-EN 10279 mukaan

$I_x := 36 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

$S_x := 179 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Pintakeskiö

$$a_1 := \frac{S_x}{A} \quad a_1 = 42.317 \cdot \text{mm}$$

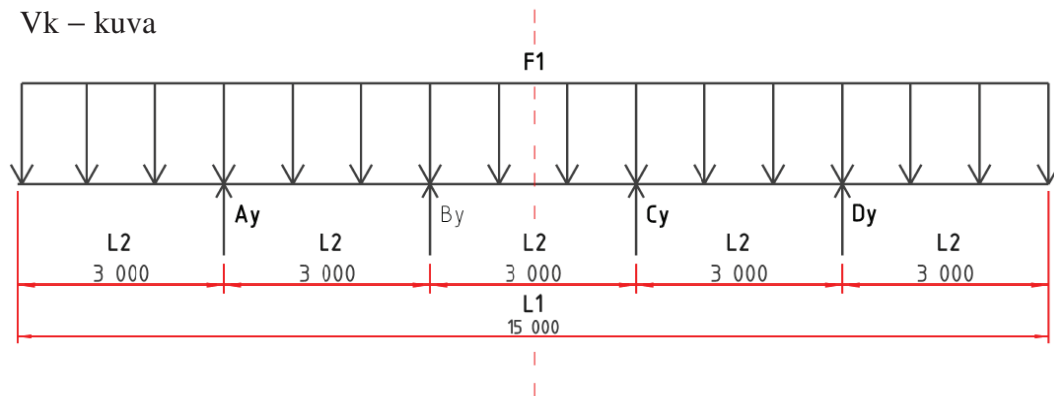
Sallittu taivutusjännitys

Varmuus

$n := 1.5$

$$\sigma_{\text{sall}} := \frac{R_{eH}}{n} \quad \sigma_{\text{sall}} = 236.667 \cdot \text{MPa}$$

Vk – kuva



Kokonaiskuorma kuilunpuoliskoa kohti

$$F1 := \frac{25000 \text{ kg} \cdot g}{2} \quad F1 = 122.583 \cdot \text{kN} \quad L1 := 15 \text{ m} \quad L2 := 3 \text{ m}$$

Tasainen kuormitus kolmen u-palkin kesken jaettuna

$$F_{tk} := \frac{\frac{F1}{m}}{3} \quad F_{tk} = 40.861 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tukivoimat (symmetrinen rasitus, tarkastelu rakenteen puoliskoa kohden)

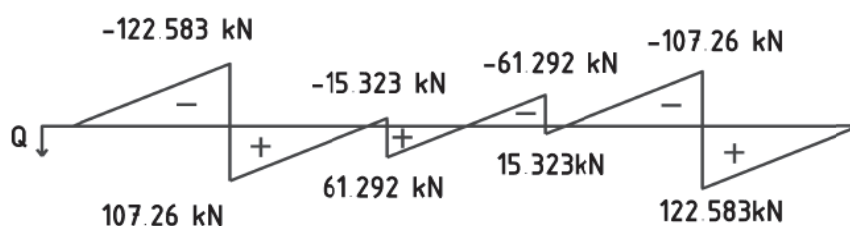
$$A_y := \frac{F_{tk} \cdot \left(L2 \cdot 2 \cdot \frac{L2 \cdot 2}{2} \right) - F_{tk} \cdot \frac{L2}{2} \cdot \frac{L2}{2}}{L2} \quad A_y = 229.843 \cdot \text{kN}$$

$$\uparrow \quad B_y := -A_y + F_{tk} \cdot \frac{L1}{2} \quad B_y = 76.614 \cdot \text{kN}$$

$$C_y := B_y \quad C_y = 76.614 \cdot \text{kN}$$

$$D_y := A_y \quad D_y = 229.843 \cdot \text{kN}$$

Leikausvoimakuvio



$$Q1 := -F_{tk} \cdot L2 \quad Q1 = -122.583 \cdot \text{kN}$$

$$Q2 := Q1 + A_y \quad Q2 = 107.26 \cdot \text{kN}$$

$$Q3 := Q2 - F_{tk} \cdot L2 \quad Q3 = -15.323 \cdot \text{kN}$$

$$Q4 := Q3 + B_y \quad Q4 = 61.292 \cdot \text{kN}$$

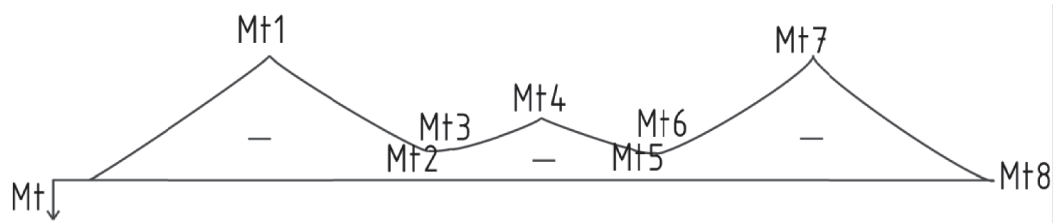
$$Q5 := Q4 - F_{tk} \cdot L2 \quad Q5 = -61.292 \cdot \text{kN}$$

$$Q6 := Q5 + C_y \quad Q6 = 15.323 \cdot \text{kN}$$

$$Q7 := Q6 - F_{tk} \cdot L2 \quad Q7 = -107.26 \cdot \text{kN}$$

$$Q8 := Q7 + D_y \quad Q8 = 122.583 \cdot \text{kN}$$

Momenttikuvio



$$Mt_1 := Q1 \cdot L2 \cdot \frac{1}{2} \quad Mt_1 = -183.875 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$x := \frac{Q2}{F_{tk}} \quad x = 2.625 \text{ m}$$

$$Mt_2 := Mt_1 + \left(Q2 \cdot x \cdot \frac{1}{2} \right) \quad Mt_2 = -43.096 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$x_1 := L2 - x \quad x_1 = 0.375 \text{ m}$$

$$Mt_3 := Mt_2 + \left(Q3 \cdot x_1 \cdot \frac{1}{2} \right) \quad Mt_3 = -45.969 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$x_2 := \frac{Q5}{F_{tk}} \quad x_2 = -1.5 \text{ m}$$

$$Mt_4 := Mt_3 + \left(Q4 \cdot x_2 \cdot \frac{1}{2} \right) \quad Mt_4 = -91.937 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$x_3 := L2 + x_2 \quad x_3 = 1.5 \text{ m}$$

$$M_{t5} := M_{t5} + \left(Q_5 \cdot x_3 \cdot \frac{1}{2} \right) \quad M_{t5} = -45.969 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$x_4 := \frac{Q_6}{F_{tk}} \quad x_4 = 0.375 \text{ m}$$

$$M_{t6} := M_{t5} + \left(Q_6 \cdot x_4 \cdot \frac{1}{2} \right) \quad M_{t6} = -43.096 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$x_5 := L_2 - x_4 \quad x_5 = 2.625 \text{ m}$$

$$M_{t7} := M_{t6} + \left(Q_7 \cdot x_5 \cdot \frac{1}{2} \right) \quad M_{t7} = -183.875 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{t8} := M_{t7} + \left(Q_8 \cdot L_2 \cdot \frac{1}{2} \right) \quad M_{t8} = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{t_{\max}} := M_{t1} \cdot (-1) \quad M_{t_{\max}} = 183.875 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Maksimi taivutusjännitys

$$\sigma_{\max} := \frac{M_{t_{\max}}}{I_x} \cdot a_1 \quad \sigma_{\max} = 216.138 \cdot \text{MPa}$$

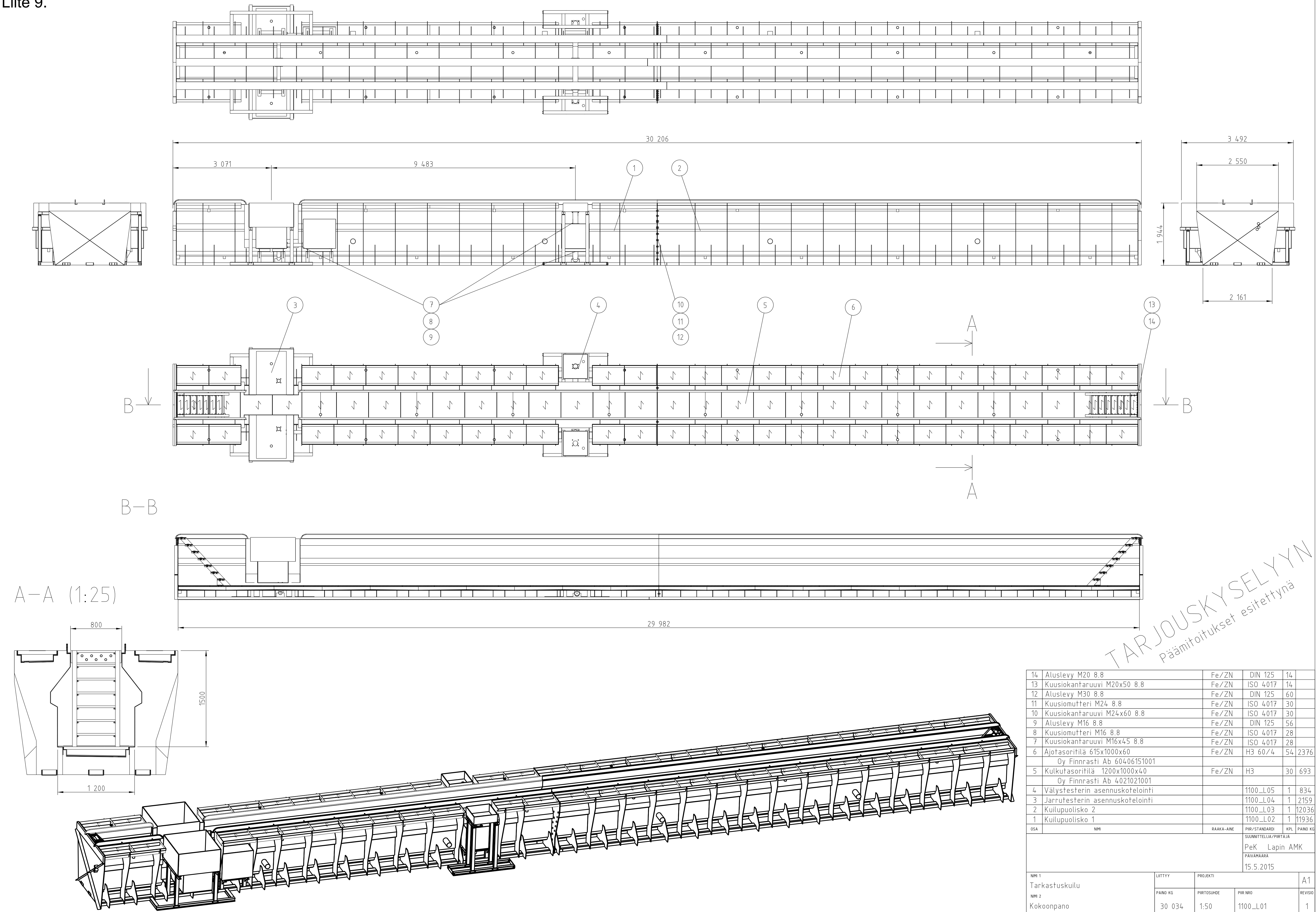
Materiaalilista

Tarkastuskuilu

(Metritavarassa +10% mukana, ei koske ritilävalmisteita)

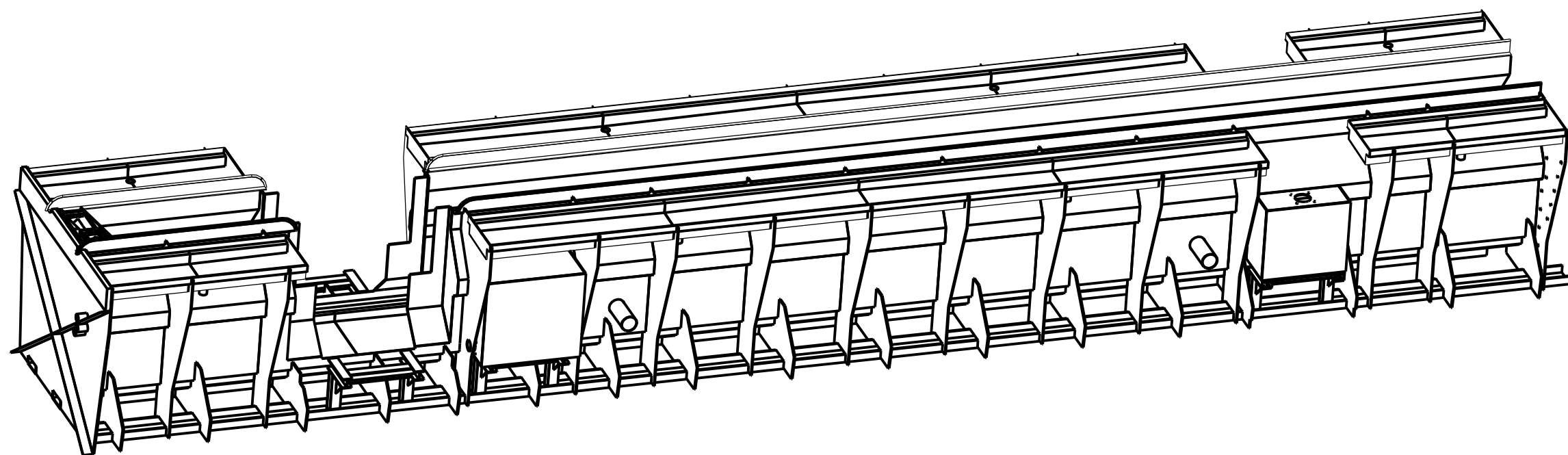
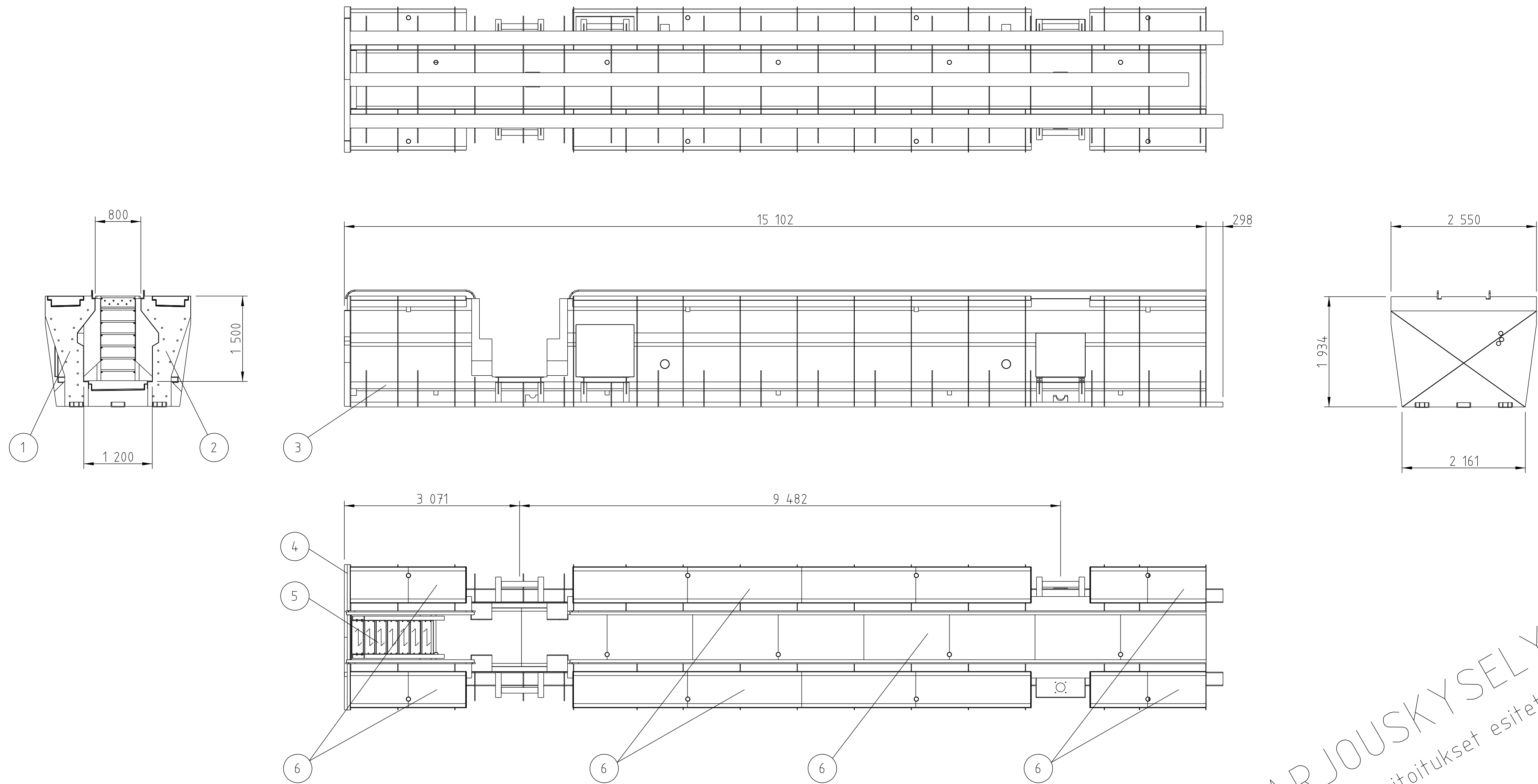
Nimike	Standardi	Koko	Määrä	Paino
HEB-100 palkki	EN 10025-2	100 x 100 x 6 x10	63 133 mm	1 288 kg
UNP-240 palkki	EN 10025-2	240 x 85 x9.5 x13	99 330 mm	3 298 kg
UPE-160 palkki	EN 10025-2	160 x 70 x 5.5 x 9.5	6 600 mm	112 kg
L-tanko	EN 10025-2	70 x 70 x 7	86 000 mm	635 kg
L-tanko	EN 10025-2	130 x 65 x 10	62 614 mm	1 398 kg
Pyörötanko	EN 10277-2	Ø 20	57 517 mm	144 kg
Levy	EN 10130 DC01	s=2.5	89 m ²	1 780 kg
Levy	EN 10025-2	s=6	194 m ²	9 310 kg
Levy	EN 10025-2	s=8	34 m ²	2 170 kg
Levy	EN 10025-2	s=10	0.4 m ²	35 kg
Levy	EN 10025-2	s=12	62 m ²	5 950 kg
Levy	EN 10025-2	s=50	1.5 m ²	600 kg
Levy	EN 10025-2	s=100	0.2 m ²	160 kg
Rakenneputki	EN 10219-1	Ø 108 x 3	2 661 mm	21 kg
Rakenneputki	EN 10219-1	Ø 159 x 4	4 234 mm	65 kg
Tarkkuusteräsputki	EN 10025-2	Ø 75 x 2	2 640 mm	7 kg
Kuusiokantaruuvi	ISO 4017	M12 x 35 8.8	56 kpl	-
Kuusiokantaruuvi	ISO 4018	M16 x 50 8.8	108 kpl	-
Kuusiokantaruuvi	ISO 4019	M16 x 45 8.8	28 kpl	-
Kuusiokantaruuvi	ISO 4020	M20 x 50 8.8	14 kpl	-
Kuusiokantaruuvi	ISO 4021	M24 x 60 8.8	30 kpl	-
Kuusiomutteri	ISO 4022	M12 8.8	56 kpl	-
Kuusiomutteri	ISO 4023	M16 8.8	136 kpl	-
Kuusiomutteri	ISO 4024	M24 8.8	30 kpl	-
Aluslevy	DIN 125	M12	112 kpl	-
Aluslevy	DIN 126	M16	272 kpl	-
Aluslevy	DIN 127	M20	14 kpl	-
Aluslevy	DIN 128	M24	60 kpl	-
Ajotasoritilä	H3 60/4	615 x 1000 x 60	54 kpl	2 376 kg
Kulkutasoritilä	H3	1200 x 1000 x 40	30 kpl	693 kg
Askelmatasoritilä	TH6-S	600 x 230	14 kpl	57 kg

Liite 9.



TARJOUSKYSELYYN
Päämitoitukset esitettynä

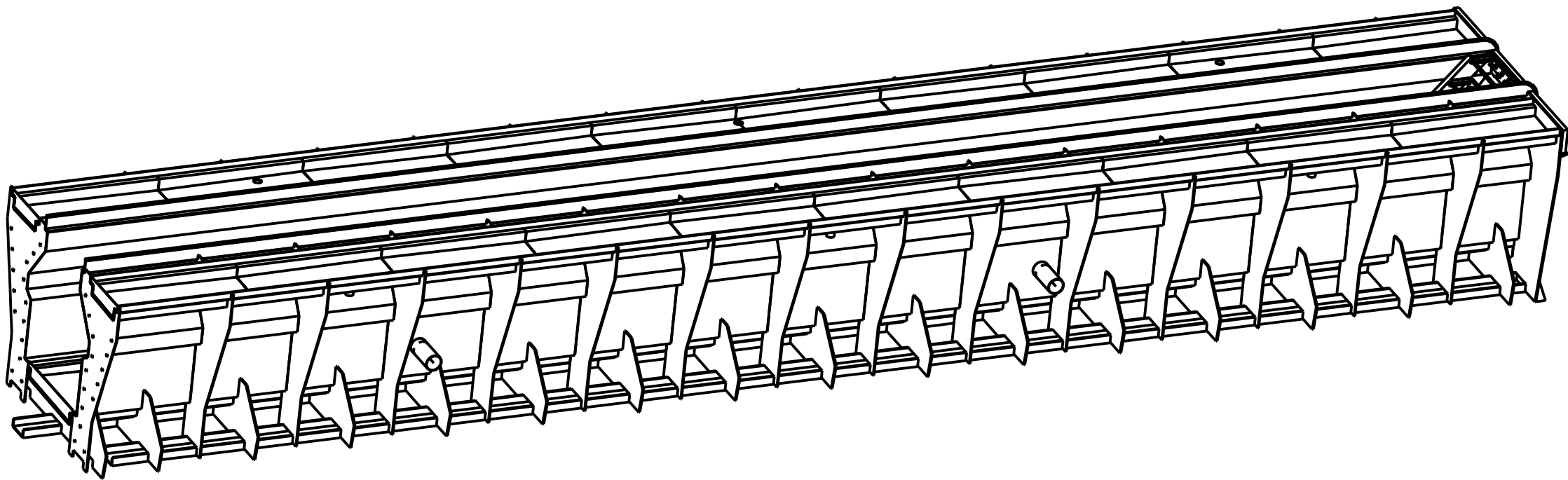
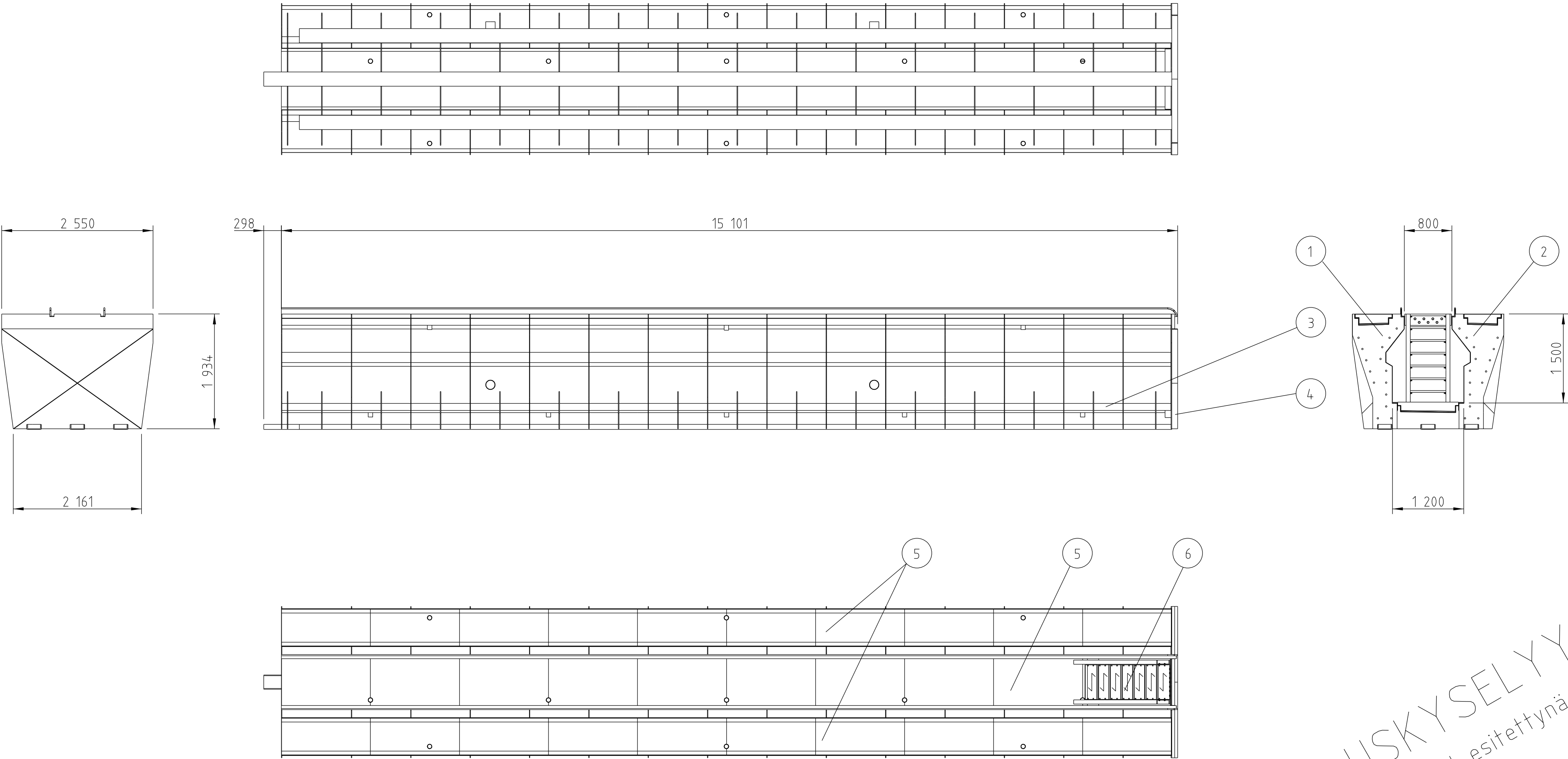
Liite 10.



TARJOUSKYSELYYN
päämitoitukset esitettynä

6	Poistovesikaukaloinnit, puolisko 1		1100_L011	1	770
5	Portaikko		1100_L010	1	158
4	Päätyrakenne, puolisko 1		1100_L09	1	777
3	Pohjarakenne, puolisko 1		1100_L08	1	3956
2	Oikealaitarakenne, puolisko 1		1100_L07	1	3013
1	Vasentalaitarakenne, puolisko 1		1100_L06	1	3262
OSA	NIMI	RAAKA-AINE	PIIR/STANDARDI	KPL	PAINO KG
SFS-EN ISO 22768-1/-2			SUUNNITTELIJA/PIIRTAJA		
SFS-EN 13920			PeK Lapin AMK		
			PÄIVÄMÄÄRÄ		
			15.5.2015		
NIMI 1	LIITTYY	PROJEKTI		A2	
Tarkastuskuilu	1100_L01				
NIMI 2	PAINO KG	PIIRTOSUHDE	PIIR.NRO	REVISIO	
Osakokoonpano kuilupuolisko 1	11 936	1:50	1100_L02	1	

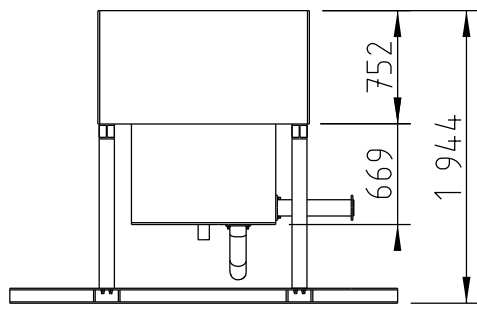
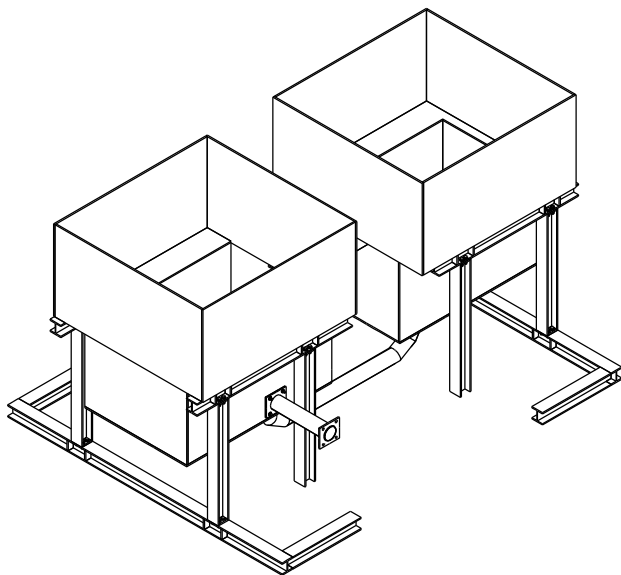
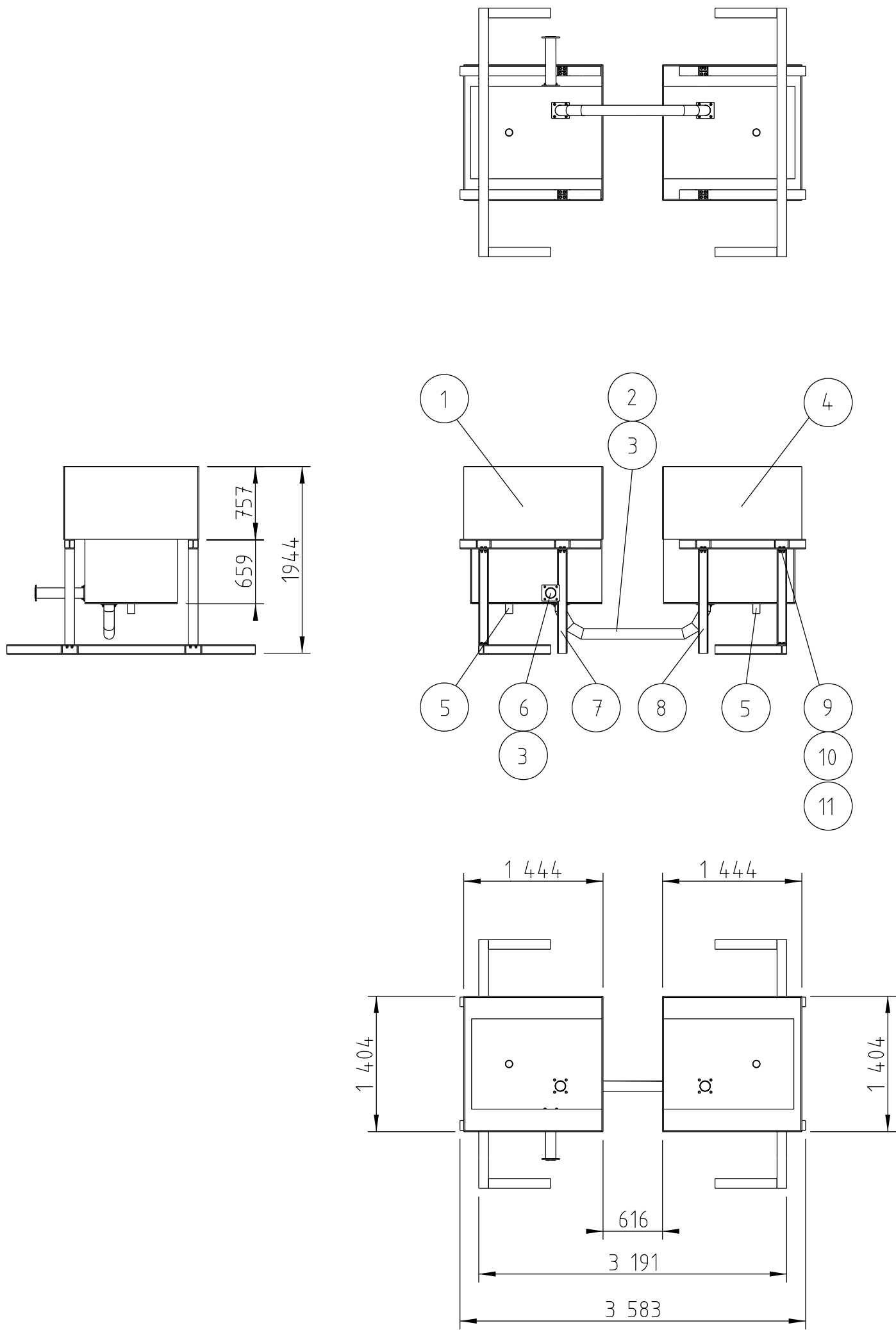
Liite 11.



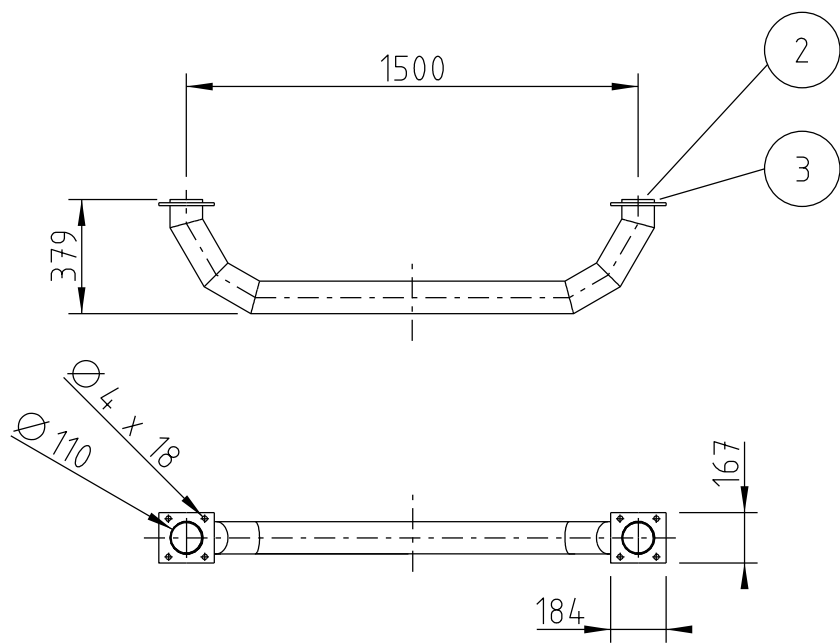
TARJOUSKYSELYYN
päämitoitukset esitettynä

6	Portaat		1100_L010	1	158
5	Poistovesikaukaloinnit, puolisko 2		1100_L016	1	860
4	Päätyrakenne, puolisko 2		1100_L015	1	777
3	Pohjarakenne, puolisko 2		1100_L014	1	3630
2	Oikealaitarakenne, puolisko 2		1100_L013	1	3303
1	Vasenlaitarakenne, puolisko 2		1100_L012	1	3309
OSA	NIMI	RAAKA-AINE	PIIR/STANDARDI	KPL	PAINO KG
SFS-EN ISO 22768-1/-2 SFS-EN 13920			SUUNNITTELIJA/PIIRTAJA PeK Lapin AMK PÄIVÄMÄÄRÄ 15.5.2015		
NIMI 1 Tarkastuskuilu	LIITTYY 1100_L01	PROJEKTI		A2	
NIMI 2 Osakokoonpano kuilupuolisko 2	PAINO KG 12 036	PIRTOSUHDE 1:50	PIIR NRO 1100_L03	REVISIO 1	

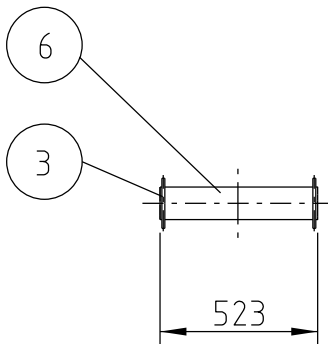
Liite 12.



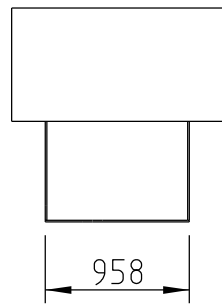
Osa 2&3 (1:25)



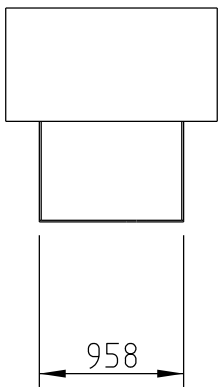
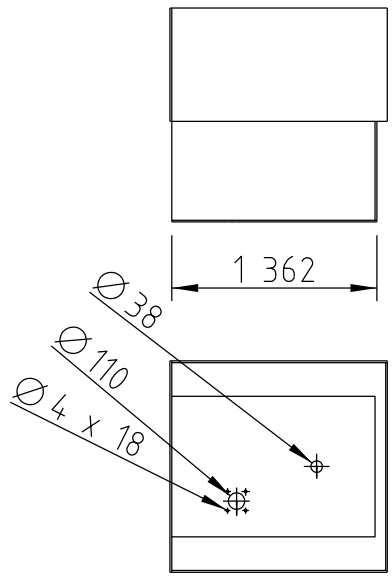
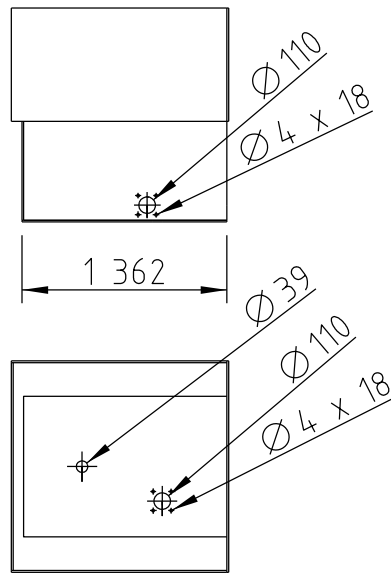
Osa 6&3 (1:25)



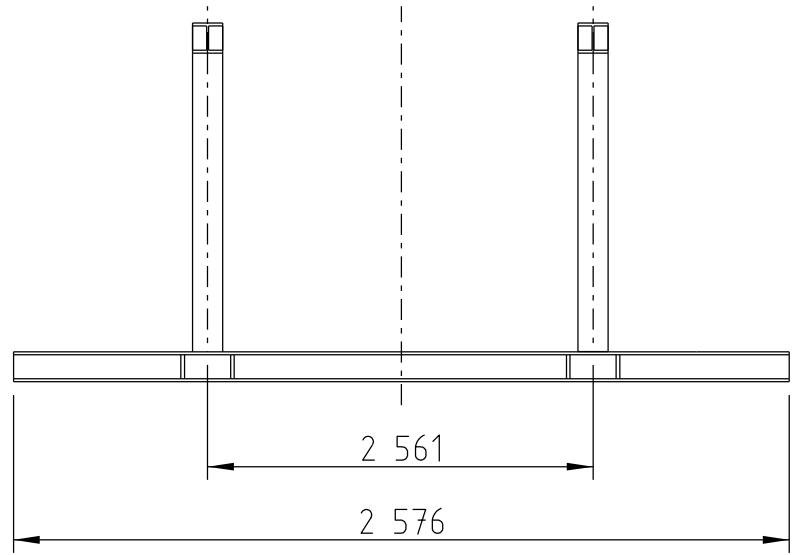
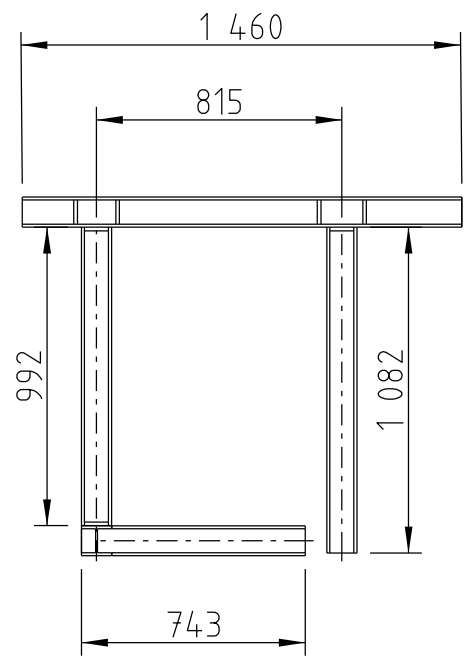
Osa 1



Osa 4



Osa 7&8 (1:25)

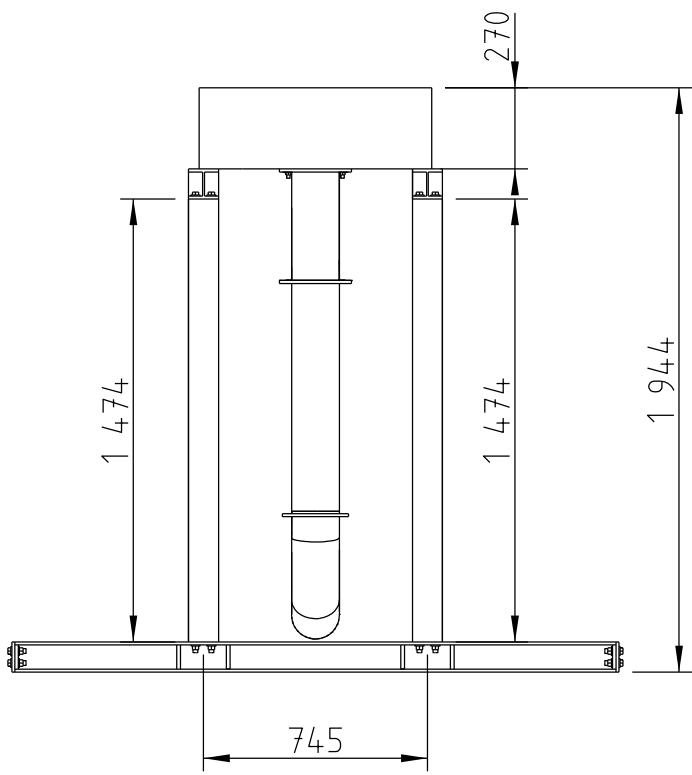
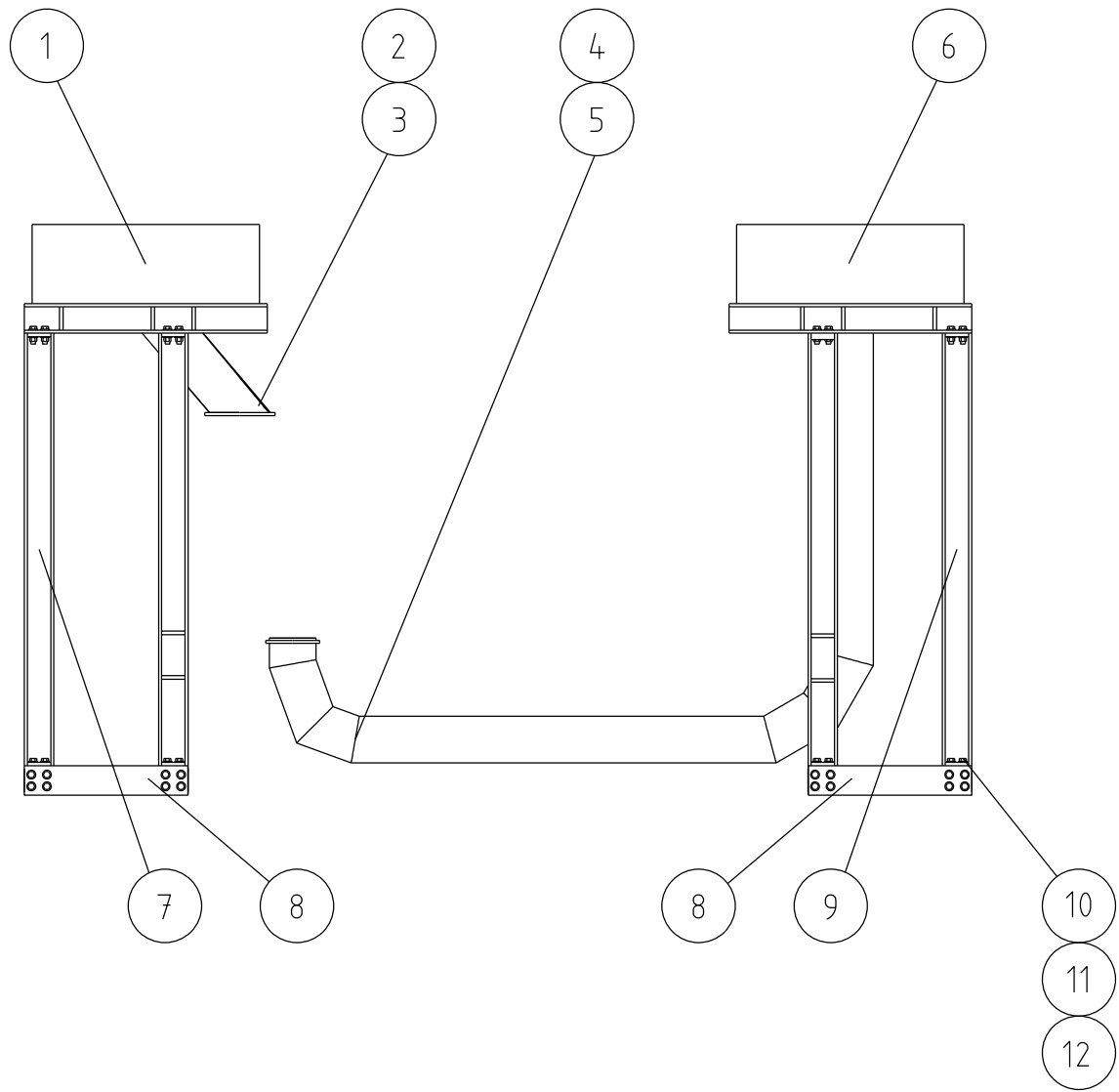
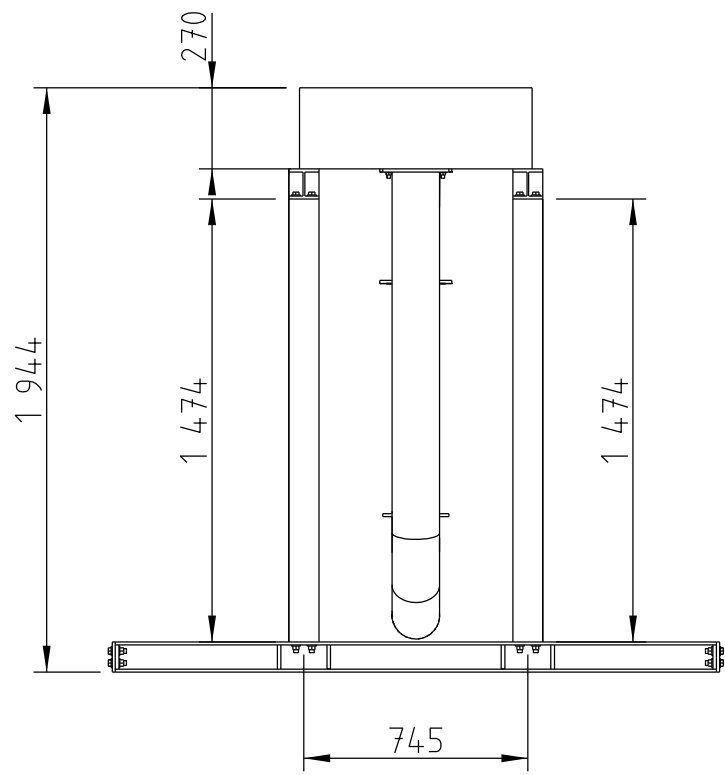
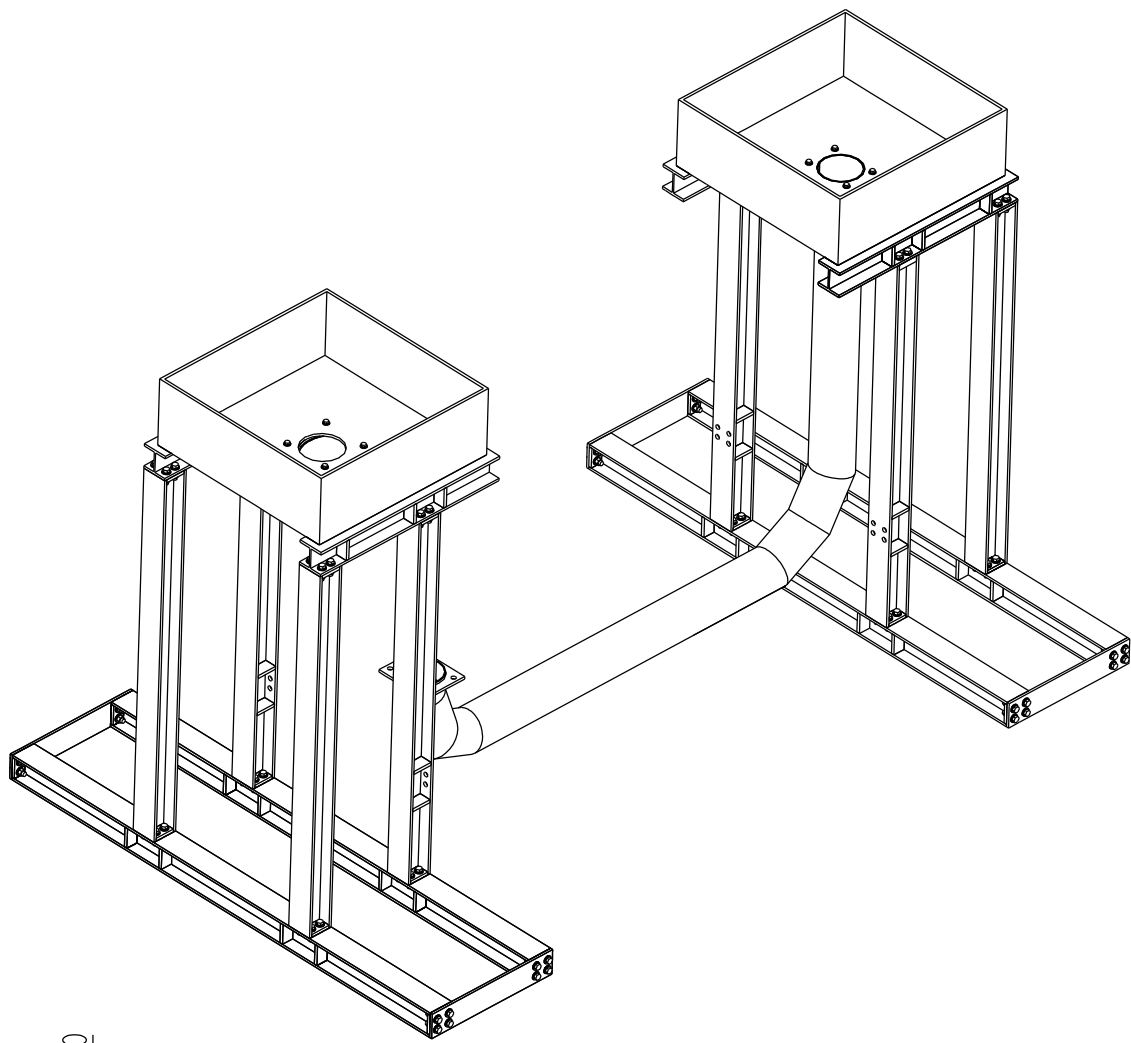
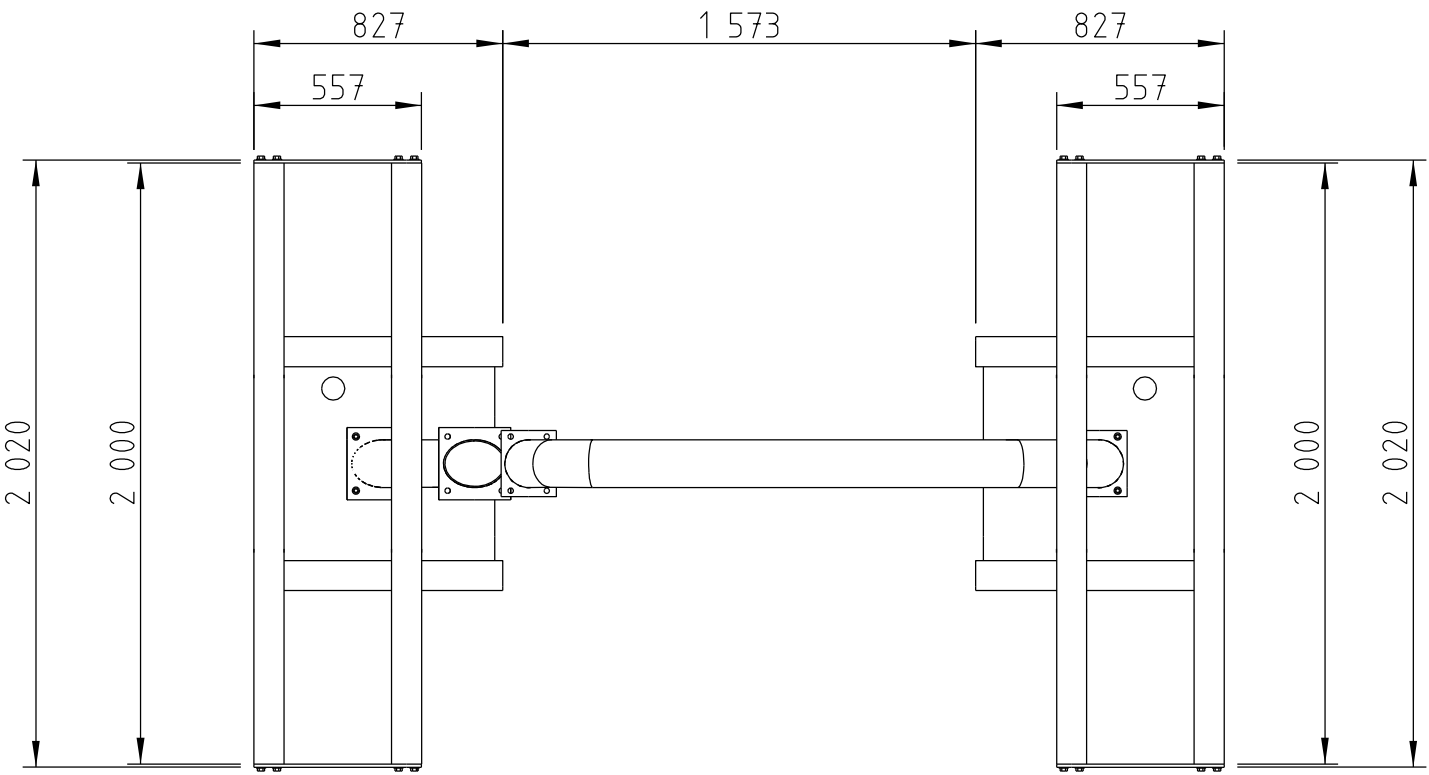
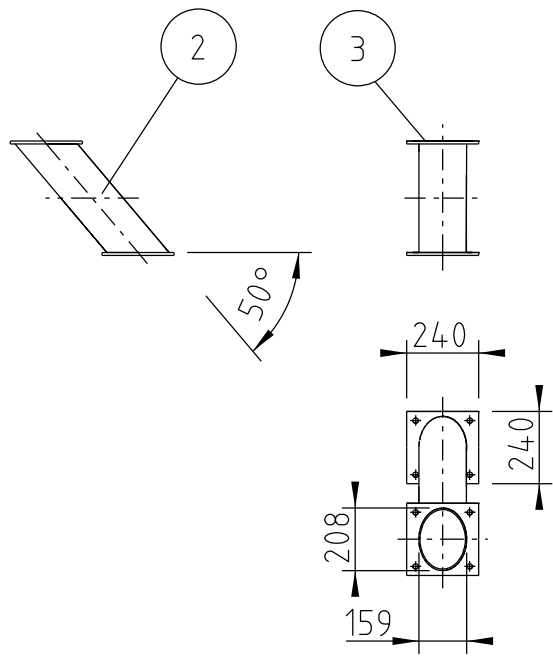


TARJOUSKYSELYYN
päämitoitukset esitettynä

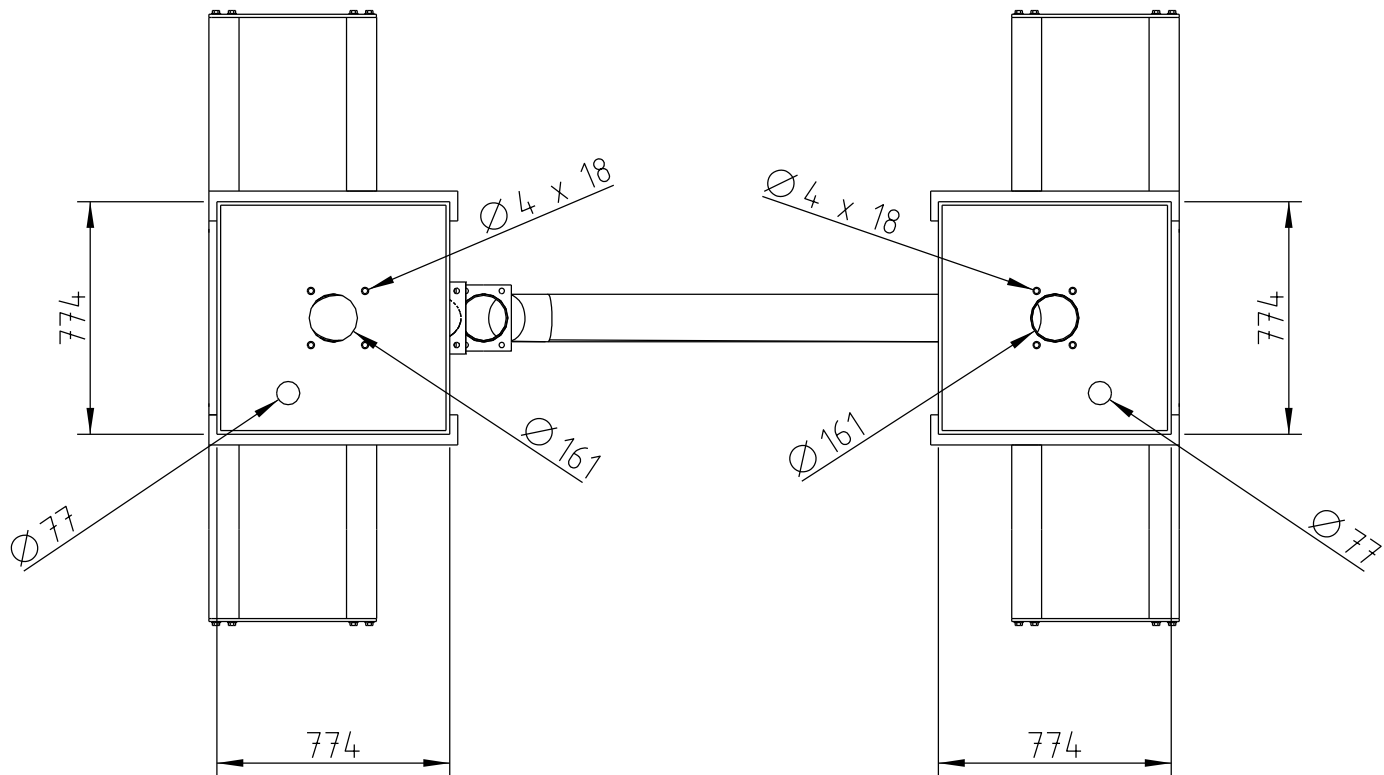
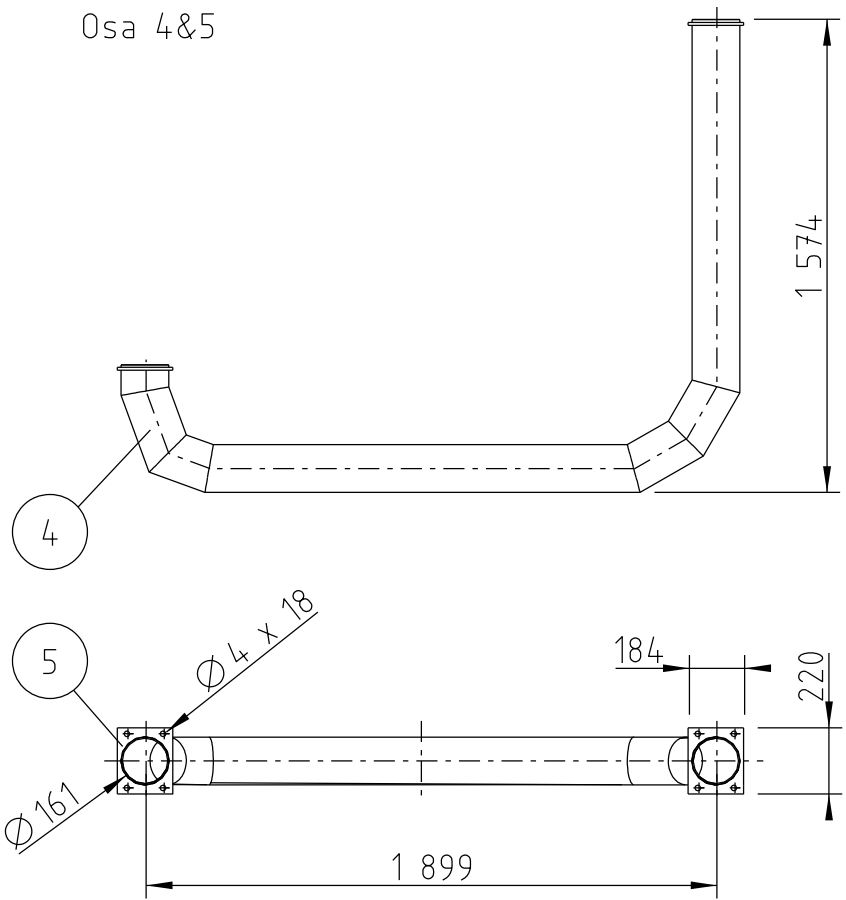
11	Aluslevy M16 8.8	Fe/ZN	DIN 125	72	
10	Kuusiomutteri M16 8.8	Fe/ZN	ISO 4017	36	
9	Kuusiokantaruuvi M16x50 8.8	Fe/ZN	ISO 4017	36	
8	HEB-100 palkki L=11 130	S355	EN 10025-2	1	227
7	HEB-100 L=11 130	S355	EN 10025-2	1	227
6	Rakenneputki ø108x3 L=523	S355	EN 10219-1	1	4
5	Tarkkuusteräsputki ø75x2 L=110	S355	EN 10025-2	2	0.8
4	Levy s=12	S355	EN 10025-2	1	840
3	Levy s=10	S355	EN 10025-2	4	6
2	Rakenneputki ø108x3 L=1 896	S355	EN 10219-1	1	15
1	Levy s=12	S355	EN 10025-2	1	840
OSA	NIMI	RAAKA-AINE	PIIR/STANDARDI	KPL	PAINO KG
SFS-EN ISO 22768-1/-2 SFS-EN 13920			SUUNNITTELIJA/PIIRTAJA PeK Lapin AMK PÄIVÄMÄÄRÄ 15.5.2015		
NIMI 1	Tarkastuskuilu	LIITTYY 1100_L01	PROJEKTI		A2
NIMI 2	Osakokoonpano jarrutesterin asennuskotelointi	PAINO KG 2 159	PIIRTOSUHDE 1:50	PIIR.NRO 1100_L04	REVISIO 1

Liite 13.

Osa 2&3



Osa 4&5



TARJOUSKYSELYYN
päämitoitukset esitettynä

12	Aluslevy M16 8.8	Fe/ZN	DIN 125	144	
11	Kuusiomutteri M16 8.8	Fe/ZN	ISO 4017	72	
10	Kuusiokantaruuvi M16x50 8.8	Fe/ZN	ISO 4017	72	
9	HEB-100 palkki L=11 550	S355	EN 10025-2	1	236
8	Levy s=10	S355	EN 10025-2	4	18
7	HEB-100 palkki L=11 550	S355	EN 10025-2	1	236
6	Levy s=12	S355	EN 10025-2	1	138
5	Levy s=10	S355	EN 10025-2	2	3
4	Rakenneputki ø159x4 L=3 488	S355	EN 10219-1	1	53
3	Levy s=10	S355	EN 10025-2	2	6
2	Rakenneputki ø159x4 L=361	S355	EN 10219-1	1	6
1	Levy s=12	S355	EN 10025-2	1	138
OSA	NIMI	RAAKA-AINE	PIIR/STANDARDI	KPL	PAINO KG
SFS-EN ISO 22768-1/-2 SFS-EN 13920			SUUNNITTELIJA/PIIRTAJA		
			PeK Lapin AMK		
			PAIVÄMÄÄRÄ		
			15.5.2015		
NIMI 1 Tarkastuskuilu		LITTYY 1100_L01	PROJEKTI		
NIMI 2 Osakokoonpano vällystesterin asennuskotelointi		PAINO KG 834	PIIRTOSUHDE 1:25	PIIR NRO 1100_L05	REVISIO 1