

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikka

Kevät 2017

Mika Laine

TERÄSRAKENTEISEN MODUULIN RAKENNESUUNNITELMA

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Kevät 2017 | 41+10

Jouko Lehtonen (TKT)

Tapio Keiramo (ARK)

Mika Laine

MODUULIRAKENTAMINEN

- Teräsrunkoisen rakennusosan runkosuunnitelma ja mitoitus

Tämä opinnäytetyö käsittelee moduulirakennusosan rakenteellista suunnittelua ja mitoitusta. Työssä pyrittiin siihen, että rakenneosasta vastaisi laskelmiltaan, työtavoiltaan ja laadultaan TPE Oy:llä vaadittua tasoa. Yritys halusi, että rakenneosasta olisi täysin valmis ja sen asennus olisi suunniteltu siten, että työmaalla ei tarvitse tehdä rakennustyötä osan sovittamiseksi paikoilleen. Tuotannon, logistiikan ja suunnittelun aikataulutuksessa sekä yhteensopivuudessa on omat haasteensa, joita tässä opinnäytetyössä punnitaan rakennesuunnittelun ohella.

Tehdasvalmisteisen teräsrunkoisen rakennusosan suunnittelua varten yritys on varustautunut moderneilla laskenta- ja mallinnusohjelmilla. Kokonaisen teräsrakenteen valmistus on mittatarkkaa, ja kuivissa, hyvin valaistuissa tiloissa tuotettu osa on laadullisesti korkeatasoinen tuote. Työ toteutettiin TPE Oy:n tehtailla Piikkiössä ja Somerolla. Työkohdetta mitoitettiin kahdelle eri kuormitustapaukselle, koska rakenneosasta tulee kestää noston aiheuttamat kuormitukset sekä luonnonvoimista aiheutuvat kuormitukset 50 vuoden ajan. Moduulin rakentamisessa kokeiltiin uutta tapaa järjestää rakenneosan nosto, josta vedeneristystesteissä saadut tulokset ovat huomattavasti parempia kuin aiemmat ratkaisut.

Työn tulokseksi saatiin kaksi rungoltaan identtistä IVKH-moduulia, jotka peilattiin toistensa peilikuviksi. Peilaus suoritettiin, koska rakenneosien läpiviennit ja ovet sijaitsevat vastakkaisilla puolilla toisiinsa nähden. Tämä otettiin huomioon jo ennen suunnittelun aloittamista, jotta rakenneosasta voitiin käyttää peilausta mallinnustyön nopeuttamiseksi.

Rakennusosan suunnittelun ja valmistuksen tuloksia voidaan soveltaa tulevien kohteiden tarjouslaskentaan sekä hyödyntää valmista tietomallia vastaavien kohteiden suunnitteluun. Valmiin tietomallin pohjalta voi tulevaisuudessa antaa heti tarjousvaiheessa rakenneosan julkisivukuvat, mikä antaa etua kokeneelle toimijalle tarjouskilpailussa.

ASIASANAT: teräsrakentaminen, rakennesuunnittelu, moduulirakentaminen, esivalmisteinen teräsrakennusosa, nostotavan määrittäminen

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mika Laine

STRUCTURAL DESIGN OF STEEL FRAMED MODULE

This thesis discusses the prefabricated steel framed module which was designed and engineered to TPE Ltd. firm. The calculations and structural design of the module steel frame were made according to the Eurocode 3. The structural element is located at the top of a block building and the lift of the structure needed a heavy duty crane to lift it on the top of the building. The module will serve the building as a weather proof shelter of an air supply unit.

The measurements of the module are 3,600 mm in height, 5,500 mm in length and 11,700 mm in width. The dead weight of the whole unit is 11,000 kilograms and the safety factor for the lift is 3. The safety factor for the lift equals 33,000 kg of dead weight for four lifting points. The lifting height to the top of the block building is 24 meters and the wind speed safety limit is 7 m/s.

The unit is covered by sandwich elements which are made of sheet metal framed rock wool core. 240-millimeter sandwich elements can withstand heat flow up to $0.16 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$. The steel frame is protected against rust by EP/PUR paint the layer thickness of which is 240 microns. The steel construction was designed by Tekla 3D design program and all of the structural joints were welded. Bolt joints are only used to attach the transportation supports to the module. The steel grade used by the workshop is S355j2 and the minimum a-measurement of the welded joints is 4 millimeters.

The statics and structural steel were designed by computer-aided construction programs after the critical calculations and loads were specified by the designer on paper by hand.

KEYWORDS:

steel framed module, structural design, prefabricated, lifting method

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	1
2 RAKENTEEN STAATTINEN MÄÄRITTELY	2
3 TERÄSRAKENNEOSAN KOMPONENTIT	8
3.1 PELTI-VILLA-PELTI ELEMENTTI	8
3.2 RAKENNETERÄS	9
4 TERÄSRAKENNE MODULIN SUUNNITTELU	12
4.1 RAKENTEEN MITOITUS	16
4.1.1 Esilaskenta	16
4.1.2 Lumikuorman mitoitus	22
4.1.3 Tuulikuorman mitoitus	23
4.1.4 Noston kuormitus	24
4.1.5 Kuljetustapa	25
5 3D MALLINNUS	27
6 OPINNÄYTETYÖN TULOKSET	34
LÄHTEET	36

LIITTEET

- Liite 1. Nostopilareiden FEM-laskenta ja muodonmuutoskuvaaja
- Liite 2. PVP-elementin mitoitus yksiaukkoisena kattorakenteena
- Liite 3. PVP-elementin mitoitus kolmiaukkoisena kattorakenteena
- Liite 4. Lumikuorman FEM-laskenta ja muodonmuutoskuvaaja
- Liite 5. Tuuli- ja lumikuorman FEM-laskenta ja muodonmuutoskuvaaja
- Liite 6. PVP-elementin määräluettelo
- Liite 7. Teräsprofiilien määräluettelo
- Liite 8. Rakenteen 3D malli
- Liite 9. Runkosuunnitelma ja leikkaukset
- Liite 10. PVP-suunnitelma

KUVAT

Kuva 1. Liitos 1.1, momenttivapaa liitos.	3
Kuva 2. Liitos 1.2, momenttijäykän liitoksen siirtämä momentti.	4
Kuva 4. Luonnos 1 IVKH:n mallista.	14
Kuva 5. Luonnos 2 IVKH:n mallista.	15
Kuva 6. Nelipistenostotapa.	18
Kuva 7. Nostokorvan liityntä kattopalkkiin.	20
Kuva 8. Lumikuorman suurin vaikutusalue.	22
Kuva 9. Tuulikuorman tukialue.	23
Kuva 10. Mallinnettu kuljetuspalkin liitos.	28
Kuva 11. Toteutettu kuljetuspalkin liitos.	28
Kuva 12. Mallinnettu momenttijäykkä kehäliitos.	29
Kuva 13. Toteutettu momenttijäykkä kehäliitos.	29
Kuva 14. Nostotavan aiheuttama kehän muodonmuutos.	30
Kuva 15. Tuetun kehärakenteen taipuma.	31
Kuva 16. Mallinnettu tuuliristikko.	32
Kuva 17. Toteutettu tuuliristikko.	32
Kuva 18 IVKH moduuli sovitettu paikoilleen.	35

TAULUKOT

Taulukko 1. Yhdistelykertoimien Ψ arvot rakennuksille.	6
Taulukko 2. RakMK E1 paloluokkataulukko.	13

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on laatia rakennesuunnitelmat teräsrakennosalle. Turun Pelti ja Eristys Oy (TPE), suunnittelee ja valmistaa jokaisen rakennososan itse raaka-ainesta. Yrityksen pelti-villa-peltielementtikone työstää rakenteeseen tarvittavat PVP-elementit Somerolla, moduulin suunnittelu ja teräsrakenteen konepajatyö tehdään yrityksen Piikkiön tehtailla. Tarvittavat sauma- ja vesipellit kantataan yrityksen peltipajalla, joka sijaitsee Piikkiön tehtailla.

Kahdesta rungoltaan identtisestä moduulista toinen koottiin sisätiloissa talviolosuhteista johtuen. Työssä on tarkoitus selvittää rakennusmääräyskokoelman ja eurokoodi 3:n pohjalta turvallisia rakenteita ja työteknisesti edullisia kokonaisratkaisuja. Työn teettämisessä on myös tarkoitus saada opinnäytetyön tekijälle kokemusta kyseisten rakenteiden suunnittelusta ja projektin hallinnasta.

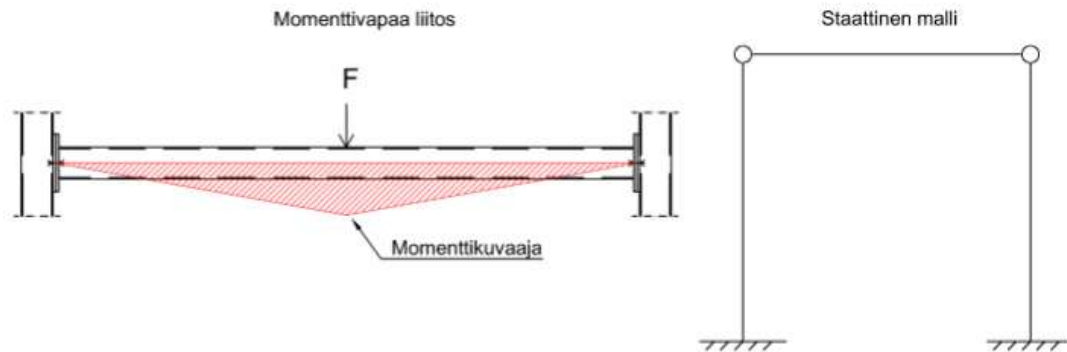
2 RAKENTEEN STAATTINEN MÄÄRITTELY

Rakennesuunnittelussa käsitellään rakenteiden mitoittamista eurokoodi 3:n pohjalta ja rakenteiden statiikka lasketaan käyttäen hyväksi WinRami-teräsrakennesuunnitteluohjelmaa. Mitoitusohjelmasta saadut tai käsin laskien mitoitettut profiilit mallinnetaan 3D-mallinnusohjelmaan. 3D mallinnusohjelmana käytetään Trimblen Tekla Structures -teräsrakennesuunnittelua.

Kantavan rakenteen rakennustekninen sovellus lähtee liikkeelle staattisesta mallista ja vapaakappalekuvasta. Staattisessa mallissa määritetään eri rakenneosien tehtävä rakennuksen kantavan rungon kokonaisuudessa. Staattisen mallin rakenneteknisesti määrittävä osa on liitostekninen ajattelu, koska liitokset voidaan määrittää siirtämään sisäisiä rakennevoimia. Koska rakennevoimia pystytään liitoksen määrittämisellä siirtämään, niitä pystytään myös staattisesti hallitsemaan. Staattisen mallin rakennevoimat voidaan laskea mallin jokaisessa pisteessä tai siinä voidaan hyödyntää laskentaohjelmien FEM-solmulaskentaa. Määritettävät rakennevoimat ovat momentti (M), leikkausvoima (Q) ja normaalivoima (N) sekä joissain tapauksissa rakennetta vääntävänä voimana (T). Jokaista rakennevoimaa on vastattava vähintään samansuuruinen, mutta vastakkaisuuntainen tukireaktio. Yleisesti rakennevoimien ajattelussa käytetään mekaniikan III (Kervinen & Smolander 2005, 112) peruslakia vaakamallina – vaa'an toisessa kupissa on rakenteen kuormituksesta syntynyt voima, ja toisessa kupissa on rakenteen tukireaktioista syntynyt vastakkainen voima. Mikäli vaaka pysyy tasapainossa, myös rakenne on tasapainossa. Matemaattisesti tasapaino todetaan itseisarvoltaan yhtä suurilla voimilla.

Rakennevoimista momenttia ajatellaan rakennetta kiertävänä voimana, jonka tukireaktio on samansuuruinen mutta vastakkaisuuntainen. Momenttia pystytään hallitsemaan liitoksilla; kiertymän salliva liitos, eli nivel, ei johda momenttia nivelen toiselle puolelle. Momenttijäykkä liitos siirtää momentin liitoksen kautta toiselle sauvalle ja liitoksen jäykkyydelle on erilaisia määrittämiä riippuen liitettävästä materiaalista ja työtavasta. Momenttiin on sovittu merkkisääntöjä, mutta käytännössä parhaiten toimii pyörimissuunnan osoittava nuoli, jolloin ei ole epäselvyyttä pyörimissuunnasta. Momentin kiertymäpiste pyritään osoittamaan staattisessa mallissa tiettyyn pisteeseen. Malleissa ja laskuissa oletetaan sauvat täysin jäykiksi, mutta näin ei kuitenkaan materiaaliopissa ole, vaan kaikilla materiaaleilla on kimmokerroin. Momenttia voidaan ajatella pyörittävänä voimana, jonka

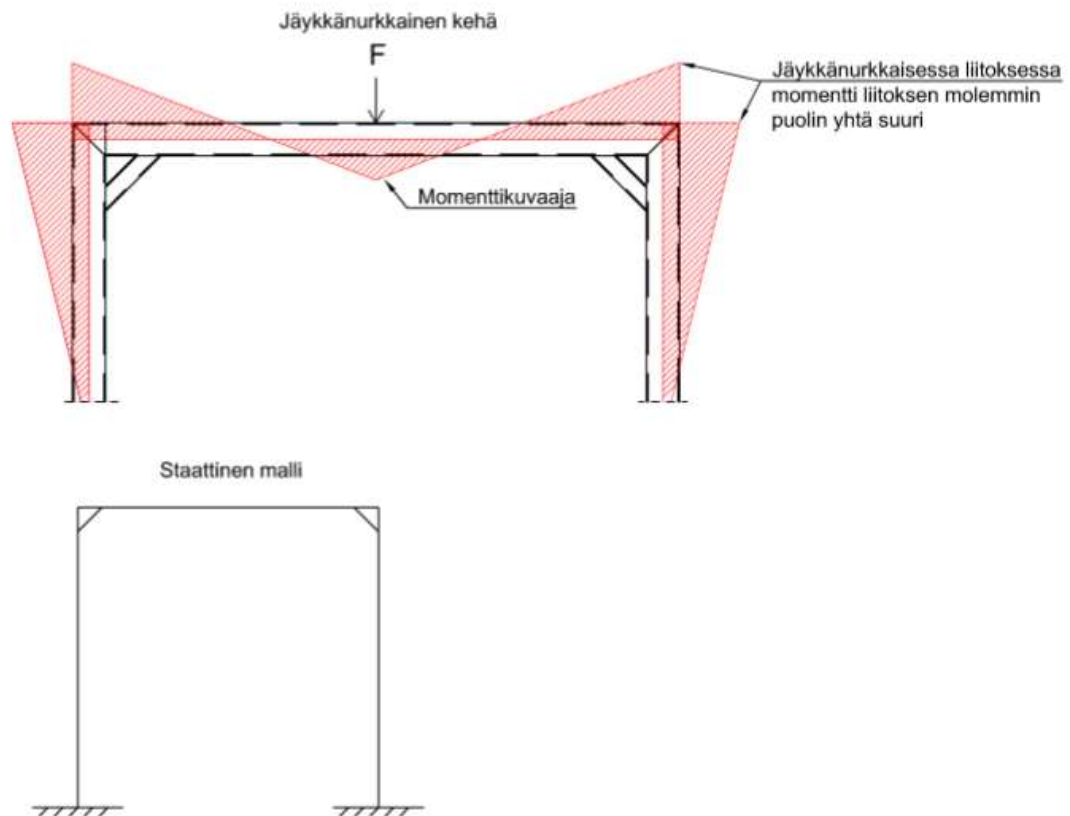
suuruus muuttuu mitä kauempana kuormittava voima sijaitsee kiertymäpisteestä eli tuesta. Liitoksessa 1.1 pilari ja palkki on yhdistetty kahdella ruuvilla, koska ruuvit sijaitsevat neutraaliakselilla, palkin liitos pystyy kiertymään rasituksen vaihdellessa – palkkia rasittava momentti ei siirry liitoksen yli pilariin.



Kuva 1. Liitos 1.1, momenttivapaa liitos. (Rakennustieto Oy 2015, 389)

Liitoksessa 1.2 palkki ja pilari on kiinnitetty toisiinsa hitsaamalla ja liitokseen on lisätty kiertymää estävä kulmatuki.

Liitos on momenttijäykkä, koska palkin kuormituksesta syntyvä momentti pystyy siirtymään pilarille. Momentin siirtymästä on hyötyä palkin mitoituksessa, koska palkki voidaan tällöin mitoittaa pienemmäksi kuin momenttivapaalla liitoksella pystytään. Momenttijäykkässä liitoksessa palkki käyttäytyy eri tavalla kuin vapaasti tuetussa liitoksessa. Käyttäytyminen liitosten välillä on erilainen, koska momenttijäykästi liitetty palkki saa pilarilta lisätukea taivuttavaa voimaa vastaan. Eron havaitsee myös momenttikuvaajista, jotka



Kuva 2. Liitos 1.2, momenttijäykän liitoksen siirtämä momentti. (Rakennustieto Oy, 2015, 393)

ovat muuten identtisiä, mutta momenttijäykän liitoksen huippu kulkeutuu palkin yli, kun nivelessä momentti on nolla. Momentti ilmentyy kaikissa momentin rasittamissa osissa missä tahansa poikkileikkauksen kohdassa – rakennetarkastelun kannalta kuitenkin vain sillä on merkitystä, missä momentti saa suurimman arvonsa ja minkä merkkisen momenttikäyrän suunniteltava osa saa. Rakenteen kokonaisuuden kannalta momentti kantaa pyrkiä siirtämään pilareiden kautta perustuksille, koska rakenteen omapaino kykenee kumoamaan osan momentista ja perustuksilla on yleensä riittävästi kapasiteettia ottaa vastaan momenttikuorma.

Leikkausvoiman suuruudella määritetään materiaalin leikkautumiseen tarvittava voima. Leikkausvoiman merkissäännöllä ei ole merkitystä, koska leikkautuminen voi tapahtua leikkausvoiman suunnassa kumpaankin suuntaan tahansa.

Normaalivoima kuvaa staattisen mallin sauvojen vetoa tai puristusta. Vetosauvasta käytetään merkinä miinusmerkkiä (-) ja puristussauvasta käytetään merkinä plusmerkkiä

(+). Merkitsemistavat pohjautuvat lujuusopin muodonmuutostilaan, joka määrittelee vedetyn sauvan pinta-alan pienemmäksi kuin normaalitilassa olevan sauvan pinta-alan.

Staattiset voimat ovat itsessään merkitseviä, koska rakenteeseen kohdistuvat voimat tarkastetaan ensin yhteen sauvaan kohdistuvana voiman. Yksinkertainenkin rakennus on käsin laskettaessa huomattavasti hitaampi toimenpide kuin tietokoneavusteisilla rakenneanalyysiohjelmilla.

Rakennus voidaan suunnitella useita eri reittejä, mutta yleisin tapa on tehdä rakenteen staattinen malli, ja rakennusmateriaalien sekä kuormitusten perusteella tehdä nk. sivistynyt arvaus rakenteen profiiliksi (RIL 201-1-2011, 29). Kun rakenne on saatu ensimmäisellä suunnittelukierroksella määritettyä, pystytään laskemaan rakenteen omapaino ja tarkastaa rakennuksen stabiliteetti, jolloin mallin tarkkuus paranee. Rakenteen mitoituksen kannalta rakennuksen omapaino ja kuormitusyhdistelyt luovat rakenteen sisäisille voimille tarkasteltavan alustan, joka lopullisesti määrittää rakenteen staattisen mallin soveltamisen sekä käytettävät profiilit. Rakennetta on huomattavasti helpompi suunnitella, kun rakenne ensin mitoitetaan arvauksen perusteella ja sitten lähdetään tarkastelemaan rakenteen kriittisiä kohtia matemaattisesti. Rakenteen kriittiset kohdat löytyvät staattisen mallin M-, Q- ja N-voimien kuvaajien huippukohdista. Tästä syystä kuvaajien ja numeeristen laskentaohjelmien tulosten oikea tulkinta on tärkeää. Kun staattisia voimia laskeaan, täytyy rakennesuunnittelijan aina lisätä kuormitukseen osavarmuuskertoimet joko käyttörajatilan (KRT) tai murtorajatilanteen (MRT) mukaan (RIL 201-1-2011, 2011, 34). Osavarmuusluvut määritellään osavarmuuksien Ψ -kertoimien yhdistelyllä, joista epäedullisin tilanne valitaan rakennuksen mitoitusperusteeksi.

Taulukko 1. Yhdistelykertoimien Ψ arvot rakennuksille (RIL 201-1-2011, 36)

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (SFS-EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6 ^{**1)}
Luokka G: liikennöitävät tilat, $30\text{kN} < \text{ajoneuvon paino} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3 ^{**1)}
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3) ^{*1)} kun $s_k < 2,75 \text{ kN/m}^2$ $s_k \geq 2,75 \text{ kN/m}^2$	0,7 0,7	0,4 0,5	0,2 0,2
Jääkuorma ^{***1)}	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
^{*1)} Ulkotasoilla ja parvekkeilla $\psi_0 = 0$ luokkien A, B, F ja G yhteydessä. Huomaus: Mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, joita ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään ψ -arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen. ^{**1)} Ajokäytävillä $\psi_2 = 0$ ^{***1)} Koskee huurtumisesta, jäätävästä sateesta ja räntäsateesta aiheutuvia jääkuormia			

Opinnäytetyönäiheena olevaan rakenneosaan ei sovelleta osavarmuuslukumennettelyä, vaan rakennekuormat lasketaan suoraan MRT-mitoitusta hyväksi käyttäen. Muuttuvat kuormat (lumikuorma ja tuulikuorma) lasketaan kertoimella 1.5, ja hyötykuormat kertoimella 1.15. KRT-mitoitusta käytetään taipumien laskennassa ja tarkastelussa (RIL 201-1-2011, 38).

Rakennesuunnittelussa liikutaan matemaattisella tasolla aina globaalilla akselistolla, jossa z-akseli kuvaa korkeutta (h), x-akseli kuvaa leveyttä (b) ja y-akseli kuvaa x-akseliin tavoin leveyttä (b) syvyyden suunnassa. Käsin laskiessa tulee laskutoimituksen tekijän olla varma laskettavan osan suunnasta ja kuormitusalueesta. Globaalin akseliston suunta voi olla eri laskentaohjelmien välillä erilainen. Usein rakennesuunnittelussa kuitenkin liikutaan tasolla, jolloin mitoitettava rakenneosa pitää tarkastaa kahdelta eri suunnalta, ja valita näistä suunnista suurempi kuormitustapaus.

Tässä opinnäytetyössä nojaututaan palkki-pilariteorian mukaisiin rakenneosiin. Palkki-pilariteoria käsittää rakenneosista selkeästi kaksi pääosaa, palkin ja pilarin, sekä apurakenneosana palkin ja pilarin liitos. Palkkia ja pilaria ei voi ulkoisesti erottaa toisistaan mitenkään, ne voivat olla samaa profiilia ja lujuusluokiteltua materiaalia. Rakennustekniikassa käytetään selvyiden vuoksi kyseisiä nimityksiä, jotta puhekielessä kyseiset sauvat on helpompi erottaa toisistaan. Yleisesti vaakatasossa oleva sauva on palkki, ja pystysuunnassa oleva sauva on pilari – kuitenkin erilaisissa kulmissa olevat sauvat ovat palkkeja ja diagonaaleja.

Palkki on sauvana rakenneosista se, jonka tehtävänä on ottaa vastaan pääasiallisesti z-akselin suuntaista voimaa sauvan vaakatason akseliin nähden. Lujuusopillisesti edullisin vaihtoehto palkille saavutetaan, kun palkin taivutusvastus on materiaalin sijoittamisella saatu suurimmilleen. Yleisessä muodossaan palkkiin kohdistuu kuormituksesta sisäisiä voimia. Painovoiman seurauksena, ilman muita vaikuttavia voimakomponentteja, palkin alalaippa on aina vedetty. Samassa kuormitustapauksessa palkin ylälaippaan kohdistuu puristukseksi kutsuttua voimaa. Lujuusopillisesti kyse on raaka-aineen mahdollisimman tarkasta käytöstä – standardimallissa palkin laipan alapintaan kannattaa sijoittaa mahdollisimman hyvin vetoa kestävä materiaali, ja laipan yläpintaan kannattaa sijoittaa mahdollisimman hyvin puristusta kestävä materiaali. Lisäksi on sekä lujuusopillisesti että taloudellisesti eduksi, jos palkki on mahdollisimman kevyt.

3 TERÄSRAKENNEOSAN KOMPONENTIT

3.1 PELTI-VILLA-PELTIELEMENTTI

Pelti-villa-pelti (PVP) -elementtiä valmistetaan liimaamalla pitkittäissäikeinen eriste kahden valssatun pellin väliin. Rakenne on yksikköhintaansa nähden suorituskyvyltään hyvä, koska se on tehtaalta tullessaan mittatarkasti sahattu ja valmiiksi maalattu sekä uritettu (Spirit Panel esite, 2016). Pintamateriaalina oleva teräspeltilevy kestää sinkittyinä sääolosuhteita, ja oikeilla kiinnikkeiden suojuuksilla elementillä on mahdollista rakentaa paloluokituksestaan EI 240 -rakenteita. Sandwich-elementtiä valmistetaan yleensä kivivillaytimisenä, koska kivivillan jäykkyys sopii elementin valmistukseen ja asennukseen paremmin kuin vastaava lasivillaydin.

Seinärakenteissa, joissa elementtiä kuormittaa yleensä vain tuulikuorma, voidaan maastoluokasta ja korkeudesta riippuen rakentaa jopa kymmenen metrin moduulivälillä. Mitoittava tekijä tuulikuorman mitoituksessa ei yleensä ole tuulen painekomponentti vaan tuulen imuvoima. Painekuormalla PVP-elementin mitoittava tekijä on paneelin taipumasta johtuva elementin lommahtaminen, jolloin sisäkuoren teräspelti venymisen seurauksena irtoaa ytimestä ja ulkokuoren teräspelti taittuu irti villaytimeistä. Tällöin elementti ei enää toimi liittorakenteena ja seinä voi romahtaa äkillisesti ilman, että rakenne on varoittanut muodonmuutoksella sisäisestä rikkoutumisestaan. Imukuormalla mitoittavaksi tekijäksi muodostuu kiinnikkeistä ja elementin reunapuristuksen kestävydestä. Imukuorman kuormitustapauksella elementti pyrkii ulosvetävän voiman seurauksena irtoamaan pilareista. PVP-elementti kiinnitetään aina yksiaukkoisena, koska pitkä jänneväli teettää lämpölaajenemiseroja ulkopinnan ja sisäpinnan välillä. Moniaukkoisena kiinnittämistä voidaan tapauskohtaisesti harkita, jos rakenne on suojassa auringon lämpösäteilystä aiheutuvasta lämpölaajenemisesta.

Palkki-pilarirakenteille yleisesti käytetty kuuden metrin moduulijako sopii PVP-elementeille hyvin – rakentaminen sujuu valmiisiin neliöihin suhteutettuna nopeasti ja rakennus saadaan nopeasti vaipaltaan lämpötiiviksi. Elementin kiinnitystapa johtaa siihen, että elementeille tulevat kuormitusvoimat vaikuttavat pilareihin pistemäisesti tai viivakuormina. Elementtirakentamisen varjopuolena on villapaneeleilla saavutettavat suuret pinta-alat, joista muodostuvat voimat voivat olla hyvinkin suuria. Pieni mitoitusvirhe suurella kertoimella (pinta-alakertoimena) voi johtaa paneelin kuormituskestävyyden ylitykseen.

PVP-elementeistä on myös mahdollista tehdä välipohjia ja yläpohjia. Tällöin elementtirakenne suojataan kovalla ja kevyellä materiaalilla, jotta pistemäistä kuormaa ei pääse syntymään. Jatkuva pistemäinen kuormitus, esimerkiksi askeleista johtuva, johtaa pitkällä aikavälillä villan irtoamiseen teräspeltilevystä. Rakennesuunnittelulla voidaan myös ohjata väli- ja yläpohjien rakennekuormat pois elementeiltä, jolloin rakennetta voidaan käyttää esimerkiksi paloa eristävänä rakenteena.

PVP-elementin eristyskyky on suunniteltu RakMK:n C3 osion (Ympäristöministeriö 2017) eristemääräysten pohjalta. Paneelin paksuus on myös suunniteltu siten, että kivivillalevystä syntyisi sopivaan leveyteen sahauksen seurauksena mahdollisimman vähän käytökeltovotonta jätettä. Vakiomittaisesta 1 250 mm leveästä teräspeltilevystä ei synny hukkaa, vaikka paneelin hyötyleveys on 1 200 mm, koska paneelien uros- ja naaraspontteihin kuluu 2 x 25 mm. RakMK:n C3:n mukainen eristysvaatimuksen U-arvo lämpimän tilan ulkoseinälle on 0,17W/(m²K). Eristevaatimus seinän osalta saavutetaan esimerkiksi TPE Spirit Panels'in 240mm paksuisella PVP-elementillä.

3.2 RAKENNETERÄS

Teräsrakentamisen alkujuuret ovat valuraudassa, vaikka terästä on osattu valmistaa jo 200-luvulla Kiinassa (Teräs 2017). Teräksen käyttöä rakentamisessa jarrutti hyvin pitkään sen korkea hinta ja laadukkaan materiaalin hankala valmistaminen. Teräksen valmistus on tekniseltä vaatimukseltaan aivan eri luokkaa kuin valuraudan valmistukseen käytetyn rautamalmin pasuttamisen ja masuunissa sulattaminen vaatii. Valurautaa on nimensä mukaisesti muotittu valamalla valmistettua rautaa, joka sisältää yli 2,11 % hiiltä. Syy muotittuun valamiseen on valuraudan heikko muodonmuutoskyky valun jähmettymisen jälkeen. Valurauta on rakennusteknisessä mielessä kova materiaali, ja sen haurasmurto on rakennusteknisesti ei-haluttu ominaisuus (Ongelin & Jylhä 2012, 315). Teräs on valurautaan verrattuna sitkeä materiaali, jonka murtoa edeltää rakenteen selkeä muodonmuutos ennen murtumaa.

Yleisnimitystä teräs (hiilipitoisuus 0,05 - 2,11 %) käytetään kaikista rautavaltaisista metalliseoksista. Rauta taipuu metalliteollisuuden käsissä hyvin monisäikeiseksi tuotteeksi, ja pelkästään erilaisia teräsprofiileja löytyy kauppanimikkeistöstä satoja kappaleita (Kontino Oy varastoluettelo). Näistä jokaisella on oma muotonsa, mittansa ja käyttötarkoituksensa. Koska teräs muovautuu näin moneen erilaiseen muotoon ja tarkoitukseen, sille on kehitetty oma taulukko ja tunnus helpottamaan käyttötarkoitukseen sopivat teräslajit

omiksi osioikseen. Tässä opinnäytetyössä käytettävä rakenneteräs on kirjaintunnukseltaan S, joka tulee englanninkielen sanasta *structural*, eli rakenne. Teräkset merkitään standardin SFS-EN 10204 mukaan aina ensin käyttötarkoituksensa mukaan, sen jälkeen myötölujuutensa (N/mm^2) mukaan ja lopuksi iskutkeydensä (J) sekä iskutkeyden testauslämpötilan mukaan. Yleisesti rakentamisessa käytettyjen rakenneterästen lujuusluokat ovat eurooppalaisen esistandardin eurocode 3:n mukaan (Kaitila, Kumar & Martikainen 2014, 30) S235, S275, S355, S420, S460 ja S690 – toki teräksestä ja valuraudasta on rakennettu aiemminkin, jolloin lujuusluokka saattaa olla voimassa olevien standardien ulkopuolella. Restauroitaviin rakenteisiin tulisi tehdä lujuuskokeilla testauksia, jos vanhoihin rakenteisiin ollaan liittämässä uusia rakenteita. Terästä on saatavissa jopa $1300 N/mm^2$ (SSAB Strenx 1300, 2017) omaavaa suurlujuusterästä, joten kyseinen teräs alkaa myötäämään vasta, kun jokaista neliömillia kohtaan kohdistuu n. 130 kg:paino. Sauvan pituudella ei tässä teoriassa ole merkitystä, koska pituus ei vaikuta poikkileikkaukseen, jonka mukaan myötöraja määritetään.

Teräsrakentamisessa pyritään pysymään kimmoisella alueella. Kimmoisuus tarkoittaa sitä, että jännityksen kasvaessa kimmoiseen myötörajaan asti materiaali pystyy palaamaan takaisin alkuperäiseen muotoonsa, eikä muodonmuutosta tapahdu. Mikäli jännitystilaa nostetaan yli kimmoisen myötörajan, puhutaan *plastisella alueella mitoittamisesta*. Plastisella alueella voidaan myös mitoittaa teräsrakenteita, mutta silloin esikoroitukset ja rakenteen ulkonäköön liittyvät seikat tulee ottaa huomioon, koska plastiselle alueelle kuormitettu teräsrakenne ei palaudu alkuperäiseen muotoonsa. Muodonmuutos plastisella alueella mitoitettaessa jää pysyväksi.

Suurlujuusteräksiä käytetään pääasiassa jännitetyissä betonirakenteissa. Suurlujuusteräksillä on erittäin suuri jännityksen sietokyky, kuten aiemmin todettu myötörajan määrittämisessä. Vaikka betonirakentaminen on oma lukunsa, niin ei teräsrakentamisesta voida kattavasti käsitellä ottamatta huomioon teräsbetonia, joka muodostuu kahdesta täysin erilaisesta materiaalista. Teräksestä joka on vetolujuuteensa nähden edullista, ja betonin, joka on puristuslujuuteensa nähden edullista. Teräsbetoni sopii lähes kaikkiin rakenteeseen, koska sen soveltuvuus määräytyy lopulta teräksen muodolla ja sijoituksella rakenteeseen sekä betonilaadun puristuslujuuden valintaan. Yleisimmin betoniteräksenä käytetään harjaterästä, mutta betoniin voidaan valaa haluttaessa kaiken mallisia teräsprofileja. Harjateräksillä terästetystä teräsbetonirakenteesta puhutaan laattarakenteissa jännittämättömänä rakenteena, vaikka rakenne jännittyy, kun valutuet poistetaan betonin kovetuttua. Rakennustekniikassa ei ole yhdentekevää, mihin pintaan teräkset

sijoitetaan betonirakenteissa, oikein valittu teräsprofiili ja oikein mitoitettu määrä harjaterästä sijoitettuna sopivaan pintaan tuo kustannus-säästöä, kun materiaaleista otetaan mahdollisuuksien mukaan lujuusominaisuudet käyttöön. Jännittämättömän rakenteen vastakohta on jännitetty rakenne, jossa pyritään saavuttamaan pitkiä jännevälejä pienillä taipumilla. Pitkän jännevälin omaava betoninen laattarakenne taipuisi huomattavan paljon, jos se terästettäisiin jännittämättömänä rakenteena. Ongelma pystytään ratkaisemaan jännittämällä teräkset joko ennen betonivalua tai valun jälkeen. Jännittämistä ennen valua käytetään ontelobetonilaatoissa, jotka valmistetaan tehtaalla. Jälkijännitystä käytetään usein siltojen palkkirakenteissa, koska suuret betonivalut joudutaan tekemään työmailla.

Teräs ja betoni sopivat harmonisesti yhteen, koska kummankin lämpölaajenemiskerroin on lähes sama (Liikennevirasto 2015) – tällöin rakenteet kestävät lämpötilan vaihteluita. Mikäli lämpölaajenemiskerroin olisi materiaaleilla huomattavan erisuuruiset, ongelmaksi muodostuisi jänteenä käytettävän materiaalin työntyminen eroon betonista. Tästä luonnollisesti aiheutuisi rakenteen luotettavuusongelma, josta syystä hiilikuituiset suurlujuuskomposiitit eivät sovellu sellaisenaan käytettäväksi betonirakenteiden raaka-aineena. Hiilikuidun lineaarinen lämpölaajenemiskerroin on välillä $25 - 50 \times 10^{-6} \text{ K}$ (Lähde: PEEK 2017), kun taas betoni ja teräs eivät ole lineaarisen lämpölaajenemisen piirissä. Toisin kuin hiilikuitu, betoni ja teräs eivät ole kuitumaisia rakenteita, ja niiden lämpölaajenemiskerroin on $12 \times 10^{-6} \text{ K}$ (Lähde: MAOL taulukot, 74).

Toisaalta vaikka teräs ja betoni soveltuvat hyvin käytettäväksi yhteen, on niiden yhdistämisessä omat ongelmansa. Usein ongelmaan liittyy betonin halkeilu ja vesihöyryn tunkeutuminen betonirakenteeseen – kemiallisen reaktion seurauksena veden happiatomit yhdistyvät teräksen rautaan ja reaktion pelkistymistuotteena syntyy rautaoksidia, jota kutsutaan arkikielessä *ruosteeksi*. Ruosteen tilavuus on suurempi kuin alkuperäisen teräksen, jolloin tilavuuden muutoksesta aiheutunut sisäinen paine murtaa betonin ja teräsrakenne jää täysin suojatta, jolloin ruostuminen kiihtyy.

4 TERÄSRAKENNE MODULIN SUUNNITTELU

IVKH-moduulin rakennesuunnittelu lähtee liikkeelle perustietojen keräämisellä pääsuunnitelmasta. Moduulin sijoituspaikka oli vesikatolla, lähellä rakennuksen reunaa, joten sen piti myös arkkitehtonisesti sopia ympäristöönsä. Tilaaja määritteli IVKH-moduulin ulko- ja sisämitat, ulko- ja sisävärin, paloluokituksen, katemateriaalin, kuoren U-arvon ja perustamistavan. Tilaajan määrittelyä voidaan tässä tapauksessa soveltaa pääsuunnitelmana, vaikka kyse oli koko rakennuksen mittakaavassa pienestä rakennusosasta. Tilaajan toiveena oli saada työmaalle täysin valmis rakennusosa, jonka voi nostaa paikoilleen ja kiinnittää sokkeliin. Työn suunnittelu on yllättävän laaja-alainen ja aikaa vievä projekti.

Kyseessä oleva IVKH on RakMK E1 mukaan P3-luokan rakenne (Finlex 193/1999, 2017), jolloin sille ei ole tilauksessa määriteltyä paloluokitusta. Oletuksena paloluokituksen määrittelylle oli rakenneosan sijainti (yli 300mm P1 luokan rakenteen yläpuolella) sekä rakenteen palomuurina toimivat betonirakenteet. Kuitenkin tilaan rakennettavan ilmanvaihtokoneen palomääräyksiä koskee RakMK E7 määräykset (Finlex 2017), joita ei tässä opinnäytetyössä käsitellä.

Taulukko 2. RakMK E1 paloluokkataulukko

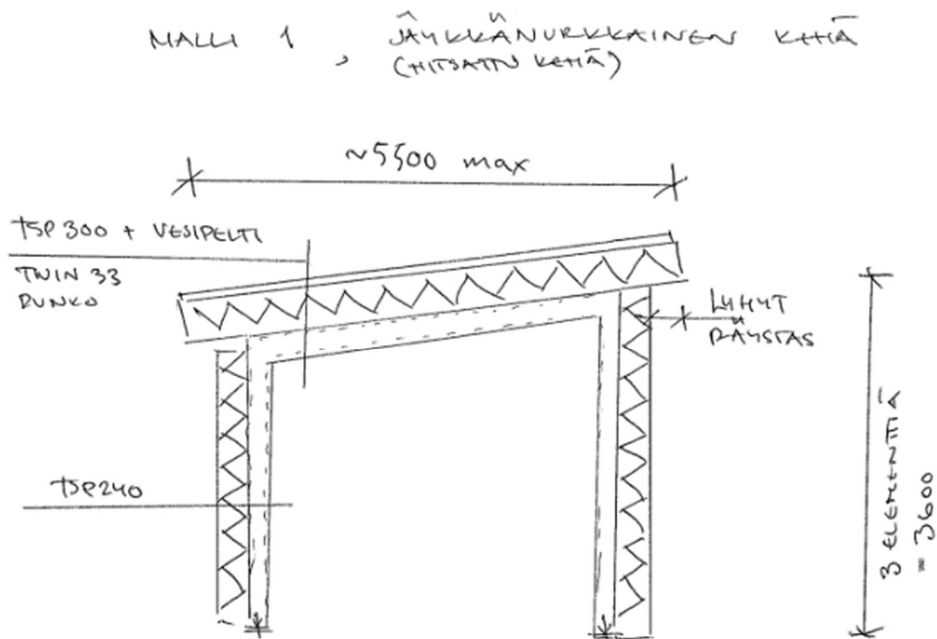
	Rakennusten paloluokka		
	P1	P2	P3
Kerrosten lukumäärä	Ei rajoitusta	Korkeintaan 2 Asuinrakennus, korkeintaan 4	Korkeintaan 2
Pinta-ala (m ²)	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta	2400, 1-kerroksinen 1600, 2-kerroksinen
Henkilölukumäärä	Ei rajoitusta	150, 1-kerroksinen 50, 2-kerroksinen	50, 1-kerroksinen 10, 2-kerroksinen
Hotelli		100, 1-kerroksinen	10, 1-kerroksinen
Hoitolaitos		25, 2-kerroksinen	
Liikerakennus	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta, 1-kerroksinen 250, 2-kerroksinen	500, 1-kerroksinen 50, 2-kerroksinen

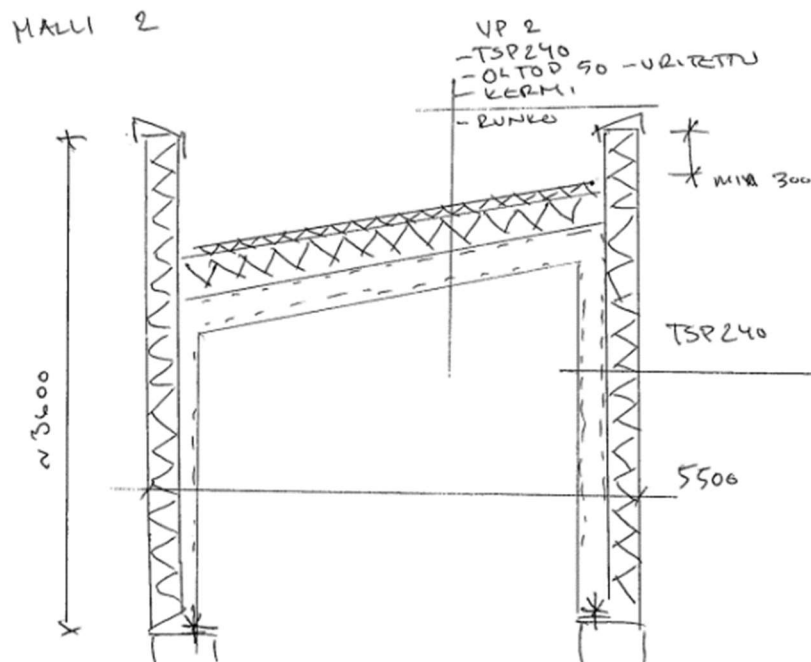
Rakennuksen kantavien rakenteiden palonkestävyysvaatimukset eri luokissa

	P1			P2	P3
	>1200	600-1200	<600		
Palokuorma MJ/m ²					
2-kerroksinen*	R120	R90	R60	R30	-
3 – 8 kerrosta	R180	R90	R60	R30	-
> 8 kerrosta	R240	R180	R120	ei sallittu	ei sallittu

Rakenteen muodolle oli tarjouspyyntövaiheessa määritelty kaksi identtistä tilarunkoa, joiden ulkokuoret erosivat toisistaan. Arkkitehtisuunnitelma kohteen toteutuksesta tuli ns. lyijykynäluonnoksena, koska kyse on rakennusmääräyskokoelman mukaisesti teknisestä tilasta. Vain ulospäin näkyvälle julkisivulle on haettu rakennusluvassa julkisivun malli ja muoto. Koska julkisivun malli on suorakulmainen särmiö ja pinnanmuoto on määritelty aaltomaisesta pellistä tehtäväksi, arkkitehtisuunnitelmaan on helppo saada pieni hienosäättö käyttämällä valmista pelti-villa-peltielementtiä. Kustannussäästö on huomattava, koska PVP-elementtiä tuottava tehdas kykenee valmistamaan saman tyyppistä pintamateriaalia kuin arkkitehti on kohteeseen pyytänyt. Kustannussäästöä syntyy, kun PVP-elementti on valmis kummaltakin pinnaltaan, eikä päällekkäisiä työvaiheita tarvita. Valmis pinta toki vaikuttaa elementin käsittelyyn asennusvaiheessa, jolloin työaikaa kuuluu taas hieman enemmän kuin pelkkää eristystä varten tehdyn PVP-elementin käsittely.

Kuva 3. Luonnos 1 IVKH:n mallista.





Kuva 4. Luonnos 2 IVKH:n mallista.

Rakennetyyppi ja sen staattinen malli määriteltiin lyijykynäluonnosten perusteella jäykkänurkkaiseksi kehäksi. Jäykkänurkkainen kehä antoi lisävapauksia suunnitella rakenteelle sellaisen nostotavan, joka ei vaatisi suuria lisätukia kantavaan runkoon ja joka pysyisi ryhdikkäänä nostotavasta huolimatta. Jo rakenteen suunnittelun alkutaipaleella päätetty staattinen malli jäykkänurkkaiseksi kehäksi säästi huomattavan paljon työaikaa ja takasi rakenteen lopputuloksesta hyvin ennustettavissa olevan käyttäytymisen. Ennuste rakenteen ryhdissä pysymiseksi oli hyvin korkea, koska jäykistäminen tehtiin hyvin järeäksi. Nurkat mitoitettiin siirtämään rakenneosien momenttia 100 %, mutta koska teräskin on joustava materiaali, momenttia siirtyy hitsatun liitoksen kautta todellisuudessa 90 % joka sekin on hyvin korkea momentinsiirtymä.

Esivalmisteisissa rakennusosissa rakennesuunnittelu käännetään vastakkaiseen järjestykseen; suunnittelua ja rakenneosien mitoitusta ei aloiteta perustuksista ja päätetä vesikatteeseen. Suunnittelu aloitetaan vesikatteesta, koko rakenteen oletetusta painosta ja rakennuksen mitoista. Rakennusosan raakaversiosta lasketaan rakennuksen vaippaan tarvittavan PVP-elementin neliömäärä, teräskeliin tarvittava teräsmäärä, katemateriaalin neliöpaino ja kuljetukseen tarvittavien tukien paino. Raakaversion massat summataan yhteen ja kerrotaan ensin 1,5-kertoimella ja 3-kertoimella, koska saadulla painolla mitoi-

tetaan kriittinen nostokorvien kestävyys. 1,5-kertoimella halutaan varmistua riittävän rakennemassojen huomioon ottaminen, ja 3-kerroin liittyy nostotavan vaatimuksiin, jossa otetaan huomioon yhden nostolenkin katkeaminen kesken noston. Tarkistettavia ja mitoitettavia osia ovat eurokoodin mukaiset käyttörajatilaa (KRT) ja murtorajatilaa (MRT) koskevien säädösten lisäksi nostotapaan liittyvät turvamääräykset. Näiden tarkistettavien mitoitustapausten lisäksi huomioon otetaan rakenteen mallin mukainen epäkeskeisyys ja geometria.

Perustukset eivät kuuluneet esivalmisteisen IVKH:n suunnitteluun, mutta tieto moduulin perustukselle tulevista voimista ja perustusten mittamaailmasta on koko rakennuksen rakennesuunnittelijalle luonnollisesti tärkeä. Keskustelun perusteella rakennesuunnittelija määritteli IVKH:n sokkelin paksuudeksi 200 mm, tästä tiedosta päästiin rakennesuunnittelun ensimmäiseen muuttumattomaan perustietoon käsiksi, ja se määritteli koko rakenteen rungon profiiliin.

4.1 RAKENTEEN MITOITUS

4.1.1 Esilaskenta

Ensimmäiseksi mitoitettavaksi rakenneosaksi otettiin nostokorvan kiinnikkeenä toimiva pilari. Pilari liittyy runkoon katemateriaalin läpi, joten profiiliin tulisi olla pyöreä, jotta se saataisiin vesitiiviiksi käyttämällä hyväksi LVI-tekniikassa käytettäviä putkiläpivientejä. Tässä yhteydessä katemateriaaliksi valikoitui huopakate, koska läpiviennit olivat yhteensopivia juuri bitumihuovan kanssa. Koko rakenteen paino laskettiin kahdella kaavalla. Ensimmäiseen summattiin vaipan PVP-elementti ja toiseen teräsrungon tarvitsema teräsmäärä.

$$F_{g,kate} = 0,45 \text{ kN} / \text{m}^2 * (34,4 \text{ m} * 3,6 \text{ m}) + 0,45 \text{ kN} / \text{m}^2 * (11,7 \text{ m} * 5,5 \text{ m})$$

$$F_{g,kate} = 84,8 \text{ kN}$$

Jossa, PVP-elementin painoksi on laskennassa määritelty 0,45 kN/m². Piirin pituus on 34,4 m ja kolmesta PVP-elementistä muodostuu korkeudeksi 3,6 m. Katon pinta-ala muodostuu kehän pituudesta (11,7 m) ja leveydestä (5,5 m). PVP-elementin painoon, joka on valmistajan määrittelyn mukaisesti 0,31 kN/m², on lisätty varusteluosista kertyvää painoa sekä huomioitu vesikatteesta syntyvä paino. Todellisuudessa katteen paino

jää alemmaksi, koska läpivienneistä ja katteen julkisivun muotoilusta poistettava materiaali jää rakenteen painosta pois.

Teräsprofiiliksi määriteltiin alkuun neliöputki CFRHS 150 * 5 mm, jonka metripaino on 22,3 kg (Kontino taulukot, s. 43). Laskennassa oletettiin, että koko rakenne rakennettaisiin kyseisestä materiaalista.

$$F_{g,teräs} = 0,22kN/m * [(11,7m * 6kpl) + (5,5m * 6kpl) + (3,6m * 8kpl) + (5,1m * 6kpl)]$$

$$F_{g,teräs} = 35,8 kN$$

Jossa, ylä- ja alajuoksut (4 kpl) sekä kattopaneelituet (2 kpl) ovat 11,7 m pitkiä, kehäpalkit (6 kpl) ovat 5,5m pitkiä, pilarit (8 kpl) 3,6m pitkiä ja tuulistikot (3 kpl) 5,1 m pitkiä. Esilaskennan mukaan teräsrakenne on oletettu kokonaisuudessaan valmistettavaksi CFRHS 150 * 5mm profiilista. Todellisuudessa, joka oli jo esilaskennassa tiedossa, rakenteen profiileja tullaan viilaamaan käyttötärpeeseensa sopiviksi. Esilaskennassa on eduksi, jos rakenne oletetaan hieman painavammaksi, kuin se todellisuudessa on. Tällöin mitoitettavissa osissa on riittävästi kapasiteettia, kun todelliset painot selviävät suunnittelun edetessä. RHS-teräsprofiileja voi suunnittelun edetessä pienentää, kun suunnittelu etenee kantavasta rakenteesta apurunkoon ja osiin. Jos laskentaa vietäisiin eteenpäin osien mitoituksen ja apurungon kautta kantavaan runkoon, olisi suurella todennäköisyydellä laskettava kokonaispaino useaan kertaan uudelleen.

$$F_{g,all} = 35,8 kN + 84,8 kN$$

$$F_{g,all} = 120,6 kN$$

Kertoimilla 1,5 ja 3 kerrottuna saadaan varmuuskertoimin varustettu kokonaislaskentapaino. Kerroin 1,5 ei liity MRT-mitoitukseen, vaan esilaskennan vaiheessa oleviin tuntemattomien rakenneosien mitoitukseen. Kerroin 3 liittyy nostotavan varmuusmäärittelyyn, jossa otetaan huomioon nostoketjun katkeaminen noston aikana.

$$F_{g,All} = 120,6 kN * 1,5 * 3$$

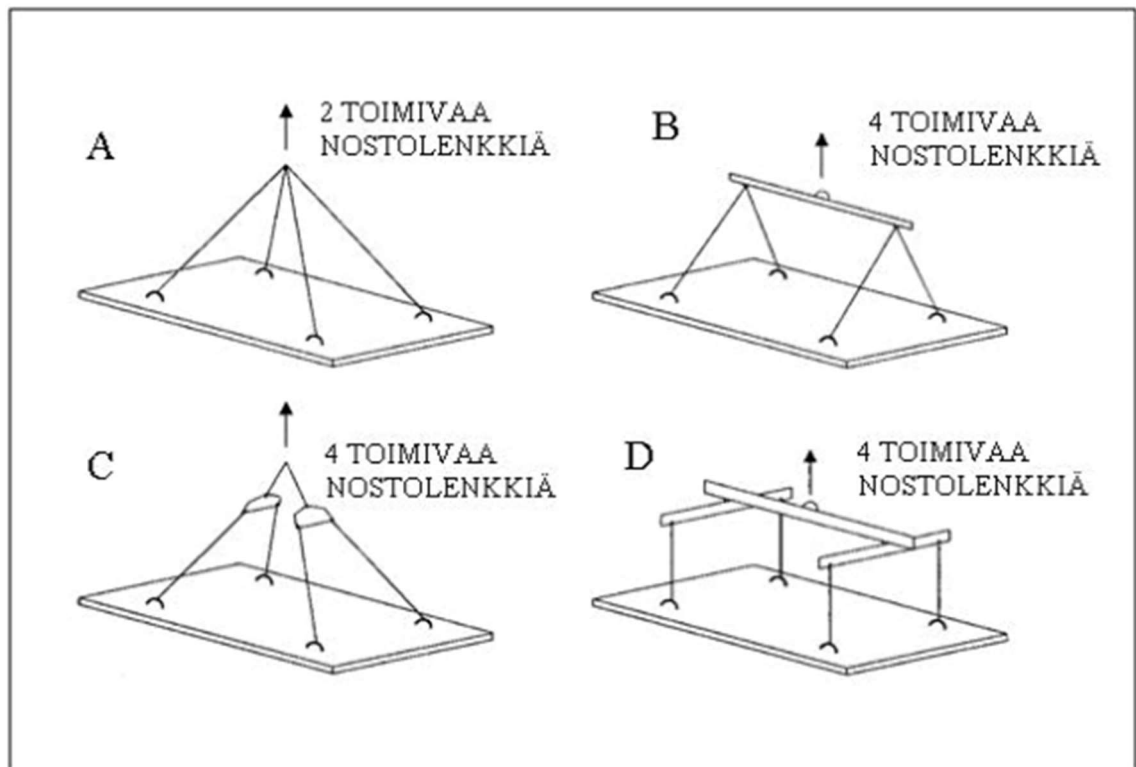
$$F_{g,All} = 542,7 kN$$

Neljällä nostopisteellä jaettuna painoa kertyy yhdelle nostokorvakkeelle

$$F_{g,nostokorva} = \frac{542,7 \text{ kN}}{4}$$

$$F_{g,nostokorv} = 135,7 \text{ kN.}$$

Nostokorvan pilarin ja rungon väliin tulevan momentin ja pilariin vaikuttavan normaalivoiman voi näillä arvoilla laskea statiikasta, kun ensin määrittelee nostokulman. Nostokulmaan ei löytynyt suoraa ohjetta teräsrakenteiden suunnitteluohjeista. Betonielementtejä koskevaa nosto-ohjetta soveltaen voitiin suunnitella nelipistenostotapa.



Kuva 5. Nelipistenostotapa (Betoniteollisuus 2017)

Nostokorvan pilarin pituus rajattiin 500 mm, koska mitä korkeammaksi pilari muodostuu, sitä suurempi momentti kohdistuu liitoskohdan kautta kattopalkkiin. Kappaleeseen kohdistuvista voimista ja nostokulman määrittämisestä 30°:n pystytään laskemaan X-suuntainen voima, Y-suuntainen voima ja näiden lisäksi kappaleen liitoskohtaan vaikutta momentti. Staattinen arvo voidaan määrittää graafisesti, tarkasti piirtämällä, tai laskemalla trigonometrisesti käyttäen Sini – ja Kosini lauseita (MAOL taulukot 2005, s.34) hyväksi. Laskennassa täytyy olla kaksi suuretta tunnettuna, tässä tapauksessa $F_{g,Nostokorva} = 135,7$ kN pystysuuntaista voimaa, pystysuuntainen voima aiheuttaa pilarille 135,7 kN vedon.

Nostokorvan pilariin vaikuttaa myös köysivoimasta tuleva resultantin (R) voima, jonka komponentteina ovat Y-suuntainen voima 135,7kN, ja X-suuntainen tuntematon (x) voima. Kun voimayhtälöön lisäämällä tuntemattoman voiman suunnan 30°, saadaan trigonometriseksi yhtälöksi

$$R = \frac{135,7 \text{ kN}}{\cos 30}$$

$$R = 156,65 \text{ kN.}$$

Resultantista voidaan Pythagoraan lauseella (MAOL taulukot 2005, s.34) ratkaista X-suuntainen voimakomponentti

$$x^2 + y^2 = R^2$$

$$x^2 + (135,7 \text{ kN})^2 = (156,65 \text{ kN})^2$$

$$x^2 = 6132,87 \text{ kN}^2$$

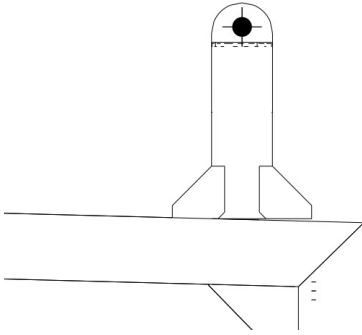
$$x = \sqrt{6132,87} \text{ kN}^2$$

$$x = 78,31 \text{ kN.}$$

Laskentaohjelmaan voidaan syöttää joko resultanttivoima, ja myös resultanttivoiman suunta, tai X-suuntainen voima momentin laskemiseksi. Momentti voidaan myös laskea kaavalla, johon syötetään pilarin pituus ja voiman suunta:

$$M_{max,nostokorva} = 0,5 \text{ m} * 78,31 \text{ kN}$$

$$M_{max,nostokorva} = 39,2 \text{ kNm.}$$



Kuva 6. Nostokorvan liityntä kattopalkkiin.

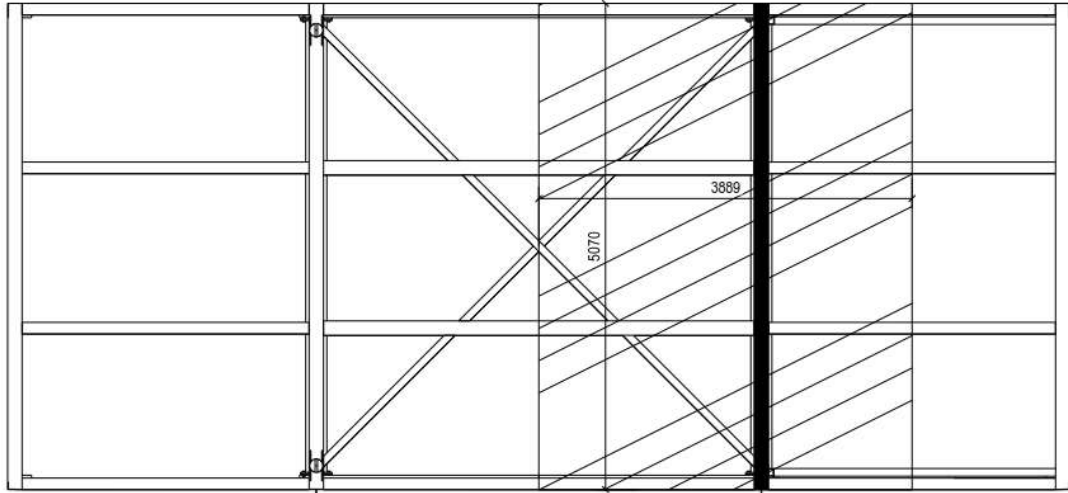
Nostokorvan juuressa vaikuttaa siis 39,2 kNm momentti täydellä varmuuskerroinmenetelyllä tarkasteltuna.

Nostokorvan, sekä liitoksen ja pitää siis kestää laskennasta saatu momentin sekä normaalivoiman arvo. Käsien laskien saatu voimaresultantti sijoitetaan WinRami-laskentaohjelmaan, joka laskee FEM-solmulaskenta menetelmällä kappaleen staattiset mitoitusarvot, kun yhtälölle on annettu kuormitustapaus. Staattisia mitoitusarvoja voidaan käyttää sellaisenaan, tai sitä voidaan täydentää *sections*-lisäosalla. Lisäosan kirjastosta voidaan raahata teräsprofiileja laskentamalliin ja määrittää laskentaohjelman kautta sopiva profiili laskettavaan kohteeseen. Osia mitoitettaessa on hyvä pitää profiilin käyttöaste noin 70 %:ssa, tällöin ei ole vaarana, että teräs joutuisi jännittymään plastiselle alueelle. Teräsprofiilia mitoittaessa on erityisen tärkeää pitää mielessä, mihin ja miten profiiliin osaa ollaan liittämässä. Mitoitettavassa kohteessa liitettävän osan tulee sopia profiililtaan runkoon, jonka laippa on 150 mm leveä – näin ollen nostokorvan pilarin tulisi olla alle 150 mm halkaisijaltaan, jotta se pystytään hitsaamaan ilman sovituslaippaa paikoilleen. Kohteeseen sopiva profiili löytyi *sections*-kirjastosta: käyttöasteella 68 % pyöreä putkipalkki, joka on halkaisijaltaan 139,7 mm, seinämävahvuudella $t = 8,0$ mm (liite 1). Profiili sopii hyvin mitoitettavaan kohtaan, koska sen ulkohalkaisija on hyvin lähellä rungon neliömuotoista putkiprofiilia RHS 150 mm. Koska putkipilari hitsataan RHS-profiilin laippaan siitä aiheutuu RHS-profiilille laippaa kuormittavaa voimaa. Laippa on voiman vaikutussuunnassa huomattavasti heikompi kuin uuma, joten edullisinta on johtaa voima suoraan laipoille. Putkipilariin pystytään kokonsa puolesta helposti hitsaamaan jäykistyslevyt, jotka johtavat nostokuormasta aiheutuvat suoraan RHS profiilin uumalevyille. Lisäksi liitos jäykistyy, kun siihen liitetään voiman suuntaa vastustavaa materiaalia. Putkipilarit ovat koko rakenteen kannalta tärkeimmät osat, koska nostotavan ympärille suunnitellaan koko rakenteen toimivuus nostohetkellä.

Rakenneosan U-arvoksi on määritelty $0,14 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$, tämä arvo saavutetaan käyttämällä seinissä 240 mm:n vahvuista PVP-elementtiä, ja katossa 240 mm:n vahvuista PVP-elementtiä sekä lisäksi laakerikerroksena toimivaa 50 mm:n vahvuista kovaa katoteristelevyä (TPE Spirit esite, 2015). PVP-elementit asennetaan runkoa vasten, jolloin niillä pitää olla riittävä tukipinta runkoa vasten. Tukipintana käytetään valmistajan suositusta, joka on 60 mm per kiinnitettävä pää – elementit kiinnitetään yksiaukkoisena, jolloin pitkälle sivulle tulee pystysaumoja kaksi kappaletta. Pystysaumoista ja elementin asennustekniikasta johtuen sopivan profiilin tulisi olla laipaltaan vähintään 140 mm leveä. Teräsrakentamisessa materiaalin massa hinnoitellaan kilojen mukaan, joten profiilin tulisi olla sellainen, joka veisi mahdollisimman vähän tilaa sisäpuolelta, ja jonka lujuus olisi X ja Y taivutusakselin suuntaan identtinen. Kantavan rungon profiiliksi valikoitui alkuvaiheessa RHS 150x5mm, josta muokattiin Tekla Structures -suunnitteluohjelmalla neljä identtistä kehää. Rungon muodostamiseksi neljästä kehästä käytettiin rakenteen ulko-reunoilla samaa RHS 150x5 -profiilia. Katon materiaalina käytetty PVP-elementti olisi taipunut ja menettänyt kantavuutensa, mikäli se olisi tuettu pelkästään päistään (mitoitussitety liitteessä 2). Elementin alle lisättiin terästukiprofiilit, joiden tukipinnaksi valmistajan puolelta määriteltiin 120 mm. Tällöin PVP-elementille saadaan kolmiaukkoisesta rakenteesta johtuen pienet ylitykset ja huomattavan korkea kantavuus yksiaukkoiseen rakenteeseen verrattuna (liite 3). Rungon tietomallin muodostamisen jälkeen voitiin laskea loput kuormitustapaukset, kun kuormitusalueet ovat selvillä kehäjaon myötä.

4.1.2 Lumikuorman mitoitus

Kuvassa 7 esitetty lumikuorman vinoiivattu vaikutusalue mustatulle palkille muodostuu, kun palkin kummaltakin puolelta otetaan puolet kentän pinta-alasta laskentaan mukaan.



Kuva 7. Lumikuorman suurin vaikutusalue.

Lumikuorman määritykseen vaaditaan paikkakunnittain määritetty lumikuorman paino maassa, eurokoodi (SFS-EN1991-1-3) määrittelee moduulin paikkakunnalle $2,75 \text{ kN/m}^2$ kuormituksen. Katon lumikuorman kinostusta ei määritetä, koska katon kaltevuus ja muotokerroin laskisivat kuormituksen kertoimen arvon $0,8$. Rakenneosa sijaitsee avoimella ja korkealla paikalla, joten turvallisinta on käyttää kuormituksen kerrointa 1 :

$$F_{g,lumikuorma,kuormitusalue} = 1,5 * 2,75 \text{ kN/m}^2 * (5,1 \text{ m} * 3,9 \text{ m})$$

$$F_{g,lumikuorma,kuormitusalue} = 82 \text{ kN}.$$

Jotta palkin lumikuorman aiheuttaman jännityksen pystyisi laskemaan laskentaohjelmalla, sen kuormitus pitää muuttaa *viivakuormaksi*. Viivakuormaksi muuttaminen tapahtuu jakamalla kuormitusalueen lumikuorman kokonaispaino palkin pituudella.

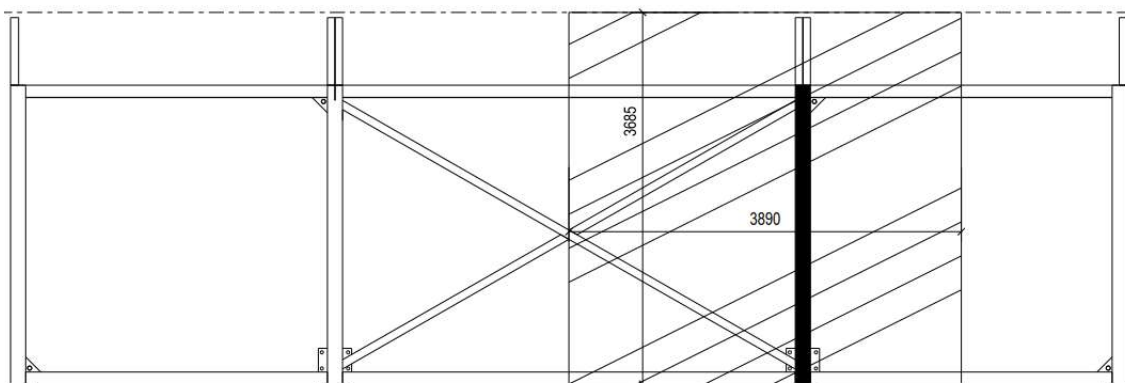
$$F_{g,lumikuorma,viivakuorma} = 82 \text{ kN} / 5,1 \text{ m}$$

$$F_{g,lumikuorma,viivakuorma} = 16,07 \text{ kN/m}.$$

Rakenneosan kattopalkki mitoitettiin WinRami-laskentaohjelmalla (liite 4), josta saatiin täyden lumikuorman kuormittamalle kattopalkille käyttöasteeksi 44 %. Koska käyttöaste jää pieneksi, lumikuorma ei ole mitoittava kuormitustapaus rakenteen rungolle.

4.1.3 Tuulikuorman mitoitus

Tuulikuorman laskennassa määritettiin lumikuorman tavoin ensin kuormitusalue (kuva. 8) ja haettiin RIL:in kirjasta (201-1-2011. 133) taulukkoarvo (taulukko 4.2s) tuulenpainelle 0,95 kN/m² ja imulle 0,42 kN/m² arvoksi maastoluokan I ja 30 metrin mukaan. Tuulenpainella- ja imulla mitoitetaan teräsrunko, minkä jälkeen tarkastetaan imupainella seinäelementin kiinnikkeiden lujuus. Kuormitusalue saadaan kuvasta 8 laskemalla tukialueen pinta-ala.



Kuva 8. Tuulikuorman tukialue.

$$F_{g,tuulenpainekuorma,kuormitusalue} = 1.5 \cdot 0,95 \text{ kN/m}^2 \cdot (3,7 \text{ m} \cdot 3,9 \text{ m})$$

$$F_{g,tuulenpainekuorma,kuormitusalue} = 20,6 \text{ kN}$$

$$F_{g,tuulenimukuorma,kuormitusalue} = 1.5 \cdot 0,42 \text{ kN/m}^2 \cdot (3,7 \text{ m} \cdot 3,9 \text{ m})$$

$$F_{g,tuulenimukuorma,kuormitusalue} = 9,1 \text{ kN}$$

Viivakuormaksi muutettuna arvot ovat

$$F_{g,tuulenpainekuorma,viivakuorma} = 20,6 \text{ kN} / 3,7 \text{ m}$$

$$F_{g,tuulenpainekuorma,viivakuorma} = 5,6 \text{ kN/m}$$

$$F_{g,tuulenimukuorma,viivakuorma} = 9,1 \text{ kN/3,7 m}$$

$$F_{g,tuulenimukuorma,viivakuorma} = 2,5 \text{ kN/}$$

Winramilla mitoittaessa (liite 5) saatiin pilarin käyttöasteeksi 55 % luonnonkuormista aiheutuvista voimista. Mitoitus tehtiin täydellä lumi- ja tuulikuormalla, koska kyseinen kuormitustapaus esiintyy RIL 201-1-2011 taulukon 4.2s mukaan kerran 50 vuodessa. Tuulen imukuormaa vastaan PVP-elementin kiinnikkeet tarkastettiin laskentaohjelmalla, joka mitoitti kiinnikkeen läpileikkautumisen kannastaan olevan mitoitettava arvo. Läpileikkautumisen kannastaan –kuormitustapauksen käyttöaste mitoituksen mukaan on 19 % (liite 8).

4.1.4 Noston kuormitus

Nostokorvan kuormittavan palkin lujuus tarkastettiin syöttämällä WinRami –laskentaohjelmaan laskettu resultantin voima ja suunta. Mitoituksessa määrätään, että rakenneosaan ei kohdistu lumikuormaa, mahdollisesti katolle satava lumi poistetaan ennen nostoa. WinRami mitoitti kattopalkille käyttöasteeksi 41 % ja rakenneosaan kiinnitetylle nostokorvalle 79 %:n käyttöasteen. Nostokorvan käyttöasteen 11 %:n muutos johtuu ohjelman tekemästä kokonaistarkastelusta, jossa huomioidaan rakenteen leikkauksen omapaino ja sijainti – nämä painot on kuitenkin huomioitu jo aiemmin laskelmissa, joten nostokorvan käyttöaste on 68 %. Mikäli laskentaohjelman haluaisi laskevan käyttöasteen aiemmin määritellyn mukaan, ohjelman käyttämää kuormitusta joutuisi redusoimaan ohjelman käyttämän kehäpainon verran. Laipan palamurtoa vastaan kuormitustapaus muokattiin ottamaan palkin uuma mukaan kuormitustapaukseen. Tämä tapahtuu liittämällä nostokorvaan jäykistelevyt, jotka ovat ainevahvuudeltaan 1,5-kertaisia palkin ainevahvuuteen verrattuna. Tällöin nostosta syntyvä voima ohjautuu suoraan taivutussuunnassa jäykemmälle uumalle, mistä seuraa se, että voimille mitoitettun palkin kapasiteetti on käytössä. Ilman jäykistelevyjä pitäisi tarkistaa kattopalkin uuman palamurron kautta tapahtuva repeytyminen.

4.1.5 Kuljetustapa

Rakenneosan suuri fyysinen koko on logistisesti ongelmallinen, koska pohjan ala on 11 700 mm * 5 500 mm, ja rakenne haluttiin kuljettaa kokonaisuutena rakennuspaikalle. Kuljetusyritys hankki erikoiskuljetukselle luvan, mutta rakenneteknisessä mielessä ongelmaksi muodostui IVKH:n sovittaminen lavetille. Lavetin koko on 10 000 mm * 2 600 mm, joten rakenneosa tuettiin lavetille kahdesta jälkikäteen irti otettavasta palkista. Palkit mitoitettiin ottamaan vastaan pistemäisiä kuormia, ja palkit kiinnitettiin laippojen välityksellä kantavaan runkoon. Laipat ja palkit suunniteltiin siten, että niitä ei tarvitse nostaa IVKH:n mukana sijoituspaikalle, eli kerrostalon katolle. Palkkeja ei kuitenkaan pystynyt irrottamaan, ennen kuin rakenneosa on nosturilla nostettu lavetilta ylös. Laippoihin suunniteltiin neljän pultin pulttiryhmä. Pulttiryhmä on yksileikkeinen, joten koko rakenteen paino jaetaan 16 ruuville, jolloin yhdelle pultille syntyvä leikkausvoima on

$$Q_{g,all} = 120,6 \text{ kN} * 1,5$$

$$Q_{g,all} \approx 181 \text{ kN}$$

$$Q_{g,ruuvi} = \frac{181 \text{ kN}}{16 \text{ ruuvia}}$$

$$Q_{g,ruuvi} = 11,43 \text{ kN/ruuvi.}$$

Ruuvien kierteettömän alueen leikkauskestävyys / leike ($F_{v,Rd}$) eurokoodi 3

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times f_{ub} \times A}{\gamma_{M2}}$$

Yhden 8.8 lujuuden M24 ruuvien kierteettömän alueen leikkauskestävyys on

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times 800 \text{ N/mm}^2 * \pi \times (12 \text{ mm})^2}{1,25}$$

$$F_{v,Rd} = 173\,629 \text{ N} \approx 173 \text{ kN / leike}$$

Jossa, f_{ub} on ruuvien vetomurtolujuus, 8.8 lujuiselle ruuville f_{ub} :n arvo on 800 N/mm². A merkitsee kaavassa pinta-alaa, ja γ_{M2} on laskun osavarmuuskerroin.

Käyttöasteeksi saadaan jakamalla tarvittava leikkauskestävyys saavutetulla leikkauskestävyydellä

$$F_{v,Rd} = \frac{11,43 \text{ kN}}{173 \text{ kN}} \approx 0,07.$$

Jokaisen ruuvien leikkauskestävyydestä on 7 % käytössä.

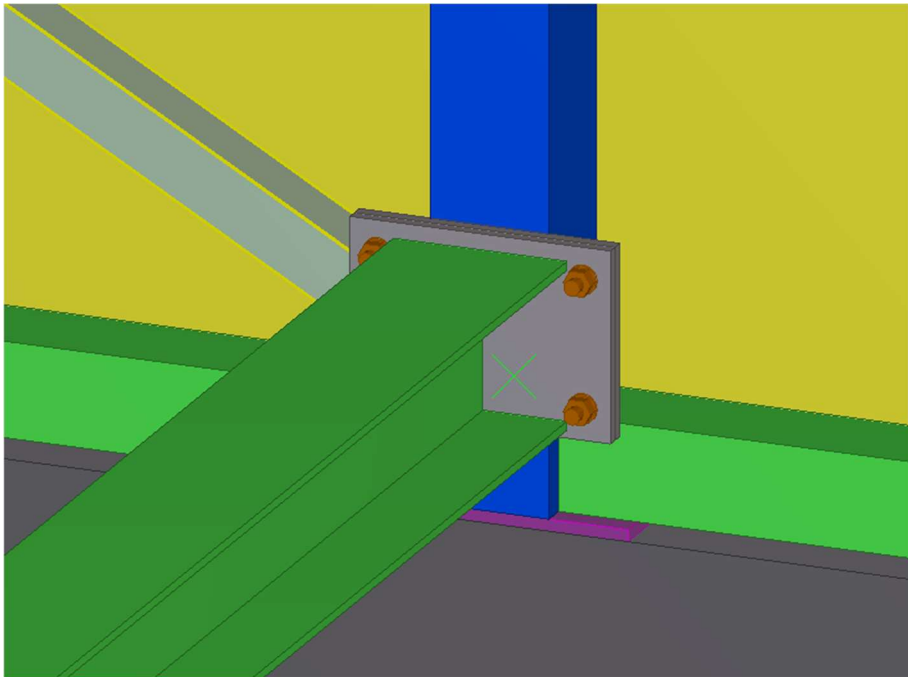
Kuljetettavan osan ruuvien mitoittamisessa käytetään reilua ylimitoitusta, koska onnettomuustilanteen mallinnus on vaikeaa, eikä siihen kannata epätodennäköisyytensä vuoksi käyttää resursseja. Reilulla ylimitoituksella kuitenkin varmistetaan, että rakenneosan kuljetustuki on kuljetustapauksen vahvin osa.

Ruuvien leikkauskestävyyden laskukaava on verrattaen helppo, eikä siihen liity tilanteen mukaan muuttuvia tekijöitä, jolloin mitoituksessa käytetään usein taulukkomitoitusta. Ruuvivalmistajat pyrkivät taulukoimaan ruuvista kaikki arvot, jolloin suunnittelijan tulee olla tietoinen siitä, mitä statiikan osaa taulukoista käyttää. Myös oikean lujuusluokan valinta ja materiaalituntemus on tärkeää, kun suunnitellaan liitoksistaan sitkeitä rakenteita.

5 3D-MALLINNUS

Rakennesuunnittelun tarkoitus on tuottaa turvallisia, terveellisiä, edullisia ja laadukkaita rakennuksia. Teräsrakentaminen on liitostekniikaltaan mittatarkkaa työtä, koska usein rakenteiden toleranssina käytetään toteutusluokkaa 2, jossa mittatarkkuuden vaatimus on ± 2 mm (SFS-EN 1090-2). ± 2 mm on teräsrakenteissa sellainen rako osien välillä, jonka voi hitsata umpeen tai johon saa koneruuvien kiinni. Tarkka toleranssi vaatii tarkat *osapiirustukset* ja *kokoonpanot* kohteesta. Osapiirustukset ovat yhdestä osasta muodostettuja kuvia, joiden tarkoitus on kuvata osan valmistajalle kyseisen kappaleen dimensiot, mahdolliset reiät ja muotoilu. Osan valmistaja ei välttämättä tiedä, mihin valmistettua osaa käytetään, eikä hänen tarvitse tietää sitä – tähän ajatukseen perustuu 3D-mallinnusohjelmien suorituskyky koko tuotantoketjussa. Mallissa käytetään todellisia rakennusmateriaalien profiileja ja todellisia mittatietoja, jolloin voidaan jo mallinnusvaiheessa todeta osien yhteensopivuus. Rakenteen sisään pääsee katsomaan miten osat sopivat keskenään toisiinsa, ja onko asennustyökaluille riittävästi tilaa välyksissä. Rakennetta voi leikata haluamastaan kohdasta, ja näkökentän ulkopuolella olevia osia saa näkyviin osoittamalla osille eri tasoja. Mallinnus ja piirustusten muodostus ovat kaksi eri asiaa, vaikka kyseessä on sama tietomalli ja mallinnusohjelma alusta loppuun asti. Mallissa esiintyvät osat irrotetaan toisistaan piirustusten muodostamisen vaiheessa, jolloin jokaisesta osasta saadaan muodostettua mittatarkka osapiirustus. Osapiirustusten pohjalta valmistetut osat sopivat tällöin varmasti toisiinsa, jolloin ne voidaan liittää toisiinsa kokoonpanopiirustuksen pohjalta – näin osista saadaan valmistettua kokoonpano ja kokoonpanosta rakenneosia. Kaikista mallinnetuista osista saa filttä, eli poistettua tai lisättyä, halutut osat – tästä on suuri apu osapiirustusten ja kokoonpanojen mallinnuksessa. Kuvien tuottaminen tapahtuu nopeasti, ja osat ovat suunnitelmissa täsmälleen oikeassa paikassa. Rakenteista saa ajettua erilaisia 3D-malleja, josta on helppo tarkastaa alihankkijoiden työ.

Opinnäytetyön kannalta oli tärkeää myös osoittaa rakenneosan paino, jonka mallinnusohjelma laskee osoitetuista osista. Tieto toimii varmistuksena sille, että suunnittelun alussa on oletettu rakenteen paino oikean suuruiseksi. Työn tarkoituksena olleen suunnittelun ja työnkaaren ymmärtää, kun rakenneosan mittasuhteen näkee luonnollisessa koossa. Rakenneosan kriittiset osat, jäykät nurkat, tuulisiteet, nostokorvat ja kuljetustuet ovat, juuri sellaisia kuin ne on mallinnettu tietomalliin.

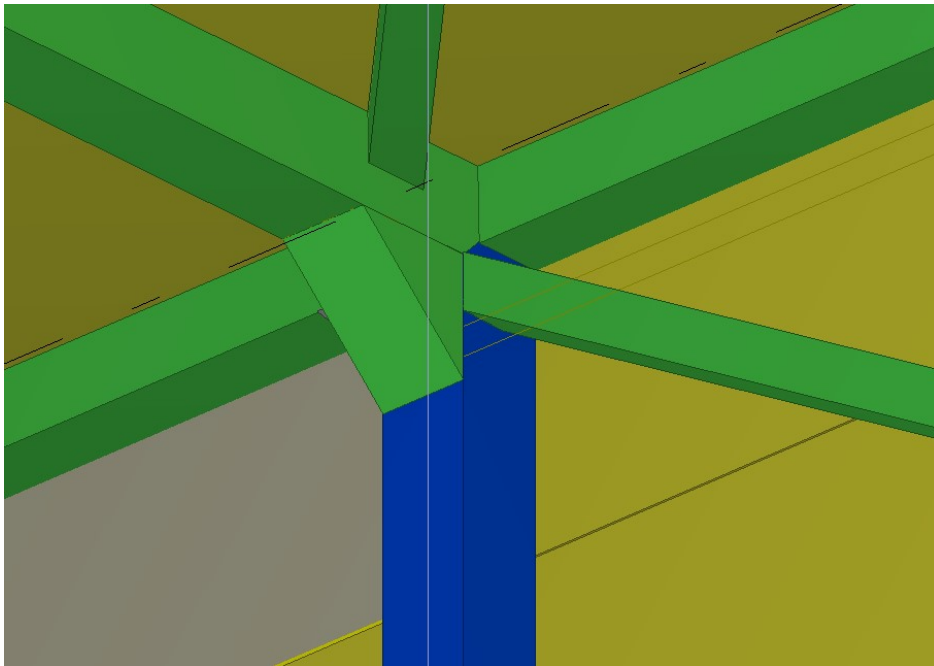


Kuva 9. Mallinnettu kuljetuspalkin liitos.



Kuva 10. Toteutettu kuljetuspalkin liitos.

Kuljetustukipalkkia voitiin myös käyttää rakenneosan valmistuksen aikana tukena, ja pitämään kehää muodossaan hitsaustyön aikana.

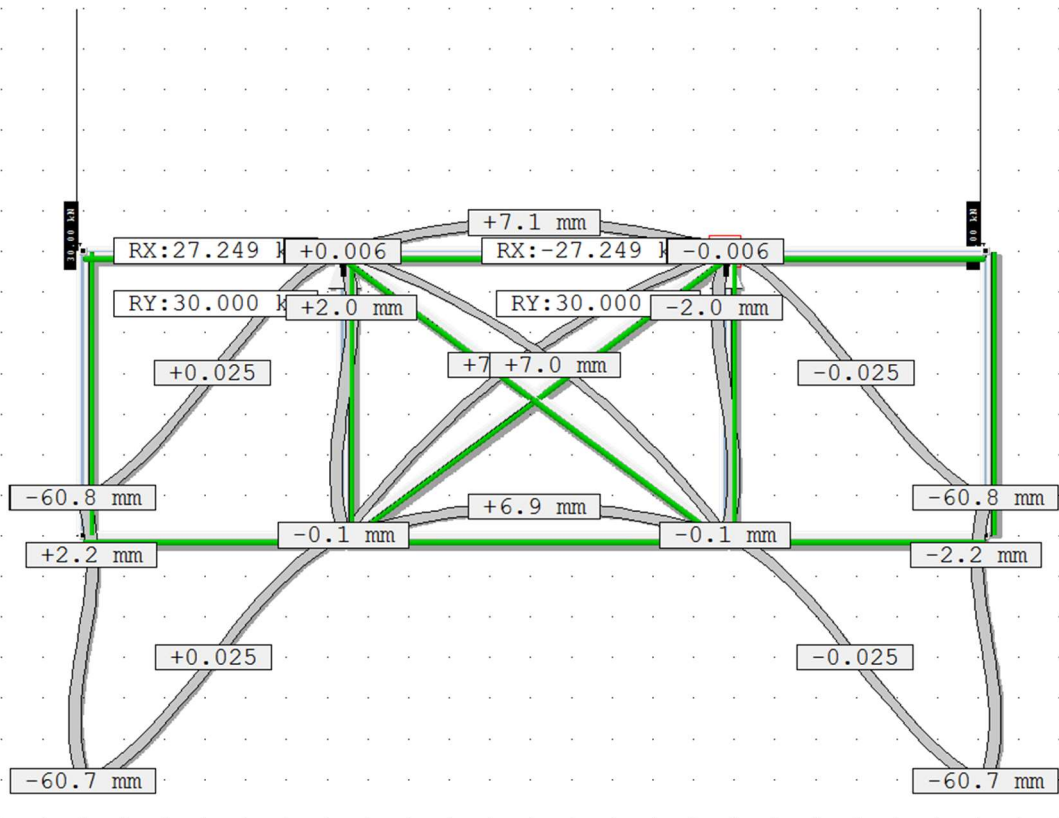


Kuva 11. Mallinnettu momenttijäykkä kehäliitos.



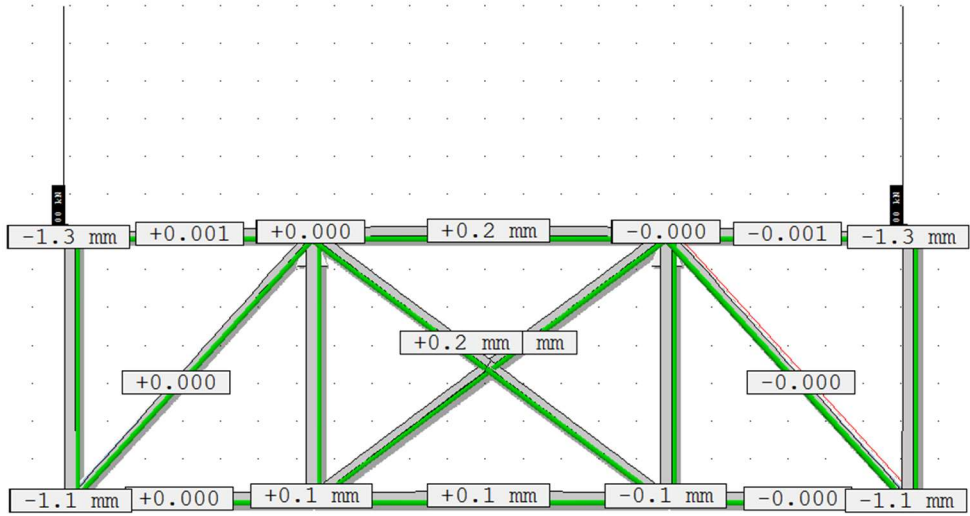
Kuva 12. Toteutettu momenttijäykkä kehäliitos.

IVKH-moduuli on rakentunut neljästä kehästä, mutta moduuli on kuitenkin tarkoitus nostaa keskimmäisistä kahdesta kehästä. Rakennemallin tarkastelu osoitti, että noston yhteydessä ulommaisiin kehiin olisi aiheutunut noin 60 mm:n taipuma. Taipuma arvioitiin sellaiseksi, että rakenne olisi kestänyt sen, mutta uloimpien kehien PVP-paneelit ja saumapellitykset olisivat saattaneet vaurioitua noston seurauksena. Tästä syystä runkoon hitsattiin sellaiset korvat, joihin saatiin kiinnitettyä 50 kN:n lujuiset ratasvyöt.



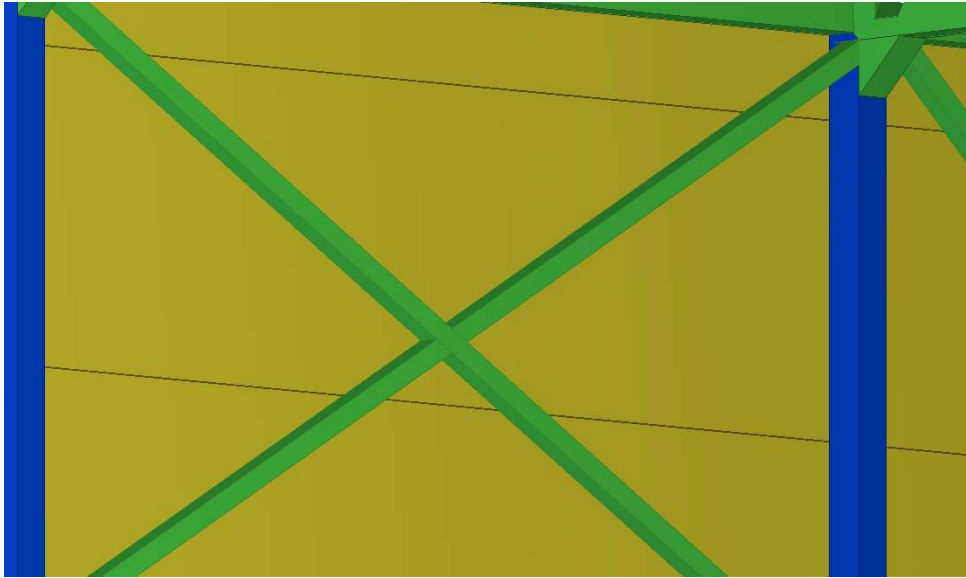
Kuva 13. Nostotavan aiheuttama kehän muodonmuutos.

Koska uloimpien seinien kehiin oli tarkoitus asentaa haalaus-aukkona toimiva ovi, ja seinille talotekniikan tarvitsemia sähkökojetauluja, jolloin kehäaukkoa ei voinut tukea pysyvällä diagonaalilla. Rakenteen staattisen mallin mukaan uloimpaan kehäaukon diagonaaliin aiheutuu 30 kN normaalivoima, joka päätettiin ottaa vastaan 50 kN ratasvyöllä. Näin normaalivoimatuki voidaan poistaa, kun rakenneosat on nostettu paikoilleen ja kehäaukot pysyvät rakenteista vapaina.



Kuva 14. Tuetun kehärakenteen taipuma.

Kehän laskennallinen taipuma jää reunoistaan normaalivoima tuettuna 1 mm.



Kuva 15. Mallinnettu tuuliristikko.



Kuva 16. Toteutettu tuuliristikko.

Tuuliristikko toimii myös nelipistenoston onnettomuustilanteessa, jossa jokin neljästä nostolenkistä katkeaisi kesken noston. Ristikko jakaa voimat toimivien nostopisteiden kesken, jolloin stabiiliteetti säilyisi ja nosto olisi onnettomuustapauksessa turvallinen.

Tekla 3D-mallinnuksesta on mahdollista ajaa ulos materiaaliluetteloita. Materiaaliluettelot ovat kahdesta syytä tärkeitä. Luetteloista voi tarkastaa materiaalien painot sekä materiaalit saadaan jo ennen piirustusten valmistumista tilattua, jolloin mahdollisesti puuttuva materiaali saadaan konepajalle ajoissa. Materiaalilistoista (liite 6 ja 7) voidaan todeta, että laskennassa käytetty 120,6 kN:in paino oli melko hyvin arvioitu, koska materiaaliluettelot näyttävät 113,04 kN:in painoa mallinnetuille osille. Erotus muodostuu siitä, että mallinnusohjelma laskee PVP-paneelien alat leikattuna, jolloin materiaalia poistuu rakenneosasta 16,5 m². Määrän paino nostaa arvon 120,3 kN:iin, joka käytännössä sama arvo kuin esilaskennassa saatu rakenteen omamassa.

6 OPINNÄYTETYÖN TULOKSET

Opinnäytetyön suorittaminen oli mielenkiintoinen projekti. Vaikka työ oli haastava, se oli myös antoisa – vihdoin ne asiat, joita ammattikorkeakoulussa on käsitelty useaan otteeseen, konkretisoituivat. Yllättävintä työn suorittamisen ja opinnäytetyön kirjoittamisen aikana oli omaan tekemiseen luottaminen. Käsitellyt asiat tuntuivat sellaisilta, että niiden kanssa on ollut aiemmin tekemisissä, vaikka kokonaisuuden hallinta on täysin eri asia kuin luennolla käsitellyt aiheet.

Vaikka kyse oli koko rakennuksen mittakaavassa pienestä rakennusosasta, niin siinä käsiteltiin samoja kaavoja ja mitoitusperusteita kuin koko rakennuksen mitoittamisessa käytetään. Mitoitustyö käsiteltiin opinnäytetyössä kevyemmin kuin koko rakennuksen mitoitus on käsitelty toisen insinööritoimiston toimesta. Tämä johtuu siitä, että rakennus kantaa rakenneosan, eikä asia ole tässä tapauksessa päinvastainen. Mikäli rakenneosa kantaisi sen päällä olevan rakennuksen, olisi mitoitus ja stabiliteetin tarkastaminen täysin erilainen kuin katolle sijoitettavan IVKH-moduulin tarkastaminen oli.

Suurin oppimisen hyöty kohdistui koko tuotantoketjun tutkimiseen ja opinnäytetyön onnistumiseen, kun rakenneosa nostettiin paikoilleen huhtikuussa 2017. Nostossa tuli ilmi myös sellainen kuormitustapaus, jota ei oltu huomioitu tilaajan eikä suunnittelijan puolelta. Suunniteltuna nostopäivänä rakennuspaikalla tuuli 19 m/s nosturin huipulta mitattuna, ja turvaraja oli 7 m/s. Olosuhteiden pakosta rakenneosa nostettiin lavetilta pois, jolloin rakenneosan suuri pinta-ala otti tuulesta voimaa eikä sen hillitsemiseksi ollut muuta tehtävissä kuin laskea osa maahan. Onnettomuutta ei sattunut, mutta turvallisuusnäkökohtana tuleviin kohteisiin rakenneosille ei anneta lupaa nostaa lavetilta kovalla tuulella.



Kuva 17 IVKH moduuli sovitettu paikoilleen.

Kuvassa 17 olevat perustukset täytetään leca-soralla, ja kattopinta nousee 200 mm ovi-aukon alapuolelle, jolloin bitumikermin saa nostettua IVKH:n ulkoseinälle. Moduulin räystäälle asennetaan tilaajan toimesta sadevesikouru ja vesi johdetaan pois sokkelieristeen lähetyviltä.

Rakenneosa sopi paikoilleen aivan kuten oli suunniteltu, ja siinä suhteessa opinnäytetyötä voidaan pitää menestyksellisenä. Tilaajan aikataulussa pysyttiin, eikä lisätöitä kohteeseen muodostunut, kuin haalausaukkona toimivan oven suurentaminen 21 * 21 moduulimittaan. Liitostekniikkaan, joka on ehkä rakennesuunnittelun tärkein osa-alue, tuli opinnäytetyön aikana paljon opittavaa. Vahvalta näyttävä liitos ei ole vahva, jos sen voimakomponentteja ei tarkastella yksityiskohtaisesti. Voimien ja kuormien siirtymisen hallinnassa on vielä paljon opittavaa, mutta opinnäytetyö avasi liitostekniikan kautta ymmärtämään rakenteiden haluttua ja sallittua liikettä. Rakennusteknisesti IVKH on pieni rakennuskohde, mutta kuitenkin riittävän suuri saamaan aikaan sellaista kuormitusta, jota pitää hieman miettiä ja soveltaa ammattikorkeakoulussa opetettuja asioita. Kokoluokkaansa nähden osan mitoitus on opinnäytetyöhön sopivalla tasolla. Kohtuullisen suurilla pinta-aloilla pitää jo tarkistaa ja nostopainona käytetty 12 000 kilon massa on niin suuri, että tavallinen puominosturi ei sitä jaksakaan nostaa.

LÄHTEET

Kaitila O, Kumar R & Martikainen L. 2014. Teräsrakenteiden oppikirja. uudistettu painos. Teräsrakenneyhdistys ry.

Kervinen M, Smolander J. 2005. MAOL-Taulukot 112. uudistettu painos. Keuruu: Otava.

Kontino Oy Teräsprofiilien varastoluettelo.

Ongelin P, & Valkonen I. 2012. 315. Ruukki Rakenneputket EN 1990 -käsikirja. Ruukki 2012.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

<http://tpe.mediabox.fi/wp-content/uploads/2016/11/TPE-Spirit-Panel-esite-Suomi.pdf-9> Viitattu 26.4.2017

<http://www.ym.fi/download/noname/%7B7BF051A7-6436-4724-A1FD-7688A56FB09B%7D/102966> Viitattu 26.4.2017

www.ssab.fi/tuotteet/brandit/strenx/tuotteet/strenx-1300 Viitattu 26.4.2017

http://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/64349/Hyvonen_Liittopalkkisilta_230310.pdf/aeca4a53-dde2-4d0d-948a-5c440ae67bae Viitattu 20.3.2017

http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/peek/vink_peek_esite_a4_web.pdf Viitattu 2.5.2017

www.finlex.fi/data/normit/10530-37-3762-4.pdf Viitattu 2.5.2017

www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf Viitattu 2.5.2017

www.finlex.fi/data/normit/17076-E7s.pdf Viitattu 3.5.2017

SFS-EN 1090-2 Teräsrakenteiden toleranssit ja asentaminen.

Betonelementtien nostotapa Viitattu 22.4.2017 Betoniteollisuus http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23860/Betonelementtien_nostolenkit_ ja_-ankkurit_2010%20+%20Muut.

KOHDE » Opinnäytetyö
PROJEKTI/TYÖ »
VAIHE »
TUNNUS » Mika Laine
PÄIVÄYS » 22.4.2017

NIMI: [Luotettavuusluokka = RC2][1.00]
TIEDOSTO: C:\Users\mika.laine\Desktop\Winramkehä.frm
PALOLUOKKA: R15
PALOSUOJAUS: Rakenteet on mitoitettu palotilanteessa rakenneosalle määritellyn suojaustavan mukaisesti.
RAKENNEOSIA: 5 kpl
YHTEISPAINO: 342.8 kg
ULKOP.PINTA-ALA: 7.392 m²
LIITOKSIA: 0 kpl
PALOSUOJAUKSIA:ρ 0 kpl

+++

TAPPAUS: Kuormitustapaus 1
TYYPPI: Määrittelemätön
VARMUUS: NORMAALI
HISTORIA: 0
OSAVARMUUSKERROIN: 1.0
YHDISTELYKERROIN: 1.0
PALOMIT.KERROIN: 1.0
PALOMIT.YHD.KERROIN: 1.0
KUORMIA:ρ 3 kpl

+++

RAKENNEOSA: 000000003 [GP1:liitetty toisiin päätepisteisiin GP2:liitetty toisiin päätepisteisiin]
PROFIILI: Putkipalkki EN 10219-2 - 150 x 150 x 6,0 S355MH EN 10219
NORMI: EC3
SUUNTA: Y-Akseli
PALOSUOJAUS: Suojaamaton
PITUUS: 5000,000 mm
PAINO:ρ 132,0 kg
MITOITUS: Murtorajatilamitoitus
[2,22] NEd/Nc,Rd=0,07<1,00
[2,44] My,Ed/Mc,y,Rd=0,40<1,00
[2,74] Vz,Ed/Vpl,z,Rd=0,00<1,00
[2,120] My,Ed/MN,y,Rd=0,40<1,00
[2,147] (NEd/(Xy*NRk/gM1)+((kyyMy,Ed)/(My,Rk/gM1)))+(kzyMz,Ed)/(Mz,Rk/gM1)=0,41<1,00
[2,148] (NEd/(Xz*NRk/gM1)+((kzyMy,Ed)/(My,Rk/gM1)))+(kzzMz,Ed)/(Mz,Rk/gM1)=0,28<1,00

RAKENNEOSAN MITOITUS OK.

+++

RAKENNEOSA: 000000004 [GP1:liitetty toisiin päätepisteisiin GP2:ei liitetty]

KOHDE » Opinnäytetyö
PROJEKTI/TYÖ »
VAIHE »
TUNNUS » Mika Laine
PÄIVÄYS » 22.4.2017

Sivu 2

PROFIILI: Putkipalkki EN 10219-2 - 150 x 150 x 6,0 S355MH EN 10219
NORMI: EC3
SUUNTA: Y-Akseli
PALOSUOJAUS: Suojaamaton
PITUUS: 3500,000 mm
PAINO:ρ 92,4 kg
MITOITUS: Murtorajatilamitoitus
[2,44] My,Ed/Mc,y,Rd=0,40<1,00
[2,74] Vz,Ed/Vpl,z,Rd=0,03<1,00

RAKENNEOSAN MITOITUS OK.

+++

RAKENNEOSA: 000000005 [GP1:liitetty toisiin päätepisteisiin GP2:ei liitetty]
PROFIILI: Putkipalkki EN 10219-2 - 150 x 150 x 6,0 S355MH EN 10219
NORMI: EC3
SUUNTA: Y-Akseli
PALOSUOJAUS: Suojaamaton
PITUUS: 3500,000 mm
PAINO:ρ 92,4 kg
MITOITUS: Murtorajatilamitoitus
[2,44] My,Ed/Mc,y,Rd=0,40<1,00
[2,74] Vz,Ed/Vpl,z,Rd=0,03<1,00

RAKENNEOSAN MITOITUS OK.

+++

RAKENNEOSA: 000000007 [GP1:liitetty rakenneosaan GP2:ei liitetty]
PROFIILI: Putkipalkki EN 10219-2 - 139,7 x 8,0 S355MH EN 10219
NORMI: EC3
SUUNTA: Y-Akseli
PALOSUOJAUS: Suojaamaton
PITUUS: 500,000 mm
PAINO:ρ 13,0 kg
MITOITUS: Murtorajatilamitoitus
[2,44] MEd/Mc,Rd=0,79<1,00
[2,80] VEd/Vpl,Rd=0,18<1,00

RAKENNEOSAN MITOITUS OK.

KOHDE » Opinnäytetyö
PROJEKTI/TYÖ »
VAIHE »
TUNNUS » Mika Laine
PÄIVÄYS » 22.4.2017

Sivu 3

+++

RAKENNEOSA: 000000008 [GP1:liitetty rakenneosaan GP2:ei liitetty]
PROFIILI: Putkipalkki EN 10219-2 - 139,7 x 8,0 S355MH EN 10219
NORMI: EC3
SUUNTA: Y-Akseli
PALOSUOJAUS: Suojaamaton
PITUUS: 500,000 mm
PAINO:ρ 13,0 kg
MITOITUS: Murtorajatilamitoitus
[2,44] MEd/Mc,Rd=0,79<1,00
[2,80] VEd/Vpl,Rd=0,18<1,00

RAKENNEOSAN MITOITUS OK.

+++

KUORMA: Kuorma 1
NUMERO: 000000001
KUORMITUSTAPAUS: Kuormitustapaus 1
TYYPPI: Tasainen
X: 0.0 kN/m
Y: -16.07 kN/m
KOORDINAATISTO: Globaali
VAIKUTUSALUEET: 0 kpl
ALUEMÄÄRITTELY:ρ Rakenneosa

+++

KUORMA: Pistekuorma 7
NUMERO: 000000007
KUORMITUSTAPAUS: Kuormitustapaus 1
TYYPPI: Piste
X: 78.3 kN
Y: 0.0 kN
M: 0.0 kNm
KOORDINAATISTO: Globaali
VAIKUTUSPISTEET:ρ 1 kpl

+++

Vaikutuspiste [00007] 000500,0 mm

+++

KOHDE » Opinnäytetyö
PROJEKTI/TYÖ »
VAIHE »
TUNNUS » Mika Laine
PÄIVÄYS » 22.4.2017

Sivu 4

KUORMA: Pistekuorma 8
NUMERO: 000000008
KUORMITUSTAPAUS: Kuormitustapaus 1
TYYPPI: Piste
X: -78.3 kN
Y: 0.0 kN
M: 0.0 kNm
KOORDINAATISTO: Globaali
VAIKUTUSPISTEET:ρ 1 kpl

+++

Vaikutuspiste [00008] 000500,0 mm

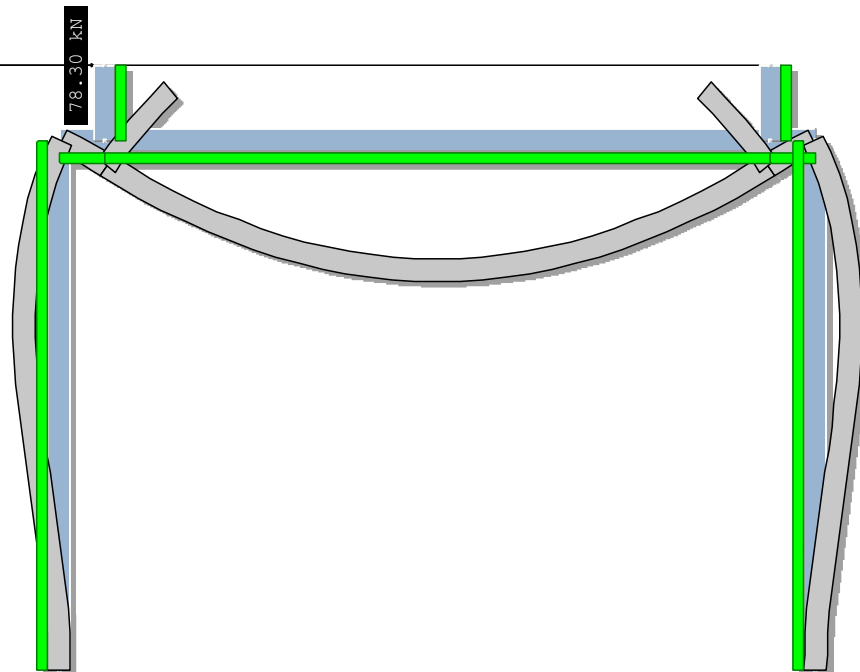
KOHDE »
PROJEKTI/TYÖ »
VAIHE »
TUNNUS »
PÄIVÄYS »

Opinnäytetyö

Liite 1

Sivu 1

Mika Laine
22.4.2017



TPE Spirit -elementin mitoitus

Ohjelmaversio 1.1

kohte Opinnäytetyö
 tekijä Mika Laine
 päivämäärä 5.5.2017

revisio -

TPE TURUN PELTI
 JA ERISTYS OY

SPIRIT ELEMENTIN MITOITUS, 1 - AUKKOINEN RAKENNE

Elementin lujustiedot

Elementtityypin valinta	TSP RW-S	Lommuhduslujuus	119,5 N/mm ²
		Leikkauslujuus	0,059 N/mm ²
Pintalevyjen lämpötilat		Pintalevyn kimmokerroin	210000 N/mm ²
Väiryhmä	1	Liukukerroin ydin	4,6 N/mm ²
Lämpötilaero	65 ast.	Pintalevyn paksuus ulko	0,6 mm
		Pintalevyn paksuus sisä	0,5 mm

Jännevälitiedot ja elementin paksuus

Jänneväli	5,5 m
Elementin paksuus	240 mm

Kuormat

luonnonkuorma	2,75	kN/m ²
pysyvä kuorma, kohtisuora elementtiin nähden	0,5	kN/m ²
Laskentakuorma (sis. osavarmuudet)	4,7	kN/m ²

Jännitykset

taivutusmomentti	17,45	kNm
taivutusjännitys ulkopinta	121,18	N/mm ²
taivutusjännitys sisäpinta	145,42	N/mm ²
leikkausvoima	12,81	kN
leikkausjännitys	0,05	N/mm ²

Taipumat

taivutusjäykkyys	3299	kNm ² /m
leikkausjäykkyys	1104	kN/m
taipuma muista paitsi lämpökuormasta	22,9	mm
lämpötilaeron aiheuttama taipuma	12,3	mm
taipuma-arvio yhteensä	24,6	mm

Murtorajatilan tarkastus

			KA %
Sallittu taivutusjännitys pintalevyssä	95,6	N/mm ²	
Laskennallinen taivutusjännitys ulkopinta	121,2	N/mm ²	126,8
Laskennallinen taivutusjännitys sisäpinta	145,4	N/mm ²	152,1
Sallittu leikkausjännitys	0,049	N/mm ²	
Laskennallinen leikkausjännitys	0,0534	N/mm ²	108,5

Käyttörajatilan tarkastus

Sallittu taimuma L/100	55	mm	
Laskennallinen taimuma	24,6	mm	44,7

L/ 223

Tulokset

Taivutusrasitus	Elementti ei kestä valittuja kuormia
Leikkausrasitus	Elementti ei kestä valittuja kuormia
Taipuma	Elementti on kelvollinen valituille kuormituksille

TPE Spirit -elementin mitoitus

kohte Opinnäytetyö
 tekijä Mika Laine
 päivämäärä 5.5.2017

revisio -

TPE TURUN PELTI
 JA ERISTYS OY

SPIRIT ELEMENTIN MITOITUS, 1 - AUKKOINEN RAKENNE

		<u>Elementin lujuustiedot</u>	
Elementtityypin valinta	TSP RW-S	Lommahduslujuus	119,5 N/mm ²
		Leikkauslujuus	0,059 N/mm ²
Pintalevyjen lämpötilat		Pintalevyn kimmokerroin	210000 N/mm ²
Väiryhmä	1	Liukukerroin ydin	4,6 N/mm ²
Lämpötilaero	65 ast.	Pintalevyn paksuus ulko	0,6 mm
		Pintalevyn paksuus sisä	0,5 mm
Jännevälitiedot ja elementin paksuus			
Jänneväli	1,8 m		
Elementin paksuus	240 mm		
Kuormat			
luonnonkuorma	2,75	kN/m ²	
pysyvä kuorma, kohtisuora elementtiin nähden	0,5	kN/m ²	
Laskentakuorma (sis. osavarmuudet)	4,7	kN/m ²	
Jännitykset			
taivutusmomentti	1,80	kNm	
taivutusjännitys ulkopinta	12,49	N/mm ²	
taivutusjännitys sisäpinta	14,99	N/mm ²	
leikkausvoima	4,11	kN	
leikkausjännitys	0,02	N/mm ²	
Taipumat			
taivutusjäykkyys	3299	kNm ² /m	
leikkausjäykkyys	1104	kN/m	
taipuma muista paitsi lämpökuormasta	1,3	mm	
lämpötilaeron aiheuttama taipuma	1,3	mm	
taipuma-arvio yhteensä	1,9	mm	
Murtorajatilan tarkastus			KA %
Sallittu taivutusjännitys pintalevyssä	95,6	N/mm ²	
Laskennallinen taivutusjännitys ulkopinta	12,5	N/mm ²	13,1
Laskennallinen taivutusjännitys sisäpinta	15,0	N/mm ²	15,7
Sallittu leikkausjännitys	0,049	N/mm ²	
Laskennallinen leikkausjännitys	0,0171	N/mm ²	34,9
Käyttörajatilan tarkastus			
Sallittu taimuma L/100	18	mm	
Laskennallinen taimuma	1,9	mm	10,3

L/ 973

Tulokset

Taivutusrasitus Elementti on kelvollinen valituille kuormituksille
 Leikkausrasitus Elementti on kelvollinen valituille kuormituksille
 Taipuma Elementti on kelvollinen valituille kuormituksille

NIMI: [Luotettavuusluokka = RC2][1.00]

TIEDOSTO:
PALOLUOKKA: R15
PALOSUOJAUS: Rakenteet on mitoitettu palotilanteessa rakenneosalle määritellyn suojaustavan mukaisesti.
RAKENNEOSIA: 3 kpl
YHTEISPAINO: 316.8 kg
ULKOP.PINTA-ALA: 6.953 m²
LIITOKSIA: 0 kpl
PALOSUOJAUKSIA:ρ 0 kpl

+++

TAPAUS: Kuormitustapaus 1
TYYPPI: Määrittelemätön
VARMUUS: NORMAALI
HISTORIA: 0
OSAVARMUUSKERROIN: 1.0
YHDISTELYKERROIN: 1.0
PALOMIT.KERROIN: 1.0
PALOMIT.YHD.KERROIN: 1.0
KUORMIA:ρ 2 kpl

+++

RAKENNEOSA: 000000003 [GP1:liitetty toisiin päätepisteisiin GP2:liitetty toisiin päätepisteisiin]
PROFIILI: Putkipalkki EN 10219-2 - 150 x 150 x 6,0 S355MH EN 10219
NORMI: EC3
SUUNTA: Y-Akseli
PALOSUOJAUS: Suojaamaton
PITUUS: 5000,000 mm
PAINO:ρ 132,0 kg
MITOITUS: Murtorajatilamitoitus
[2,22] NEd/Nc,Rd=0,01<1,00
[2,44] My,Ed/Mc,y,Rd=0,43<1,00
[2,74] Vz,Ed/Vpl,z,Rd=0,12<1,00
[2,120] My,Ed/MN,y,Rd=0,43<1,00
[2,147] (NEd/(Xy*NRk/gM1))+((kyyMy,Ed)/(My,Rk/gM1))+((kzyMz,Ed)/(Mz,Rk/gM1))=0,44<1,00
[2,148] (NEd/(Xz*NRk/gM1))+((kzyMy,Ed)/(My,Rk/gM1))+((kzzMz,Ed)/(Mz,Rk/gM1))=0,26<1,00

RAKENNEOSAN MITOITUS OK.

+++

KOHDE »
 PROJEKTI/TYÖ »
 VAIHE »
 TUNNUS »
 PÄIVÄYS »

RAKENNEOSA: 000000004 [GP1:liitetty toisiin päätepisteisiin GP2:ei liitetty]
 PROFIILI: Putkipalkki EN 10219-2 - 150 x 150 x 6,0 S355MH EN 10219
 NORMI: EC3
 SUUNTA: Y-Akseli
 PALOSUOJAUS: Suojaamaton
 PITUUS: 3500,000 mm
 PAINO:ρ 92,4 kg
 MITOITUS: Murtorajatilamitoitus
 [2,22] NEd/Nc,Rd=0,03<1,00
 [2,44] My,Ed/Mc,y,Rd=0,36<1,00
 [2,74] Vz,Ed/Vpl,z,Rd=0,02<1,00
 [2,120] My,Ed/MN,y,Rd=0,36<1,00
 [2,147] (NEd/(Xy*NRk/gM1))+((kyyMy,Ed)/(My,Rk/gM1))+((kyzMz,Ed)/(Mz,Rk/gM1))=0,40<1,00
 [2,148] (NEd/(Xz*NRk/gM1))+((kzyMy,Ed)/(My,Rk/gM1))+((kzzMz,Ed)/(Mz,Rk/gM1))=0,25<1,00

RAKENNEOSAN MITOITUS OK.

+++

RAKENNEOSA: 000000005 [GP1:liitetty toisiin päätepisteisiin GP2:ei liitetty]
 PROFIILI: Putkipalkki EN 10219-2 - 150 x 150 x 6,0 S355MH EN 10219
 NORMI: EC3
 SUUNTA: Y-Akseli
 PALOSUOJAUS: Suojaamaton
 PITUUS: 3500,000 mm
 PAINO:ρ 92,4 kg
 MITOITUS: Murtorajatilamitoitus
 [2,22] NEd/Nc,Rd=0,03<1,00
 [2,44] My,Ed/Mc,y,Rd=0,36<1,00
 [2,74] Vz,Ed/Vpl,z,Rd=0,02<1,00
 [2,120] My,Ed/MN,y,Rd=0,36<1,00
 [2,147] (NEd/(Xy*NRk/gM1))+((kyyMy,Ed)/(My,Rk/gM1))+((kyzMz,Ed)/(Mz,Rk/gM1))=0,40<1,00
 [2,148] (NEd/(Xz*NRk/gM1))+((kzyMy,Ed)/(My,Rk/gM1))+((kzzMz,Ed)/(Mz,Rk/gM1))=0,25<1,00

RAKENNEOSAN MITOITUS OK.

+++

KUORMA: Kuorma 1
 NUMERO: 000000001
 KUORMITUSTAPAUS: Kuormitustapaus 1
 TYYPPI: Tasainen

KOHDE »
PROJEKTI/TYÖ »
VAIHE »
TUNNUS »
PÄIVÄYS »

X: 0.0 kN/m
Y: -16.07 kN/m
KOORDINAATISTO: Globaali
VAIKUTUSALUEET: 0 kpl
ALUEMÄÄRITTELY:ρ Rakenneosa

+++

KUORMA: Kuorma 2
NUMERO: 000000002
KUORMITUSTAPAUS: Kuormitustapaus 1
TYYPPI: Tasainen
X: 0.0 kN/m
Y: -16.07 kN/m
KOORDINAATISTO: Globaali
VAIKUTUSALUEET: 1 kpl
ALUEMÄÄRITTELY:ρ Rakenneosa

+++

Vaikutusalue [00003] 000000,0 005000,0 mm

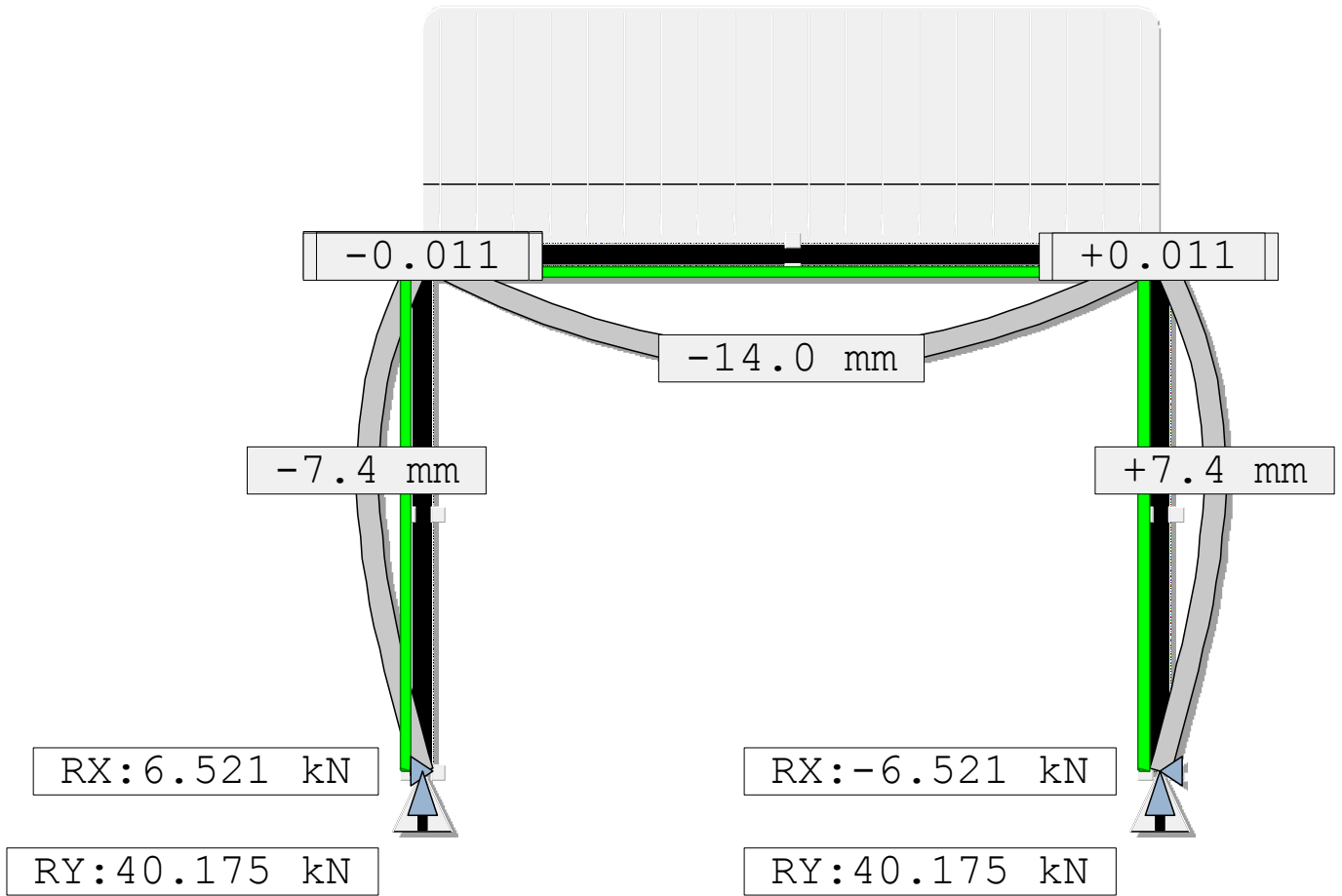
KOHDE »
PROJEKTI/TYÖ »
VAIHE »
TUNNUS »
PÄIVÄYS »

Opinnäytetyö

Liite 4

Sivu 1

Mika Laine
22.4.2017



KOHDE » Opinnäytetyö
PROJEKTI/TYÖ »
VAIHE »
TUNNUS » Mika Laine
PÄIVÄYS » 22.4.2017

NIMI: [Luotettavuusluokka = RC2][1.00]
TIEDOSTO: C:\Users\mika.laine\Desktop\Winramkehä.frm
PALOLUOKKA: R15
PALOSUOJAUS: Rakenteet on mitoitettu palotilanteessa rakenneosalle määritellyn suojaustavan mukaisesti.
RAKENNEOSIA: 3 kpl
YHTEISPAINO: 316.8 kg
ULKOP.PINTA-ALA: 6.953 m²
LIITOKSIA: 0 kpl
PALOSUOJAUKSIA:ρ 0 kpl

+++

TAPPAUS: Kuormitustapaus 1
TYYPPI: Määrittelemätön
VARMUUS: NORMAALI
HISTORIA: 0
OSAVARMUUSKERROIN: 1.0
YHDISTELYKERROIN: 1.0
PALOMIT.KERROIN: 1.0
PALOMIT.YHD.KERROIN: 1.0
KUORMIA:ρ 4 kpl

+++

RAKENNEOSA: 000000003 [GP1:liitetty toisiin päätepisteisiin GP2:liitetty toisiin päätepisteisiin]
PROFIILI: Putkipalkki EN 10219-2 - 150 x 150 x 6,0 S355MH EN 10219
NORMI: EC3
SUUNTA: Y-Akseli
PALOSUOJAUS: Suojaamaton
PITUUS: 5000,000 mm
PAINO:ρ 132,0 kg
MITOITUS: Murtorajatilamitoitus
[2,22] NEd/Nc,Rd=0,01<1,00
[2,44] My,Ed/Mc,y,Rd=0,50<1,00
[2,74] Vz,Ed/Vpl,z,Rd=0,12<1,00
[2,120] My,Ed/MN,y,Rd=0,50<1,00
[2,147] (NEd/(Xy*NRk/gM1))+((kyyMy,Ed)/(My,Rk/gM1))+((kzyMz,Ed)/(Mz,Rk/gM1))=0,51<1,00
[2,148] (NEd/(Xz*NRk/gM1))+((kzyMy,Ed)/(My,Rk/gM1))+((kzzMz,Ed)/(Mz,Rk/gM1))=0,31<1,00

RAKENNEOSAN MITOITUS OK.

+++

RAKENNEOSA: 000000004 [GP1:liitetty toisiin päätepisteisiin GP2:ei liitetty]

KOHDE » Opinnäytetyö
PROJEKTI/TYÖ »
VAIHE »
TUNNUS » Mika Laine
PÄIVÄYS » 22.4.2017

Sivu 2

PROFIILI: Putkipalkki EN 10219-2 - 150 x 150 x 6,0 S355MH EN 10219
NORMI: EC3
SUUNTA: Y-Akseli
PALOSUOJAUS: Suojaamaton
PITUUS: 3500,000 mm
PAINO:ρ 92,4 kg
MITOITUS: Murtorajatilamitoitus
[2,22] NEd/Nc,Rd=0,03<1,00
[2,44] My,Ed/Mc,y,Rd=0,29<1,00
[2,74] Vz,Ed/Vpl,z,Rd=0,04<1,00
[2,120] My,Ed/MN,y,Rd=0,29<1,00
[2,147] (NEd/(Xy*NRk/gM1))+((kyyMy,Ed)/(My,Rk/gM1))+((kyzMz,Ed)/(Mz,Rk/gM1))=0,33<1,00
[2,148] (NEd/(Xz*NRk/gM1))+((kzyMy,Ed)/(My,Rk/gM1))+((kzzMz,Ed)/(Mz,Rk/gM1))=0,21<1,00

RAKENNEOSAN MITOITUS OK.

+++

RAKENNEOSA: 000000005 [GP1:liitetty toisiin päätepisteisiin GP2:ei liitetty]
PROFIILI: Putkipalkki EN 10219-2 - 150 x 150 x 6,0 S355MH EN 10219
NORMI: EC3
SUUNTA: Y-Akseli
PALOSUOJAUS: Suojaamaton
PITUUS: 3500,000 mm
PAINO:ρ 92,4 kg
MITOITUS: Murtorajatilamitoitus
[2,22] NEd/Nc,Rd=0,04<1,00
[2,44] My,Ed/Mc,y,Rd=0,50<1,00
[2,74] Vz,Ed/Vpl,z,Rd=0,06<1,00
[2,120] My,Ed/MN,y,Rd=0,50<1,00
[2,147] (NEd/(Xy*NRk/gM1))+((kyyMy,Ed)/(My,Rk/gM1))+((kyzMz,Ed)/(Mz,Rk/gM1))=0,55<1,00
[2,148] (NEd/(Xz*NRk/gM1))+((kzyMy,Ed)/(My,Rk/gM1))+((kzzMz,Ed)/(Mz,Rk/gM1))=0,34<1,00

RAKENNEOSAN MITOITUS OK.

+++

KUORMA: Kuorma 1
NUMERO: 000000001
KUORMITUSTAPAUS: Kuormitustapaus 1
TYYPPI: Tasainen
X: 0.0 kN/m
Y: -16.07 kN/m

KOHDE » Opinnäytetyö
PROJEKTI/TYÖ »
VAIHE »
TUNNUS » Mika Laine
PÄIVÄYS » 22.4.2017

Sivu 3

KOORDINAATISTO: Globaali
VAIKUTUSALUEET: 0 kpl
ALUEMÄÄRITTELY:ρ Rakenneosa

+++

KUORMA: Kuorma 2
NUMERO: 000000002
KUORMITUSTAPAUS: Kuormitustapaus 1
TYYPPI: Tasainen
X: 0.0 kN/m
Y: -16.07 kN/m
KOORDINAATISTO: Globaali
VAIKUTUSALUEET: 1 kpl
ALUEMÄÄRITTELY:ρ Rakenneosa

+++

Vaikutusalue [00003] 000000,0 005000,0 mm

+++

KUORMA: Kuorma 5
NUMERO: 000000005
KUORMITUSTAPAUS: Kuormitustapaus 1
TYYPPI: Tasainen
X: 5.6 kN/m
Y: 0.0 kN/m
KOORDINAATISTO: Globaali
VAIKUTUSALUEET: 1 kpl
ALUEMÄÄRITTELY:ρ Rakenneosa

+++

Vaikutusalue [00004] 000000,0 003500,0 mm

+++

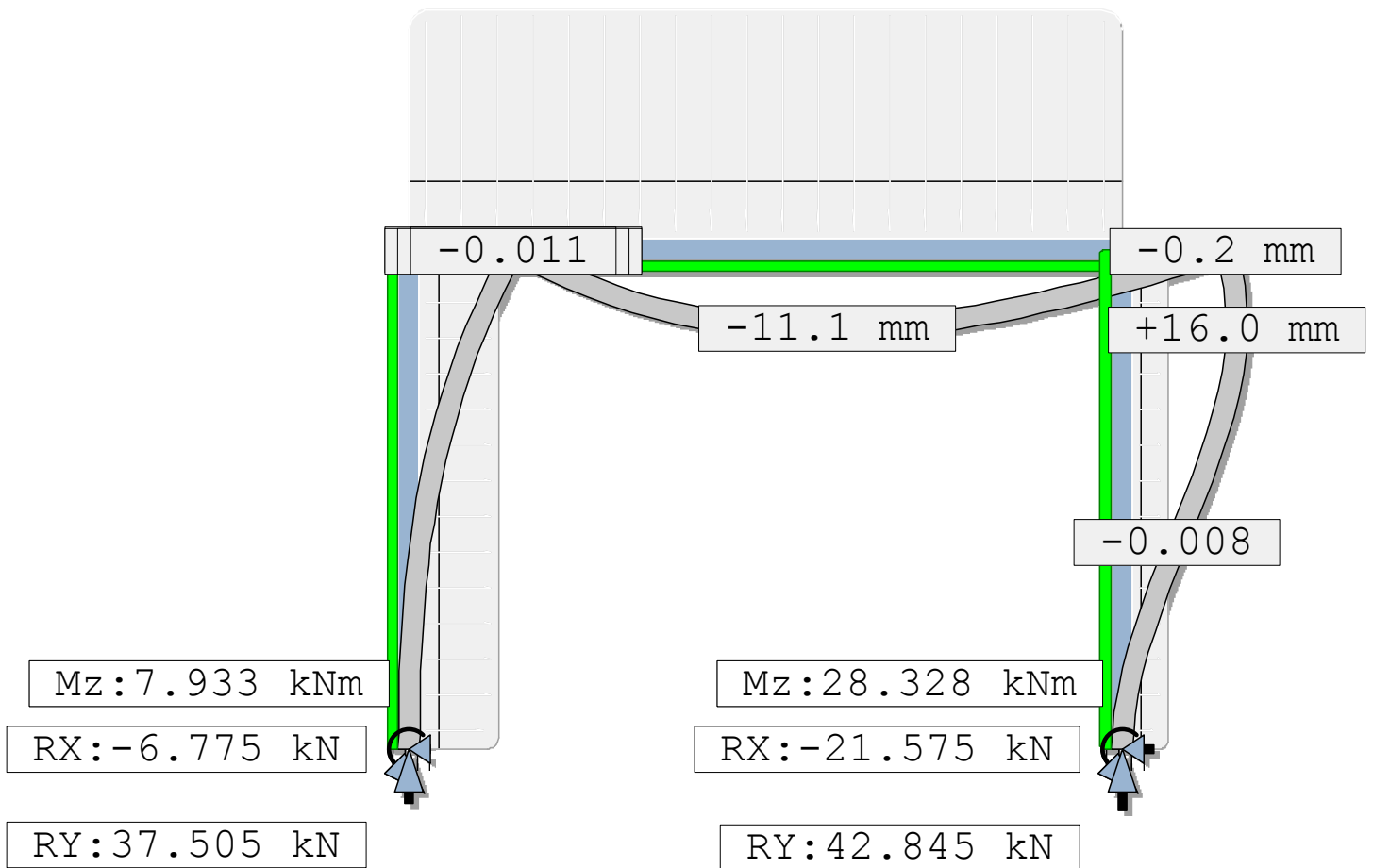
KUORMA: Kuorma 6
NUMERO: 000000006
KUORMITUSTAPAUS: Kuormitustapaus 1
TYYPPI: Tasainen
X: 2.5 kN/m
Y: 0.0 kN/m
KOORDINAATISTO: Globaali

KOHDE » Opinnäytetyö
PROJEKTI/TYÖ »
VAIHE »
TUNNUS » Mika Laine
PÄIVÄYS » 22.4.2017

VAIKUTUSALUEET: 1 kpl
ALUEMÄÄRITTELY:ρ Rakenneosa

+++

Vaikutusalue [00005] 000000,0 003500,0 mm



TPE SPIRIT PANEL LUETTELO

Rakennuskohde	Opinnäytetyö			Mika Laine
Rakennuskohteen osoite				28.4.2017

Elementtitunnus:	Profiili	Määrä	Pituus	Pituus	Korkeus	Brutto ala	Netto ala
E/1	TSP240	10	3186	31860	1200	3,871	3,871
E/2	TSP240	5	5412	27062	1200	6,576	6,576
E/3	TSP240	4	5530	22120	1200	6,719	6,719
E/4	TSP240	5	4618	23090	1200	5,611	5,611
E/9	TSP240	2	3186	6372	387	3,871	1,28
E/10	TSP240	1	5412	5412	731	6,576	4,037
E/11	TSP240	1	5412	5412	705	6,576	3,896
E/12	TSP240	1	4618	4618	387	5,611	1,855
E/13	TSP240	1	5412	5412	1200	6,576	6,561
E/20	TSP240	1	5530	5530	1200	6,719	5,616
E/21	TSP240	1	5530	5530	1200	6,719	6,413
E/22	TSP240	1	5412	5412	1200	6,576	6,543
E/23	TSP240	1	5412	5412	1200	6,576	5,734

Kpl yhteensä	Brutto ala yhteensä	Netto ala	Pituus
34	186.2	169.7	153243

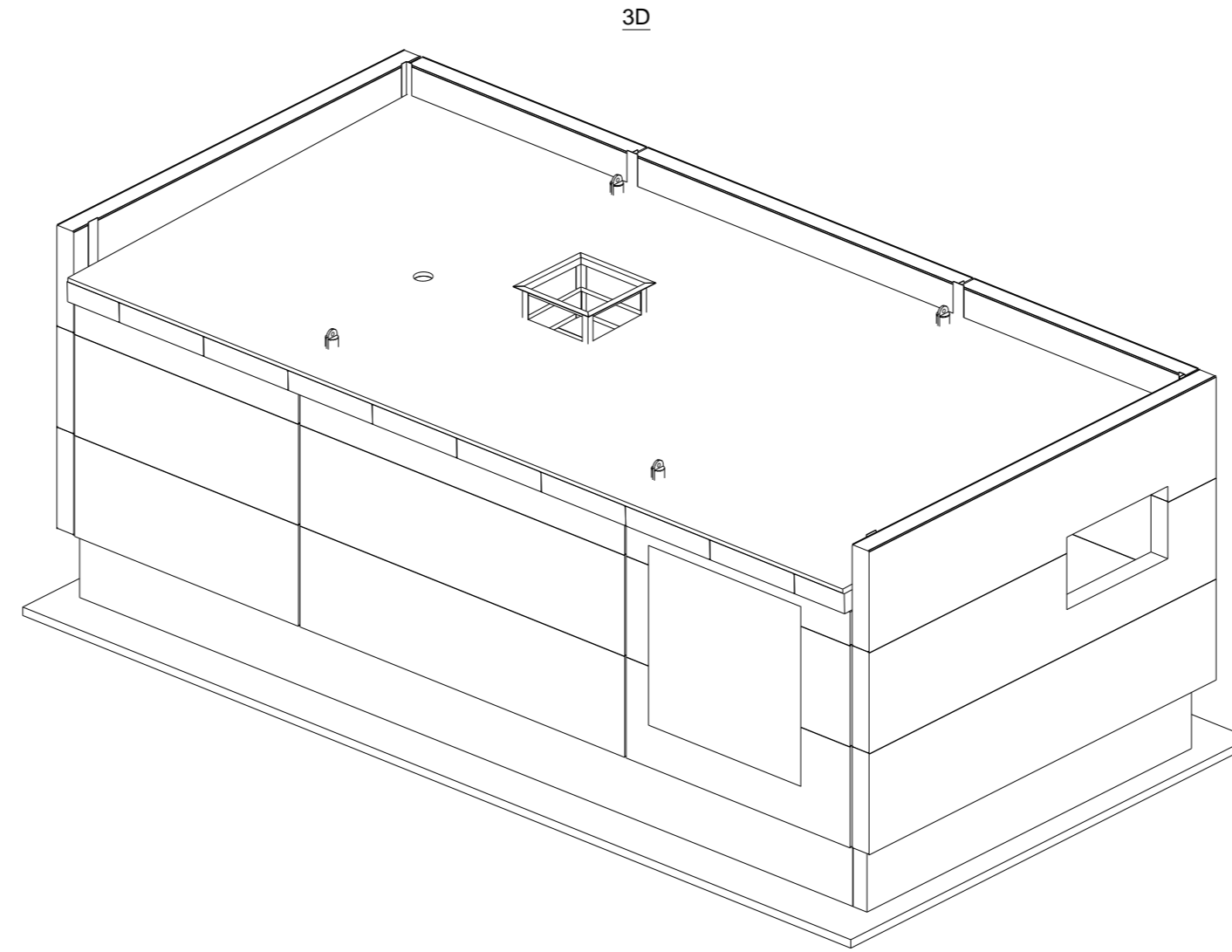
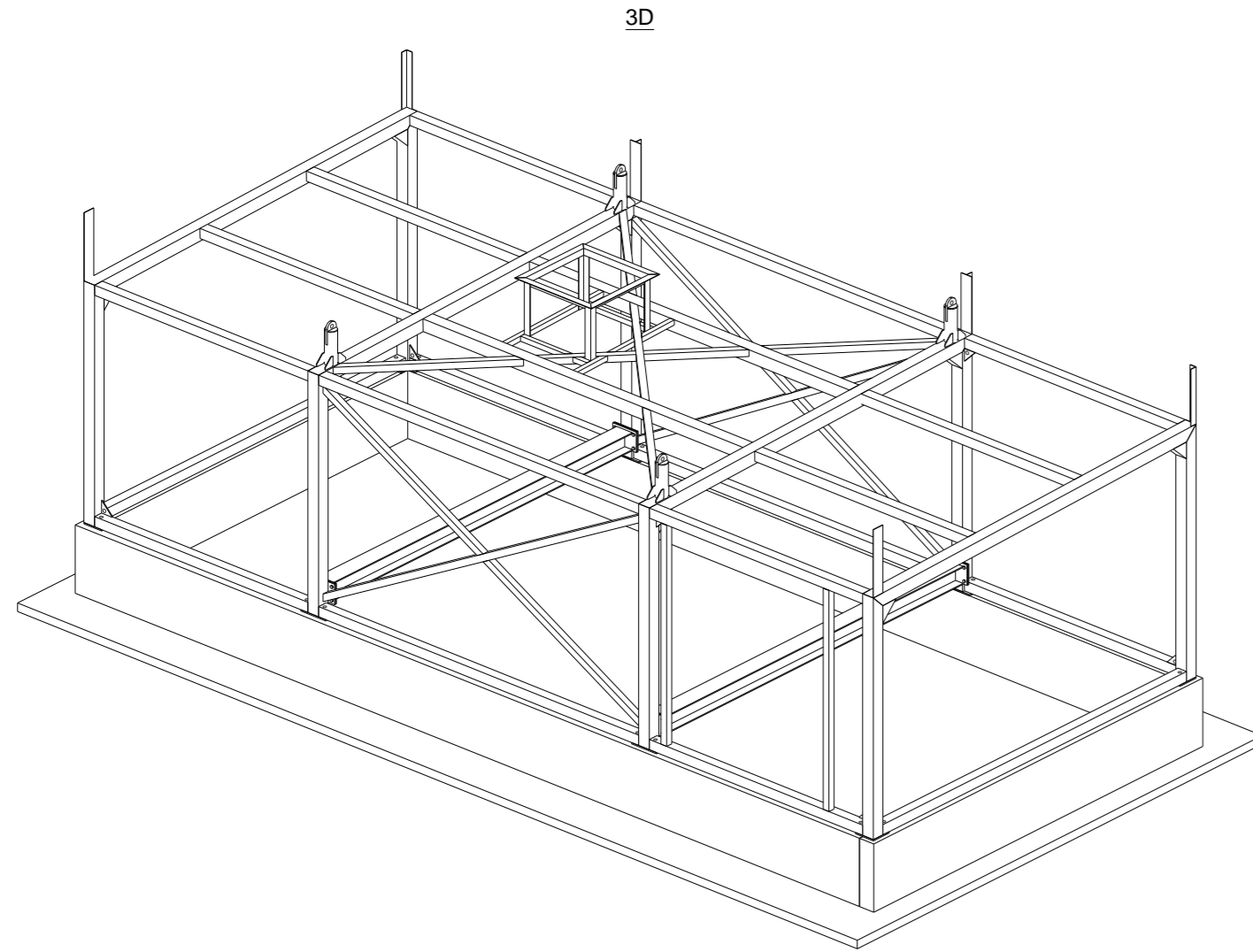
P_Part_list(EXCEL)

Project Number:	
Project	Opinnäytetyö
Date	April 28, 2017

PartPos	Profile	No.	Material	Length (mm)	Net Area(m ²) for one	Net Area(m ²)	Net Weight(kg)	Net Weight(kg) for all
1003	PL15*250	4	S355J2G	250	0.12	0.48	6.18	24.73
1004	PL15*240	8	S355J2G	330	0.18	1.40	9.33	74.61
1005	25*140	4	S355J2G	250	0.08	0.33	6.42	25.67
1006	10*140	4	S355J2G	140	0.03	0.12	0.91	3.63
1007	PL8*120	16	S355J2G	120	0.02	0.38	0.64	10.29
1008	PL6*110	4	S355J2G	140	0.03	0.13	0.71	2.86
1009	PL6*110	4	S355J2G	136	0.03	0.13	0.69	2.78
1010	PL10*150	8	S355J2G	150	0.03	0.22	0.88	7.06
1015	PL6*136	4	S355J2G	138	0.04	0.16	0.86	3.45
1018	PL5*80	2	S355J2G	820	0.14	0.28	2.57	5.15
1019	PL5*150	2	S355J2G	670	0.21	0.42	3.94	7.89
1020	PL5*150	2	S355J2G	800	0.25	0.50	4.70	9.40
P/1	CFRHS150X150	4	S355J2	2963	1.73	6.91	65.96	262.84
P/2	CFRHS150X150	3	S355J2	2831	1.65	4.95	63.02	188.36
P/2(?)	CFRHS150X150	1	S355J2	2831	1.65	1.65	63.02	62.79
P/3	CFRHS150X150	4	S355J2	283	0.16	0.66	6.30	12.58
P/4	CFRHS150X150	2	S355J2	295	0.17	0.34	6.57	6.59
P/5	CFRHS150X150	2	S355J2	5072	2.96	5.91	112.89	224.08
P/7	CFRHS150X150	2	S355J2	296	0.17	0.34	6.58	6.62
P/8	CFRHS150X150	2	S355J2	4488	2.62	5.23	99.90	204.34
P/9	CFRHS150X150	2	S355J2	5072	2.87	5.74	172.16	351.12
P/10	CFRHS120X120	8	S355J2	2991	1.38	11.07	52.49	432.02
P/11	CFRHS120X120	2	S355J2	4488	2.08	4.15	78.76	162.06
P/12	CFRHS120X120	4	S355J2	2991	1.38	5.54	52.49	216.01

P_Part_list(EXCEL)

P/13	CFRHS120X120	2	S355J2	4770	2.21	4.42	83.71	172.24
P/14	CFRHS120X120	2	S355J2	4488	2.08	4.15	78.76	162.06
P/15	CFCHS139.7X8	4	S355J2G	400	0.18	0.70	10.39	40.89
P/17	CFRHS80X80X5	2	S355J2	2586	0.78	1.57	29.15	59.81
P/18	CFRHS80X80X5	1	S355J2	2554	0.77	0.77	28.78	29.51
P/19	CFRHS80X80X5	1	S355J2	2556	0.77	0.77	28.80	29.53
P/20	CFRHS80X80X5	1	S355J2	5153	1.56	1.56	58.07	60.16
P/21	CFRHS80X80X5	1	S355J2	5218	1.58	1.58	58.81	60.90
P/22	HEA220	2	S355J2	4710	5.91	11.82	237.89	455.22
P/24	CFRHS80X80X5	2	S355J2	1996	0.60	1.21	22.49	45.12
P/28	CFRHS80X80X5	2	S355J2	1942	0.59	1.18	21.89	43.85
P/29	CFRHS80X80X5	1	S355J2	1102	0.33	0.33	12.42	12.51
P/30	CFRHS80X80X5	1	S355J2	2230	0.68	0.68	25.14	25.32
P/31	CFRHS80X80X5	1	S355J2	1048	0.32	0.32	11.81	11.87
P/35	L80*5	2	S355J2	670	0.22	0.43	4.08	8.15
P/36	CFRHS60X60X4	1	S355J2	476	0.11	0.11	3.19	3.13
P/37	CFRHS60X60X4	1	S355J2	198	0.04	0.04	1.33	1.18
P/38	L80*5	2	S355J2	717	0.23	0.46	4.36	8.72
P/39	L80*5	2	S355J2	694	0.22	0.45	4.22	8.44
P/40	L80*5	4	S355J2	1072	0.31	1.23	5.81	23.25
P/42	CFRHS80X80X3	2	S235JR	2590	0.80	1.60	18.32	37.57
P/43	CFRHS80X80X5	1	S355J2	4043	1.22	1.22	45.56	46.97
P/44	CFRHS80X80X5	1	S355J2	3959	1.20	1.20	44.62	45.95
P/45	CFRHS60X60X4	1	S355J2	1524	0.34	0.34	10.22	10.71
P/46	CFRHS60X60X4	1	S355J2	512	0.12	0.12	3.44	3.38
P/47	CFRHS60X60X4	1	S355J2	428	0.10	0.10	2.87	2.58
P/48	CFRHS60X60X4	1	S355J2	681	0.15	0.15	4.57	4.58
P/49	CFRHS60X60X4	1	S355J2	195	0.04	0.04	1.31	1.16
P/50	CFRHS60X60X4	1	S355J2	680	0.15	0.15	4.56	4.56
Total for		143	members			95,78		3726,28



TERÄSRAKENTEET

- toteutusluokka EXC2, EN1990-1,2
- hitsausluokka C, EN-SFS 25817
- työmaahitsit suojataan vastaamaan olevaa pintaa
- ruostesuojaus
 - sisätilat EP80/1-FeSa2.5
 - ulkotilat EP/PUR 160/2-FeSa2.5
- putket S355, EN10219-1,2
- avopalkit ja levyosat S355, EN10025

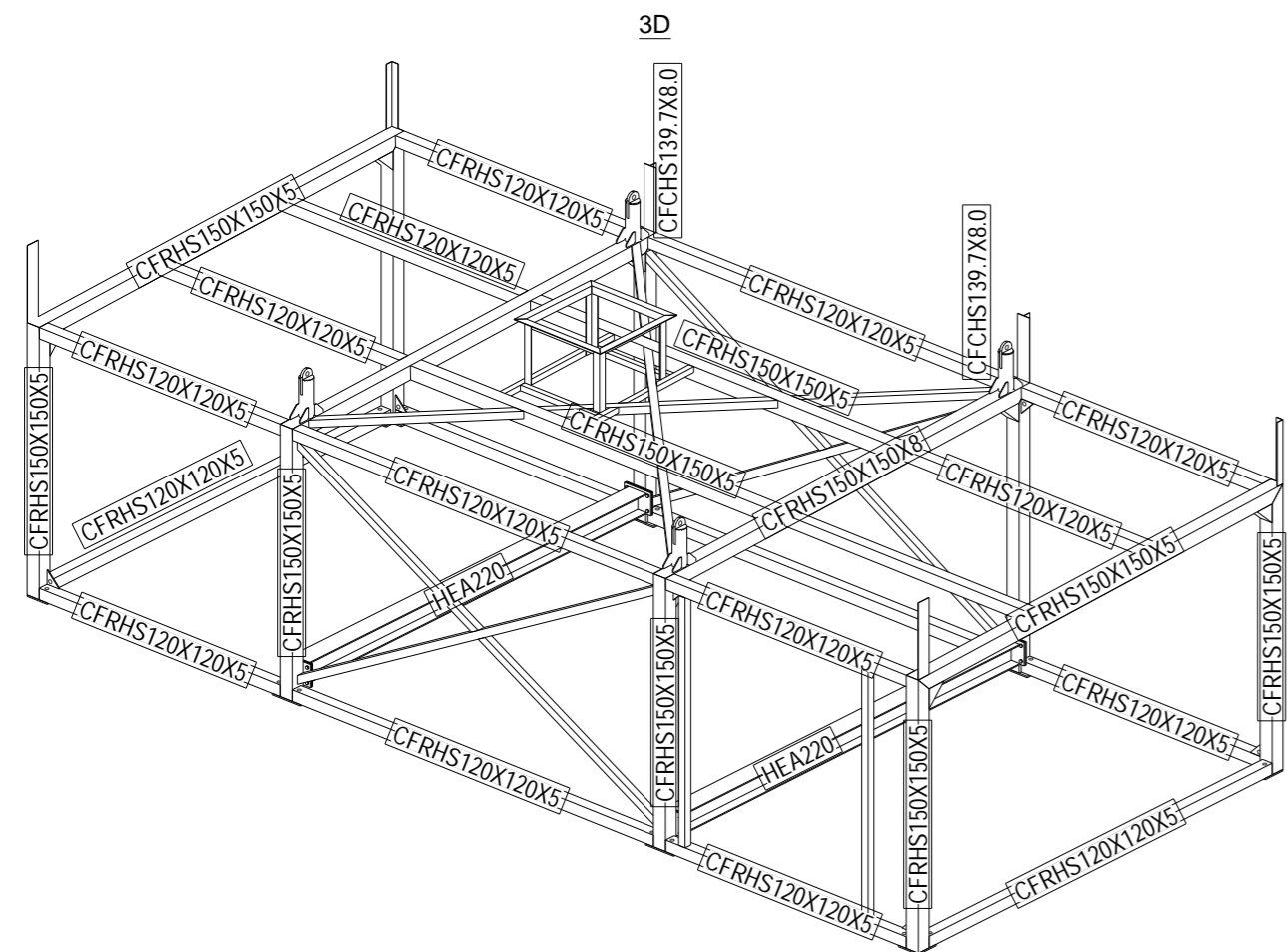
ELEMENTTITYYPPI TSP240 S

- ulkopuoli PVDF RR23 VARJOURA K600
- sisäpuoli Hiarc MAX RR23 VARJOURA K600

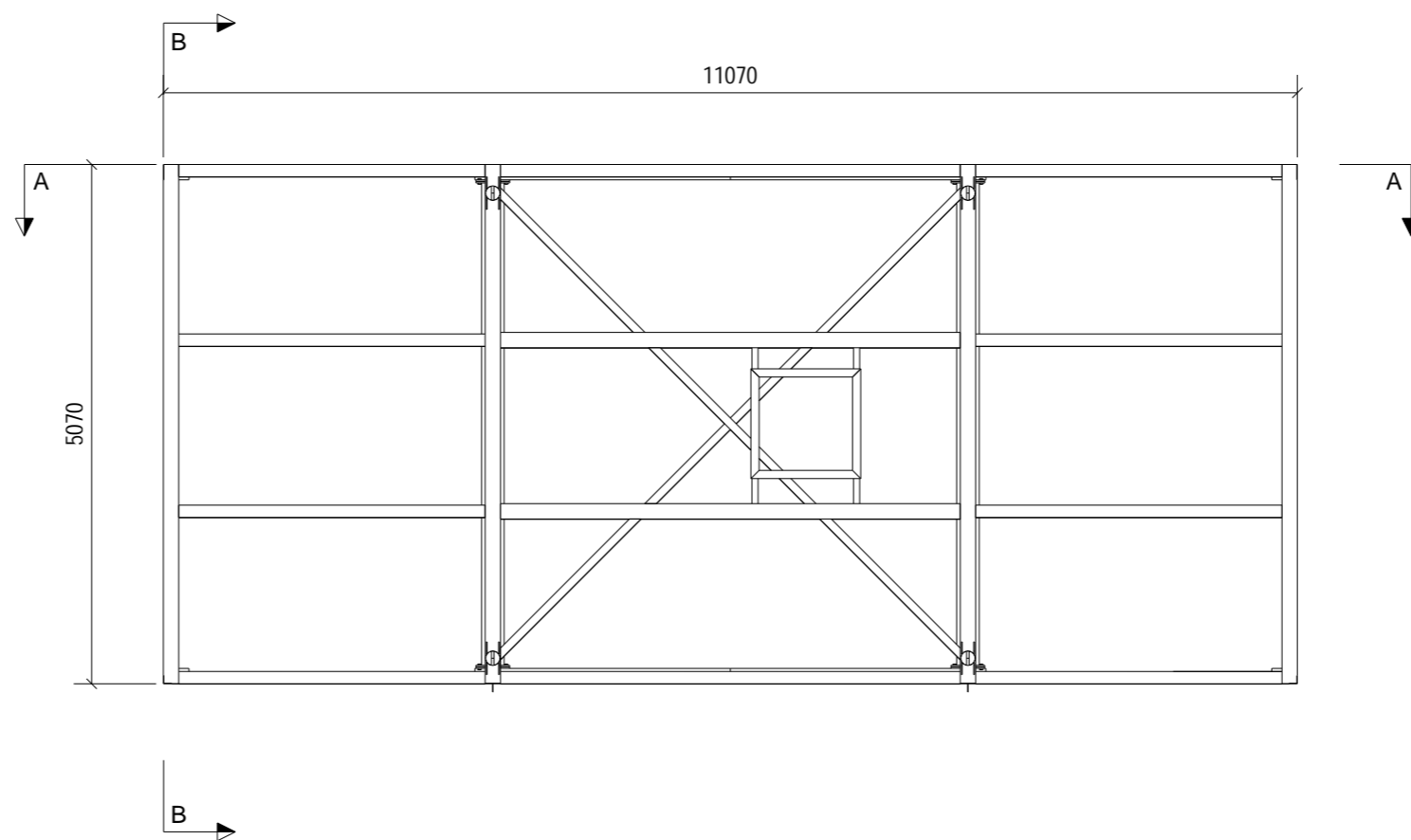
ELEMENTTIEN YLEISOHJEET

- detaljit ja listoitus valmistajan yleisten periaatedetaljien mukaan, jollei muuta ole osoitettu
- alakiskon kiinnitys kk600
- elementtien kiinnitys 3 kiinnikettä / pääty nurkka alueilla >5m elementeillä 4 kiinnikettä / pääty
- elementtien kiinnitystarvikkeet CE hyväksytyjä
- ilmastorasitusluokan mukaan
- elementtien toteutusmitat elementtiluettelon mukaan
- elementti kiinnitetään 1-aukkoisena

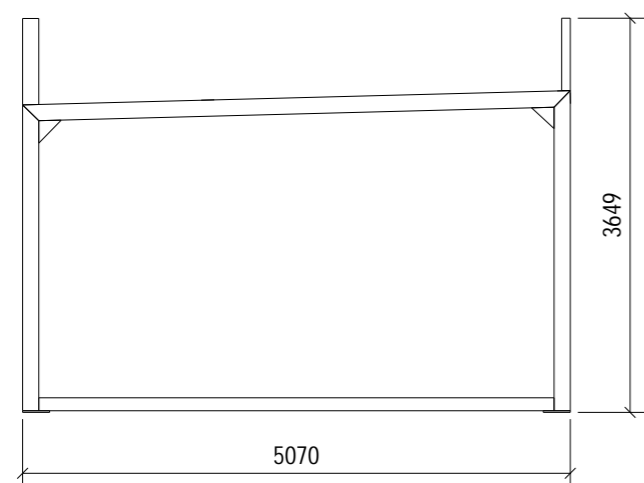
KOHD Opinnäytetyö		PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ 3D RUNKO 3D KATE		MITTAKAAVAT 1:70	
PIIRT. Mika Laine	SUUN. Mika Laine	TARK.	HYV.		
TPE	Varespellontie 10 21500 PIIKKIO Puh. (02) 433 9888 etunimi.sukunimi@tpe.fi	TYÖNUMERO	ALANUMERO	PIIR. NRO. T001	
		S.ALA RAK	SIVU	PVM 13.04.2017	MUUTOS



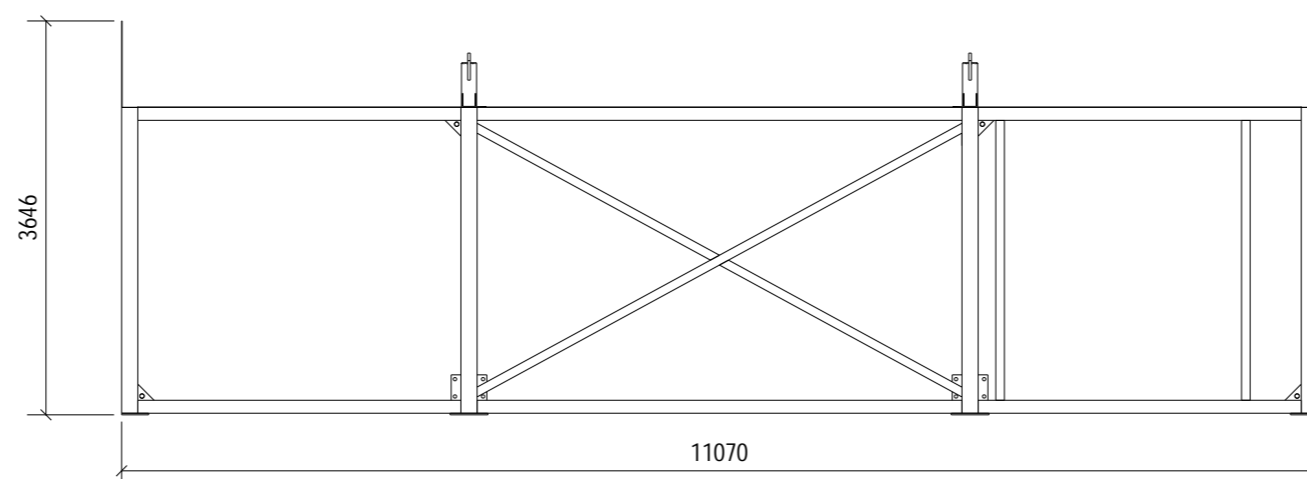
PLAN +90000



B - B
1:70



A - A
1:70



TERÄSRAKENTEET

- toteutusluokka EXC2, EN1990-1,2
- hitsausluokka C, EN-SFS 25817
- työmaahitsit suojataan vastaamaan olevaa pintaa
- ruostesuojaus
 - sisätilat EP80/1-FeSa2.5
 - ulkotilat EP/PUR 160/2-FeSa2.5
- putket S355, EN10219-1,2
- avopalkit ja levyosat S355, EN10025

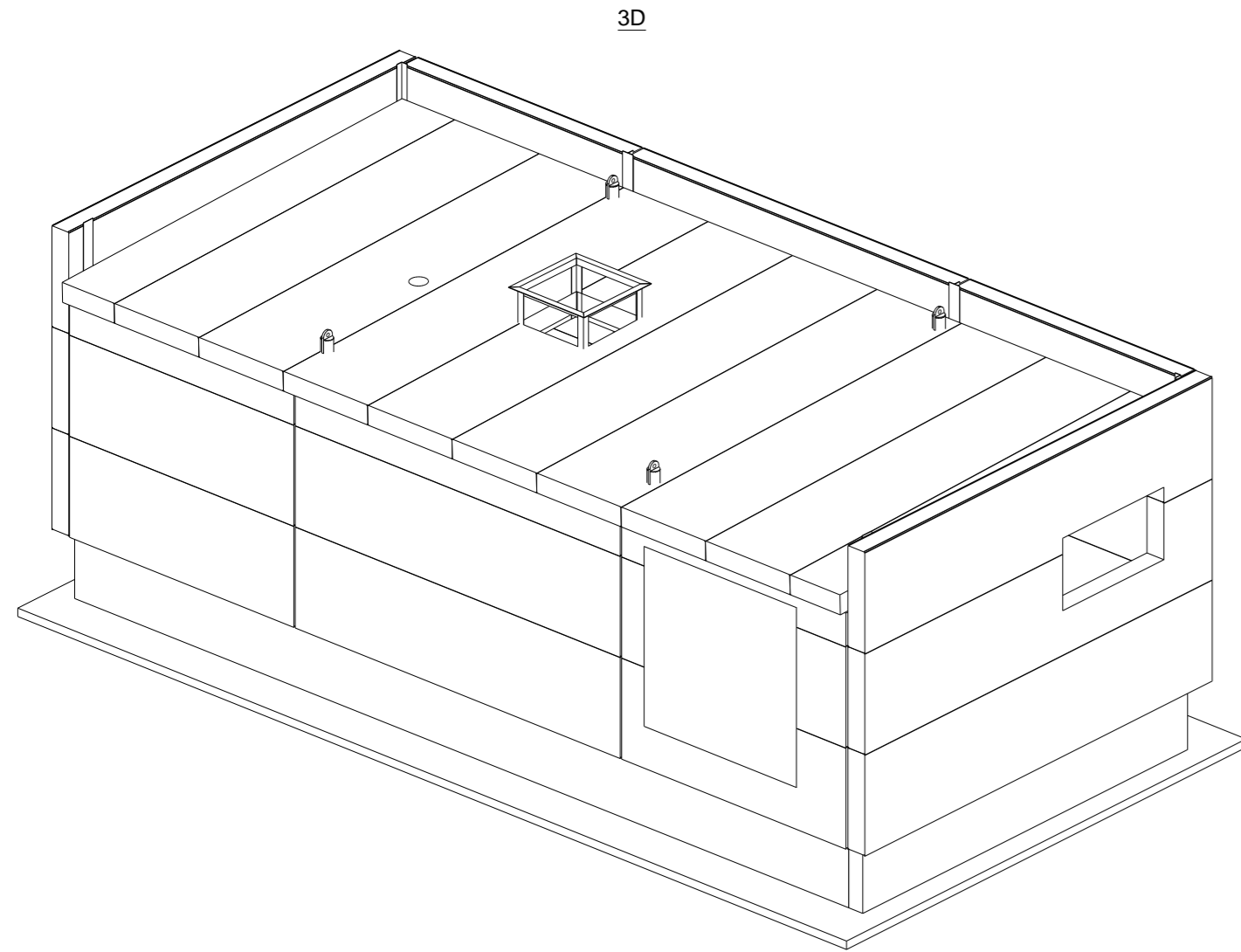
ELEMENTTITYYPPI TSP240 S

- ulkopuoli PVDF RR23 VARJOURA K600
- sisäpuoli Hiarc MAX RR23 VARJOURA K600

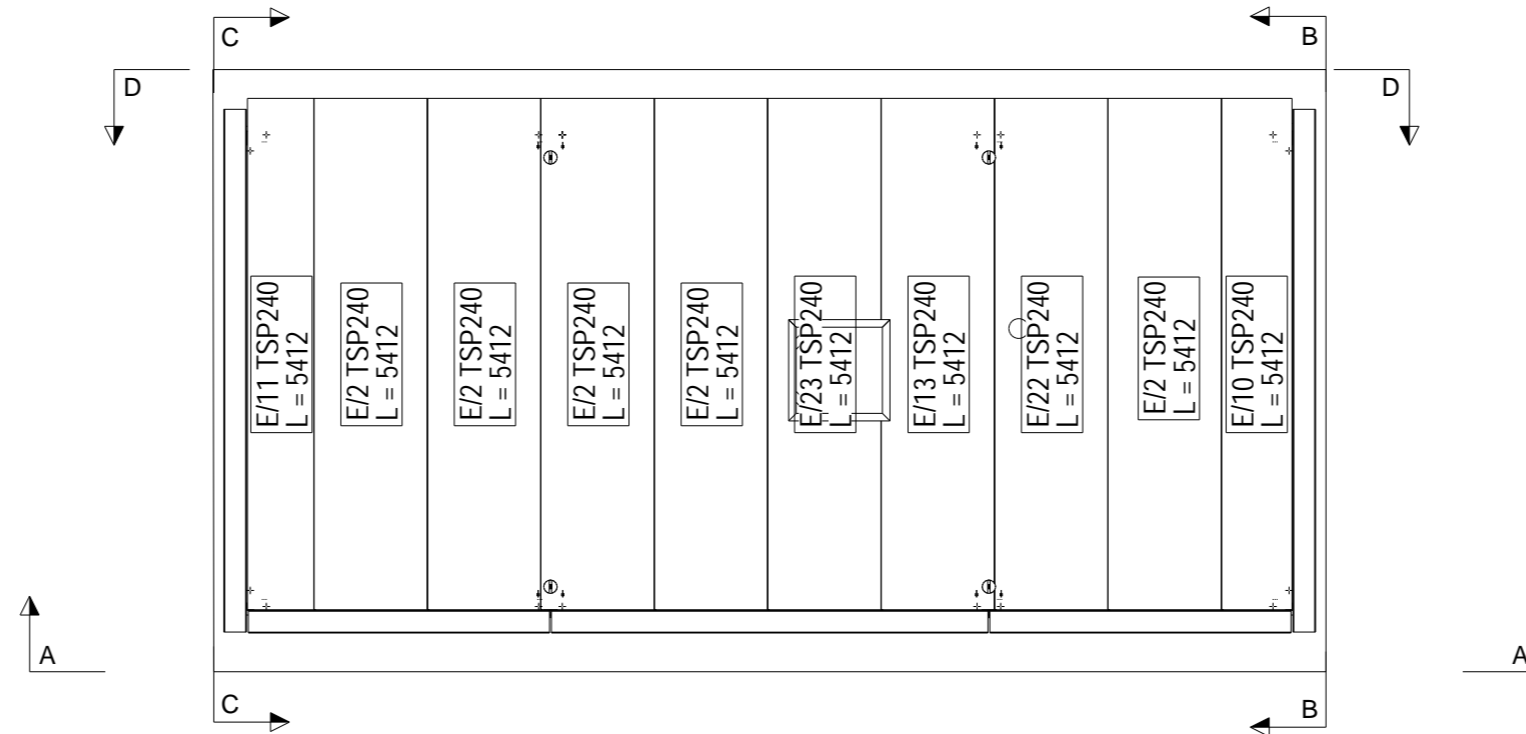
ELEMENTTIEN YLEISOHJEET

- detaljit ja listoitus valmistajan yleisten periaatedetaljien mukaan, jollei muuta ole osoitettu
- alakiskon kiinnitys kk600
- elementtien kiinnitys 3 kiinnikettä / päty nurkka alueilla >5m elementeillä 4 kiinnikettä / päty
- elementtien kiinnitystarvikkeet CE hyväksytyjä ilmastorasitusluokan mukaan
- elementtien toteutusmitat elementtiluettelon mukaan
- elementti kiinnitetään 1-aukkoisena

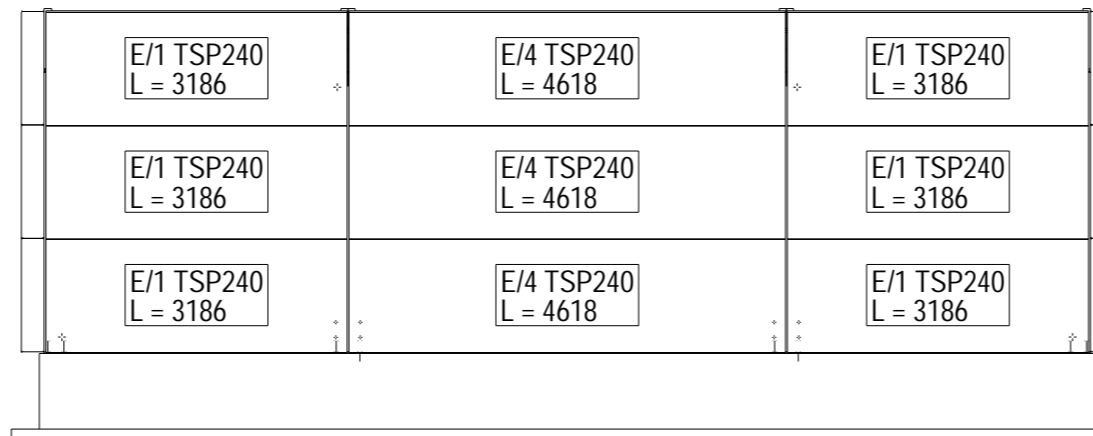
KOHDEN Opinnäytetyö		PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ 3D RUNKO PLAN +90000 LEIKKAUKSET		MITTAKAAVAT 1:70	
PIIRT. Mika Laine	SUUN. Mika Laine	TARK.	HYV.		
 Varespellontie 10 21500 PIIKKIO Puh. (02) 433 9888 etunimi.sukunimi@tpe.fi		TYÖNUMERO	ALANUMERO	PIIR. NRO. T002	
		S.ALA RAK	SIVU	PVM 13.04.2017	MUUTOS



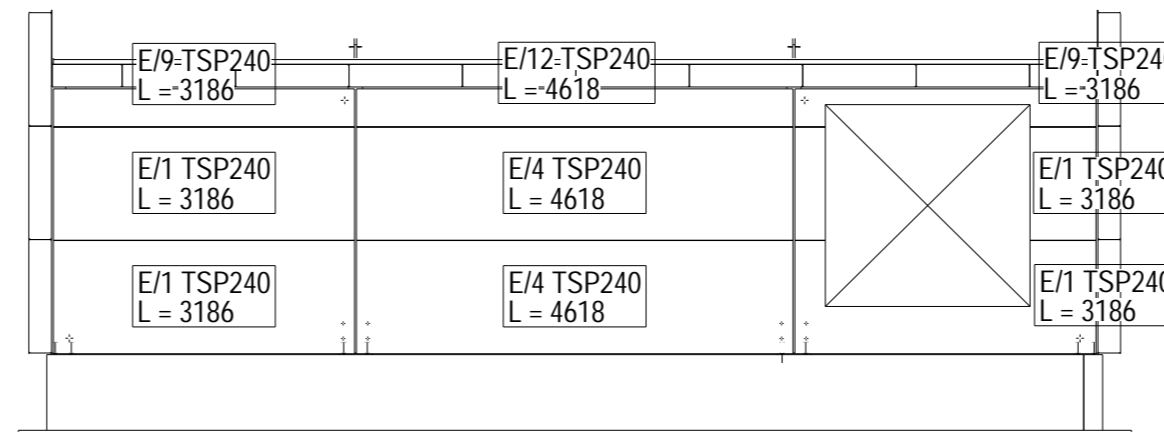
PLAN +90000



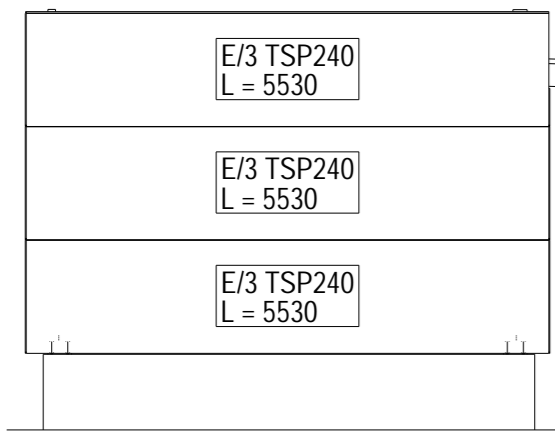
A - A
1:80



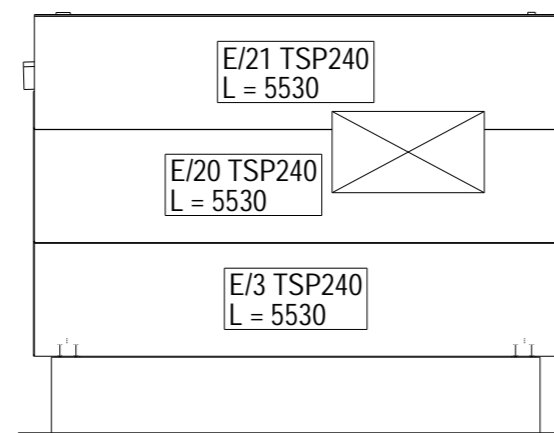
D - D
1:80



B - B
1:80



C - C
1:80



ELEMENTTITYYPPI TSP240 S

ulkopuoli PVDF RR21 sileä
sisäpuoli Hiarc MAX RR20 sileä


Toimituksen tarvikkeet
sauma ja sokkelivilla 500jm

elementtikiinnike puuhun _ ei tule
elementtikiinnike teräkseen 100 kpl
elementtikiinnike betoniin _ ei tule

sokkelikisko 120 jm
sokkelikiskon kiinnike betoniin 200 kpl
sokkelikiskon kiinnike teräkseen _ ei tule
sokkelinauha 120 jm
tiivistenauha teräs 340 jm
tiivistenauha betoni _ ei tule
butyyliteippi 180 jm

ELEMENTTIEN YLEISOHJEET

- detaljit ja listoitus valmistajan yleisten periaatedetaljien mukaan, jollei muuta ole osoitettu
- alakiskon kiinnitys kk600
- elementtien kiinnitys 3 kiinnikettä / pääty nurkka alueilla >5m elementeillä 4 kiinnikettä / pääty
- elementtien kiinnitystarvikkeet CE hyväksytyjä ilmastorasitusluokan mukaan
- elementtien toteutusmitat elementtiluettelon mukaan
- elementti kiinnitetään 1-aukkoisena

KOHDEN Opinnäytetyö		PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ PVP ELEMENTTISUUNITELMA		MITTAKAAVAT 1:70 1:80	
PIIRT. Mika Laine	SUUN. Mika Laine	TARK.	HYV.		
 Varespellontie 10 21500 PIIKKIO Puh. (02) 433 9888 etunimi.sukunimi@tpe.fi		TYÖNUMERO	ALANUMERO	PIIR. NRO. e001	MUUTOS
		S.ALA RAK	SIVU	PVM	