



Teräsrakenteisen putkisillan vahvistaminen

Juho Ikkala

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2019

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talonrakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talorakennustekniikka

Juho Ikkala
Teräsrakenteisen putkisillan vahvistaminen

Opinnäytetyö 77 sivua, joista liitteitä 22 sivua
Huhtikuu 2019

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa rakennesuunnitelmat teräsrakenteisen putkisillan vahvistamiseen. Työssä käydään läpi suunnittelun eri vaiheet suunnitteluperusteista kuormien määrittämiseen ja rakenteiden mitoittamiseen. Raportti sisältää myös kohteen kustannusarvion.

Suunnittelun kohteena oleva putkisilta sijaitsee Suomessa ja suunnittelutyö on tehty Eurokoodin mukaan. Sillan päälle oli suunniteltu lisättäväksi teollisuusputkia, mistä syntyi tarve putkia kannattelevan sillan vahvistamiseen.

Työn aikana käytettiin paljon aikaa parhaan rakennetyypin löytämiseen, rakenteiden optimointiin ja Eurokoodin mukaisten luonnonkuormien määrittämiseen. Työn tuloksena syntyi toteutuskelpoinen ratkaisu, joka kesti putkisillan rasitukset ja oli kustannuksiltaan kohtuullinen.

Asiasanat: putkisilta, rakennesuunnittelu, teräsrakenteet

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Construction engineering
Building construction

Juho Ikkala:
Reinforcement of steel framed pipe rack

Bachelor's thesis 77 pages, appendices 22 pages
April 2019

The aim of this Bachelor's thesis was to produce structure plans and working drawings for reinforcement of a steel framed pipe rack. The thesis contains general information of pipe racks, also the determination of environmental loads and designing and optimization of steel structures and joints. A cost estimate was also made.

The need for reinforcement came after a plan was made to add industrial pipelines onto the pipe rack. The existing structure was too weak and unstable to bear the added loads according to modern design methods. As a result of this thesis, durable and cost-efficient designs were generated.

The 3D-modelling was done using Tekla Structures 2017 -modelling software. The essential structural calculations were done using Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015 FEM -design software and also Matchcad- and Excel -calculation tools.

Key words: pipe rack, structural engineering, steel structures

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	YLEISTÄ	9
	2.1 Putkisillat	9
	2.2 Putkisillan rakennetyypit.....	10
	2.3 Teollisuusputkisto.....	10
	2.4 Putkiston materiaali.....	11
	2.5 Putkiston asettelu sillalle	12
	2.6 Putkiston kannakkeet	14
3	LÄHTÖTIEDOT	16
	3.1 Suunniteltavan kohteen esittely	16
	3.2 Suunnittelua ohjaavat standardit	17
4	SUUNNITTELUPERUSTEET	18
	4.1 Seuraamusluokka ja luotettavuusluokka	18
	4.2 Suunniteltu käyttöikä	20
	4.3 Sallitut siirtymät	20
	4.3.1 Pystysuuntaiset taipumat.....	20
	4.3.2 Vaakasuuntaiset taipumat	21
	4.4 Kuormitusyhdistelmät ja kuormien osavarmuusluvut	21
	4.4.1 Murtorajatila.....	22
	4.4.2 Käyttörajatila.....	23
	4.5 Materiaaliominaisuudet ja materiaalin osavarmuusluvut	24
5	KUORMITUKSET	26
	5.1 Pysyvät kuormat.....	26
	5.1.1 Rakenteen omapaino	26
	5.2 Muuttuvat kuormat	26
	5.2.1 Lumikuorma.....	26
	5.2.2 Tuulikuorma.....	26
	5.2.3 Putkikuorma	33
	5.2.4 Lämpökuorma.....	35
	5.3 Kuormien koonti	36
6	KEHÄMALLI.....	37
	6.1 Laskentamalli	37
	6.2 Kuormien syöttäminen	38
	6.2.1 Omapaino.....	38
	6.2.2 Tuulikuorma.....	38
	6.2.3 Putkiston omapaino.....	39

6.2.4	Lämpökuormat.....	39
6.3	Poikkileikkaukset.....	40
6.4	Kokoonpanot.....	40
7	RAKENTEIDEN MITOITUS	41
7.1	Poikkileikkausten mitoitus	41
7.1.1	Murtorajatila.....	41
7.1.2	Käyttörajatila.....	42
7.1.3	Onnettomuustilanne	43
7.2	Putkisillan liitosten mitoitus	43
7.2.1	Pulttiliitokset	43
7.2.2	Hitsiliitokset (k-liitos).....	44
7.3	Käyttöikämitoitus	45
7.3.1	Korroosio	45
7.3.2	Esikäsittely	46
7.3.3	Suojamaaliyhdistelmä.....	47
8	KUSTANNUSARVIO.....	50
9	YHTEENVETO	52
	LÄHTEET	54
	LIITTEET	56
	Liite 1. Tuulikuorma.....	57
	Liite 2. Murtorajatila mitoitus	60
	Liite 3. Vaakasiteen liitos putkiprofiiliin.....	65
	Liite 4. Hitsiliitos (k-liitos).....	71
	Liite 5. Rakennepiirustukset.....	76

LYHENTEET JA TERMIT

a	putkien keskilinjojen etäisyys toisistaan
b_0	putken halkaisija
C_d	dynaaminen kerroin
C_f	tuulen voimakkeroin
C_s	koon vaikutuskerroin
$C_r(z)$	rosoisuuskerroin
$C_o(z)$	pinnanmuotokerroin
f_u	rakenneteräksen vetomurtolujuus
f_y	rakenneteräksen myötöraja
k_l	pyöreisyyskerroin
k_r	maastokerroin
q_w	tuulikuorma
$q_{p,k}$	putkistokuorma
$q_p(z)$	tuulen puuskannopeuspaine
s	lumikuorman ominaisarvo
t	seinämänpaksuus
v	ilman kinemaattinen viskositeetti
v_b	tuulennopeuden perusarvo
$v_m(z)$	tuulennopeuden modifioitu perusarvo
Z_{max}	maksimikorkeus
Z_{min}	minimikorkeus
Z_h	rakenteen korkeus maanpinnasta
Z_0	rosoisuusmitta
$Z_{0,II}$	rosoisuusmitta (maastoluokka 2)
A_d	onnettomuuskuorma
A_{ref}	tuulikuorman vaikutusala
F_w	tuulikuorman resultantti
$G_{k,j}$	pysyvät kuormat
H	rakenteen kokonaiskorkeus
$I_v(z)$	tuulenpuuskien intensiteetti
L	rakenteen kokonaispituus
K_{FI}	kuormakerroin

P	esijännitysvoima
$Q_{k,j}$	muut muuttuvat kuormat
$Q_{k,1}$	määrävä muuttuva kuorma
Re	reynoldsin luku
T_{max}	varjolämpötilan maksimiarvo
T_{min}	varjolämpötilan minimiarvo
λ	tehollinen hoikkuus
γ_{Mi}	rakenneteräksen osavarmuusluku
φ	eheyssuhde
ψ	yhdistelykerroin taulukon A1.1(FI) mukaisesti
ψ_{λ}	päätevaikutuskerroin
ρ	ilman tiheys
σ_v	turbulenssikomponentti

1 JOHDANTO

Tämä työ sisältää putkisillan vahvistamiseen liittyvät teräsrakenteiden laskelmat, kustannusarvion ja rakennepiirustukset. Putkisilta sijaitsee Suomessa teollisuusalueella, ja laskelmat on tehty Eurokoodin mukaisesti ja käyttäen Suomen kansallisia liitteitä.

Työn tarkoituksena oli löytää putkisillan vahvistamiseen kestävä ja kustannustehokas ratkaisu, ja tuottaa siitä rakennepiirustukset. Raportissa esitellään yleistä tietoa putkisilloista, suunniteltavan kohteen lähtökohdat, suunnittelustandardit, kuormitustapaukset ja -yhdistelyt, kehämalli, poikkileikkausten ja liitosten mitoitus sekä kustannusarvio.

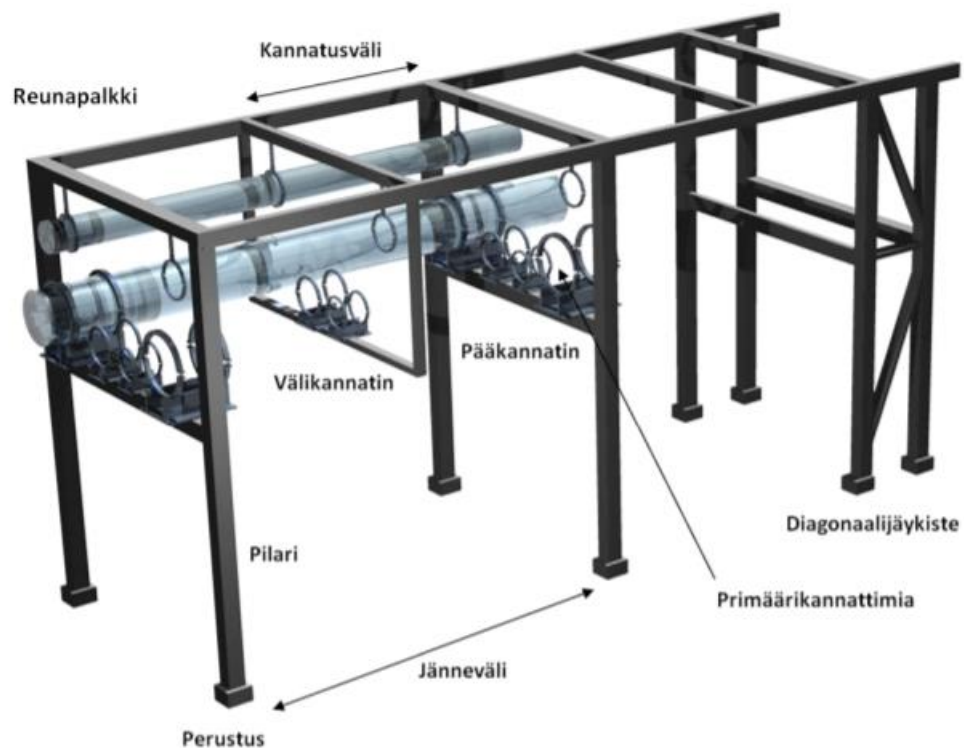
Putkisillan mallintamisessa ja piirustusten tuottamisessa on käytetty Tekla Structures 2017 -ohjelmaa. Laskennassa on käytetty Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015 FEM-mitoitusohjelmaa sekä Mathcad- ja Excel -laskentapohjia.

Työn toimeksiantaja oli Pöyry Finland Oy, ja kaikki suunnittelutyö on tehty heidän tiloissaan. Asiakkaan nimi on jätetty mainitsematta heidän pyynnöstään. Pöyry Finland Oy on globaali konsultointi- ja suunnitteluyritys, joka työllistää 5500 asiantuntijaa ympäri maailman, ja Suomessa 1600 työntekijää 20 eri paikakunnalla. Yritys tarjoaa konsultointia ja monialaista suunnittelua energia-, teollisuus- ja infrastruktuurihankkeisiin sekä projektikehitys-, projektinjohto ja rakennuttamispalveluita.

2 YLEISTÄ

2.1 Putkisillat

Putkisilta on rakenne jonka ensisijainen tarkoitus on kannatella putkistoa paikasta toiseen jonkin esteen tai kulkutien ylitse. Putkisillalla voi olla muitakin tehtäviä kuten erilaisten kuljettimien tai kaapelihyllyjen tukeminen. Putkisiltaan kuuluu usein myös kulkutie, sillä putkistot laitteineen vaativat usein tarkkailua, huoltoa ja mahdollisuuksia erilaisten muutostöiden ja korjausten tekemiseen. (Jaakkosela 2013, 7.)



KUVA 1. Putkisillan osat (Jaakkosela 2013, 7.)

Kannateltavan putkiston määrä ja laatu vaikuttavat oleellisesti putkisillan rakenteeseen. Yksinkertaisimmillaan putkisilta voi olla pelkkä putkia kannatteleva palkki tai sarja pilareita, joiden päälle primäärikannattimet on aseteltu. Putkien määrän kasvaessa tarvitaan kapasiteetiltaan suurempia rakennetyyppejä, palkkeja, pilareita, portaalikehiä tai tukiristikoita. Sillassa voi olla lukuisia pilareita rinnakkain ja kerroksia voi olla useita. (Jaakkosela 2013, 7.)

2.2 Putkisillan rakennetyypit

Tuettavien putkien lukumäärä ja laatu, kustannukset, maaperä sekä käytettävä tila vaikuttavat oleellisesti putkisillan rakennetyypin valintaan. Yksinkertaisimmillaan putkisiltana voi toimia pelkkä palkkirakenne, jonka päältä putkistoa kannatellaan primäärikannattimilla. Putkien määrän ja kuorman kasvaessa joudutaan kuitenkin käyttämään kantokyvyltään suurempia rakennetyyppejä. Tällöin silta-rakenteina tulevat kysymykseen erilaiset pilarit, palkit, kehät tai ristikkorakenteet. Juuri oikean rakenteen valinta ja optimointi on hyvin vaikea tehtävä, sillä teollisuudessa rakenteiden kuormitustilanteet ja käyttötarkoitukset saattavat muuttua hyvinkin nopealla aikavälillä. (Kesti 1991, 7–8.)

Putkisillan rakennetyypin valintaan vaikuttavat kuormitusten lisäksi myös rakenteen mittasuhteet. Esimerkiksi yli 12 metrin jännevälillä ristikkorakenne soveltuu parhaiten, kun taas vastaavasti lyhemmillä jänneväleillä palkkirakenteinen putkisilta on yleensä kustannustehokkaampi vaihtoehto. (Kesti 1991, 7.)

2.3 Teollisuusputkisto

Teollisuusprosesseissa, joissa käsitellään virtaavia aineita, on teollisuusputkistolla keskeinen osa laitoksen toiminnassa ja suunnittelussa. Putkistolla voidaan prosessin käyttämien aineiden lisäksi siirtää välittäjäaineen avulla esimerkiksi voimaa (hydraulisesti- tai pneumaattisesti) tai lämpöenergiaa. Teollisuusputkisto on laaja kokonaisuus, jonka toimintaa ja siihen liittyviä ilmiöitä tarkastellaan monissa eri insinööritieteissä. Varsinainen prosessitekhninen suunnittelu jakaa putkistotyypit esimerkiksi seuraavankaltaisiin ryhmiin: (Kesti 1992, 8-11.)

1. Lämmitysputkistot
2. Ilmastointiputkistot
3. Kylmätekhniset putkistot (Cryogeeniset putkistot)
4. Kaasuputkistot
5. Hydrauliiikkaputkistot
6. Pneumaattiset putkistot
7. Suspensioputkistot

8. Korkean lämpötilan putkistot
9. Vaarallisten aineiden putkistot
10. Vesihyöryputkistot
11. Kunnallistekniset putkistot (Viemärit ja vesijohdot)

Rakennesuunnittelun kannalta putkistojen tyyppin ja varsinaisen toiminnan tunteminen ei yleensä ole välttämätöntä. Putkia kannattelevien rakenteiden kannalta tärkeää on putkiston koko ja paino, sekä putkessa virtaavan aineen tiheys prosessiolosuhteissa. Tarkempaa voimien määrittelyä varten tulisi tuntea putkiston kannakointi, lämpötilan vaihteluväli sekä putkien materiaaliominaisuudet, lähinnä lineaarinen lämpölaajenemiskerroin. (Jaakkosela 2013, 7.)

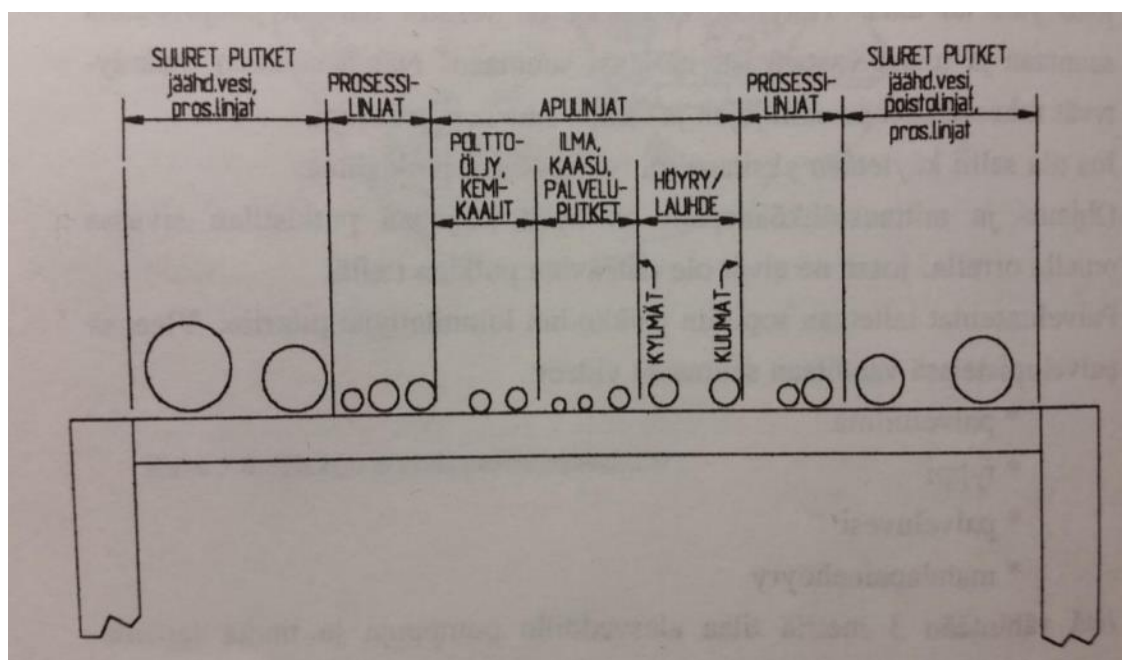
2.4 Putkiston materiaali

Putkiston rakenneaineen valinnan perustana pidetään toimintavarmuuden ja turvallisuuden ohella myös taloudellisuutta. Virtaavien aineiden putkistoon aiheuttamat rasitukset sekä vallitsevat ympäristöolosuhteet poikkeavat merkittävästi keskenään, minkä vuoksi putkilta vaadittavat ominaisuudet ovat yksilöllisiä. Putkimateriaali valitaan prosessikohtaisesti siten, että se kestää siihen kohdistuvat mekaaniset, fysikaaliset ja kemialliset rasitukset. Lisäksi putken rakenneaineen tulee kestää ympäristön aiheuttamat rasitukset kaikissa niissä olosuhteissa, joihin putkisto joutuu käytön aikana. (Kesti 1992, 45.)

Teollisuusputkien materiaalina voidaan käyttää useita eri metallilaatuja tai metalliseoksia. Metalliputkien ohella myös muoviputkia voidaan käyttää. Muoviputket ovat erityisesti edullisen hintansa ja keveytensä (edullinen asennus), pienen lämmönjohtavuutensa, sekä kemiallisen kestävyytensä vuoksi syrjäyttäneet teräsputkia monissa kohteissa, joissa käyttölämpötila on verrattain matala (korkeintaan 90 °C, mielellään alle 60 °C). (Kesti 1992, 59.)

2.5 Putkiston asettelu sillalle

Pienin putkisillan kannalta huomioitava putkikoko on DN25 (Kesti 1991, 9). Tätä pienemmät putket kannatetaan suurempiin putkiin tai viedään omana ryhmänä esim. kaapelihyllyllä. Suurempiin putkiin kannatetut pienemmät putket huomioidaan painon lisänä suuremmille putkille. Kaapelihyllyllä kulkevien putkien aiheuttamat vaakavoimat voidaan yksinkertaisuuden vuoksi laskea kuten muidenkin putkien, mikäli kaapelihyllyn rakennetta ja hyllyn kannakointia siltarakenteeseen ei tarkemmin tunneta. Suurimmat tai suurimpia kuormituksia aiheuttavat putket tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle pilareita ja mahdollisimman alas, jolloin voimat siirtyvät lyhintä mahdollista tietä perustuksille. (Jaakkosela 2013, 7.)



KUVA 2. Putkiston asettelu sillalle (Kesti 1992, 38.)

Teräsputkien suositeltavaan kannatusväliin vaikuttaa putken koko, materiaali, lämpötila, eristys ja putkessa kuljetettava materiaali. Eristämättömien teräsputkien kannakevälit ja eristyksen vaikutuksen huomioivat korjauskertoimet on taulukoitu standardissa PSK 7304.

Kannakevälin sopivan mitoituksen määrää joko taipuma kannakevälien keskeillä, tai suurin taivutusjännitys. Standardin PSK 7304 taulukoissa 1–4 esitettyjen kannakevälien arvot ovat määritetty lämpötilassa +20 °C. Tätä korkeammissa

lämpötiloissa on huomioitava kimmokertoimen ja suunnittelujännityksen arvon muutos.

Raja-arvot teollisuusputkiston kannakeväliä määrittäessä: (PSK 7034 2018, 2.)

Taipuma $\delta \leq L / 2000$
 Taivutusjännitys $\sigma \leq 20$ MPa hiiliteräsputkilla
 $\sigma \leq 30$ MPa ruostumattomilla

missä L = putken kannakeväli

TAULUKKO 1. Eristämättömien hiiliteräsputkien kannatusvälit (PSK 7304 2018, 5.)

DN	Ulkohalkaisija ja seinämispaksuus Outer diameter and wall thickness	Kaasu / Gas		Neste / Liquid	
		Tuentatapa / Support type		Tuentatapa / Support type	
		Nivel Free	Jäykkä Rigid	Nivel Free	Jäykkä Rigid
15	21,3 x 2	1,6	2,8	1,5	2,6
20	26,9 x 2	2,0	3,4	1,8	3,1
25	33,7 x 2	2,3	4,0	2,0	3,5
32	42,4 x 2,3	2,7	4,6	2,4	4,1
40	48,3 x 2,3	3,0	5,1	2,5	4,4
50	60,3 x 2,3	3,5	6,0	2,9	4,9
65	76,1 x 2,6	4,1	7,0	3,3	5,4
80	88,9 x 2,9	4,5	7,8	3,6	5,8
100	114,3 x 3,2	5,4	9,1	4,2	6,3
125	139,7 x 3,6	6,1	10,0	4,8	6,8
150	168,3 x 4	7,0	11,0	5,3	7,4
200	219,1 x 4,5	8,3	12,6	6,2	8,1
250	273 x 5	9,6	14,2	7,0	8,7
300	323,9 x 5,6	10,9	15,4	7,6	9,3
350	355,6 x 5,6	11,6	16,2	7,7	9,4
400	406,4 x 6,3	12,6	17,3	8,2	10,1
450	457 x 6,3	13,7	18,4	8,4	10,2
500	508 x 6,3	14,7	19,4	8,5	10,4
600	610 x 6,3	16,7	21,3	8,7	10,7
700	711 x 7,1	18,5	23,1	9,3	11,4
800	813 x 8	20,1	24,7	9,9	12,1
900	914 x 10	21,3	26,1	10,9	13,4
1000	1016 x 10	22,5	27,6	11,0	13,5
1200	1220 x 12,5	24,7	30,2	12,3	15,1

TAULUKKO 2. Eristettyjen hiiliteräsputkien kannakevälin korjauskertoimet (PSK 7304 2018, 7.)

DN	Kaasu / Gas		Neste / Liquid	
	Eristyspaksuus Insulation thickness		Eristyspaksuus Insulation thickness	
	60 mm	120 mm	60 mm	120 mm
15	0,7	0,5	0,7	0,5
20	0,7	0,5	0,7	0,5
25	0,7	0,5	0,8	0,6
32	0,8	0,6	0,8	0,6
40	0,8	0,6	0,8	0,6
50	0,8	0,6	0,8	0,7
65	0,8	0,6	0,9	0,7
80	0,8	0,7	0,9	0,8
100	0,8	0,7	0,9	0,8
125	0,9	0,7	0,9	0,8
150	0,9	0,8	0,9	0,9
200	0,9	0,8	1,0	0,9
250	0,9	0,8	1,0	0,9
300	0,9	0,8	1,0	0,9
350	0,9	0,8	1,0	0,9
400	0,9	0,9	1,0	0,9
450	0,9	0,9	1,0	0,9
500	0,9	0,9	1,0	0,9
600	0,9	0,9	1,0	1,0
700	0,9	0,9	1,0	1,0
800	0,9	0,9	1,0	1,0
900	0,9	0,9	1,0	1,0
1000	0,9	0,9	1,0	1,0
1200	1,0	0,9	1,0	1,0

2.6 Putkiston kannakkeet

Suunnittelija joutuu tapauskohtaisesti arvioimaan jokaisen kannakevälin tuentatavan. On huomattava, että putkistossa olevat kiintopisteet ja liuku- tai riippukannakkeet eivät suoraan vaikuta siihen, katsotaanko kannakeväli jäykästi- tai vapaasti eli niveltuetuksi. (PSK 7304 2018, 3.)

Tapaus, missä esimerkiksi putkisillalla pitkä suora putki on lähes tasavälein kannakoitu, voidaan riippumatta kannakkeiden tyypistä aina rinnastaa jatkuvaan palkkiin ja siksi jokaista kannakeväliä voidaan tarkastella päistään jäykästi kiinnitettynä. (PSK 7304 2018, 4.)

Puhtaasti niveltuettua kannakeväliä ei tavanomaisessa putkilinjassa useinkaan esiinny lukuun ottamatta kahdella kannakkeella tuettua lyhyttä suoraa putkea, kuten esimerkiksi jakotukki, minkä molemmat päät ovat vapaat. (PSK 7304 2018, 4.)

Yleisesti voidaan todeta, että lähes kaikki putken kannakevälit asettuvat tuentatavan kannalta nivel- ja jäykästi tuetun väliin. Näin ollen oikea kannakevälin pituus on myös jokin väliarvo esitetyistä arvoista. Yleensä oikea kannakevälin pituus on lähempänä jäykästi tuetulle esitettyä arvoa. (PSK 7304 2018, 4.)

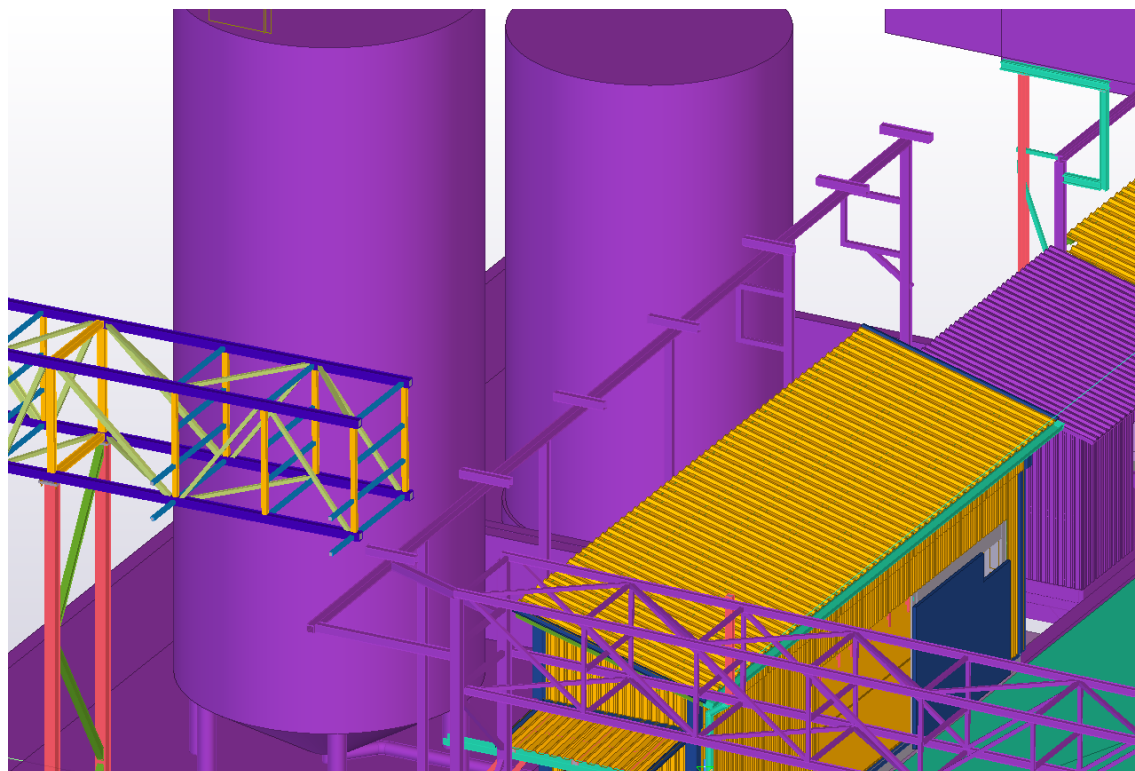
3 LÄHTÖTIEDOT

3.1 Suunniteltavan kohteen esittely

Suunnittelun kohteena oleva putkisilta sijaitsee Suomessa teollisuusalueella kolmen muun putkisillan välissä. Sillan toisessa päädyssä on samansuuntainen putkisilta, ja vastakkaisessa päädyssä kaksi poikittaissuuntaista putkisiltaa. Kuvassa 3 on esitetty sillan asema.

Teräskehikon korkeus on 5,4 metriä ja pituus 19,0 metriä. Orsien leveys on 0,8 metriä. Kehikon alla perusmuuri on 1,6 metriä korkea. Putkisillan korkeus maanpinnasta on 7,0 metriä. Pilareiden jänneväli on noin 3,9 metriä.

Putkisillasta on kannatettuna usea eristetty vesiputki ja sen päälle on suunniteltu lisättäväksi lisää vesiputkia. Olemassa oleva rakenne on erittäin hoikka ja puutteellisesti jäykistetty sivusuunnassaan eikä se kestä sille tulevia rasituksia nykyaikaisilla laskentamenetelmillä, mistä syntyi tarve rakenteiden vahvistamiseen.



KUVA 3. Vahvistettavan putkisillan lähtötilanne

Putkisilta on palkkirakenne, jossa on yksi jatkuva palkki ja sarja pilareita ja se on tuettu sivusuunnassa vain toisesta päästään. Pilarin liitos perustuksiin ajatellaan laskennassa nivellisenä. Rakenne voidaan käytännössä ajatella toimivan pituussuunnassa ulokkeena, joka on tuettu päästään. Tällöin siirtymät sen tukemattomassa päässä kasvavat suureksi sivuttaisten kuormien (tuulikuorman) ansiosta.

Sillan alla kiertävän perusmuurikehän sisäpuolelle (säiliöiden puolelle) ei asiakkaan pyynnöstä ollut suotavaa valaa enempää perusanturoita sillan tukemista varten. Muurin ulkopuolellekaan tukien lisääminen ei ollut mahdollista siellä sijaitsevien peltivajojen takia. Tämä teki sillan jäykistämisestä sivusuunnassa haastavaa.

3.2 Suunnittelua ohjaavat standardit

Suunnittelu on tehty Eurokoodin mukaan. Lista suunnittelua ohjaavista standardeista:

SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet

SFS-EN 1991-1-1 Rakenteiden kuormat, yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat

SFS-EN 1991-1-3 Rakenteiden kuormat, yleiset kuormat, lumikuormat

SFS-EN 1991-1-4 Rakenteiden kuormat, yleiset kuormat, tuulikuormat

SFS-EN 1991-1-5 Rakenteiden kuormat, yleiset kuormat, lämpötilakuormat

SFS-EN 1993-1-1 Teräsrakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt

SFS-EN 1993-1-8 Teräsrakenteiden suunnittelu. Liitosten suunnittelu

SFS-EN 1993-1-10 Teräsrakenteiden suunnittelu. Materiaalin sitkeys ja paksuussuuntaiset ominaisuudet

4 SUUNNITTELUPERUSTEET

4.1 Seuraamusluokka ja luotettavuusluokka

Suomessa käytetään erilaisia luotettavuustasoja EN 1990 liitteen B ja kansallisen liitteen määrittelemillä tavoilla soveltamalla seuraamusluokkia. Rakenteen tai rakenneosan luotettavuutta kuvataan luotettavuusluokalla RC, joka määritellään luotettavuusindeksiä β käyttämällä. Luotettavuusindeksi β kuvaa tilastollista vaurioitumistodennäköisyyttä valitun tarkastelujakson aikana. Luotettavuusindeksin yhteyttä luotettavuusluokkiin on käsitelty EN 1990 liitteen B kohdassa B3.2. Laajempi luotettavuusanalyysin käsittely on EN 1990 liite C:ssä. (RIL 201-1-2011, 23–25.)

Luotettavuuden tasoluokitus ja siihen liittyvät seuraamusluokat otetaan huomioon mitoituksen kuormayhdistelmissä kuormakertoimella K_{Fi} . Rakennuksen koostuessa erilaisista toisistaan riippumattomista rakennusosista määritellään kunkin osan seuraamusluokat erikseen. (RIL 201-1-2001, 25.)

Rakenteen seuraamus- ja luotettavuusluokka määritellään RIL 201-1-2011 -julkaisun taulukosta 2.0S.

TAULUKKO 3. Seuraamusluokkien CC määrittely ja luotettavuusluokat RC/kuormakerroin (RIL 201-1-2011, 24.)

Seuraamusluokan (CC) kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä	Luotettavuusluokka/ kuormakerroin K_{FI}
CC3 Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko ¹⁾ jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä, kuten - yli 8-kerroksiset ²⁾ asuin-, konttori- ja liikerakennukset - konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näytelyhallit, katsomot - raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset. Erikoisrakenteet, kuten esim. suuret mastot ja tornit. Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet hienorakeisten maalajien alueilla siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä.	RC3 $K_{FI} = 1,1$
CC2 Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.	RC2 $K_{FI} = 1,0$
CC1 Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä, kuten esim. varastot. Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa, kuten - matalalla olevat alapohjat, ilman kellaritiloja - ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne - sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana - standardin EN 1993-1-3:n rakenneluokkien (structural class) II ja III muotolevyrakenteet - standardin EN 1993-1-3:n rakenneluokan (structural class) I muotolevyrakenteet levyyn taivutusta aiheuttaville pintaa vasten kohtisuorille kuormille ³⁾ .	RC1 $K_{FI} = 0,9$

Putkisillan seuraamusluokkana käytetään CC2. Luotettavuusluokka on RC2. Kuormitusyhdistelyssä käytettävä kuormakerroin $K_{FI} = 1,0$.

4.2 Suunniteltu käyttöikä

Rakenteet tulee suunnitella siten, että kunnan heikkeneminen ei heikennä rakenteen toimivuutta käyttöiän aikana ottaen huomioon ympäristö ja odotettavissa oleva ylläpito. (RIL 201-1-2011, 26.)

Jotta rakenne on riittävän hyvin säilyvä, tulee ottaa huomioon rakenteen käyttö, vaaditut mitoituskriteerit, arvioidut ympäristöolosuhteet, materiaali- ja tuotetiedot, maaperän ominaisuus, valittu rakennejärjestelmä, rakenneosan muoto ja yksityiskohdat, työsuorituksen laatu, valvontataso, erityiset suojaustoimenpiteet sekä tuleva ylläpito. (RIL 201-1-2011, 26.)

RIL 201-1-2011 -julkaisun taulukossa 2.1. on esitetty rakenteiden ja rakennusten viitteelliset suunnitellut käyttöiät. Suunnittelun kohteena olevan putkisillan suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta.

TAULUKKO 4. Viitteellinen suunniteltu käyttöikä (RIL 201-1-2011, 25.)

Suunnitellun käyttöiän luokka	Viitteellinen suunniteltu käyttöikä (vuosia)	Esimerkkejä
1	10	Tilapäisrakenteet ¹⁾
2	10...25	Vaihdeavissa olevat rakenteen osat, esim. nosturiratapalkit, laakerit
3	15...30	Maatalous- ja vastaavat rakennukset
4	50	Talonrakennukset ja muut tavanomaiset rakenteet
5	100	Monumentaaliset rakennukset, sillat ja muut maa- ja vesirakennuskohteet

¹⁾ Sellaisia rakenteita tai niiden osia, jotka voidaan purkaa uudelleen käytettäväksi, ei pidetä tilapäisinä.

4.3 Sallitut siirtymät

4.3.1 Pystysuuntaiset taipumat

Standardin EN 1990 liitteen A kohdan A.1.4. kuvan A.1.1 mukaiset pystysuuntaiset taipumarajat määritetään jokaisessa projektissa ja niistä sovitaan asiakkaan kanssa (SFS-EN 1993-1-1, 82).

Putkisillan keskipalkin ja reunapalkkien sallittu taipuma on $L/300$.

4.3.2 Vaakasuuntaiset taipumat

Standardin EN 1990 liitteen A kohdan A.1.4. kuvan A.1.2 mukaiset vaakasuuntaiset taipumarajat määritetään jokaisessa projektissa ja niistä sovitaan asiakkaan kanssa (SFS-EN 1993-1-1, 82).

Rakenteen suurin sallittu vaakasuuntainen siirtymä on $H/150$.

4.4 Kuormitusyhdistelmät ja kuormien osavarmuusluvut

Yhdistelykaavoissa käytetyt merkinnät kuormille: (RIL 201-1-2011, 37.)

$G_{k,j}$	pysyvät kuormat (epäedullisen tai edullisen vaikutuksen aikana)
$Q_{k,1}$	määrävä muuttuva kuorma
$Q_{k,j}$	muut muuttuvat kuormat
ψ	yhdistelykerroin taulukon A1.1(FI) mukaisesti
P	esijännitysvoima
A_d	onnettomuuskuorma

Yhdistelykerroimen ψ arvot on esitetty RIL-201-1-2011 -julkaisun taulukossa A1.1(FI).

TAULUKKO 5. Kuormien yhdistelykertoimien arvot (RIL 201-1-2011, 36.)

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (ks. 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	0,6
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
Luokka G: liikennöitävät tilat, 30 kN < ajoneuvon paino ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Rakennusten lumikuormat (ks. EN 1991-1-3) ^{*)}			
Suomi, Islanti, Norja, Ruotsi	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H > 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H \leq 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,50	0,20	0
Rakennusten tuulikuormat (ks. EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (ks. EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
HUOM. Kertoimien ψ arvot voidaan määritellä kansallisessa liitteessä. ^{*)} Mikäli maata ei ole mainittu, kyseiset paikalliset olosuhteet selvitetään erikseen.			

Määrävissä kuormitustapauksissa yhdistetään sellaisten kuormien arvot, joiden voidaan katsoa esiintyvän samanaikaisesti. Alla olevissa kaavoissa on esitetty Suomessa käytettävät kuormayhdistelmät. Kaavoihin sisältyvät kuormien osavarmuuskertoimet (RIL 201-1-2011, 37.)

4.4.1 Murtorajatila

Rakennuksen tai rakenteen (jäykkä kappale) staattinen tasapaino: (RIL 201-1-2011, 38.)

$$\left. \begin{matrix} 1,1K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (1)$$

Rakenteen tai rakenneosien kestävyys/geotekninen kantavuus: (RIL 201-1-2011, 38.)

$$\left. \begin{matrix} 1,15K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2)$$

Kuitenkin vähintään:

$$\left. \begin{matrix} 1,35K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum G_{k,j} \quad (3)$$

Onnettomuustilanne: (RIL 201-1-2011, 39.)

$$\sum G_{k,j} + P + A_d + \psi_{1,1}Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i>1} \psi_{2,i}Q_{k,i} \quad (4)$$

Kun pääasiallinen kuorma ($Q_{k,1}$) on lumi-, jää- tai tuulikuorma

$$\sum G_{k,j} + P + A_d + \psi_{2,1}Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i>1} \psi_{2,i}Q_{k,i} \quad (5)$$

Kun pääasiallinen kuorma ($Q_{k,1}$) on muu kuin lumi-, jää- tai tuulikuorma

4.4.2 Käyttörajatila

Käyttörajatilassa käytetään ominaiskuormitusyhdistelmää.

Ominaisyhdistelmä: (RIL 201-1-2011, 41.)

$$\sum G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i}Q_{k,i} \quad (6)$$

4.5 Materiaaliominaisuudet ja materiaalin osavarmuusluvut

TAULUKKO 6. Kuumavalssattujen rakenneterästen myötörajan f_y ja vetomurtolujuuden f_u nimellisarvot (SFS-EN 1993-1-1, 26.)

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/QL1	460	570	440	550

Rakenneteräksen laatu on S355J2 lukuun ottamatta kylmämuovattuja putkia, jotka ovat materiaalia S355J2H. Näiden myötörajana voidaan käyttää 355 MPa, kun levypaksuus on pienempi kuin 40 mm ja 335 MPa, kun levyn paksuus on välillä 40–80 mm.

TAULUKKO 7. Materiaalin osavarmuusluvut (SFS-EN 1993-1-8, 19.)

Rakenneosien ja poikkileikkausten kestävyys	γ_{M0} , γ_{M1} and γ_{M2} ks. EN 1993-1-1
Ruuvien kestävyys	γ_{M2}
Niittien kestävyys	
Niveltappien kestävyys	
Hitsien kestävyys	
Reunapuristuskestävyys	
Liukumiskestävyys - murtorajatilassa (kiinnitysluokka C) - käyttörajatilassa (kiinnitysluokka B)	γ_{M3} $\gamma_{M3,ser}$
Injektioruuvien reunapuristuskestävyys	γ_{M4}
Rakenneputkien liitosten kestävyys ristikoissa	γ_{M5}
Niveltappien kestävyys käyttörajatilassa	$\gamma_{M6,ser}$
Ruuvien esijännitys	γ_{M7}
Betonin kestävyys	γ_c ks. EN 1992

Huom. Osavarmuuslukujen γ_M arvot voidaan esittää kansallisessa liitteessä. Suositeltavat arvot ovat: $\gamma_{M2} = 1,25$; $\gamma_{M3} = 1,25$; $\gamma_{M3,ser} = 1,1$; $\gamma_{M4} = 1,0$; $\gamma_{M5} = 1,0$; $\gamma_{M6,ser} = 1,0$; $\gamma_{M7} = 1,1$

Rakenneteräksen osavarmuusluku on aina 1,0 lukuun ottamatta liitoksia, joissa se on 1,25. Rakenneteräksen kimmokerroin on 210 000 MPa.

5 KUORMITUKSET

5.1 Pysyvät kuormat

5.1.1 Rakenteen omapaino

Kantavien ja ei-kantavien rakennusosien oma kokonaispaino otetaan huomioon kuormia yhdistettäessä yksittäisenä kuormana (SFS-EN 1991-1-1, 20). Putkisillan laskenta on suoritettu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015 FEM-mitotusohjelmalla, joka ottaa huomioon rakenneosien omapainon valittujen poikkileikkausten mukaisesti.

5.2 Muuttuvat kuormat

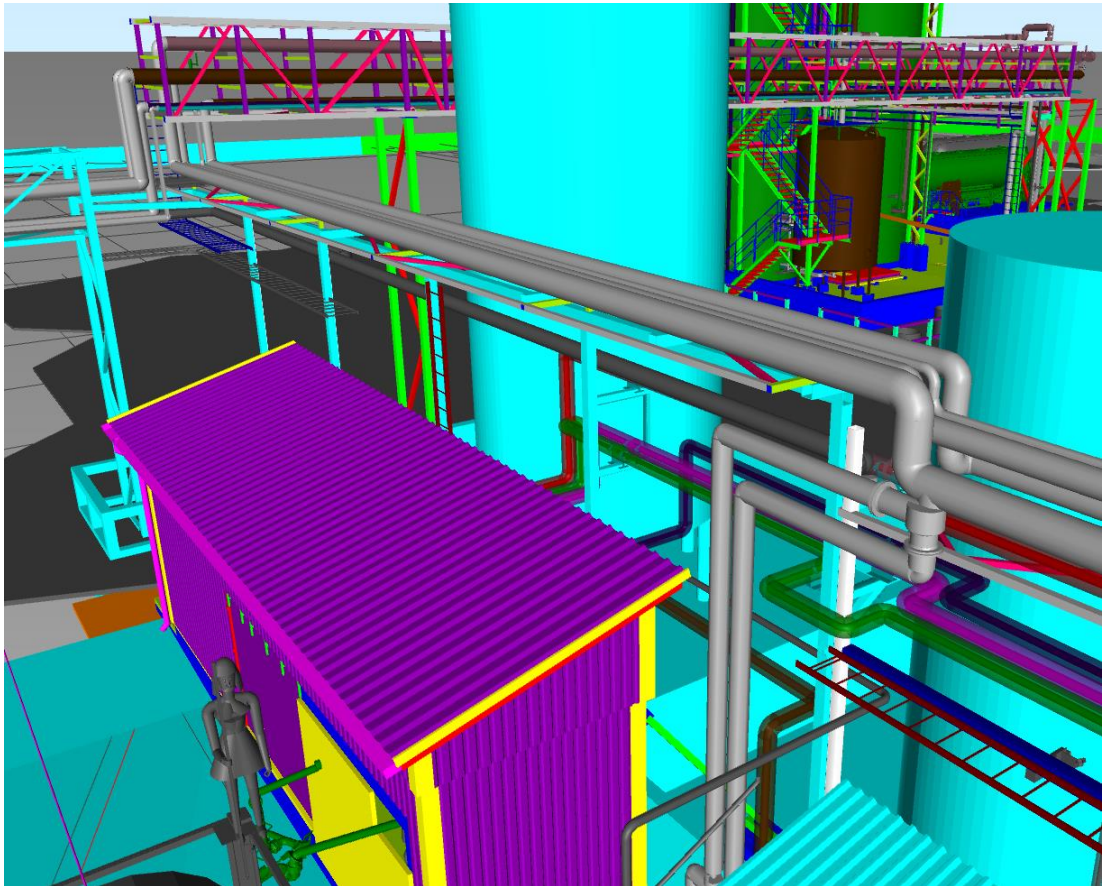
5.2.1 Lumikuorma

Avonaiselle putkisillalle jäävän lumen määrä on kokemusperäisen tiedon mukaan merkityksettömän vähäinen, jos putket sijoitetaan erilleen toisistaan. Putkien päälle mahdollisesti jäävä pieni lumimäärä haihtuu tai sulaa suurimmalta osin pois putkistojen lämpöhäviöiden takia. Avonaisen putkisillan lumikuorma on muihin siltarakenteeseen kohdistuviin kuormiin nähden niin pieni, että se voidaan toisinaan jättää huomioimatta. (Kesti 1991, 34.)

Tässä työssä putkisillan, ja sille asetettavien putkien on katsottu olevan niin avonaisia rakenteita, että lumen kertyminen niiden päälle on käytännössä mahdotonta. Lumikuormaa ei huomioida laskelmissa.

5.2.2 Tuulikuorma

Tuulikuorman vaikutus ristikolle lasketaan standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaisesti. Tuulikuorman vaikutus putkistoon määritetään ympyräsyylinterejä käsittelevän luvun 7.9 mukaisesti.



KUVA 4. Putkisillalle suunnitellut putkistot

Tuulikuorma putkistolta: (putkisillan päälle asennettavat putket)

Geometria ja lähtötietoja:

$z_h = 7,35 \text{ m}$	putkiston korkeus maanpinnasta
$b_0 = 0,273 \text{ m}$	putken halkaisija
$t = 3,2 \text{ mm}$	putkiston seinämänpaksuus
$L = 19 \text{ m}$	putkiston kokonaispituus
$A_{ref,p} = 5,19 \text{ m}^2$	tuulen vaikutuspinta-ala putkistolle
$a = 300 \text{ mm}$	sylinterien etäisyys toisistaan rivissä (keskiarvo)
$\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$	ilman tiheys
$v_b = 21 \text{ m/s}$	tuulenopeuden perusarvo
$\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	ilman kinemaattinen viskositeetti
$c_s c_d = 1,0$	rakennekerroin (rakenne alle 15 m korkea)

Puuskannopeuspaineen määrittäminen:

Nopeuspaineen perusarvo: (SFS-EN 1991-1-4, 38.)

$$q_p = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,276 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (7)$$

Parametreja puuskannopeuspaineen määrittämiseen:

$z_0 = 0,05$	rosoisuusmitta
$z_{0,II} = 0,55$	rosoisuusmitta (maastoluokka 2)
$c_o(z) = 1,0$	pinnanmuotokerroin
$k_l = 1,0$	pyöreisyyskerroin
$z_{min} = 2,0 \text{ m}$	minimikorkeus
$z_{max} = 200,0 \text{ m}$	maksimikorkeus

Rosoisuusmitasta riippuva maastokerroin k_r , rosoisuuskerroin $c_r(z)$ ja tuulennopeuden modifioitu perusarvo $v_m(z)$: (SFS EN-1991-1-4, 32).

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \quad (8)$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,948 \quad (9)$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 19,91 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (10)$$

Tuulen turbulenssi komponentti σ_v ja tuulenpuuskien intensiteetti $I_v(z)$: (SFS EN-1991-1-4, 36.)

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l = 3,99 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (11)$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = 0,20 \quad (12)$$

Korkeudella z vallitseva puuskanopeuspaine $q_p(z)$, joka sisältää tuulennopeuden modifioitua perusarvoa ja lyhytaikaisten nopeusvaihteluiden vaikutukset: (SFS EN-1991-1-4, 38.)

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_m(z))^2 = 0,595 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (13)$$

Voimakertoimen c_f määrittäminen:

Tuulennopeuden huippuarvo korkeudella z_e : (SFS EN-1991-1-4, 120.)

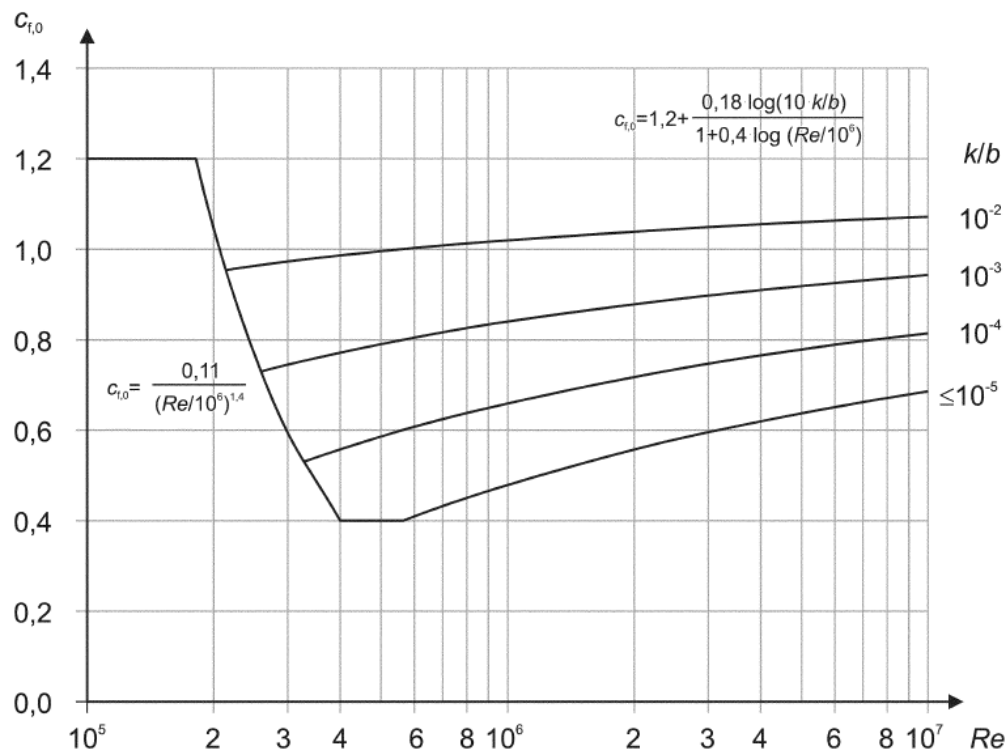
$$v(z_e) = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}} = 21 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (14)$$

Poikkileikkauksen painekertoimen arvo riippuu Reynoldsin luvusta Re : (SFS EN-1991-1-4, 118.)

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} = 382\,200 \quad (15)$$

Ympyräsilinterin voimakerroin $c_{f,0}$ ekvivalentti karheus, jota tarvitaan voimakertoimen $c_{f,0}$ määrittämisessä:

$$\frac{k}{b} = 0,000183 \quad (16)$$



KUVA 5. Ympyräsilinterin voimakerroin $c_{f,0}$ ekvivalentin karheuden k/b eri arvoilla, kun ilma ei pääse virtaamaan vapaan pään ohi (SFS-EN 1991-1-4, 122.)

Reynoldsin luku on $3,822 \cdot 10^5$ jolloin voimakerroin $c_{f,0}$ määritetään kaavalla:

$$c_{f,0} = \frac{0,11}{\left(\frac{Re}{10^6}\right)^{1,4}} = 0,422 \quad (17)$$

Päätevaikutuskertoimen ψ_λ määrittäminen:

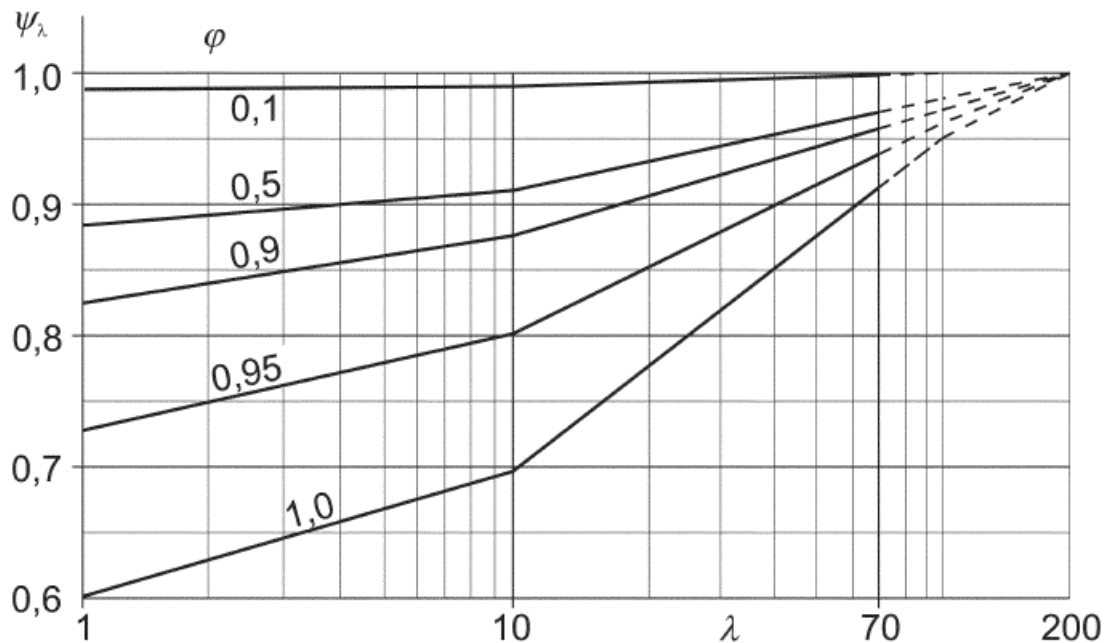
Tehollinen hoikkuus λ : (SFS-EN 1991-1-4, 136.)

$$\lambda = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,7 \frac{L}{b} = 48,72 \text{ kun } L \geq 50 \text{ m} \\ 70 \end{array} \right. \quad (18)$$

$$\lambda = \min \left\{ \begin{array}{l} 0 \frac{L}{b} = 69,60 \text{ kun } L \geq 15 \text{ m} \\ 70 \end{array} \right. \quad (19)$$

Rakenteen tehollinen hoikkuus saadaan lineaarisella interpoloinnilla näiden arvojen välistä. Kun $L = 19$ m tehollinen hoikkuus $\lambda = 65,53$.

Eheysuhde $\phi = 1,0$. Yksittäisen putken projektioala on yhtä suuri kuin reunaviivan rajaama ala.



KUVA 6. Päätevaikutuskertoimen suunta-antavia arvoja tehollisen hoikkeuden λ funktiona eheysuhteen ϕ eri arvoilla (SFS-EN 1991-1-4, 138.)

Päätevaikutuskerroin $\psi_\lambda = 0,9$

Voimakerroin c_f . (SFS-EN 1991-1-4, 120.)

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_\lambda = 0,381 \quad (20)$$

Tuulikuorman resultantti F_w : (SFS-EN 1991-1-4, 42.)

$$F_w = c_s c_d c_f q_p(z) A_{ref} = 1,176 \text{ kN} \quad (21)$$

Tuulenpaineen voidaan katsoa jakautuvan tasaisesti koko ristikkorakenteeseen, jolloin viiteen reunapalkkiin kohdistuu tuulikuormaa:

$$q_{w,p} = \frac{F_w}{L} = 0,062 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (22)$$

Tuulikuorman vaikutus teräskehikkoon ja ristikon alapuolisiin putkistoihin on määritetty Eurokoodin SFS-EN 1991-1-4 kohdan 7.2 mukaan. Laskentaa on yksinkertaistettu ja sen tulos on varmalla puolella sillä tuulikuorma on määritetty ikään kuin yhtenäiselle seinärakenteelle.

Tuulikuorman perusarvon, ja voimakertoimen määrittelyssä on käytetty SKOL M10 laskentapohjaa. Laskenta on esitetty liitteessä 1.

Pilari	CFRHS 120x120x5
Keskipalkki	CFRHS 120x120x5
Reunapalkki	CFRHS 80x80x4
Tuulenpaine	0,646 kN/m ²

Tuulikuorma pilarille/keskipalkille:

$$q_{w,k,1} = 0,646 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,12 \text{ m} = 0,08 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (23)$$

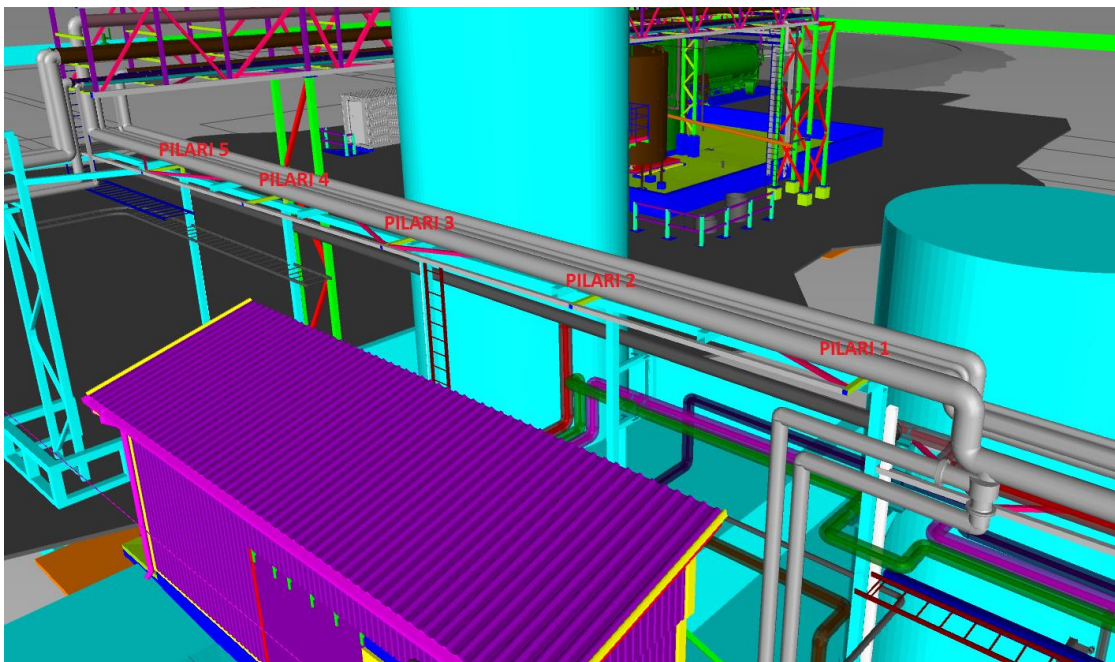
Tuulikuorma reunapalkeille:

$$q_{w,k,2} = 0,646 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,08 m = 0,05 \frac{kN}{m} \quad (24)$$

Ristikon alapuolella olevilta putkilta kertyvä tuulikuorman lisäys on määritetty laskemalla putkilta kertyvä tuuliresultantti ja jakamalla se tasan viivakuormana pilareille. Jokaiselta pilariväliltä on laskettu tuulen vaikutusala A_{ref} , ja se on kerrottu tuulenpaineella.

TAULUKKO 8. Tuulikuormalisä putkisillan pilareille putkistolta

	A_{ref} (m ²)	Resultantti (kN)	Kuorma pilarille (kN/m)
Pilari 1	3,95	2,55	0,49
Pilari 2	1,86	1,20	0,23
Pilari 3	0,76	0,49	0,09
Pilari 4	0,76	0,49	0,09
Pilari 5	0,67	0,43	0,09



KUVA 7. Pilarit

5.2.3 Putkikuorma

TAULUKKO 8. Putkien jatkuva kuormitus (SFS 5363 2000, 4.)

Putki Pipe		Sisältö Medium									
		Kaasu $t = 120\text{ °C}$ Gas $t = 120\text{ °C}$					Neste $t = 120\text{ °C}$ Liquid $t = 120\text{ °C}$				
DN	Ulkohalkaisija x seinämänpaksuus Outside diameter x wall thickness $d_e \times s$ mm	Jatkuva kuormitus Continuous load q N/m	Kannatustapa Support way				Jatkuva kuormitus Continuous load q N/m	Kannatustapa Support way			
			Vapaa tuenta Freely supported		Kiinteä tuenta Stationarily supported			Vapaa tuenta Freely supported		Kiinteä tuenta Stationarily supported	
			L m	σ N/mm ²	L m	σ N/mm ²		L m	σ N/mm ²	L m	σ N/mm ²
10	17,2 x 1,8	30	1,4	25,3	2,1	37,8	31	1,4	25,9	2,1	38,6
15	21,3 x 2	34	1,7	22,4	2,5	33,5	36	1,6	23,2	2,5	34,6
20	26,9 x 2	38	2,0	20,6	2,9	30,7	42	1,9	21,6	2,9	32,3
25	33,7 x 2	49	2,2	20,5	3,3	30,6	56	2,1	21,9	3,2	32,6
32	42,4 x 2,3	59	2,6	18,4	3,9	27,5	70	2,5	20,1	3,7	29,9
40	48,3 x 2,3	64	2,8	17,8	4,2	26,6	78	2,7	19,8	4,0	29,5
50	60,3 x 2,3	74	3,9	23,9	5,8	35,7	98	3,6	27,6	5,4	41,1
65	76,1 x 2,6	109	4,3	24,2	6,4	36,1	148	4,0	28,2	6,0	42,0
80	88,9 x 2,9	128	4,8	22,9	7,2	34,1	181	4,4	27,2	6,6	40,6
100	114,3 x 3,2	162	5,6	21,5	8,4	32,1	251	5,0	26,8	7,5	40,0
125	139,7 x 3,6	203	6,4	20,5	9,5	30,5	339	5,6	26,4	8,4	39,4
150	168,3 x 4	277	6,9	20,6	10,4	30,7	474	6,1	26,9	9,1	40,2
200	219,1 x 4,5	372	8,1	19,6	12,2	29,2	711	6,9	27,1	10,3	40,4
250	273 x 5	483	9,2	18,9	13,8	28,2	1015	7,7	27,5	11,5	40,9
300	323,9 x 5,6	646	10,0	19,0	15,0	28,3	1400	8,3	27,9	12,4	41,6
350	355,6 x 5,6	703	10,6	18,8	15,8	28,1	1613	8,6	28,5	12,8	42,6
400	406,4 x 6,3	862	11,4	18,4	17,1	27,5	2056	9,2	28,4	13,7	42,4
500	508 x 6,3	1062	12,8	18,2	19,2	27,1	2947	10,0	30,3	14,9	45,2
600	610 x 6,3	1264	14,1	18,0	21,1	26,9	4005	10,6	32,1	15,8	47,9
700	711 x 7,1	1595	15,4	17,7	23,0	26,4	5333	11,4	32,3	17,0	48,2
800	813 x 8	1994	16,6	17,4	24,8	26,0	6881	12,2	32,3	18,2	48,2
900	914 x 10	2809	17,6	17,5	26,3	26,0	8958	13,2	31,2	19,7	46,5
1000	1016 x 10	3112	18,6	17,4	27,8	25,9	10743	13,6	32,3	20,4	48,2
1200	1200 x 12,5	4442	20,6	17,0	30,8	25,3	15427	15,1	31,6	22,6	47,2

Standardi SFS 5363 on kumottu 11.8.2014 eikä sitä käytetä tässä työssä putkistojen kannatusvälien määrittämisessä. Taulukosta 8 määritetään putkiston jatkuva kuorma.

Putken koko	DN100 (114,3 x 3,2)
Jatkuva kuorma	0,251 kN/m (yksi putki)
Putkien pituus	19,0 m
Orren pituus	1,6 m

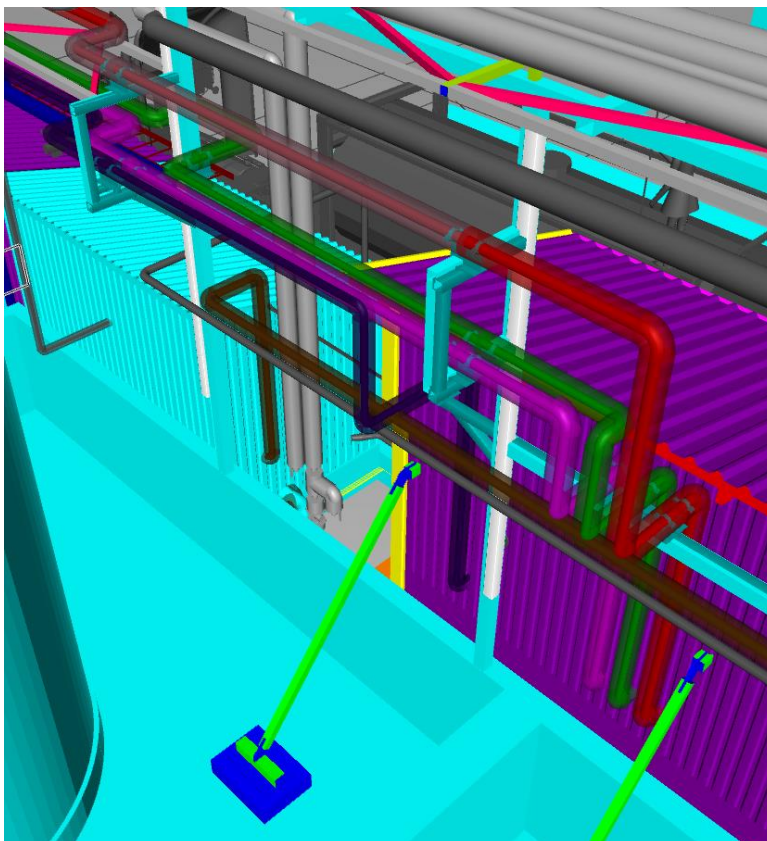
Sillan päälle asennetaan putkia 4 kpl. Putkikuorma syötetään mitoitusohjelmaan planaarisistikon päälle tasaisena pintakuormana:

$$q_{p,k} = \frac{4 \cdot 0,251 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 19,0 \text{ m}}{1,6 \text{ m} \cdot 19,0 \text{ m}} = 0,63 \text{ kN/m}^2 \quad (25)$$

Vanhan putkisillan pilareiden 2 ja 3 välissä on vaakapalkki ja pilareissa 1 ja 2 on ”portteja”, jotka kantavat osan putkikuormista. Portit ja välipalkki ovat esitetty kuvassa 8. Porttien kuormitus jaetaan tasaisena kuormana niiden ylä- ja alakannakkeille. Välipalkin kuormat määritetään pistekuormina.

TAULUKKO 9. Porttien ja välipalkin kuormitus

	Kuormituspituus (m)	Resultantti (kN)	Kuormitus (kN/m)
Yläkannake 1	4,3	1,08	1,08
Alakannake 1	4,3	2,16	2,16
Yläkannake 2	3,2	0,80	0,80
Alakannake 2	3,0	1,51	1,51
Välipalkki	0,8 / 1,6	0,20 / 0,40	-



KUVA 8. Putkistoa kannattelevat portit ja välipalkki

5.2.4 Lämpökuorma

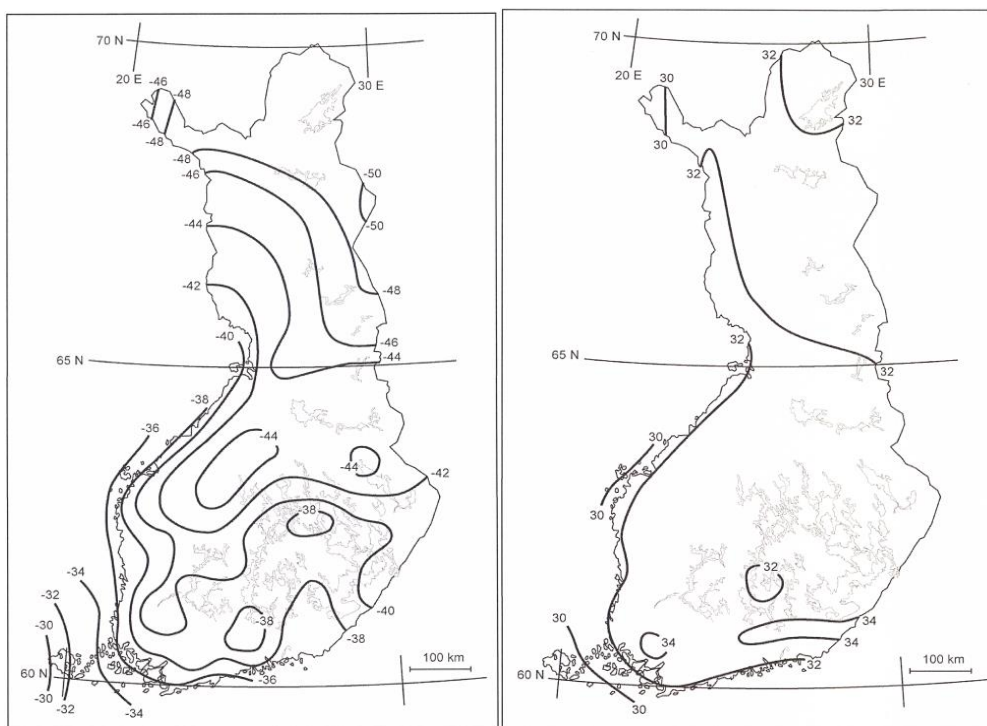
Lämpötilakuorma määritetään standardin SFS-EN 1991-1-5 mukaan.

Keskilämpötilan muutos riippuu siltaan kehittyvästä minimi- ja maksimilämpötilasta. Tämän tuloksena on keskilämpötilan vaihtelu tietyllä välillä, minkä seurauksena rakenneosan pituus muuttuisi, jos rakenne ei estä muodonmuutoksen syntymistä. (SFS-EN 1993-1-5, 30.)

Rakennuskohteen sijainnin mukainen varjossa mitattu ilman minimilämpötila (T_{min}) ja ilman maksimilämpötila (T_{max}) tulee määrittää isotermeistä kohdan 6.1.3.2 mukaisesti. (SFS-EN 1993-1-5, 32.)

Varjossa mitatun ilman minimilämpötilan ja maksimilämpötilan ominaisarvot rakennuskohteen sijaintipaikalla saadaan esim. kansallisista isotermikartoista. (SFS-EN 1993-1-5, 32.)

Isotermit luetaan ympäristöministeriön asetuksesta 8/16 lämpötilakuormia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN-1991-1-5.



KUVA 9. Minimi- ja maksimilämpötilojen isotermit (Ympäristöministeriön asetus 8/16 2016, 2–3.)

Kansallisten isotermien perusteella varjolämpötila putkisillan alueella vaihtelee välillä -36°C ja +32°C. Teräsosien asennuslämpötilaksi arvioidaan +10°C. Lämpötilan muutos on tällöin 22°C positiiviseen suuntaan ja 46°C negatiiviseen suuntaan.

Ilman minimivarjolämpötilat edustavat arvoja, joiden vuosittainen alittumistodennäköisyys on 0,02, ja maksimivarjolämpötilat edustavat arvoja, joiden vuosittainen ylittymistodennäköisyys on 0,02. (Ympäristöministeriön asetus 8/16 2016, 3.)

5.3 Kuormien koonti

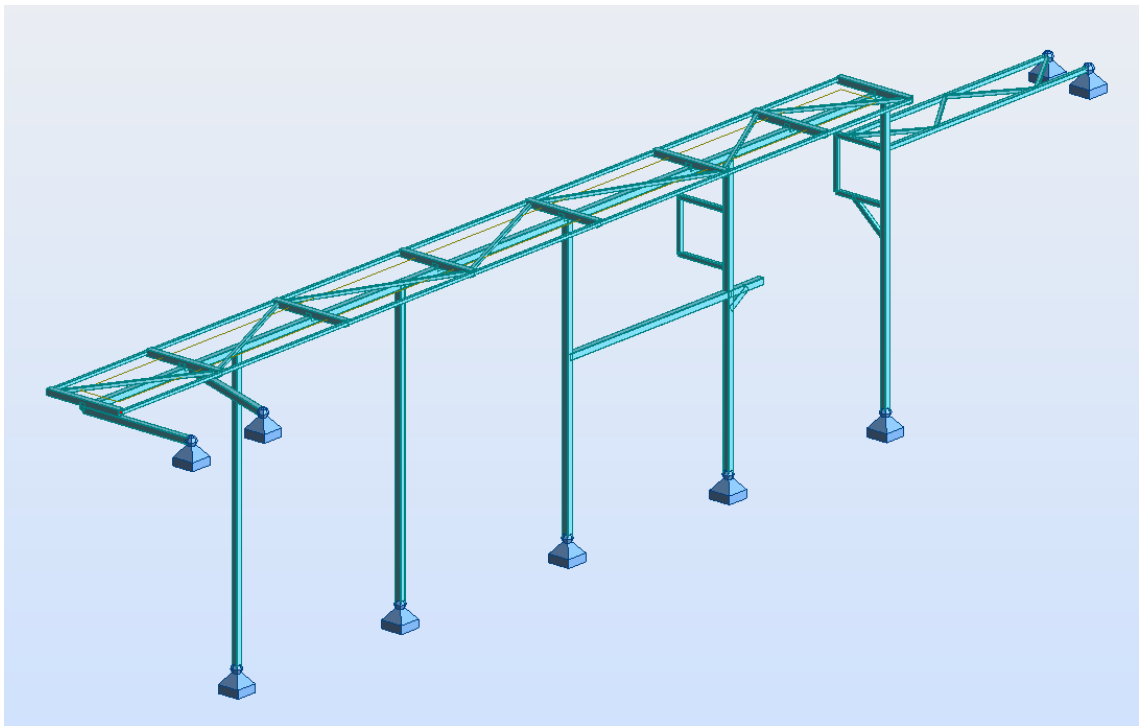
TAULUKKO 9. Alkeiskuormitustapaukset

	Numero	Nimi
Pysyvä kuorma	1	Omapaino
Muuttuva kuorma	2	Tuulikuorma (+y)
	3	Tuulikuorma (-y)
	4	Putkiston omapaino
	5	Lämpökuorma (-)
	6	Lämpökuorma (+)

6 KEHÄMALLI

6.1 Laskentamalli

Voimasuureet, siirtymät ja poikkileikkausten mitoitus on laskettu Autodesk Robot Structural Analysis Profesional 2015 FEM-mitoitusohjelmalla (versio 28.0.3.5472 x64). Pilarit, diagonaalisauvat ja reunapalkit on mitoitettu nurjahduksen huomioon ottavina sauvaelementteinä. Muut rakenteet on mallinnettu palkkielementeillä. Pilarien liitos perusmuuriin on oletettu nivelliseksi. Hitsiliitokset on oletettu jäykiksi.



KUVA 5. Putkisillan FEM-laskentamalli

Putkisillan vahvistaminen on toteutettu kahdella planaari-ristikolla. Ensimmäinen ristikko asennetaan vanhojen olemassa olevien orsien väliin seitsemänä kokonpanona, ja sen tarkoitus jäykistää keskipalkkia ja välittää vaakasuuntaiset kuormat putkisillan päissä oleville vinositeille ja ristikolle. Toinen ristikko asennetaan pilari 1:n ”portin” ja viereisen putkisillan väliin. Sen tarkoitus on välittää vaakasuuntaiset kuormat putkisillalta viereisen putkisillan pääpilareille. Viereisen putkisillan pääpilarit ovat jäykistetty tukevasti vinositein, jolloin voimat välittyvät hallitusti perustuksille.

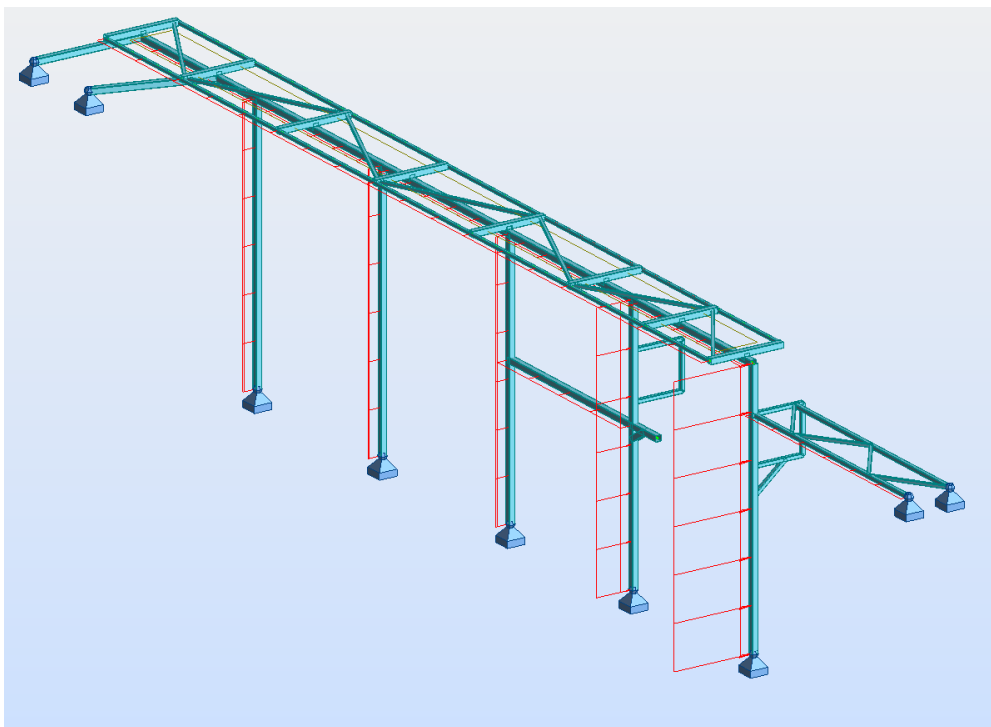
6.2 Kuormien syöttäminen

6.2.1 Omapaino

Autodesk Robot Structural Analysis Profesional 2015 ottaa huomioon rakenteen omapainon valittujen poikkileikkausten mukaan, joten omapainon arvoja ei tarvinnut erikseen laskea.

6.2.2 Tuulikuorma

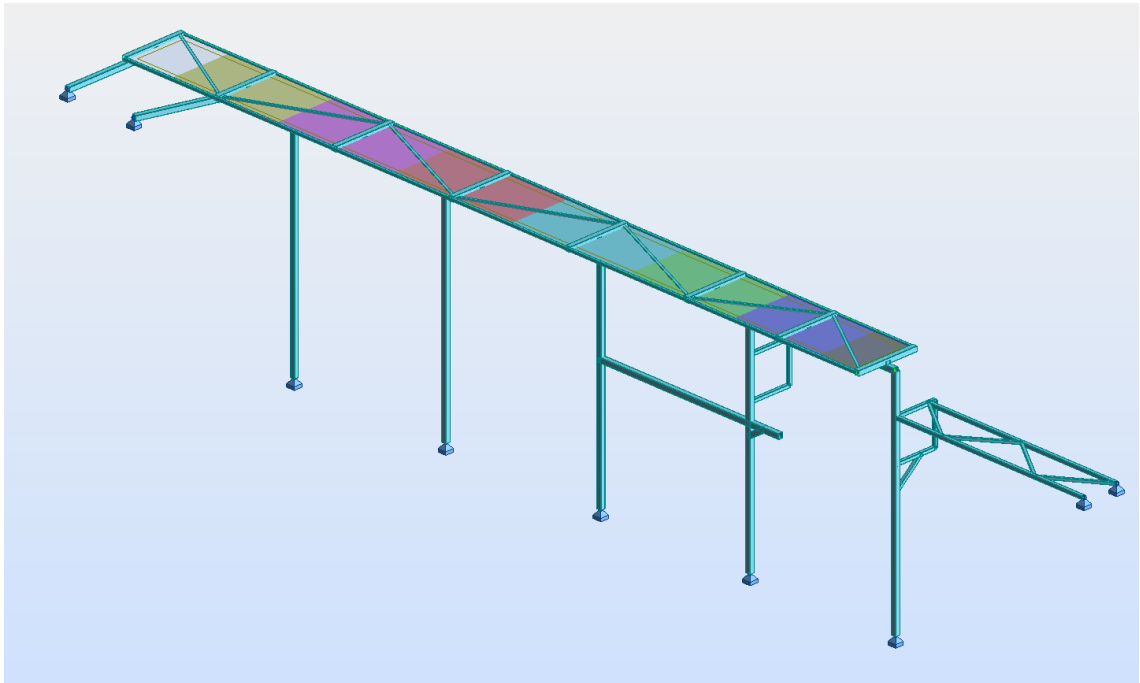
Kaikki tuulikuormat sisältäen tuulikuorman putkistolta (putkisillan päälle asennettavat putket), tuulikuorman teräsrakenteilta ja tuulikuormalisä ristikon alapuolella olevilta putkilta syötettiin viivakuormina sauvakohtaisesti. Tuulen vaikutus otettiin huomioon kummaltakin puolelta rakennetta omina kuormitustapauksinaan (+y ja -y).



KUVA 6. Tuulikuorma (+y) putkisillalle

6.2.3 Putkiston omapaino

Putkiston omapainon katsottiin jakautuvan tasaisesti planaari-ristikon orsille. Kuvassa 7 on esitetty kuormituksen jakauma-alueet.



KUVA 7. Putkistokuorman jakauma-alueet

6.2.4 Lämpökuormat

Lämpötilan muutokset arvioidusta asennuslämpötilasta positiiviseen ja negatiiviseen suuntaan syötettiin laskentaohjelmaan niin, että sen vaikutus huomioitiin x-suunnassa (putkisillan pituussuunnassa). Käytännössä lämpökuorma ei koskaan voi kaataa rakennusta, mutta rakenteet suunnitellaan niin että lämpökuorman aiheuttamat muodonmuutokset pysyvät sallituissa rajoissa.

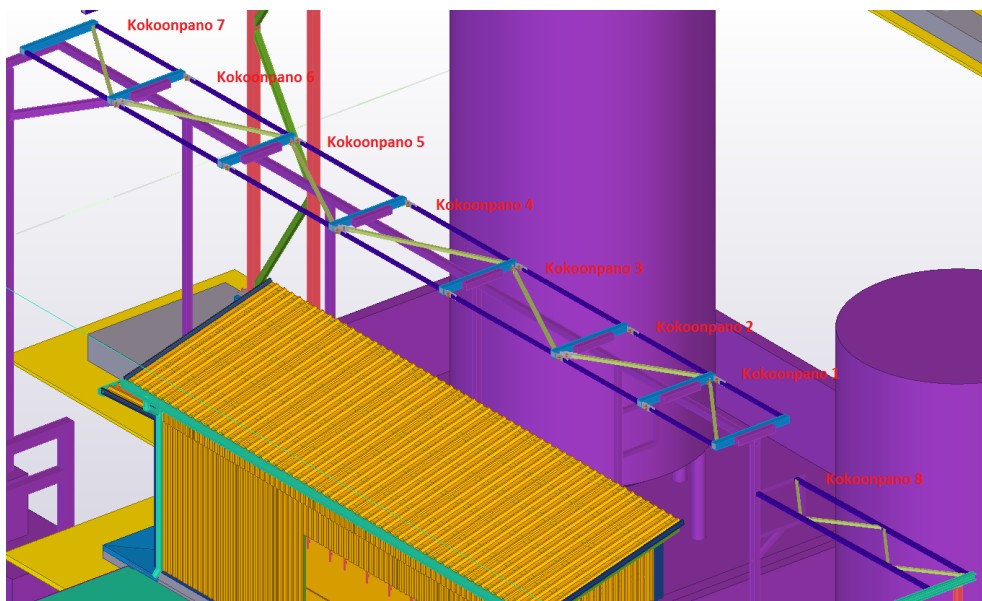
6.3 Poikkileikkaukset

TAULUKKO 10. Putkisillassa käytettävät profiilit

	Osa	Profiili	PI-luokka
Vanhat rakenteet	Pääpilarit	CFRHS 120x120x5	1
	Keskipalkki	CFRHS 120x120x5	1
	Putkihylyt	CFRHS 80x80x5	1
	Vaakasiteet	CFRHS 120x120x5	1
	Vinositeet	CFRHS 120x120x5	1
Uudet rakenteet	Reunapalkit (ristikko 1)	CFRHS 60x60x3	1
	Diagonaalit (ristikko 1)	CFRHS 60x60x3	1
	Orret	CFRHS 120x120x4	1
	Reunapalkit (ristikko 2)	CFRHS 80x80x4	1
	Diagonaalit (ristikko 2)	CFRHS 60x60x3	1

6.4 Kokoonpanot

Kuvassa 8 on esitetty planaari-ristikoiden kokoonpanot. Putkisillan päälle asennettava ristikko jaetaan seitsemään kokoonpanoon, jotka sijoitetaan vanhojen olemassa olevien orsien väliin. Kahden putkisillan väliin asennettava planaari-ristikko valmistetaan yhtenä kokoonpanona.



KUVA 8. Kokoonpanot.

7 RAKENTEIDEN MITOITUS

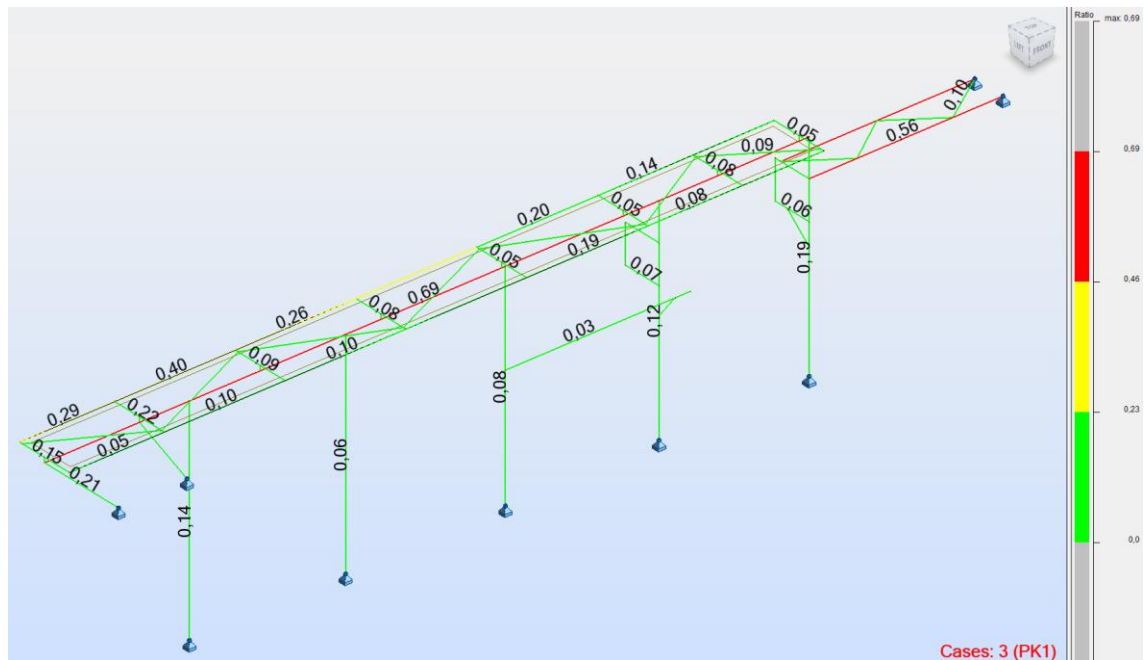
7.1 Poikkileikkausten mitoitus

7.1.1 Murtorajatila

Alla olevassa taulukossa on esitetty putkisillan poikkileikkausten käyttöasteet suurimmillaan. Liitteessä 2 on esitetty mitoituslausekkeet kuormitetuimmille rakenneosille.

TAULUKKO 11. Putkisillan rakenteiden suurimmat käyttöasteet

Osa	Profiili	Käyttöaste
Keskipalkki	CFRHS 120x120x5	69 %
Reunapalkki	CFRHS 80x80x4	56 %
Diagonaali	CFRHS 60x60x3	18 %
Orsi	CFRHS 120x120x4	22 %
Pääpilari	CFRHS 120x120x5	19 %



KUVA 9. Rakenteiden käyttöasteita

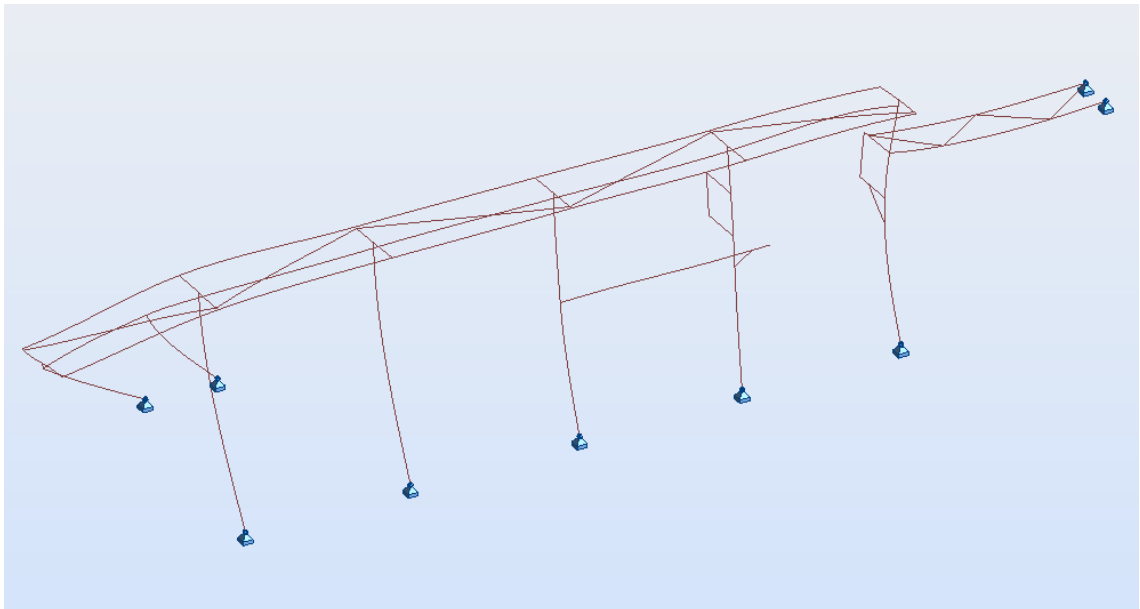
7.1.2 Käyttörajatila

TAULUKKO 12: Suurin pystysuuntainen siirtymä reunapalkilla käyttörajatilassa

Node	Case	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)	RX (Rad)	RY (Rad)	RZ (Rad)
29	ULS-	-10	0	-45	-0,014	-0,011	-0,002

TAULUKKO 13: Suurin pilarin yläpään vaakasuuntainen siirtymä käyttörajatilassa

Node	Case	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)	RX (Rad)	RY (Rad)	RZ (Rad)
29	ULS+	17	2	-26	-0,007	-0,004	0,000



KUVA 10. Havainnekuva sillan muodonmuutoksista

Kappaleessa 4.3 esitettyjen raja-arvojen perusteella reunapalkin suurin sallittu pystysuuntainen taipuma on:

$$\frac{L}{300} = \frac{19\,000\text{ mm}}{300} = 63,33\text{ mm} > 45\text{ mm} \quad (26)$$

Kappaleessa 4.3 esitettyjen raja-arvojen perusteella reunapalkin suurin sallittu vaakasuuntainen siirtymä on:

$$\frac{H}{150} = \frac{5180 \text{ mm}}{150} = 34,53 \text{ mm} > 17 \text{ mm} \quad (27)$$

7.1.3 Onnettomuustilanne

Huomioon otettavat onnettomuuskuormat riippuvat seuraavista tekijöistä: (SFS-EN 1991-1-7, 24.)

- toimenpiteistä, joihin on ryhdytty onnettomuuskuorman estämiseksi tai sen vaikutuksen pienentämiseksi
- määriteltävissä olevan onnettomuuskuorman esiintymistodennäköisyydestä
- määriteltävissä olevasta onnettomuuskuormasta johtuvien vaurioiden seuraamuksista
- yleisestä suhtautumisesta vaurioitumiseen
- hyväksyttävästä riskitasosta

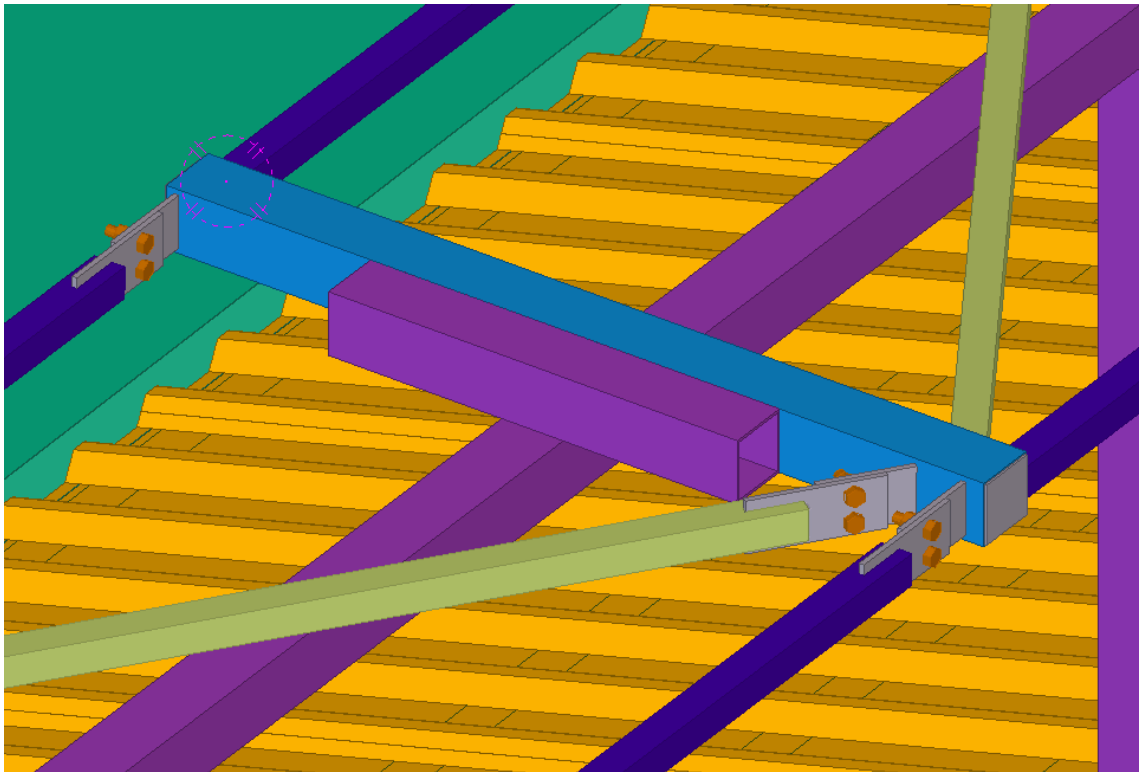
Putkisillan sijainnin takia trukkiliikenteen tai muun tieliikenteen törmäys siltaan on käytännössä mahdotonta. Onnettomuustilanteen kuormitusta ei huomioida laskennassa.

7.2 Putkisillan liitosten mitoitus

Pultti- ja hitsiliitokset on laskettu standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaisesti.

7.2.1 Pulttiliitokset

Putkisillan päälle asennettavaa planaari-ristikkoa ei voida asentaa yhtenä kokoonpanona sen päällä olevien putkien takia. Ristikko valmistetaan seitsemänä kokoonpanona, jotka asennetaan vanhojen olemassa olevien orsien väliin. Kokoonpanot liitetään työmaalla reunapalkeista ja diagonaaleista toisiinsa pulttiliitoksilla kuvan 11 mukaisesti.



KUVA 11. Kokoonpanojen väliset pulttiliitokset

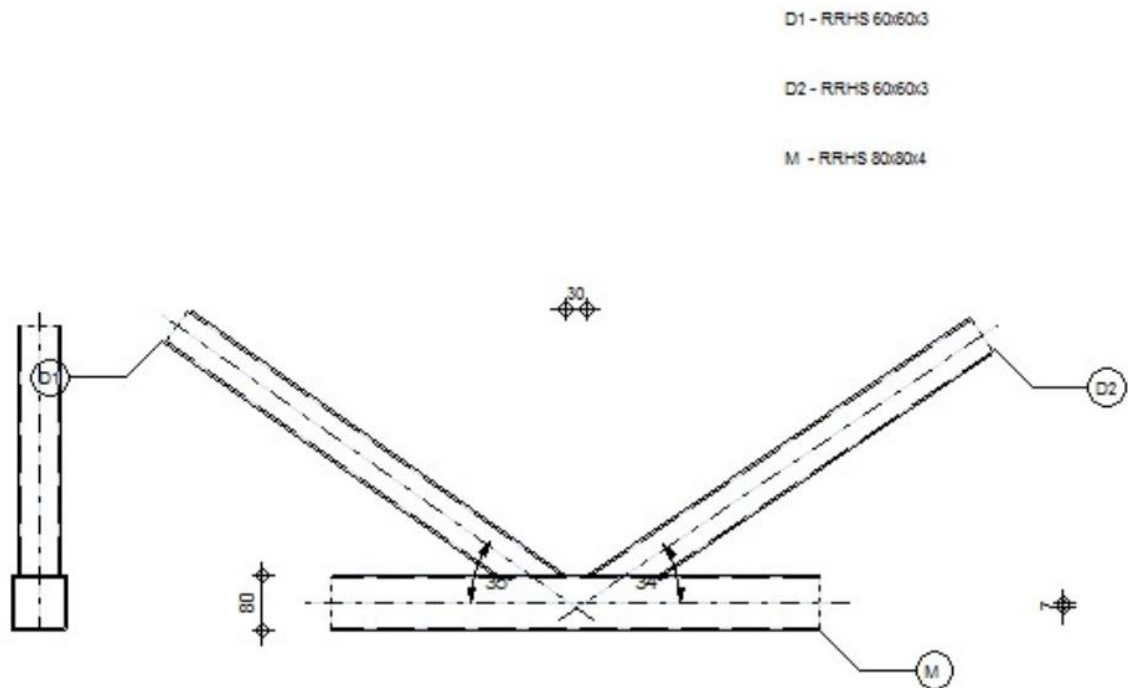
Liitoslevyt	PL10	Teräslaji S355J2+N
Pultit	2xM20	Lujuusluokka 8.8
Orsi	CFRHS 120x120x4	Teräslaji S355J2H
Diagonaali/raunapalkki	CFRHS 60x60x3	Teräslaji S355J2H

Pulttiliitoksen suurin normaalirasitus on reunapalkissa (kokoonpanossa 6) murtorajatilassa -24,53 kN. Liitoksen käyttöaste on 13 %. Liitteessä 3 on esitetty liitoksen mitoituslausekkeet.

7.2.2 Hitsiliitokset (k-liitos)

Liitoksen kestävyys on määritetty SFS-EN 1993-1-8 luvun 7.10 mukaan.

Kokoonpanossa 8 diagonaalit liitetään reunapalkkeihin vapaavälillisillä k-liitoksilla. Rasitetuimman liitoksen geometria on esitetty kuvassa 12.



KUVA 12. K-liitoksen geometria

Hitsiliitoksissa käytetään yleishitsinä 5 mm pienahitsiä. Hitsiliitoksen käyttöaste on 11 %. Liitoksen rasitukset, materiaaliominaisuudet ja mitoituslausekkeet on esitetty liitteessä 4.

7.3 Käyttöikämitoitus

7.3.1 Korroosio

Ilmassa, vedessä ja maaperässä oleva suojaamaton teräs altistuu korroosiolle, joka voi johtaa vaurioihin. Korroosiovaurioita estetään suojaamalla teräsrakenteet tavallisesti siten, että ne kestävät korroosiorasituksia rakenteiden koko vaaditun käyttöiän. (SFS-EN ISO 12944-1 1998, 4.)

Teräsrakenteet voidaan suojata korroosiolta eri tavoilla. Standardi ISO 12944 käsittelee suojausta maaliyhdistelmillä. Sen eri osat kattavat kaikki tekijät, jotka ovat tärkeitä riittävän korroosioneston saavuttamiselle. Muut menettelytavat ovat mahdollisia, mutta tämä edellyttää erityistä sopimusta asianosaisten kesken. (SFS-EN ISO 12944-1 1998, 4.)

Standardia ISO 12944 varten on ilmastoympäristöt luokiteltu kuuteen ilmastorasitusluokkaan, jotka on esitetty taulukossa 14.

TAULUKKO 14: Ilmastorasitusluokat ja esimerkkejä tyypillisistä ympäristöistä (SFS-EN ISO 12944-2 1998, 2.)

Rasitusluokka	Painohäviö pinta-alayksikköä kohden/paksuushäviö (ensimmäinen koestusvuosi)				Esimerkkejä tyypillisistä ympäristöistä lauhkeassa ilmastossa (vain opastava)	
	Niukkahiilinen teräs		Sinkki		Ulkona	Sisällä
	Painohäviö g/m ²	Paksuushäviö µm	Painohäviö g/m ²	Paksuushäviö µm		
C1 hyvin lievä	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	–	Lämmitetyt rakennukset, joissa puhtaat ilmatilat, esim. toimistot, kaupat, koulut, hotellit.
C2 lievä	> 10...200	> 1,3...25	> 0,7...5	> 0,1...0,7	Ilmatilat, joissa epäpuhtauksien määrä on alhainen. Enimmäkseen maaseutualueita.	Lämmittämättömät rakennukset, joissa voi esiintyä kondensoitumista, esim. varastot, urheiluhallit.
C3 kohtalainen	> 200...400	> 25...50	> 5...15	> 0,7...2,1	Kaupunki- ja teollisuusilmatilat, joissa kohtalainen rikkidioksidikuormitus. Rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus.	Tuotantotilat, joissa korkea kosteuspitoisuus ja jossain määrin epäpuhtauksia ilmassa, esim. elintarviketehtaat, pesulat, panimot, meijerit.
C4 ankara	> 400...650	> 50...80	> 15...30	> 2,1...4,2	Teollisuusalueet ja rannikkoalueet, joilla suolapitoisuus on kohtalainen.	Kemianteollisuuden tuotantolaitokset, uima-altaat, rannikolla sijaitsevat telakat ja veneveistämöt.
C5-I hyvin ankara (teollisuus)	> 650...1500	> 80...200	> 30...60	> 4,2...8,4	Teollisuusalueet, joilla kosteus on korkea ja ilmatila on syövyttävä.	Rakennukset tai alueet, joilla kondensoituminen on miltei jatkuvaa ja saasteiden määrä korkea.
C5-M hyvin ankara (meri)	> 650...1500	> 80...200	> 30...60	> 4,2...8,4	Rannikkoalueet ja rannikon ulkopuoliset alueet, joilla suolapitoisuus on korkea.	Rakennukset tai alueet, joilla kondensoituminen on miltei jatkuvaa ja saasteiden määrä korkea.
HUOMAUTUKSIA						
1 Rasitusluokissa käytetyt häviöarvot ovat yhtäpitävät standardin ISO 9223 arvojen kanssa.						
2 Kuumien ja kosteiden vyöhykkeiden rannikkoalueilla paino- ja paksuushäviöt voivat ylittää luokan C5-M rajat. Suojamaaliyhdistelmän valintaan on kiinnitettävä erityisesti huomiota.						

7.3.2 Esikäsittely

Teräkselle levitettyjen maaleista tai vastaavista tuotteista koostuvien suoja-pinnoitteiden toimivuuteen vaikuttaa merkittävästi teräspinnan kunto välittömästi ennen maalausta. Päätekijät, joiden tiedetään vaikuttavan tähän toimivuuteen, ovat: (SFS-EN ISO 8501-1 2007, 8.)

- ruosteen ja valssihilseen esiintyminen
- pinnalla esiintyvät epäpuhtaudet, mukaan lukien suolat, pöly, öljyt ja rasvat
- pintaprofiili

Kukin esikäsitelyaste merkitään puhdistusmenetelmän mukaisella tunnuksella "Sa", "St" tai "FI". Tämän jälkeen merkitty numero, jos sellaista käytetään, merkitsee valssihilseen, ruosteen ja aikaisempien pinnoitteiden puhdistamisen astetta. (SFS-EN ISO 8501-1 2007, 10.)

Konepajapohjamaalilla maalatut teräspinnat ovat tuotantolaitoksessa automaattisesti suihkupuhdistettua terästä, jolle on automaattisesti levitetty konepajapohjamaali standardin EN 10238 mukaisesti. (SFS-EN ISO 12944-4 1998, 12.)

Pinnan esikäsitely suihkupuhdistuksella merkitään kirjaimilla "Sa". Suihkupuhdistusasteiden kuvaukset on esitetty taulukossa 15. Ennen suihkupuhdistusta kaikki paksut ruostekerrokset tulee poistaa hakkaamalla. Näkyvä öljy, rasva ja lika tulee myös poistaa. Suihkupuhdistuksen jälkeen poistetaan pinnalta pöly ja roskat. (SFS-EN ISO 8501-1 2007, 12.)

TAULUKKO 15: Suihkupuhdistusasteet (SFS-EN ISO 8501-1 2007, 12.)

Sa 1	Kevyt suihkupuhdistus	Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa, likaa eikä heikosti kiinni tarttunutta valssihilsettä, ruostetta, maalipinnoitteita tai vieraita aineita (ks. kohdan 3.1 huom. 1). Ks. valokuvat B Sa 1, C Sa 1 ja D Sa 1.
Sa 2	Huolellinen suihkupuhdistus	Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa tai likaa ja siinä saa olla vain vähän valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Jäljelläolevien epäpuhtauksien tulee olla tiukasti kiinni tarttuneita (ks. kohdan 3.1 huomautus 2). Ks. valokuvat B Sa 2, C Sa 2 ja D Sa 2.
Sa 2½	Hyvin huolellinen suihkupuhdistus	Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa tai likaa eikä valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Jäljelläolevat epäpuhtauksien jäämät saavat näkyä ainoastaan lievänä pistemäisinä tai raitamaisina tahroina. Ks. valokuvat A Sa 2½, B Sa 2½, C Sa 2½ ja D Sa 2½.
Sa 3	Suihkupuhdistus metallin puhtaaksi	Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa tai likaa eikä valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Pinnalla tulee olla yhtenäinen metallinen väri. Ks. valokuvat A Sa 3, B Sa 3, C Sa 3 ja D Sa 3.

7.3.3 Suojamaaliyhdistelmä

Suojamaaliyhdistelmän valinnan pohjana ovat suojamaaliyhdistelmätaulukot. Kuhunkin osakohteeseen valitaan siitä sopivin suojamaaliyhdistelmä huomioiden kestävyys lisäksi myös ympäristönsuojeluvaatimukset. Kuljetus-, varastointi- ja asennusolosuhteet on otettava huomioon suojamaaliyhdistelmän valinnassa. (SFS-5893 2008, 6.)

TAULUKKO 16: Suojamaaliyhdistelmien valintataulukko ilmastorasitusluokittain teräspinnoille (SFS-5873 2008, 7.)

Rasitusluokka Corrosivity category	Ilmastorasitus Atmospheric stress		
	Uudismaalaus New painting	Korjaus- ja kunnossapitomaalaus Repair and maintenance painting	
	Ulkona Outdoors	Sisällä Indoors	
C1...C2 Hyvin lievä...lievä Very low...low	F20.01 AK80/2-FeSa2	F20.01 AK80/2-FeSa2	R25.01 AK80/2-FeSt2
	F20.02 AY120/2-FeSa2	F20.02 AY120/2-FeSa2	R25.02 AY120/2-FeSt2
	F20.03 PUR100/1-FeSa2	F20.03 PUR100/1-FeSa2	R25.03 PUR100/1-FeSt2
		F20.04 EP100/1-FeSa2	R25.04 EP100/1-FeSt2
	F20.07 OX100/1-FeSa2	F20.07 OX100/1-FeSa2	R25.11 OX100/1-FeSt2
C3 Kohtalainen Medium	A3.08 EPPUR160/2-FeSa2½	A3.08 EPPUR160/2-FeSa2½	R25.05 EPPUR160/2-FeSt2
		A3.08 EP160/2-FeSa2½	R25.06 EP160/2-FeSt2
	F20.08 EPPSI160/2-FeSa2½		R25.12 EPPSI160/2-FeSt2
C4 Ankara High	A4.08 EPPUR240/3-FeSa2½	A4.08 EPPUR240/3-FeSa2½	R25.07 EPPUR240/3-FeSt2
	A4.14 EPZn(R)EPPUR200/3-FeSa2½	A4.14 EPZn(R)EPPUR200/3-FeSa2½	
		A4.14 EPZn(R)EP200/3-FeSa2½	R25.08 EP240/3-FeSt2
	F20.09 EPZn(R)PSI180/2-FeSa2½		R25.13 EPPSI220/3-FeSt2
C5-I Hyvin ankara (teollisuus) Very high (industry)	A5I.04 EPZn(R)EPPUR240/4-FeSa2½	A5I.04 EPZn(R)EPPUR240/4-FeSa2½	R25.09 EPPUR280/3-FeSt2
	A5I.02 EPPUR320/3-FeSa2½	A5I.02 EPPUR320/3-FeSa2½	
		A5I.02 EP320/3-FeSa2½	R25.10 EP300/2-FeSt2
	F20.10 EPZn(R)PSI240/3-FeSa2½		R25.14 EPPSI280/3-FeSt2
C5-M Hyvin ankara (meri) Very high (marine)	A5M.05 EPZn(R)EPPUR240/4-FeSa2½		R25.09 EPPUR280/3-FeSt2
	A5M.02 EPPUR320/3-FeSa2½		
	F20.10 EPZn(R)PSI240/3-FeSa2½		R25.14 EPPSI280/3-FeSt2
Kuiva lämpö-rasitus 150...400 °C Dry thermal stress of 150 to 400 °C	F20.05 ESI70/1-FeSa2½	F20.05 ESI70/1-FeSa2½	F20.05 ESI70/1-FeSa2½
	F20.06 ESISI90/2-FeSa2½	F20.06 ESISI90/2-FeSa2½	F20.06 ESISI90/2-FeSa2½

Tässä työssä putkisillan rasitusluokka, sen sijainnista teollisuusalueella johtuen on C4. Valittu suojamaaliyhdistelmä on A4.14 EPZn(R)EPPUR200/3-FeSa2½.

Suojamaaliyhdistelmän lyhenteet ja termit: (SFS 5873 2008, 5.)

A4.14	Suojamaaliyhdistelmän etuliite (ISO 12944-5:2007:n taulukoista A.1...A.8)
EPZn(R)	Sinkkiepoksi ((R)-merkintää käytetään, kun sinkkipitoisuus on yli 80 painoprosenttia kuivakalvosta.)
EP	Epoksi (EP sisältää myös modifioidut epoksit EPC ja EPGF.)
PUR	Polyuretaani (PUR sisältää myös modifioidun polyuretaanin PURC.)
200	Kuivakalvon nimellispaksuus (µm)
3	Maalauskerrosten lukumäärä
Fe	Pintatyyppi (rauta / teräs)
Sa½	Pinnan esikäsitteilyaste SFS ISO 8501-1 mukaan

8 KUSTANNUSARVIO

Putkisillalle tehdyn kustannusarvion jäsentely noudattaa Talo 2000 -nimikkeistöä. Rakennusosien kustannukset on jaettu työ- ja materiaalipanoksiin, ja kaikki kustannukset on esitetty ilman arvonlisäveroa (ALV 0 %).

Rakenteiden yksikkökustannuksiin vaikuttavat mm. rakennuskohteen koko, rakenteiden suhteellinen määrä koko kohteeseen nähden, kohteen olosuhteiden vaikeus ja kohteen sijaintipaikkakunta. (ROK 2019, 7.)

Kustannuslaskennassa on huomioitu että rakennuskohde on kooltaan hyvin pieni. Kohteissa, joissa suoritemäärä on pieni, rakentamisen kustannukset ovat verrattain suuret, koska niissä ei voida käyttää hyväksi rakenteiden sarjatuotantoa. Rakennuspaikkakunnan vaikutus työkustannuksiin on myös huomioitu. Kohteen olosuhteet ovat myös poikkeuksellisen haastavat, mikä on myös huomioitu. Ympäriällä olevien rakennusten, rakenteiden ja putkistojen takia työympäristö kohteessa on ahdas.

Kustannusarviota tehdessä on huomioitu urakoitsijan yleiskulut kuten rakennusjäte ja myös työnaikaiset suunnitelmat. Laskennassa käytetyt laskutushinnat ovat työn toimeksiantajan käytäntöjen mukaisia hintoja.

Työmenekin laskemisessa on määritetty kokonaisaika T4, eli työnvaihe aika, joka sisältää kaikki työhön käytetyt tunnit, myös tunnin mittaiset ja pidemmät työskentelyn keskeytykset. Kokonaisaika käytetään kustannusten arvioimiseen ja yleisaikataulujen laadintaan. Taulukossa 17 on esitetty työmenekin laskenta, ja eritellyt työpanokset.

TAULUKKO 17: Työmenekki

Tehtävä	määrä	yksikkö	TTH/kpl	RAM	TTH (tunteina)	TTH (työvuoroina)
Vastaanotto ja välivarastointi	8	kpl	0,25	2	1,00	0,13
Nostokonesiirto	8	kpl	1	2	4,00	0,50
Asennuksessa erillinen mittaustyö	8	kpl	0,5	2	2,00	0,25
Ristikko kokoonpanojen asennus:						
Pulttiliitos	18	kpl	0,7	2	6,30	0,79
Hitsiliitos	12	kpl	1	2	6,00	0,75
Paikkamaalaus	12	kpl	0,3	1	3,60	0,45
Suojaus, siivous, merkintä	1	kpl	2	2	1,00	0,13
					23,90	2,99
					TI-3 kertoimen vaikutus:	
					31,07	3,88

Kokemusperäisen tiedon perusteella pienissä rakennuskohteissa pidetään hyvänä tapana arvioida työmenekki ja -kustannukset ylöspäin ja jättää huomioimatta vuosi- ja sairaslomien vaikutus. Arvioitu työmenekki on 64 työtuntia, jolloin työn kesto kahdella rakennusammattimiehellä on 32 tuntia tai 4 työvuoroa.

Kustannusarvion laskennassa on eritelty rakennusosa-arviointi ja hanketehtävä arviointi. Rakennusosa-arviointiin sisältyvät puominostimen päivävuokra, työpanos sekä rakenneputket, liitoslevyt ja pultit. Rakenneputkien ja liitoslevyjen kilohinnassa on huomioitu profiilien katkonta, hitsaus ja maalaus. Kustannusarvio on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18: Kustannusarvio

Talo 2000 nimikkeistö						
Nro	Ryhmä	Määrä	Yksikkö	€/yks.	Yht €	Huom.
1 RAKENNUSOSAT						
12 TALO-OSAT						
123 RUNKO						
123	Puominostin	4	pv	155	620	
	Rakenneputket, liitoslevyt, pultit	605,9	kg	3,00	1 818	Katkottu, hitsattu, maalattu
	Työpanos	64,0	h	50,00	3 200	t, mittaus, asennus, pultti- ja hitsiliitok
3 HANKETEHTÄVÄT						
311	Rakennuttaminen					
3121	Rakentamisen työmaavalvonta	8	h	65,00	520	
32	Suunnittelutehtävät					
3223	Rakennesuunnittelu	50	h	65,00	3 250	
33	Rakentamisen johtotehtävät					
3323	Työmaan työturvallisuus	8	h	65,00	520	
a	Rakennustekniset työt			alv 0%	5 638	
b	Työnaikaiset suunnitelmat 1,5%			alv 0%	85	
c	Urakoitsijan yleiskulut 20 %			alv 0%	1 128	
d	Rakennustekniset työt			alv 0%	6 850	
e	Hanketehtävät			alv 0%	4 290	
f	Yhteensä			alv 0%	11 140	
g	ALV 24 %				2 674	
h	Hinta sisältäen ALV 24 %			alv 24%	13 813	

9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoite oli suunnitella rakenteet vanhan putkisillan vahvistamiseksi, tuottaa rakenteiden rakennepiirustukset ja suorittaa kustannusarvio. Työn aikana vertailtiin useaa toteutusvaihtoehtoa ja suunnitelmat ehtivät muuttua monta kertaa. Työn tuloksena tuotettiin lopulta toteutuskelpoinen ratkaisu, joka kesti mitoituksen ja oli kustannuksiltaan kohtuullinen.

Suunnittelussa oli paljon huomioitavia asioita. Jo olemassa olevat putket ja uudet lisättävät putket tekivät rakennuspaikasta ahtaan, ja vahvistavien rakenteiden sovittaminen putkisillalle oli paikoin haastavaa. Asiakkaan toiveet putkisillan rakenteisiin liittyen asettivat myös rajoitteita rakenteiden suunnitteluun.

Suunnittelutyö tehtiin Eurokoodin mukaisesti. Putkisilloilla on kuitenkin joitain erityispiirteitä, joille ei soveltuvaa suunnitteluohjetta löydy suoraan Eurokoodista. Suunnittelutyössä turvauduttiin tällöin muuhun kirjallisuuteen sekä kokemusperäiseen tietoon. Esimerkiksi lumikuormaa määritettäessä käytettiin tiedon lähteenä Marko Kestin diplomityötä, ja lopulta lumikuorma päätettiin jättää laskennassa kokonaan huomioimatta. Putkikuorman ja putkiston kannakevälin suunnittelu tehtiin PSK Standardintyhdistys Ry:n ohjeiden mukaan.

Työn aikana mietittiin useaa toteutusvaihtoehtoa putkisillan vahvistamiseksi, ja erityisesti sillan jäykistäminen sivusuunnassa osoittautui haasteelliseksi. Ensimmäisessä versiossa jäykistys olisi toteutettu asentamalla uudet putkipilarit vanhojen putkipilarien rinnalle ja sitomalla pilarit toisiinsa diagonaalein. Tämän toteutus olisi vaatinut perustusten valamista perusmuurikehän sisäpuolelle ja se oli vaihtoehtoista kaikkein kallein. Toisaalta tämä vaihtoehto olisi ollut myös kaikkein vahvin. Kestin (1991, 7–8.) mukaan teollisuudessa kuormitustilanteet ja käyttötarkoitukset saattavat muuttua hyvinkin nopealla aikavälillä, ja tässä toteutusvaihtoehdossa olisi ollut eniten kapasiteettia mahdollisille muutoksille tulevaisuudessa.

Toisessa toteutusvaihtoehdossa putkisillan jäykistämisessä olisi käytetty hyväksi perusmuurikehän sisäpuolella jo olemassa olevia perustuksia. Silta olisi tuettu

vinosauvoin perustusten päältä. Tämä vaihtoehto olisi ollut kustannuksiltaan kohtuullinen, mutta perustusten alkuperäinen tarkoitus ei ollut putkisillan tukeminen, joten tätä vaihtoehtoa ei toteutettu.

Tämä työ oli erittäin opettavainen prosessi. Työn aikana perehdyin putkisiltojen ja teollisuusputkistojen erityispiirteisiin, sekä Eurokoodin mukaiseen teräsrakenteiden suunnittelutyöhön. Työ opetti kuinka työlästä optimaalisen rakennetyypin valinta ja poikkileikkausten optimointi on. Opin myös millaisia asioita suunnittelussa tulee ottaa huomioon konepajan kannalta sekä työmaan kannalta.

LÄHTEET

Jaakkosela, J. 2014. Putkisillan lämpöliikkeiden aiheuttamien voimien määrittäminen siltalohkojen liitoksille ja kiintopisteille. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Kesti, M. 1992. Teollisuusputkistot. Helsinki: Opetushallitus.

Kesti, M. 1991. Putkisiltojen suunnitteluohjeet ja -järjestelmä. Oulu: Oulun yliopisto.

PSK 7304. 2018. Putkiston kannakointi. Teräsputket. Suositeltavat kannakeväliä. Helsinki: PSK Standardointi.

RIL 201-1-2011. 2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

ROK 2019. 2019. Rakennusosien kustannuksia. Helsinki: Rakennustieto Oy.

SFS-EN ISO 12944-1. 1998. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa1: Yleistä. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 12944-2. 1998. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 12944-4. 1998. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa4: Pintatyypit ja pinnan esikäsitteily. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 8501-1. 2007. Teräspintojen esikäsitteily ennen pinnoitusta maalla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Osa 1: Teräspintojen ruostumisasteet ja esikäsitteilyasteet. Maalaamattomat teräspinnat ja aiemmista maaleista kauttaaltaan puhdistetut teräspinnat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS 5873. 2008. Metallirakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Käyttösuositus prosessi- ja metalliteollisuudelle. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 1991-1-1. 2002. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot ja rakennusten hyötykuormat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 1991-1-4. 2005. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 1991-1-5. 2004. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-5: Yleiset kuormat, Lämpökuormat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 1991-1-7. 2007. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 1993-1-1. 2005. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 1993-1-8. 2005. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS 5363. 2000. Putkiston kannatus. Teräsputket. Suositeltavat kannatusvälit. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.

8/16. 2016. Ympäristöministeriön asetus. Lämpökuormia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1991-1-5. Helsinki: Ympäristöministeriö.

LIITTEET

Liite 1. Tuulikuorma

1 (3)

Tuulen nopeuden modifioimaton perusarvo EN1991-1-4:4.2(1)P, Huom2 Kansallinen liite	$V_{s,0} =$	21 m/s							
Suuntakerroin EN1991-1-4:4.2(2)P, Huom2	$C_{dir} =$	1							
Vuodenaikakerroin EN1991-1-4:4.2(2)P, Huom3	$C_{season} =$	1							
Tuulen nopeuden perusarvo EN1991-1-4:4.2(2)P	$V_s = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{s,0} =$	21 m/s							
Maaston kaltevuus EN1991-1-4: Liite A, A.3, kuva A.2 ja A.3	$\Phi =$	0							
Sijaintikerroin S, EN1991-1-4:A3	$S =$	0,8							
Pinnanmuotokerroin, EN1991-1-4:A3	$C_0 =$	1	0,05	$\Phi < 0,05$	1	$C_0 = 1$			
Maastoluokka EN1991-1-4: 4.3.2 ja A1	Valittu maastoluokka:	2	0,35	$0,05 < \Phi < 0,35$	0,92	$C_0 = 1 + 2 \cdot S \cdot (\Phi - 0,05)$			
Rosisuusmitta EN1991-1-4: 4.3.2 taulukko 4.1	$Z_0 =$	0,05 m							
Minimikorkeus EN1991-1-4: 4.3.2 taulukko 4.1	$Z_{min} =$	2 m							
Maastokerroin EN1991-1-4: 4.3.2 kaava (4.5)	$k_z = 0,19 \cdot \left(\frac{Z_0}{Z_{0,1}}\right)^{0,07}$	0,19	0,19	$\Phi > 0,35$	1,48	$C_0 = 1 + 0,6 \cdot S$			
Maksimikorkeus EN1991-1-4: 4.3.2	$Z_{max} =$	200 m							
Korkeus maan pinnasta EN1991-1-4: 4.3	$z =$	7 m							
	$Z_{min} \leq z \leq Z_{max}$	7 m							
	$\frac{z}{Z_0} =$	140							
	$\ln\left(\frac{z}{Z_0}\right) =$	4,941642423							
Rosisuuskertoimen EN1991-1-4: 4.3.2 kaava (4.4)	$c_s(z) = k_z \cdot \ln\left(\frac{z}{Z_0}\right)$	0,93891206							
Tuulen nopeuden modifioitu perusarvo EN1991-1-4: 4.3.1(1) kaava (4.3)	$V_w(z) = C_s(z) \cdot C_0(z) \cdot V_s =$	19,71715327							
Pyörteisyyskerroin EN1991-1-4: 4.4(1) HUOM 2	$k_f =$	1							
Tuulen puuskien intensiteetti EN1991-1-4: 4.4(1) HUOM2 kaava (4.7)	$I_s(z) = \frac{k_f}{C_s(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{Z_0}\right)}$	0,20236187							
Ilman tiheys EN1991-1-4: 4.5 HUOM2 ja NA	$\rho = 1,25 \frac{kg}{m^3}$	1,25							
Puuskanopeuspaine EN1991-1-4: 4.5 kaava (4.8)	$q_s(z) = [1 + 7 \cdot I_s(z)]^2 \cdot \rho \cdot V_w^2(z) - C_s(z) \cdot q_0$	587,1663898							

Tuulen nopeuden modifioimaton perusarvo
EN1991-1-4:4.2(1)P, Huom2
Kansallinen liite

Manneralue 21 m/s
Merialue 22 m/s
Tunturin lähi 28 m/s
Tunturin jauri 21 m/s

Tuulen nopeuden modifioimaton perusarvo = 21 m/s aina
EN1991-1-4:4.2(1)P, Huom2
Kansallinen liite, muistio 24.3.2010.

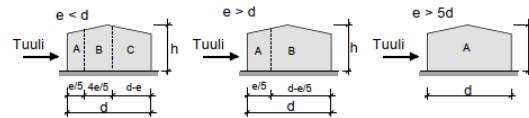
EN1991-1-4: 4.3.2 taulukko 4.1			Valitut arvot	
Maastoluokka	Z_0	Z_{min}	Z_0	Z_{min}
0	0,003	1	0	0
1	0,01	1	0	0
2	0,05	2	0,05	2
3	0,3	5	0	0
4	1	10	0	0
0,19			0,05	2

Korkeudella h:

$h = 7$

Seinät:

EN1991-1-4: 7.2.2, kuva 7.5 ja taulukko 7.1



	A		B			C		D		E	
h/d	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5	0,8	1,0	-0,7	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5	0,8	1,0	-0,5	-0,5	
0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5	0,7	1,0	-0,3	-0,3	

Lineaarinen interpolointi nykyiselle h/d arvolle: -1,2000 -1,4000 -0,8000 -1,1000 -0,5000 -0,5000 0,8000 1,0000 -0,6688 -0,6688
 -1,2000 -1,4000 -0,8000 -1,1000 -0,5000 -0,5000 1,2500 1,0000 -1,4000 -1,4000

h/d	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5	0,8	1	-0,6688	-0,6688
4,375										

Interpolointi A:n arvolle EN1991-1-4: 7.2.1, kuva 7.2 :

A = 200

$$C_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) \cdot \log_{10} A$$

-0,9398	-0,4097	-0,5	0,53979	-0,6688
-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,6688

$$W_e = q_p(z_p) \cdot C_{pe}$$

Ulkoisen paine:

-704,6	-469,73	-293,58	469,733	-392,67
--------	---------	---------	---------	---------

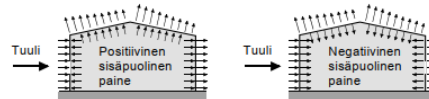
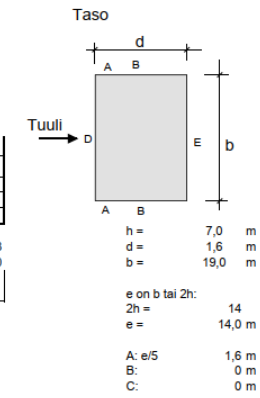
$$W_i = q_p(z) \cdot C_{pi}$$

Sisäisen paineen kertoimet EN1991-1-4: 7.2.9(3)HUOM ja sisäinen paine N/m²



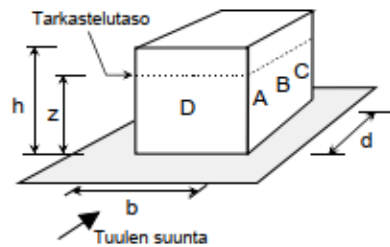
0,2	0,2	0,2	-0,3	0,2
117,433	117,433	117,433	-176,15	117,433

Yhteensä suurin kuorma N/m²; Suunta seinässä D sisäänpäin, muissa seinissä ulospäin.

822,033	587,166	411,016	645,883	510,101
---------	---------	---------	---------	---------



MAX
822,0329

		Rakennelaskelma																			
		Tekijä: J. Ikkala		Sivu: 1(1)																	
Päiväys: 28.3.2019																					
Rakennuskohde: Putkisilta 0	Työ no:	Sisältö: TUULIKUORMAT	Sijainti: 0																		
M10 Tuulikuorma Eurocode EN1991-1-4:n mukaan			Versio 1.5																		
 Toteutettu SKOL Eurocode-laskentapohjahankkeessa 2008-2011																					
Maastoluokka = 2 Tuulen nopeuden perusarvo = 21 Maaston kaltevuus ϕ = 0 Sijaintikerroin S = 0,8 Ilman tiheys ρ = 1,25 kg/m ³ Korkeus maanpinnasta z = 7 m	Rakennuksen mitat: h = 7,0 m d = 1,6 m b = 19,0 m	Sisäisen paineen kertoimet: Ylipaine C _{pi} = 0,20 Alipaine C _{pi} = -0,30 Pinta-ala A = 200 m ²																			
Puuskanopeuspaine: $q_p(z) = 587,2 \text{ N/m}^2$ $q_p(h) = 587,2 \text{ N/m}^2$																					
Kuormat seinässä: Seinässä D suunta on sisäänpäin, muissa ulospäin.	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Kuorma</th> <th>Leveys</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A:</td> <td>822,0 N/m²</td> <td>1,6 m</td> </tr> <tr> <td>B:</td> <td>587,2 N/m²</td> <td>0 m</td> </tr> <tr> <td>C:</td> <td>411,0 N/m²</td> <td>0 m</td> </tr> <tr> <td>D:</td> <td>645,9 N/m²</td> <td>19,0 m</td> </tr> <tr> <td>E:</td> <td>510,1 N/m²</td> <td>19,0 m</td> </tr> </tbody> </table>		Kuorma	Leveys	A:	822,0 N/m ²	1,6 m	B:	587,2 N/m ²	0 m	C:	411,0 N/m ²	0 m	D:	645,9 N/m ²	19,0 m	E:	510,1 N/m ²	19,0 m		
	Kuorma	Leveys																			
A:	822,0 N/m ²	1,6 m																			
B:	587,2 N/m ²	0 m																			
C:	411,0 N/m ²	0 m																			
D:	645,9 N/m ²	19,0 m																			
E:	510,1 N/m ²	19,0 m																			
Kuormat tasakatolla: Positiivinen suunta on ylöspäin.	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Kuorma</th> <th>Leveys</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F:</td> <td>1174,3 N/m²</td> <td>1,4 m</td> </tr> <tr> <td>G:</td> <td>822,0 N/m²</td> <td>1,4 m</td> </tr> <tr> <td>H:</td> <td>528,4 N/m²</td> <td>0,2 m</td> </tr> <tr> <td>I:</td> <td>234,9 N/m²</td> <td>0 m</td> </tr> <tr> <td>I:</td> <td>-293,6 N/m²</td> <td>0 m</td> </tr> </tbody> </table>		Kuorma	Leveys	F:	1174,3 N/m ²	1,4 m	G:	822,0 N/m ²	1,4 m	H:	528,4 N/m ²	0,2 m	I:	234,9 N/m ²	0 m	I:	-293,6 N/m ²	0 m		
	Kuorma	Leveys																			
F:	1174,3 N/m ²	1,4 m																			
G:	822,0 N/m ²	1,4 m																			
H:	528,4 N/m ²	0,2 m																			
I:	234,9 N/m ²	0 m																			
I:	-293,6 N/m ²	0 m																			

Liite 2. Murtorajatila mitoitus

1 (5)

CODE: SFS-EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.
ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 1 Keskipaarre

POINT: 1

COORDINATE: $x = 0.12 L = 2.36 \text{ m}$

LOADS:

Governing Load Case: 8 ULS /48/ 3*1.15 + 5*0.90 + 6*1.50 + 1*1.15

MATERIAL:

S355 (S355) $f_y = 355.00 \text{ MPa}$ 

SECTION PARAMETERS: RRHS 120x120x5

$h=12.0 \text{ cm}$	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=12.0 \text{ cm}$	$A_y=11.20 \text{ cm}^2$	$A_z=11.20 \text{ cm}^2$	$A_x=22.40 \text{ cm}^2$
$t_w=0.5 \text{ cm}$	$I_y=485.00 \text{ cm}^4$	$I_z=485.00 \text{ cm}^4$	$I_x=779.00 \text{ cm}^4$
$t_f=0.5 \text{ cm}$	$W_{ply}=95.45 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=95.45 \text{ cm}^3$	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

$N_{,Ed} = 16.83 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = -0.91 \text{ kN*m}$	$M_{z,Ed} = 1.35 \text{ kN*m}$	$V_{y,Ed} = 0.87 \text{ kN}$
$N_{c,Rd} = 795.20 \text{ kN}$	$M_{y,Ed,max} = -7.91 \text{ kN*m}$	$M_{z,Ed,max} = 1.35 \text{ kN*m}$	$V_{y,T,Rd} = 217.98 \text{ kN}$
$N_{b,Rd} = 32.87 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 33.88 \text{ kN*m}$	$M_{z,c,Rd} = 33.88 \text{ kN*m}$	$V_{z,Ed} = -5.53 \text{ kN}$
	$MN_{,y,Rd} = 33.88 \text{ kN*m}$	$MN_{,z,Rd} = 33.88 \text{ kN*m}$	$V_{z,T,Rd} = 217.98 \text{ kN}$
			$Tt_{,Ed} = -1.37 \text{ kN*m}$
			Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

$L_y = 19.00 \text{ m}$	$\text{Lam}_y = 0.35$
$L_{cr,y} = 1.24 \text{ m}$	$X_y = 0.92$
$\text{Lam}_y = 26.65$	$k_{zy} = 0.54$



About z axis:

$L_z = 19.00 \text{ m}$	$\text{Lam}_z = 4.68$
$L_{cr,z} = 16.64 \text{ m}$	$X_z = 0.04$
$\text{Lam}_z = 357.61$	$k_{zz} = 1.27$

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/MN_{,y,Rd})^{1.66} + (M_{z,Ed}/MN_{,z,Rd})^{1.66} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.03 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\text{Tau}_{,ty,Ed}/(f_y/(\sqrt{3})gM0) = 0.05 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\text{Tau}_{,tz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3})gM0) = 0.05 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Global stability check of member:

$$\text{Lambda}_y = 26.65 < \text{Lambda}_{,max} = 210.00 \quad \text{Lambda}_z = 357.61 > \text{Lambda}_{,max} = 210.00 \quad \text{INSTABLE}$$

$$N_{,Ed}/(X_y \cdot N_{,Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(Mz_{,Rk}/gM1) = 0.26 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{,Ed}/(X_z \cdot N_{,Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(Mz_{,Rk}/gM1) = 0.69 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections

$$u_y = 0.5 \text{ cm} < u_{y,max} = L/200.00 = 9.5 \text{ cm} \quad \text{Verified}$$

$$\text{Governing Load Case: } 11 \text{ SLS /18/ } 3 \cdot 1.00 + 5 \cdot 0.60 + 1 \cdot 1.00 + 7 \cdot 1.00 \quad \text{Verified}$$

$$u_z = 2.4 \text{ cm} < u_{z,max} = L/200.00 = 9.5 \text{ cm} \quad \text{Verified}$$

$$\text{Governing Load Case: } 11 \text{ SLS /17/ } 3 \cdot 1.00 + 5 \cdot 0.60 + 6 \cdot 1.00 + 1 \cdot 1.00$$



Displacements Not analysed

2 (5)

CODE: SFS-EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 70 Reunapalkki

POINT: 1

COORDINATE: $x = 0.74 L = 3.57 \text{ m}$

LOADS:

Governing Load Case: 8 ULS /22/ $3*0.90 + 5*1.50 + 1*1.15 + 7*0.90$

MATERIAL:

S355 (S355) $f_y = 355.00 \text{ MPa}$



SECTION PARAMETERS: RRHS 80x80x4

$h=8.0 \text{ cm}$	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=8.0 \text{ cm}$	$A_y=5.85 \text{ cm}^2$	$A_z=5.85 \text{ cm}^2$	$A_x=11.70 \text{ cm}^2$
$tw=0.4 \text{ cm}$	$I_y=111.00 \text{ cm}^4$	$I_z=111.00 \text{ cm}^4$	$I_x=180.00 \text{ cm}^4$
$tf=0.4 \text{ cm}$	$W_{ply}=33.07 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=33.07 \text{ cm}^3$	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

$N_{,Ed} = 41.62 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = 0.20 \text{ kN}^*\text{m}$	$M_{z,Ed} = 0.15 \text{ kN}^*\text{m}$	$V_{y,Ed} = 0.12 \text{ kN}$
$N_{c,Rd} = 415.35 \text{ kN}$	$M_{y,Ed,max} = 0.20 \text{ kN}^*\text{m}$	$M_{z,Ed,max} = 0.15 \text{ kN}^*\text{m}$	$V_{y,c,Rd} = 119.90 \text{ kN}$
$N_{b,Rd} = 78.22 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 11.74 \text{ kN}^*\text{m}$	$M_{z,c,Rd} = 11.74 \text{ kN}^*\text{m}$	$V_{z,Ed} = -0.09 \text{ kN}$
	$MN_{,y,Rd} = 11.74 \text{ kN}^*\text{m}$	$MN_{,z,Rd} = 11.74 \text{ kN}^*\text{m}$	$V_{z,c,Rd} = 119.90 \text{ kN}$
	$M_{b,Rd} = 11.74 \text{ kN}^*\text{m}$		

Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

$z = 0.00$	$M_{cr} = 134.40 \text{ kN}^*\text{m}$	Curve,LT - d	$XLT = 1.00$
$L_{cr,upp} = 4.82 \text{ m}$	$Lam_{LT} = 0.30$	$f_{i,LT} = 0.49$	$XLT_{mod} = 1.00$

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

$L_y = 4.82 \text{ m}$	$Lam_y = 2.05$
$L_{cr,y} = 4.82 \text{ m}$	$X_y = 0.19$
$Lam_y = 156.49$	$k_{yy} = 1.28$



About z axis:

$L_z = 4.82 \text{ m}$	$Lam_z = 2.05$
$L_{cr,z} = 4.82 \text{ m}$	$X_z = 0.19$
$Lam_z = 156.49$	$k_{yz} = 0.77$

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.10 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{1.68} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.68} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

Global stability check of member:

$$\Lambda_{b,y} = 156.49 < \Lambda_{b,max} = 210.00 \quad \Lambda_{b,z} = 156.49 < \Lambda_{b,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{,Ed}/(X_y * N_{Rk}/gM1) + k_{yy} * M_{y,Ed,max}/(XLT * M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} * M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.56 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{,Ed}/(X_z * N_{Rk}/gM1) + k_{zy} * M_{y,Ed,max}/(XLT * M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} * M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.56 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections

$$u_y = 0.1 \text{ cm} < u_{y,max} = L/200.00 = 2.4 \text{ cm} \quad \text{Verified}$$

$$\text{Governing Load Case: } 11 \text{ SLS /18/ } 3*1.00 + 5*0.60 + 1*1.00 + 7*1.00$$

$$u_z = 0.2 \text{ cm} < u_{z,max} = L/200.00 = 2.4 \text{ cm} \quad \text{Verified}$$

$$\text{Governing Load Case: } 11 \text{ SLS /17/ } 3*1.00 + 5*0.60 + 6*1.00 + 1*1.00$$



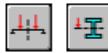
Displacements Not analyzed

ANALYSIS TYPE: Member Verification**CODE GROUP:****MEMBER:** 30 Orsi**POINT:** 1**COORDINATE:** x = 0.50 L = 0.74 m**LOADS:***Governing Load Case:* 8 ULS /46/ 3*1.15 + 4*0.90 + 1*1.15 + 7*1.50**MATERIAL:**S355 (S355) $f_y = 355.00$ MPa**SECTION PARAMETERS: RRHS 120x120x3**

h=12.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=12.0 cm	Ay=6.90 cm ²	Az=6.90 cm ²	Ax=13.80 cm ²
tw=0.3 cm	Iy=312.00 cm ⁴	Iz=312.00 cm ⁴	Ix=488.00 cm ⁴
tf=0.3 cm	Wely=52.00 cm ³	Welz=52.00 cm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 18.07 kN	My,Ed = -0.94 kN*m	Mz,Ed = -2.42 kN*m	Vy,Ed = -2.17 kN
Nc,Rd = 489.90 kN	My,Ed,max = -0.94 kN*m	Mz,Ed,max = -2.42 kN*m	Vy,T,Rd = 137.77 kN
Nb,Rd = 437.69 kN	My,c,Rd = 18.46 kN*m	Mz,c,Rd = 18.46 kN*m	Vz,Ed = 2.02 kN
			Vz,T,Rd = 137.77 kN
	Mb,Rd = 18.46 kN*m		Tt,Ed = 0.43 kN*m
			Class of section = 3

**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:**

z = 0.00	Mcr = 1212.20 kN*m	Curve,LT - d	XLT = 1.00
Lcr,low = 1.48 m	Lam_LT = 0.12	fi,LT = 0.40	XLT,mod = 1.00

BUCKLING PARAMETERS:

About y axis:

Ly = 1.48 m	Lam_y = 0.41
Lcr,y = 1.48 m	Xy = 0.89
Lamy = 31.13	kyy = 0.91



About z axis:

Lz = 1.48 m	Lam_z = 0.41
Lcr,z = 1.48 m	Xz = 0.89
Lamz = 31.13	kyz = 0.91

VERIFICATION FORMULAS:**Section strength check:**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + My_{Ed}/My_{c,Rd} + Mz_{Ed}/Mz_{c,Rd} = 0.22 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

$$\sqrt{(\sigma_{x,Ed})^2 + 3 \cdot (\tau_{z,Ed} + \tau_{tz,Ed})^2} / (f_y/gM0) = 0.22 < 1.00 \quad (6.2.1(5))$$

$$Vy_{Ed}/Vy_{T,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$Vz_{Ed}/Vz_{T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{xy,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.03 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{tz,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.03 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Global stability check of member:

$$\lambda_{b,y} = 31.13 < \lambda_{b,max} = 210.00 \quad \lambda_{b,z} = 31.13 < \lambda_{b,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$My_{Ed,max}/Mb_{Rd} = 0.05 < 1.00 \quad (6.3.2.1(1))$$

$$N_{Ed} / (Xy \cdot N_{Rk}/gM1) + kyy \cdot My_{Ed,max} / (XLT \cdot My_{Rk}/gM1) + kyz \cdot Mz_{Ed,max} / (Mz_{Rk}/gM1) = 0.21 < 1.00 \quad (6.3.3(4))$$

$$N_{Ed} / (Xz \cdot N_{Rk}/gM1) + kzy \cdot My_{Ed,max} / (XLT \cdot My_{Rk}/gM1) + kzz \cdot Mz_{Ed,max} / (Mz_{Rk}/gM1) = 0.20 < 1.00 \quad (6.3.3(4))$$

LIMIT DISPLACEMENTS**Deflections**

$$u_y = 0.0 \text{ cm} < u_y \text{ max} = L/200.00 = 0.7 \text{ cm} \quad \text{Verified}$$

$$\text{Governing Load Case: } 11 \text{ SLS /14/ } 3 \cdot 1.00 + 4 \cdot 0.60 + 6 \cdot 1.00 + 1 \cdot 1.00$$

$$u_z = 0.0 \text{ cm} < u_z \text{ max} = L/200.00 = 0.7 \text{ cm} \quad \text{Verified}$$

$$\text{Governing Load Case: } 11 \text{ SLS /8/ } 3 \cdot 1.00 + 5 \cdot 1.00 + 6 \cdot 0.60 + 1 \cdot 1.00$$

**Displacements Not analyzed**

4 (5)

CODE: SFS-EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.
ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 6 Putkipilari

POINT: 2

COORDINATE: $x = 0.27 L = 1.43 \text{ m}$

LOADS:

Governing Load Case: 8 ULS /49/ $3*1.15 + 5*0.90 + 1*1.15 + 7*1.50$

MATERIAL:

S355 (S355) $f_y = 355.00 \text{ MPa}$



SECTION PARAMETERS: RRHS 120x120x5

$h=12.0 \text{ cm}$	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=12.0 \text{ cm}$	$A_y=11.20 \text{ cm}^2$	$A_z=11.20 \text{ cm}^2$	$A_x=22.40 \text{ cm}^2$
$t_w=0.5 \text{ cm}$	$I_y=485.00 \text{ cm}^4$	$I_z=485.00 \text{ cm}^4$	$I_x=779.00 \text{ cm}^4$
$t_f=0.5 \text{ cm}$	$W_{ply}=95.45 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=95.45 \text{ cm}^3$	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

$N_{,Ed} = 7.11 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = 1.03 \text{ kN}^*\text{m}$	$M_{z,Ed} = -0.71 \text{ kN}^*\text{m}$	$V_{y,Ed} = 0.13 \text{ kN}$
$N_{c,Rd} = 795.20 \text{ kN}$	$M_{y,Ed,max} = 4.03 \text{ kN}^*\text{m}$	$M_{z,Ed,max} = 3.42 \text{ kN}^*\text{m}$	$V_{y,c,Rd} = 229.55 \text{ kN}$
$N_{b,Rd} = 252.54 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 33.88 \text{ kN}^*\text{m}$	$M_{z,c,Rd} = 33.88 \text{ kN}^*\text{m}$	$V_{z,Ed} = 0.72 \text{ kN}$
	$MN_{,y,Rd} = 33.88 \text{ kN}^*\text{m}$	$MN_{,z,Rd} = 33.88 \text{ kN}^*\text{m}$	$V_{z,c,Rd} = 229.55 \text{ kN}$
	$M_{b,Rd} = 33.88 \text{ kN}^*\text{m}$		

Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

$z = 0.00$	$M_{cr} = 531.38 \text{ kN}^*\text{m}$	Curve,LT - d	$XLT = 1.00$
$L_{cr,upp} = 5.30 \text{ m}$	$Lam_{LT} = 0.25$	$f_{i,LT} = 0.47$	$XLT_{mod} = 1.00$

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

$L_y = 5.30 \text{ m}$	$Lam_y = 1.49$
$L_{cr,y} = 5.30 \text{ m}$	$X_y = 0.32$
$Lam_y = 113.90$	$k_{yy} = 0.92$



About z axis:

$L_z = 5.30 \text{ m}$	$Lam_z = 1.49$
$L_{cr,z} = 5.30 \text{ m}$	$X_z = 0.32$
$Lam_z = 113.90$	$k_{yz} = 0.55$

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/MN_{,y,Rd})^{1.66} + (M_{z,Ed}/MN_{,z,Rd})^{1.66} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

Global stability check of member:

$$\Lambda_{b,y} = 113.90 < \Lambda_{b,max} = 210.00 \quad \Lambda_{b,z} = 113.90 < \Lambda_{b,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.12 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{,Ed}/(X_y*N_{,Rk}/gM1) + k_{yy}*M_{y,Ed,max}/(XLT*M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz}*M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.19 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{,Ed}/(X_z*N_{,Rk}/gM1) + k_{zy}*M_{y,Ed,max}/(XLT*M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz}*M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.19 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections Not analyzed



Displacements

$$v_x = 0.2 \text{ cm} < v_{x,max} = L/150.00 = 3.5 \text{ cm}$$

Verified

$$\text{Governing Load Case: } 11 \text{ SLS /5/ } 3*1.00 + 4*1.00 + 1*1.00 + 7*0.60$$

$$v_y = 0.6 \text{ cm} < v_{y,max} = L/150.00 = 3.5 \text{ cm}$$

Verified

$$\text{Governing Load Case: } 11 \text{ SLS /4/ } 3*1.00 + 4*1.00 + 6*0.60 + 1*1.00$$

5 (5)

CODE: SFS-EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.
ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:**MEMBER:** 55 Diagonaali**POINT:** 1**COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m**LOADS:**

Governing Load Case: 8 ULS /9/ 3*1.15 + 4*1.50 + 1*1.15 + 7*0.90

MATERIAL:S355 (S355) $f_y = 355.00$ MPa**SECTION PARAMETERS: RRHS 60x60x3**

h=6.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=6.0 cm	Ay=3.31 cm ²	Az=3.31 cm ²	Ax=6.61 cm ²
tw=0.3 cm	Iy=35.10 cm ⁴	Iz=35.10 cm ⁴	Ix=57.10 cm ⁴
tf=0.3 cm	Wply=13.95 cm ³	Wplz=13.95 cm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N_{Ed} = 9.43 kN
 N_{c,Rd} = 234.66 kN
 N_{b,Rd} = 52.02 kN

Class of section = 1

**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:****BUCKLING PARAMETERS:**

About y axis:

L_y = 3.28 m Lam_y = 1.86
 L_{cr,y} = 3.28 m X_y = 0.22
 Lam_y = 142.23



About z axis:

L_z = 3.28 m Lam_z = 1.86
 L_{cr,z} = 3.28 m X_z = 0.22
 Lam_z = 142.23

VERIFICATION FORMULAS:**Section strength check:**N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.04 < 1.00 (6.2.4.(1))**Global stability check of member:**Lambda_y = 142.23 < Lambda_{max} = 210.00 Lambda_z = 142.23 < Lambda_{max} = 210.00 STABLEN_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.18 < 1.00 (6.3.1.1.(1))**LIMIT DISPLACEMENTS****Deflections**u_y = 0.0 cm < u_{y max} = L/200.00 = 1.6 cm Verified

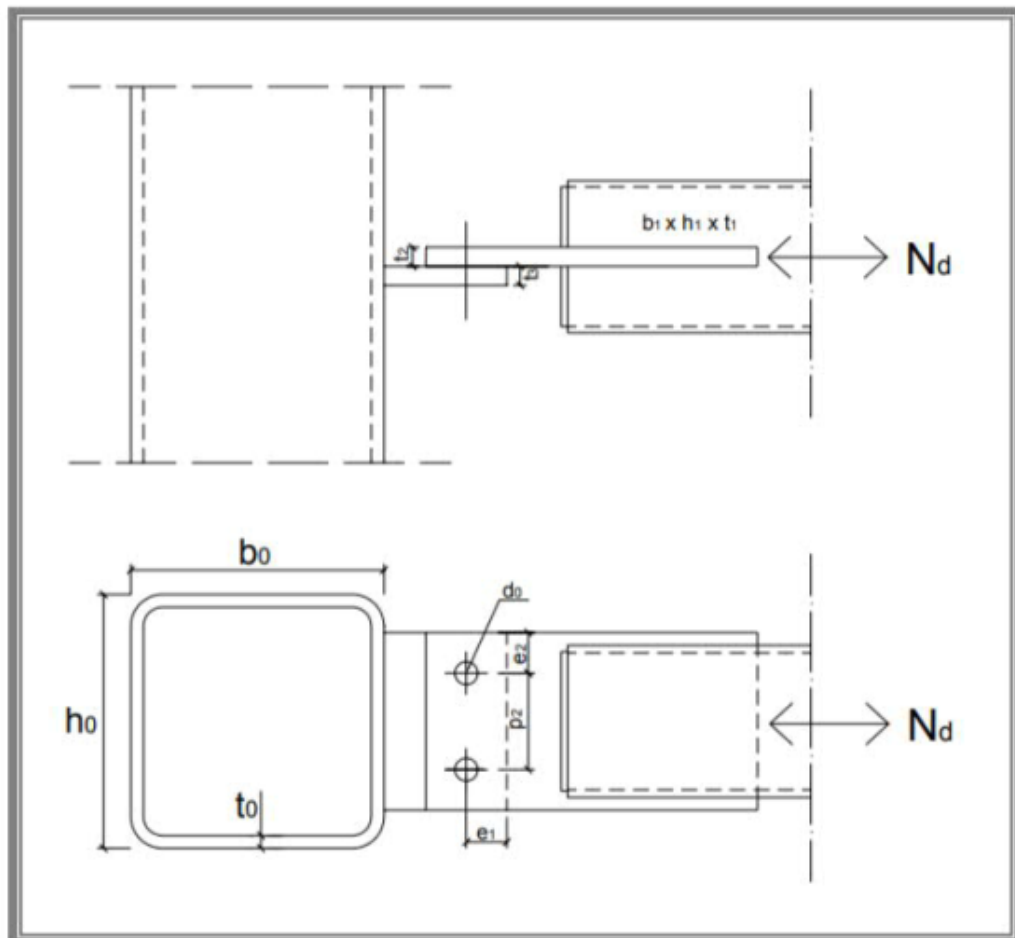
Governing Load Case: 11 SLS /9/ 3*1.00 + 5*1.00 + 1*1.00 + 7*0.60

u_z = 0.0 cm < u_{z max} = L/200.00 = 1.6 cm Verified

Governing Load Case: 11 SLS /15/ 3*1.00 + 4*0.60 + 1*1.00 + 7*1.00



Displacements Not analyzed

VAAKASITEEN LIITOS PUTKIPROFIILIIN**SFS - EN 1993-1-8 MUKAAN**

Lähtötietoja

Liitettävä putkiprofiili	CFRHS 60 x 60 x 3
Profiili johon liitetään	CFRHS 120 x 120 x 4
Liitoslevyt	PL10
Pultit	2 x M20 lujuusluokka 8.8

$$t_2 := 10\text{mm}$$

Liitpslevyn vahvuus

$$t_3 := 10\text{mm}$$

Vastalevyn vahvuus

$$e_1 := 60\text{mm}$$

kts. yllä oleva kuva

$$e_2 := 27.5\text{mm}$$

kts. yllä oleva kuva

$$p_2 := 55\text{mm}$$

kts. yllä oleva kuva

$$d_0 := 22\text{mm}$$

Levyn porattava reikä

$$d := 20\text{mm}$$

Pultin nimellisvahvuus

$$b := 110\text{mm}$$

Liitoslevyjen leveys

$$b_0 := 120\text{mm}$$

Leveys, profiili johon liitetään

$$h_0 := 120\text{mm}$$

Korkeus, profiili johon liitetään

$$t_0 := 4\text{mm}$$

Seinämän vahvuus, profiili johon liitetään

$$b_1 := 60\text{mm}$$

Leveys, liitettävä profiili

$$h_1 := 60\text{mm}$$

Korkeus, liitettävä profiili

$$t_1 := 3\text{mm}$$

Seinämän vahvuus, liitettävä profiili

$$h_{1.1} := 54\text{mm}$$

Sisämitta, liitettävä profiili

$$N_{ed} := 24.53\text{kN}$$

Rasittava normaalivoima

(puristusta)

$$r := 10\text{mm}$$

Pultin säde

$$\alpha_v := 0.6$$

$$n := 2$$

Pulttien lkm.

$$A := 0.78 \cdot \pi \cdot r^2 = 245.044 \cdot \text{mm}^2$$

Pinta - ala bruttopoikkileikkaus

3 (6)

$$f_{ub} := 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Ruuvin vetomurtolujuus

$$f_u := 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Rakenneteräksen vetomurtolujuus

$$f_y := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Rakenneteräksen myötöraja

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Osavarmuusluku, liitokset

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

Osavarmuusluku, poikkileikkasuten kestävyys

Reunaetäisyydet

$$e_{1,\text{min}} := 1.2 \cdot d_0 = 26.4 \text{ mm}$$

$$e_{2,\text{min}} := e_{1,\text{min}} = 26.4 \text{ mm}$$

$$p_{2,\text{min}} := 2.4 \cdot d_0 = 52.8 \text{ mm}$$

Leikkauskestävyys

$$F_{v,\text{rd}} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 94.097 \text{ kN}$$

$$F_{\text{tot},v,\text{rd}} := n \cdot F_{v,\text{rd}} = 188.194 \text{ kN}$$

Reunapuristuskestävyys

$$k_1 := \min\left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) = 1.8$$

$$\alpha_b := \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}\right) = 0.909$$

$$F_{b.rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_2}{\gamma_{M2}} = 133.527 \text{ kN}$$

$$F_{tot.b.rd} := n \cdot F_{b.rd} = 267.055 \text{ kN}$$

Palamurtumiskestävyys

$$A_{nt} := t_2 \cdot (p_2 - d) = 350 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{nv} := 2 \cdot [t_2 \cdot (e_1 - r)] = 1 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$V_{eff.1.rd} := \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 306.767 \text{ kN}$$

Levyn vetokestävyys

$$N_{pl.rd} := \frac{t_2 \cdot b \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 390.5 \text{ kN}$$

5 (6)

Nettopoikkileikkaus

$$A_{\text{net}} := (b - n \cdot d_0) \cdot t_2 = 660 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{\text{u,rd}} := \frac{0.9 \cdot A_{\text{net}} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 242.352 \cdot \text{kN}$$

Ruuviryhmän kestävyys on pienin seuraavista arvoista

$$F_{\text{rd}} := \min(F_{\text{tot.v,rd}} \cdot F_{\text{tot.b,rd}} \cdot V_{\text{eff.1,rd}} \cdot N_{\text{pl,rd}} \cdot N_{\text{u,rd}}) = 188.194 \cdot \text{kN}$$

Ruuviryhmän käyttöaste

$$K_a := \frac{N_{\text{ed}}}{F_{\text{rd}}} = 0.13$$

Putken mitoitus vedolle liitoslevyn kohdalla

$$A_{\text{p,net}} := h_1 \cdot b_1 - h_{1.1} \cdot h_{1.1} - 2 \cdot t_2 \cdot t_1 = 624 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{\text{pl,rd}} := \frac{A_{\text{p,net}} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 221.52 \cdot \text{kN}$$

Käyttöaste

$$K_a := \frac{N_{\text{ed}}}{N_{\text{pl,rd}}} = 0.111$$

Liitoshitsin kestävyys

Neljä yhtä pitkää hitsisaumaa

$$N_{\text{eff.ed}} := \frac{N_{\text{ed}}}{4} = 6.133 \cdot \text{kN}$$

$$\beta_{\text{W}} := 0.9$$

$$L_{\text{W}} := 100 \text{ mm}$$

Hitsin korrelaatiokerroin

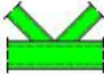

Hitsin pituus

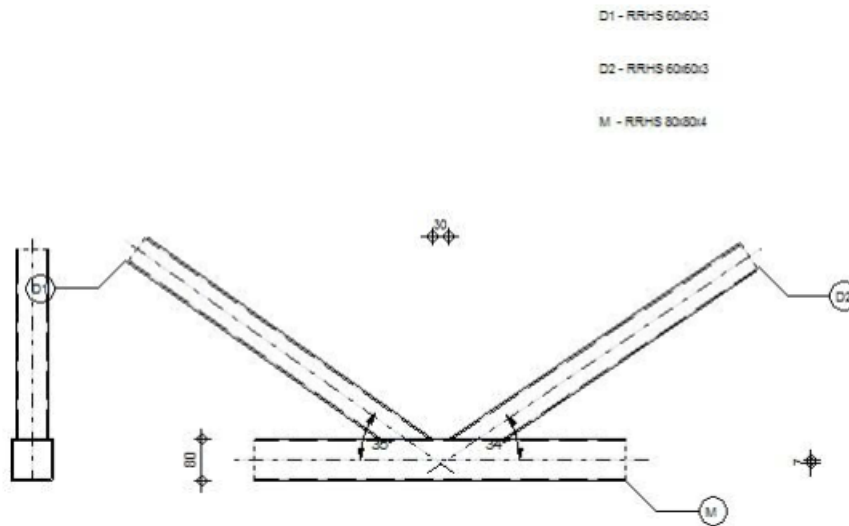
Hitsin ainevahvuus a on oltava vähintään seuraava

$$a := \frac{N_{\text{eff.ed}} \cdot \beta_{\text{W}} \cdot \gamma_{\text{M2}} \cdot \sqrt{3}}{L_{\text{W}} \cdot f_{\text{u}}} = 0.234 \cdot \text{mm}$$

Liite 4. Hitsiliitos (k-liitos)

1 (5)

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015	
	Design of truss node connection EN 1993-1-8:2005/AC:2009	

**GENERAL**

Connection no.: 1
 Connection name: Tube
 Structure node: 71
 Structure bars: 70, 75, 74

GEOMETRY**BARS**

	Chord	Diagonal 1	Diagonal 2	Post	
Bar no.:	70	74	75		
Section:	RRHS 80x80x4	RRHS 60x60x3	RRHS 60x60x3		
	h	80	60	60	mm
	b_f	80	60	60	mm
	t_w	4	3	3	mm
	t_f	4	3	3	mm
	r	4	3	3	mm
Material:	S355	S355	S355		
	f_y	355,00	355,00	355,00	MPa
	f_u	490,00	490,00	490,00	MPa
Angle	θ	0,0	35,2	33,9	Deg
Length	1	4820	1457	1506	mm

OFFSET

$e_0 = 7$ [mm] Offset

SPACINGS

$g_2 = 30$ [mm] Spacing of 2nd diagonal

WELDS

$a_d = 5$ [mm] Thickness of welds of diagonals and posts

LOADS

Case: 8: ULS /8/ $3*1.15 + 4*1.50 + 6*0.90 + 1*1.15$

CHORD

$N_{01,Ed} = 23,34$ [kN] Axial force

$M_{01,Ed} = -0,20$ [kN*m] Bending moment

$N_{02,Ed} = 47,58$ [kN] Axial force

$M_{02,Ed} = -0,20$ [kN*m] Bending moment

DIAGONAL 1

$N_1 = 14,22$ [kN] Axial force

$M_1 = 0,00$ [kN*m] Bending moment

DIAGONAL 2

$N_2 = -15,21$ [kN] Axial force

$M_2 = 0,00$ [kN*m] Bending moment

Shear forces were not included in the connection verification. The connection was designed as a truss node.

RESULTS**CONSIDER NON-AXIAL CONNECTION OF MEMBERS IN THE NODE**

$M_0 = -0,16$ [kN*m] Additional moment from eccentric connection of members $M_0 = (N_{02} - N_{01}) * e_0$

$\Sigma E_{i,j} / L_i = 292991,47$ [kN*m] Overall connection stiffness

$\Delta M_{01} = -0,05$ [kN*m] Additional moment in the chord

$\Delta M_{02} = -0,05$ [kN*m] Additional moment in the chord

$\Delta M_2 = -0,03$ [kN*m] Additional moment in the diagonal

$\Delta M_1 = -0,03$ [kN*m] Additional moment in the diagonal

CAPACITY VERIFICATION EUROCODE 3: EN 1993-1-8:2005

$\gamma_{M5} = 1,00$ Partial safety factor [Table 2.1]

FAILURE MODES FOR JOINTS (RHS CHORD MEMBERS) [Table 7.10] for $N_{i,Rd}$ and [Table 7.14] for $M_{i,Rd}$

GEOMETRICAL PARAMETERS

$\beta = 0,75$ Coefficient taking account of geometry of connection bars $\beta = (b_2 + b_1) / (2 * b_0)$ [1.5 (6)]

$\gamma = 10,00$ Coefficient taking account of geometry of the chord $\gamma = b_0 / (2 * t_0)$ [1.5 (6)]

$k_n = 1,00$ Coefficient taking account of stresses in the chord $k_n = 1.0$

TUBE CHORD FACE FAILURE**DIAGONAL 2**

$$N_{2,Rd} = 214,96 \text{ [kN]} \quad \text{Compression capacity} \quad N_{2,Rd} = 8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^{2 \cdot \sqrt{\gamma}} / \sin(\theta_2) \cdot \beta$$

$$|N_2| \leq N_{2,Rd} \quad | -15,21 | < 214,96 \quad \text{verified} \quad (0,07)$$

$$M_{2,Rd} = 2,61 \text{ [kN*m]} \quad \text{Bending resistance} \quad M_{2,Rd} = k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^{2 \cdot h_2} \cdot [1/(2 \cdot \eta) + 2/\sqrt{1-\beta} + \eta/(1-\beta)] / \gamma_{M5}$$

$$|M_2 + \Delta M_2| \leq M_{2,Rd} \quad | -0,03 | < 2,61 \quad \text{verified} \quad (0,01)$$

$$N_2/N_{2,Rd} + (M_2 + \Delta M_2)/M_{2,Rd} \leq 1 \quad 0,08 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,08)$$

DIAGONAL 1

$$N_{1,Rd} = 207,90 \text{ [kN]} \quad \text{Tension capacity} \quad N_{1,Rd} = 8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^{2 \cdot \sqrt{\gamma}} / \sin(\theta_1) \cdot \beta$$

$$|N_1| \leq N_{1,Rd} \quad | 14,22 | < 207,90 \quad \text{verified} \quad (0,07)$$

$$M_{1,Rd} = 2,61 \text{ [kN*m]} \quad \text{Bending resistance} \quad M_{1,Rd} = k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^{2 \cdot h_1} \cdot [1/(2 \cdot \eta) + 2/\sqrt{1-\beta} + \eta/(1-\beta)] / \gamma_{M5}$$

$$|M_1 + \Delta M_1| \leq M_{1,Rd} \quad | -0,03 | < 2,61 \quad \text{verified} \quad (0,01)$$

$$N_1/N_{1,Rd} + (M_1 + \Delta M_1)/M_{1,Rd} \leq 1 \quad 0,08 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,08)$$

CHORD PUNCHING**DIAGONAL 2**

$$b_{e,p} = 30 \text{ [mm]} \quad \text{Effective width for punching shear} \quad b_{e,p} = (10 \cdot b_2) / (b_0 / t_0)$$

$$N_{2,Rd} = 448,53 \text{ [kN]} \quad \text{Compression capacity} \quad N_{2,Rd} = f_{y0} \cdot t_0 / (\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_2)) \cdot [2 \cdot h_2 / \sin(\theta_2) + b_2 + b_{e,p}] / \gamma_{M5}$$

$$|N_2| \leq N_{2,Rd} \quad | -15,21 | < 448,53 \quad \text{verified} \quad (0,03)$$

DIAGONAL 1

$$b_{e,p} = 30 \text{ [mm]} \quad \text{Effective width for punching shear} \quad b_{e,p} = (10 \cdot b_1) / (b_0 / t_0)$$

$$N_{1,Rd} = 423,77 \text{ [kN]} \quad \text{Tension capacity} \quad N_{1,Rd} = f_{y0} \cdot t_0 / (\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_1)) \cdot [2 \cdot h_1 / \sin(\theta_1) + b_1 + b_{e,p}] / \gamma_{M5}$$

$$|N_1| \leq N_{1,Rd} \quad | 14,22 | < 423,77 \quad \text{verified} \quad (0,03)$$

CHORD SHEAR**DIAGONAL 2**

$$A_v = 6,77 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Shear area of the chord} \quad A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0$$

$$N_{2,Rd} = 248,67 \text{ [kN]} \quad \text{Compression capacity} \quad N_{2,Rd} = f_{y0} \cdot A_v / [\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_2)] / \gamma_{M5}$$

$$|N_2| \leq N_{2,Rd} \quad | -15,21 | < 248,67 \quad \text{verified} \quad (0,06)$$

DIAGONAL 1

$$A_v = 6,77 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Shear area of the chord} \quad A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0$$

$$N_{1,Rd} = 240,51 \text{ [kN]} \quad \text{Tension capacity} \quad N_{1,Rd} = f_{y0} \cdot A_v \sqrt{[\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_1)]} / \gamma_{M5}$$

$$|N_1| \leq N_{1,Rd} \quad |14,22| < 240,51 \quad \text{verified} \quad (0,06)$$

CHORD RESISTANCE

$$V_{pl,Rd} = 138,70 \text{ [kN]} \quad \text{Plastic resistance for shear} \quad V_{pl,Rd} = (A_v \cdot f_{y0}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$$

$$|V_{Ed}| \leq V_{pl,Rd} \quad |8,48| < 138,70 \quad \text{verified} \quad (0,06)$$

$$N_{0,Rd} = 414,90 \text{ [kN]} \quad \text{Tension capacity} \quad N_{0,Rd} = [(A_0 - A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2}] / \gamma_{M5}$$

$$|N_{02}| \leq N_{0,Rd} \quad |47,58| < 414,90 \quad \text{verified} \quad (0,11)$$

VERIFICATION OF WELDS**DIAGONAL 2**

$$\beta_w = 0,89 \quad \text{Correlation coefficient} \quad [\text{Table 4.1}]$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad \text{Partial safety factor} \quad [\text{Table 2.1}]$$

Longitudinal weld

$$\sigma_{\perp} = -3,58 \text{ [MPa]} \quad \text{Normal stress in a weld}$$

$$\tau_{\perp} = -3,58 \text{ [MPa]} \quad \text{Perpendicular tangent stress}$$

$$\tau_{\parallel} = -7,53 \text{ [MPa]} \quad \text{Tangent stress}$$

$$|\sigma_{\perp}| \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} \quad |-3,58| < 352,80 \quad \text{verified} \quad (0,01)$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad 14,88 < 441,69 \quad \text{verified} \quad (0,03)$$

Transverse inner weld

$$\sigma_{\perp} = -3,67 \text{ [MPa]} \quad \text{Normal stress in a weld}$$

$$\tau_{\perp} = 2,36 \text{ [MPa]} \quad \text{Perpendicular tangent stress}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,00 \text{ [MPa]} \quad \text{Tangent stress}$$

$$|\sigma_{\perp}| \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} \quad |-3,67| < 352,80 \quad \text{verified} \quad (0,01)$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad 5,50 < 441,69 \quad \text{verified} \quad (0,01)$$

Transverse outer weld

$$\sigma_{\perp} = 2,36 \text{ [MPa]} \quad \text{Normal stress in a weld}$$

$$\tau_{\perp} = -3,67 \text{ [MPa]} \quad \text{Perpendicular tangent stress}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,00 \text{ [MPa]} \quad \text{Tangent stress}$$

$$|\sigma_{\perp}| \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} \quad |2,36| < 352,80 \quad \text{verified} \quad (0,01)$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad 6,78 < 441,69 \quad \text{verified} \quad (0,02)$$

DIAGONAL 1

$$\beta_w = 0,89 \quad \text{Correlation coefficient} \quad [\text{Table 4.1}]$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad \text{Partial safety factor} \quad [\text{Table 2.1}]$$

Longitudinal weld

$$\sigma_{\perp} = 3,54 \text{ [MPa]} \quad \text{Normal stress in a weld}$$

$$\tau_{\perp} = 3,54 \text{ [MPa]} \quad \text{Perpendicular tangent stress}$$

$$\tau_{\parallel} = 7,08 \text{ [MPa]} \quad \text{Tangent stress}$$

$$|\sigma_{\perp}| \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} \quad |3,54| < 352,80 \quad \text{verified} \quad (0,01)$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad 14,16 < 441,69 \quad \text{verified} \quad (0,03)$$

5 (5)

Transverse inner weld

$\sigma_{\perp} =$	3,66	[MPa]	Normal stress in a weld			
$\tau_{\perp} =$	-1,99	[MPa]	Perpendicular tangent stress			
$\tau_{\parallel} =$	0,00	[MPa]	Tangent stress			
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$				3,66 < 352,80	verified	(0,01)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$				5,02 < 441,69	verified	(0,01)

Transverse outer weld

$\sigma_{\perp} =$	-1,99	[MPa]	Normal stress in a weld			
$\tau_{\perp} =$	3,66	[MPa]	Perpendicular tangent stress			
$\tau_{\parallel} =$	0,00	[MPa]	Tangent stress			
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$				-1,99 < 352,80	verified	(0,01)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$				6,64 < 441,69	verified	(0,02)

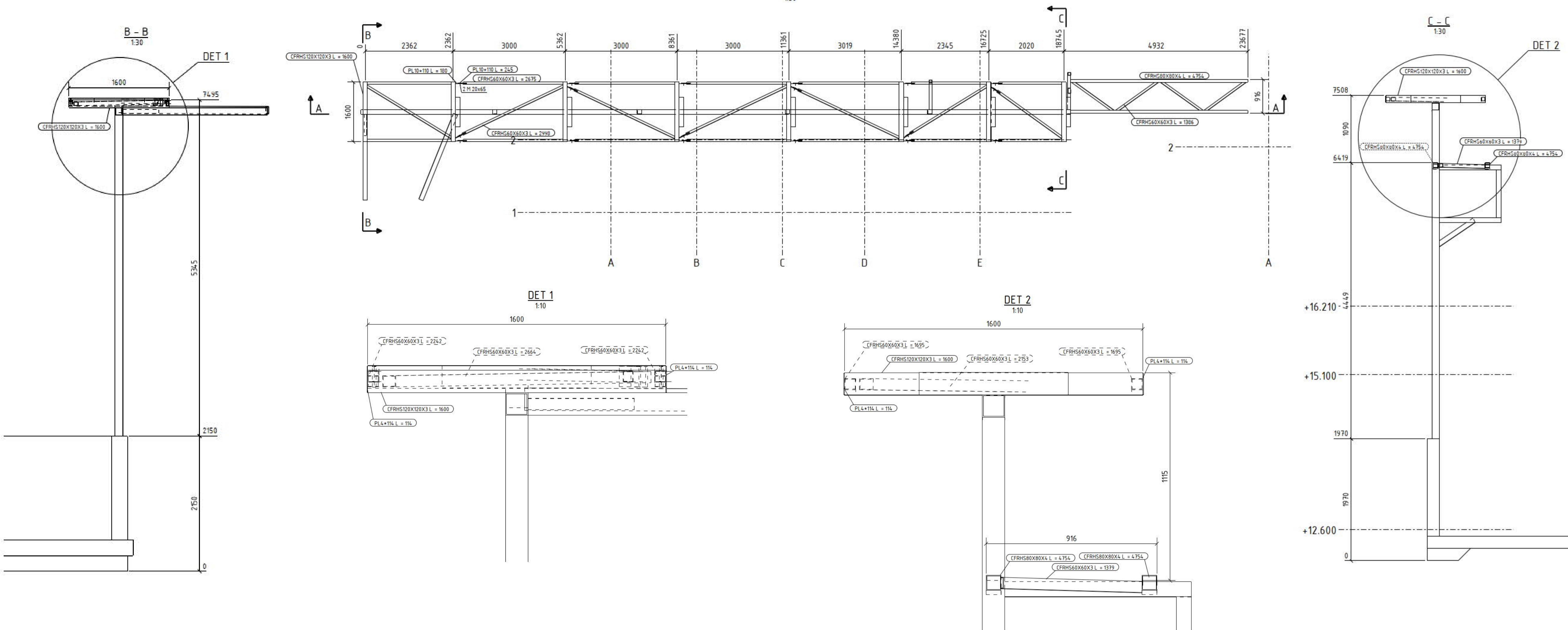
Connection conforms to the code

Ratio 0,11

Liite 5. Rakennepiirustukset

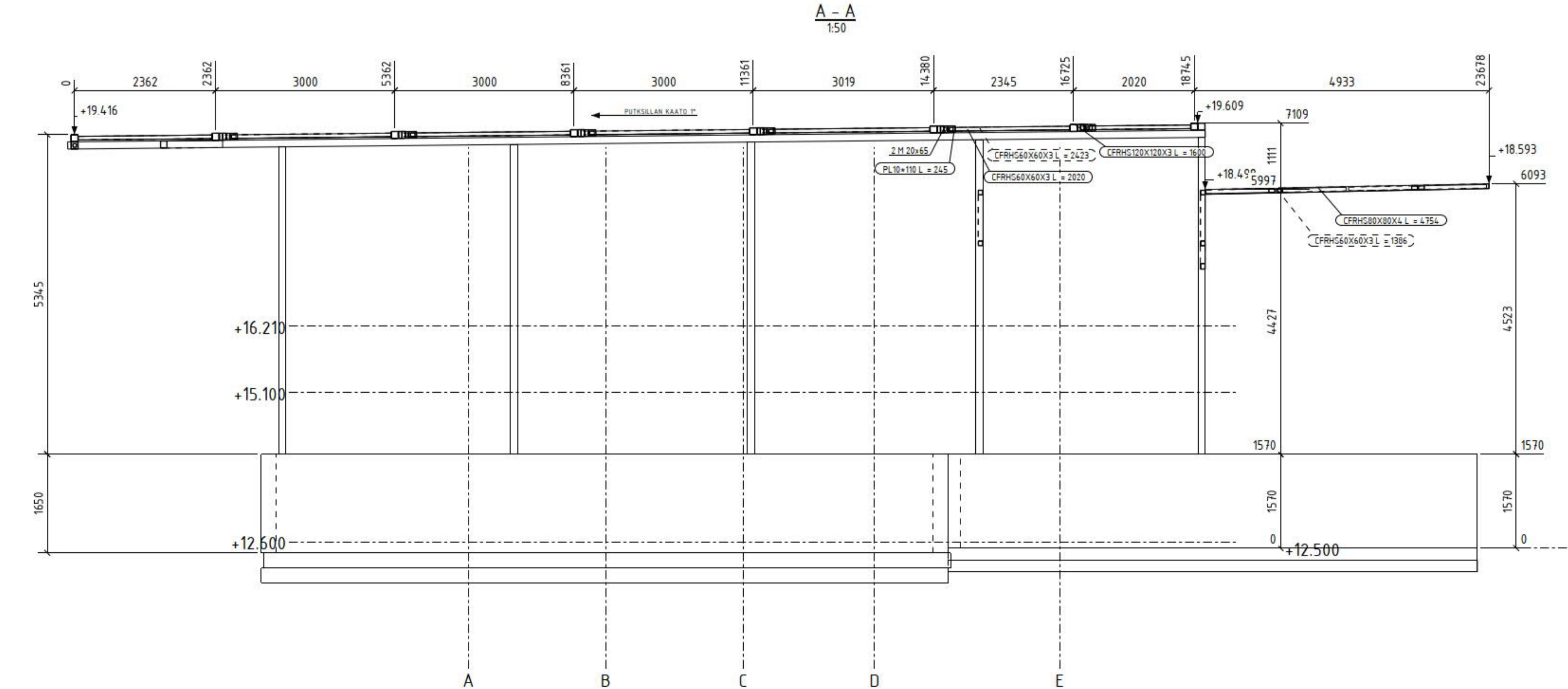
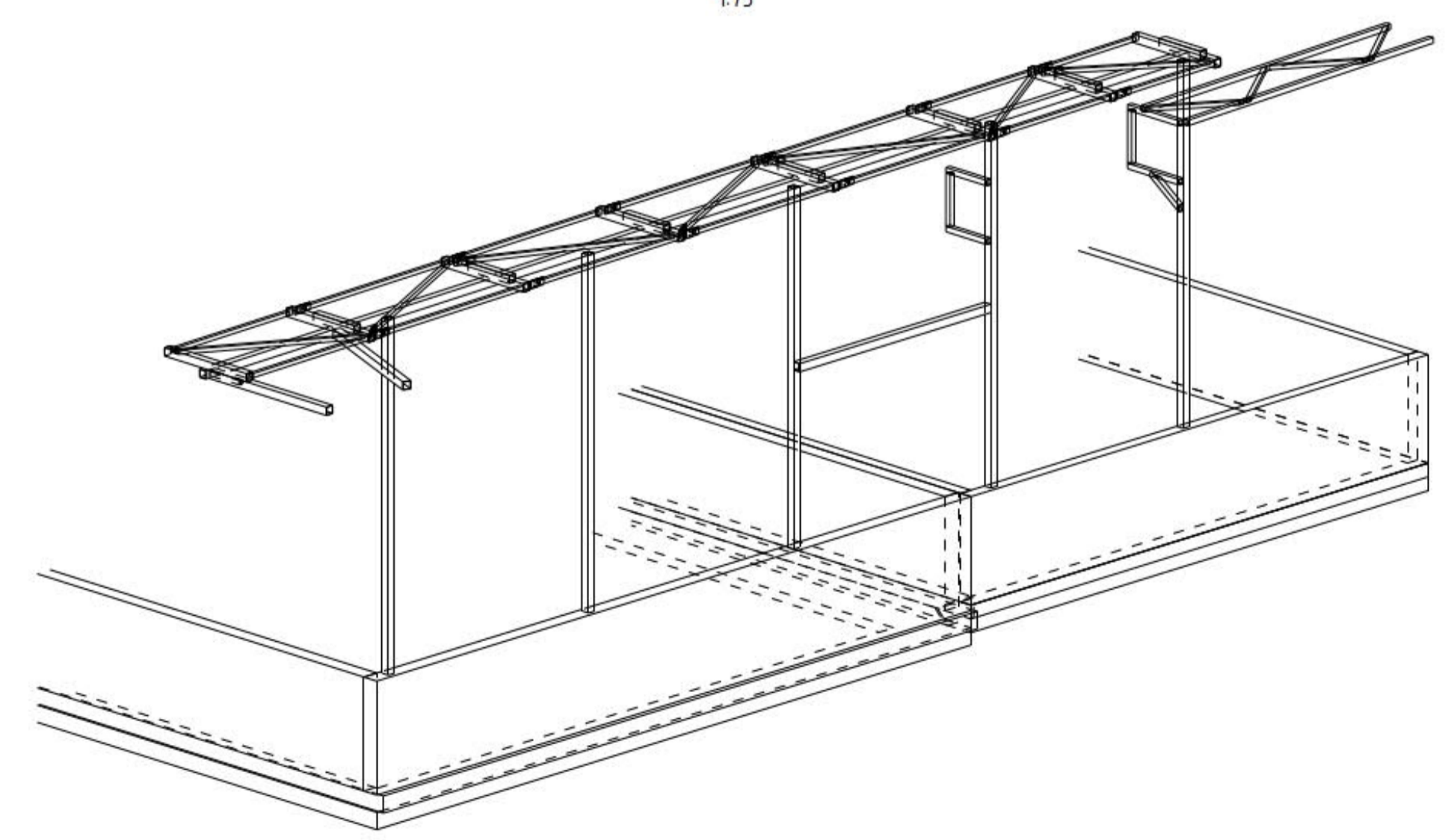
PUTKISILTA VAHVISTUS

1:50



HAVAINNEKUVA

1:75



VIROKUNNASTIEDOT:
 Rakennusluokka: 2
 Rasitusluokka: C4
 Hitsausluokka: C SFS-EN25817
 Paloluokka: P3
 Suunnittelunormi: Eurokoodi

TERÄSLAJIT:
 Hitsatut profiilit: S355J2G3
 Kuumavaihsatut profiilit: S355J2G3
 L- ja U-profiilit: S235JR2
 Rakennemuiket: S355J2H
 Levyt: S355J2G3
 Vedetyt levyt t=25mm: S355J2G3-Z25

ASENNUSTIEDOT:
 Pintakäsittely:
 EPI(Zn) EPPUR 200/3-FeSa2,5
 Varisavy: RR35 Sininen

KUORMAT:
 Lumikuorma SFS-EN 1991-1-3 + Suomen NA
 Tuulikuorma SFS-EN 1991-1-3 + Suomen NA
 Hyötykuormat
 Putkiston ja kaapelien paino
 putkistosuunnittelijan mukaan
 KIINNIKKEET:
 Pultit: EN ISO 4014
 Mutterit: EN ISO 4032
 Alustevyöt: EN ISO 7019, DIN7989
 HUOM: Kaikki kiinnikkeet ovat kuumasinkittyjä
 Ruuvien kiristysvaantomentitit:
 Lujuusluokka 8.8
 M12 80 Nm
 M16 200 Nm
 M20 380 Nm
 M24 650 Nm
 M27 960 Nm
 M30 1300 Nm

SUUNNITTELUKÄYTTÖKÄ: STANDARDI SFS-EN 1990: EUROCODE.
 RAKENTEIDEN SUUNNITTELUKÄYTTÖKÄ: BY 50v.

BETONI LUJUUSLUOKKA: RAKENTEET YLEENSÄ:
 C25/30 ANTURAT YLEENSÄ
 C28/35 PERUSPILARIT YLEENSÄ
 C30/37 ANTURAT JA PERUSPILARIT, MAANPinnan
 YLÄPUOLELLE JAAVAT OSAT

LISÄVAATIMUKSET: PAKKASENKESTÄVÄ, JAÄTYMISELLE ALLTTI RAKENTEET
 SEMENTTILAATU JA -MAARA, AGGRESSIIVISET OLOSUHTHEET
 -VESITIIIVIS, KANAALIT JA KUILUT

SUURIN SALLITTU RAEKOKO: Ø16mm PV-RAKENTEET YLEENSÄ

RASITUSLUOKAT: RAKENTEET YLEENSÄ:
 XC2 PERUSTUKSET MAAN ALLA YLEENSÄ
 XC4, XD1, XF3 PERUSTUKSET MAANPinnan
 YLÄPUOLELLE JAAVAT OSAT

BETONIPITTEEN NIMELLISARVO c: SALLITTU MITTAPOIKKEAMA 10mm
 35mm ALTAAT, PUMPPAUSKAIVOT, PV-SEINÄT, PV-LAATAT
 ANTURAT JA PERUSPILARIT YLEENSÄ
 50mm RAKENTEET SUORAAN MAATA VASTEN VALETTAESSA
 40mm PERUSMUURIT

TERÄSLAADUT: TOLERANSIT: KS BY39
 T-B500B HARJATERÄS
 K-B500K VERKOT
 E-B600XK RUOSTUMATON HARJATERÄS

MAAPOHJAN KANTAVUUS dSALL: MAANVARAISESTI MOREENIKERROKSEN VARASSA 200 kN/m2

KOROT: PIIRUSTUKSEN ILMOITETUT KOROT
 OVAT RAAKAVALUN YLÄPinnan KORKOJA

Muutos	Päivitys	Piir. tekijä	Tark.	Hyväks.	Selitys
Numero	Päivä	Day	Design	Checked	Appr.
<p>PROJEKTI: PUTKISILTA VAHVISTUS</p> <p>MITTAPUOLISKA: 1:10</p> <p>MITTAPIIRUSTUS: 1:30</p> <p>MITTAPIIRUSTUS: 1:50</p> <p>MITTAPIIRUSTUS: 1:75</p> <p>Proj. J. IKKALA 16.04.2019</p> <p>J. JAAKKOSELA</p> <p>PÖYRY FINLAND OY Hämeenkatu 22 A FI-00200 TAMPERE, Finland Tel: +358 10 3311 Fax: +358 10 332531</p> <p>RAK</p> <p>THIS DRAWING HAS BEEN FURNISHED BY E I DU PONT DE NEMOURS CO. THE INFORMATION AND KNOW-HOW THEREON MAY NOT BE USED NOR THE DRAWING REPRODUCED WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF DU PONT. ALL REPRODUCTIONS IN WHOLE OR IN PART, INCLUDING VENDOR'S SHOP DRAWING, SHALL BEAR OR REFER TO THIS STAMP.</p>					
Piir.	16.04.2019	J. IKKALA			
Disaini	16.04.2019	J. IKKALA			
Tark.	16.04.2019	J. JAAKKOSELA			
Hyväks.	16.04.2019				
TEHDAS	FACTORY				
PROJEKTI	PROJECT DESCRIPTION				
OSASTO	DEPARTMENT				
KOKO	DRAWING NUMBER				
MITTAPIIRUSTUS	DRAWING NUMBER				
MITTAPIIRUSTUS	DRAWING NUMBER				