



Karelia-ammattikorkeakoulu
Rakennusinsinööri (AMK)

Kevytrakenteinen teräskatos

Kalle-Valtteri Paavilainen

Opinnäytetyö, Toukokuu 2023

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023
Rakennustekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Kalle-Valtteri Paavilainen

Nimeke
Kevytrakenteinen teräskatos

Toimeksiantaja
MM Kotkamills Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä suunniteltiin teräskatos tilaajan tarpeiden mukaan. Työn teoriaosuudessa käydään läpi rakennushankkeen vaiheet, teräsrakentaminen, rakenteiden suunnittelu ja mitoitus eurokoodien mukaan. Teoriaosuuden pääpaino on eurokoodien mukaisessa mitoituksessa ja kuormien määrittämisessä.


Teoriaosuuden alussa käydään läpi rajatilamitoitus, johon kuuluu murto- ja käyttörajatilat. Edellä mainittuja rajatiloja tarkastellaan rakenneosien mitoituksessa, joka käydään läpi teoriaosuuden loppupuolella. Ennen mitoituksen läpikäymistä tarkastellaan kuormien määrittäminen, jotka ovat tuuli- ja lumikuormat sekä kiinteät kuormat.

Opinnäytetyön lopussa käydään läpi työn kohteen kuormat ja suunnitellun rakenteen mitoitus. Mitoitetusta rakenteesta saadaan määrälaskenta, jonka perusteella saadaan mietittyä kustannuksia.

Kieli
suomi

Sivuja 50
Liitteet 1
Liitesivumäärä 16

Asiasanat
mitoitus, teräsrakentaminen, rakennushankkeet

 <p>Karelia UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</p>	<p>THESIS April 2023 Degree Programme in Construction Engineering</p> <p>Tikkarinne 9 80200 JOENSUU FINLAND + 358 13 260 600 (switchboard)</p>
<p>Author (s) Kalle-Valtteri Paavilainen</p>	
<p>Title Light frame steel canopy</p> <p>Commissioned by MM Kotkamills Oy</p>	
<p>Abstract</p> <p>Idea of this thesis was design steel canopy to meet the needs of Kotkamills. In the theoretical part of the work, the phases of the construction project are reviewed also steel construction, structural design and dimensioning according to Eurocodes are reviewed. The main focus of the theory part is on dimensioning according to Eurocodes and determination of loads.</p> <p>At the beginning of the theory part, limit state dimensioning is reviewed, which includes ultimate and service limit states. The above-mentioned limit states are examined in the dimensioning of structural parts, which is reviewed at the end of the theory section. Wind- and snow loads as well as solid loads are considered before dimensioning.</p> <p>At the end of the thesis, the loads of the work object and the dimensioning of the planned structure will be reviewed. A quantity calculation is obtained from the dimensioned structure, on the basis of which costs can be thought about.</p>	
<p>Language Finnish</p>	<p>Pages 50 Appendices 1 Pages of Appendices 16</p>
<p>Keywords dimensioning, steel construction, construction projects</p>	

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Rakennushankkeen vaiheet.....	6
3	Rajatilamitoitus	7
3.1	Murtorajatilamitoitus.....	7
3.2	Käyttörajatilamitoitus.....	8
4	Kuormat	8
4.1	Lumikuormat.....	8
4.2	Tuulikuormat.....	11
4.2.1	Kokonaistuulivoima voimakertoimien avulla.....	12
4.2.2	Tuulikuorma painekertoimien avulla	13
4.3	Pysyvät kuormat	16
5	Teräsrakentaminen	16
5.1	Teräsrakentaminen yleisesti	16
5.2	Konepajavaihe	16
5.3	Työmaavaihe	17
6	Teräsrakenteen mitoitus	18
6.1	Teräsrakenteen mitoituksesta yleisesti	18
6.2	Poikkileikkausluokat.....	18
6.3	Palkin mitoitus.....	20
6.3.1	Taivutusmomentti	20
6.3.2	Leikkausvoima	20
6.3.3	Palkin kiepahduskestävyys	21
6.4	Pilarin mitoitus	22
6.4.1	Puristusvoima	22
6.4.2	Nurjahduskestävyys.....	22
6.4.3	Sauvojen yhdistetty taivutus ja puristus	25
6.5	Vetotangon mitoitus	25
7	Kantavan rungon suunnittelu	26
7.1	Liitosten suunnittelu	26
7.2	Hitsiliitokset.....	26
7.3	Pulttiliitokset.....	27
8	Opinnäytetyön rakennushanke	33
8.1	Tarveselvitys.....	33
8.2	Tilaohjelma	33
8.3	Vaihtoehto 1.....	34
8.4	Vaihtoehto 2.....	36
9	Katoksen rakennesuunnittelu.....	38
9.1	Katoksen lumikuormat	38
9.2	Katoksen tuulikuormat	39
9.2.1	Kokonaistuulikuorma opinnäytetyössä.....	39
9.2.2	Painekertoimet opinnäytetyössä	39
9.3	Katoksen kiinteät kuormat	42
9.4	Kantavan rungon mitoitus	42
9.5	Katoksen pulttiliitokset	44
9.6	Katoksen hitsiliitokset	44
9.7	Pohjalevyn mitoitus	45
9.8	Katto ja seinäpeltien määrittäminen.....	46

9.9	Opinnäytetyön määrälaskenta	47
9.10	Kustannusten arviointi	48
10	Pohdinta.....	49
	Lähteet.....	50

Liite.

Liite 1. Katoksen rakennekuvat

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää toimeksiantajalle kustannustehokas ratkaisu kevyelle teräskatokselle. Tarkoituksena oli suunnitella teräskatos niin, että se olisi purettavissa ja siirrettävissä helposti eri tarpeiden mukaan.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään erilaisiin teräsrakenteisiin ja materiaaleihin.

Opinnäytetyössä tutkitaan myös teräsrakenteiden eri pinnoitteita ja niiden rakenteiden liitoksia.

MM Kotkamills on kuluttajapakkauskartonkien, laminaattipapereiden ja sahatavara tuotantoon erikoistunut metsäteollisuusyrittäjä. MM Kotkamills kuuluu itävaltalaiseen Mayer-Melnhof (MM)-konserniin. (Kotkamills. n.d.)

2 Rakennushankkeen vaiheet

Rakennushankkeen aloittaa rakennuttaja, kiinteistönsijoittaja tai -kehittäjä ja sen vaiheita ovat tarveselvitys, hankesuunnittelu, ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu, toteutussuunnittelu, rakentaminen, käyttöönotto ja takuu aika.

Tarveselvityksessä selvitetään tilojen tarve ja niiden vaatimukset, selvitetään eri käyttövaihtoehdot ja arvioidaan niiden edullisuus.

Hankesuunnittelussa asetetaan hankkeen tavoitteet, jotka koskevat laajuutta, kustannuksia, toimivuutta, laatua ja ylläpitoa.

Ehdotussuunnittelussa tehdään eri vaihtoehdot suunnitteluratkaisuista.

Yleissuunnittelussa tehdään ehdotussuunnitelmasta toteutuskelpoinen yleissuunnitelma.

Toteutussuunnittelussa yleissuunnitelmasta tehdään hankinta- ja rakentamiskelpoinen suunnitelma. Suunnitelmat on mitoitettuja ja sisältävät tuotemäärittelyt.

Rakentamisvaiheessa varmistetaan sopimusten mukainen toteutus, tavoitteiden täytyminen. Rakentamisvaihe päättyy vastaanottopäätökseen, jossa rakennus todetaan valmiiksi.

Käyttöönotossa varmistetaan rakennuksen järjestelmien toiminta ja opastetaan käyttäminen.

Takuuajana tehdään takuuajan säädöt ja korjataan mahdolliset puutteet, jotka huomataan takuuajan tarkastuksissa.

(RT 10-112284, 2017)

3 Rajatilamitoitus

3.1 Murtorajatilamitoitus

Murtorajatilat koskevat rakenteiden varmuutta tai ihmisten turvallisuutta. Murtorajatiloja ovat rakenteen tai sen osan tasapainon menetys, rakenteen katkeaminen, murtuminen tai rakenteen väsymisestä johtuva vaurioituminen.

(RIL 201-1-2017, 29).

Murtorajatilamitoituksessa valitaan rakenteelle seuraamusluokka, joita ovat CC3, CC2 ja CC1. Seuraamusluokan perusteella valitaan kuormakerroin (K_{FI}) Kuormakerrointa ei käytetä käyttörajatilatarkastelussa. Opinnäytetyössä kohteen seuraamusluokka oli CC2 ja K_{FI} kerroin 1,0.

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 - konserttisalit, teatterit, urheilu- ja näytelyhallit, katsomot - raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset. Erikoisrakenteet, kuten esim. korkeat tornit. Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet, jotka sijaitsevat siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä erityisesti hienorakeisten maalajien alueilla.	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 merkitysettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset ²⁾ rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä ³⁾ , kuten esim. pienehköt varastot ja maatalouden tuotantorakennukset, joiden pinta-ala on enintään 300 m ² tai suurin jännevälillä enintään 6 metriä. 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.	RC1 $K_{FI} = 0,9$

Taulukko 1. Seuraamusluokka ja kuormakerroin (RIL 201-1-2017, 26).

3.2 Käyttörajatilamitoitus

Käyttörajatiloina katsotaan rajatilat, jotka liittyvät rakenteen tai sen osien ulkonäköön ja toimintaan normaalikäytössä. Käyttörajatilat voivat liittyä myös ihmisten mukavuuteen. Käyttörajatila tarkastelussa tarkastellaan ulkonäköön, käyttäjien mukavuuteen, teknisten järjestelmien ja rakenteen toimivuuteen vaikuttavia värähtelyitä, siirtymiä ja vaurioita. (RIL 201-1-2017, 26).

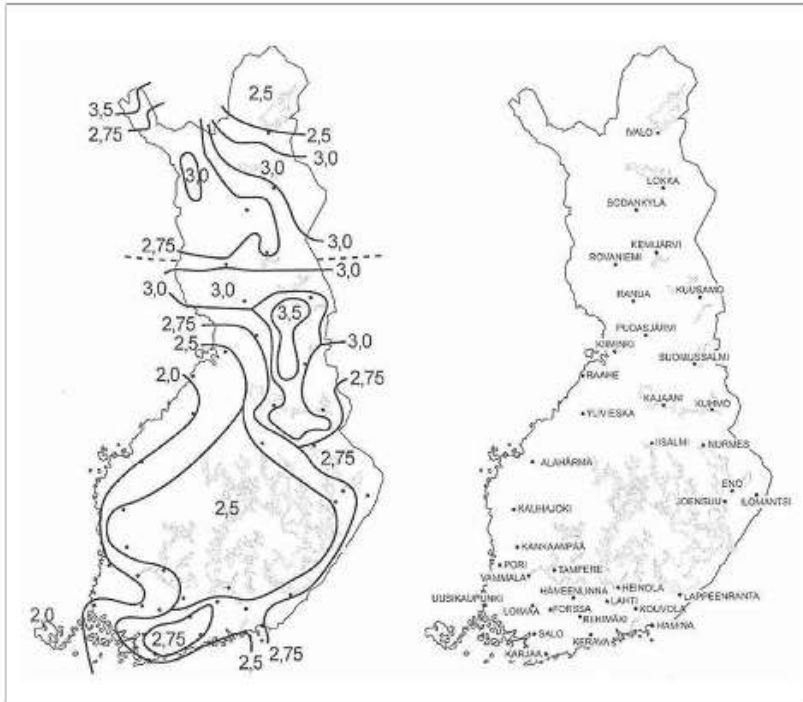
4 Kuormat

4.1 Lumikuormat

Lumikuormat ovat lumen massasta johtua kuormituksia. Kuvio 2 kuvaa lumikuorman arvoa eri puolilla Suomea.

Lumikuormien määrittäminen aloitettiin valitsemalla taulukosta 3 paikkakuntakohtainen ominaisarvo maassa olevalle lumikuormalle (S_k).

(RIL 201-1-2017)



Kuvio 2. Lumikuormat maanpinnalla (RIL 201-1-2017, 98).

Kotka	2,65	Loppi	2,75	Orivesi	2,50
Kouvola	2,50	Loviisa	2,50	Oulainen	2,15
Kristiinankaupunki	2,50	Luhanka	2,50	Oulu	2,45
Kruunupyy	2,20	Lumijoki	2,25	Outokumpu	2,60
Kuhmo	3,00	Lumparland	2,00	Padasjoki	2,50
Kuhmoinen	2,50	Luoto	2,00	Paimio	2,60
Kumlinge	2,00	Luumäki	2,75	Paltamo	3,30
Kuopio	2,50	Luvia	2,00	Parainen	2,50

Taulukko 3. Paikkakuntaakohtaiset lumikuormat (RIL 205-1-2017, 208).

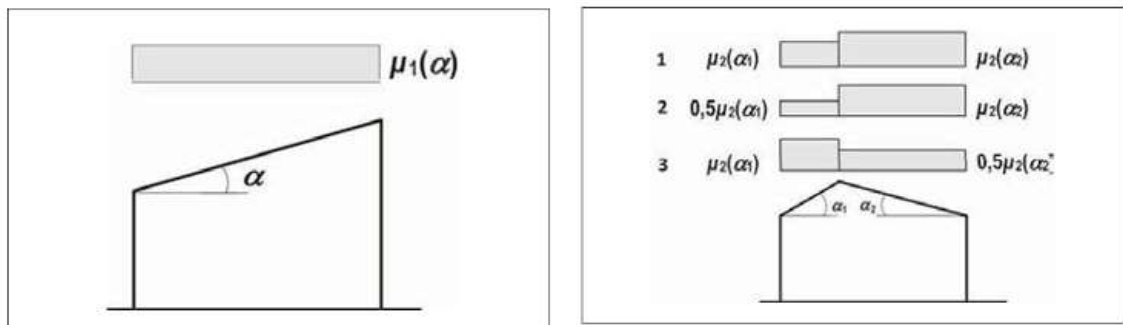
Lumikuorman suuruuteen vaikuttaa ominaisarvon lisäksi myös katonmuoto. Katon tyyppi otetaan huomioon katonmuotokerrointa valittaessa.

Taulukossa 4 esitetään muotokertoimet harja-, pulpetti- ja sahakatoille. Muotokertoimet ovat voimassa kun, lumen liukumista katolta ei estetä.

Katon kaltevuuskulma α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1, μ_2	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_3	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	1,6

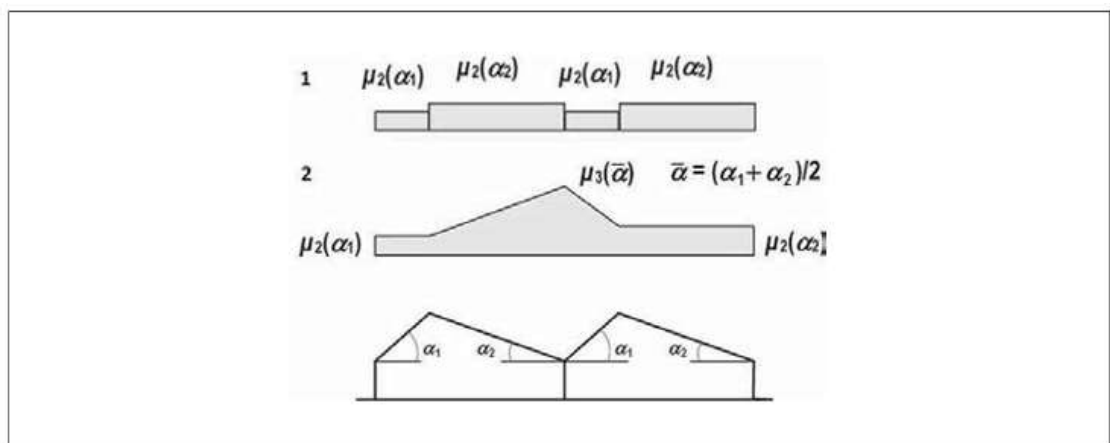
Taulukko 4. Lumikuorman muotokerroin (RIL 201-1-2017, 102).

Taulukossa 5 esitetään muotokertoimet pulpetti ja harjakattoille.



Taulukko 5. Pulpetti ja harjakatto (RIL 201-1-2017, 102).

Taulukossa 6 esitetään muotokertoimet sahakatolle.



Taulukko 6. Sahakaton muotokaavio (RIL 201-1-2017, 103).

Näillä tiedoilla saadaan lumikuormamääritettyä kaavalla 1.

$$S = \mu_i S_k \quad (1)$$

S = katonlumikuorma

μ_i = katonmuotokerroin

S_k = maassa olevan lumikuorman ominaisarvo kN/m²

4.2 Tuulikuormat

Umpinaisissa rakenteissa tuulikuormat aiheuttavat painetta rakenteiden ulkopintoihin ja välillisesti sisäpintoihin. Avoimissa rakenteissa ne voi vaikuttaa myös suoraan sisäpintoihin.

Tuulikuomien laskeminen alkaa maastoluokan valinnalla. Maastoluokkia on viisi eri luokkaa. Maastoluokkaan vaikuttaa rakennuksen sijainti, kasvillisuus ja ympärillä olevat rakennukset tai esteet. Maastoluokat esitetään taulukossa 7.

Maastoluokka 0

Meri, avoimen meren äärellä oleva rannikkoalue



Maastoluokka I

Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä



Maastoluokka II

Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta, kuten heinää tai ruohoa ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), jotka ovat vähintään esteen 20-kertaisen korkeuden etäisyydellä toisistaan



Maastoluokka III

Alue, jolla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä esteitä, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä)



Maastoluokka IV

Alue, jolla vähintään 15 % alasta on rakennusten peitossa ja joiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m



Taulukko 7. Maastoluokat (SFS-EN 1991-1-4 2011, 158).

Tuulikuormaa laskiessa maastoluokan selvityksen jälkeen selvitetään puuskannoepuspaine. Puuskannoepuspaine saadaan selville taulukosta 8 rakennuksen korkeuden ja maastoluokan avulla.

Taulukko 4.2S. Puuskannoepuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(z)$ [kN/m^2] eri maastoluokissa (= $q_p(z)$ tasaisessa maastossa, $c_0 = 1$ ja $\gamma_D = 1$).

z (m)	Maastoluokka				
	0	I	II	III	IV
0	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
1	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
2	0,78	0,52	0,39	0,35	0,32
5	0,96	0,65	0,53	0,35	0,32
8	1,05	0,73	0,61	0,43	0,32
10	1,09	0,76	0,65	0,47	0,32
15	1,18	0,83	0,72	0,55	0,40
20	1,24	0,88	0,77	0,60	0,45
25	1,29	0,92	0,82	0,65	0,50
30	1,33	0,95	0,85	0,68	0,54
35	1,37	0,98	0,88	0,72	0,57
40	1,40	1,01	0,91	0,74	0,60

Taulukko 8. Puuskannoepuspaine (RIL 201-1-2017, 137).

4.2.1 Kokonaistuulivoima voimakertoimien avulla

Kokonaistuulivoima voidaan laskea voimakertoimen avulla alla esitetyllä kaavalla 2.

$$F_w = C_s C_d C_f q_{p(h)} A_{ref}, \text{ jossa} \quad (2)$$

F_w = Kokonaistuulivoima (kN)

$C_s C_d$ = rakennekerroin

C_f = voimakerroin

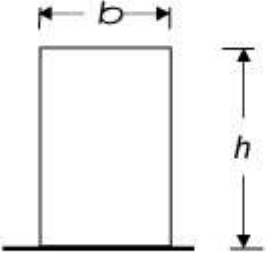
$q_{p(h)}$ = puuskannoepuspaine

A_{ref} = Tuulikuorman vaikutusala

Matalia rakennuksia suunniteltaessa (korkeus \leq kuin leveys) voidaan rakennekerrotoimena ($C_s C_d$) käyttää arvoa 1.

Voimakeroointia määritellään mittasuhteiden ja hoikkuuden avulla.

Tehollinen hoikkuus määritellään taulukon 9 mukaisesti leveyden ja korkeuden avulla.

Rakenteen mittasuhteet, tuuli kohtisuoraan tasoa vasten	Tehollinen hoikkuus λ
	kun $h < 15$ m, $\lambda = 2 h/b$ kun $h \geq 50$ m, $\lambda = 1,4 h/b$ Välialueella $15 \text{ m} < h < 50 \text{ m}$ sovelletaan interpolointia. Huom: Tämä ohje ei koske hyvin hoikkia rakennuksia, joille $\lambda > 10$.

Taulukko 9. Tehollinen hoikkuus (RIL 201-1-2017, 140).

Voimakerroin C_f saadaan interpoloimalla taulukosta 10.

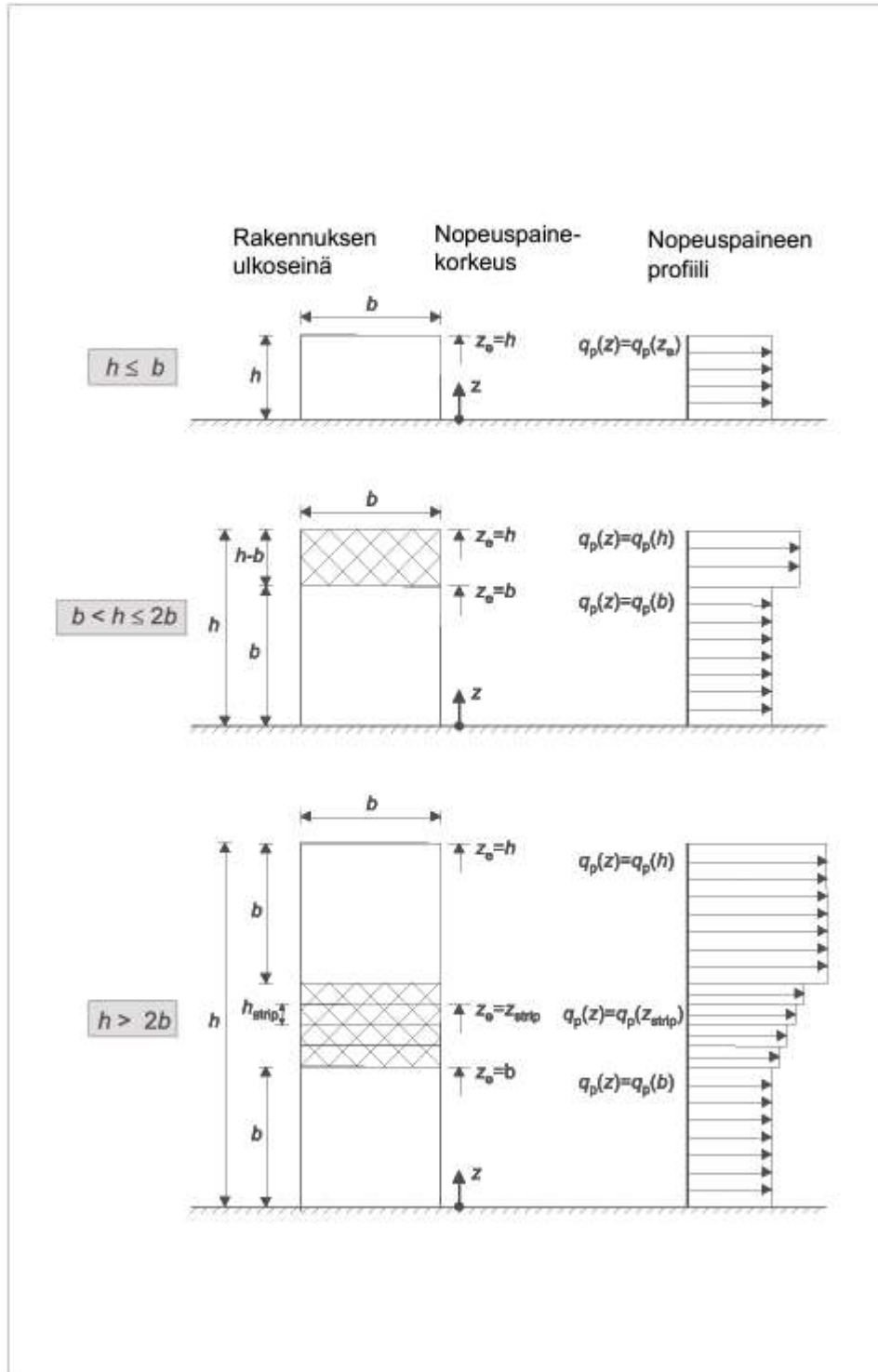
λ	Sivusuhte d/b								
	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
10	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

Taulukko 10. Voimakerroin taulukko (RIL 201-1-2017, 141).

4.2.2 Tuulikuorma painekertoimien avulla

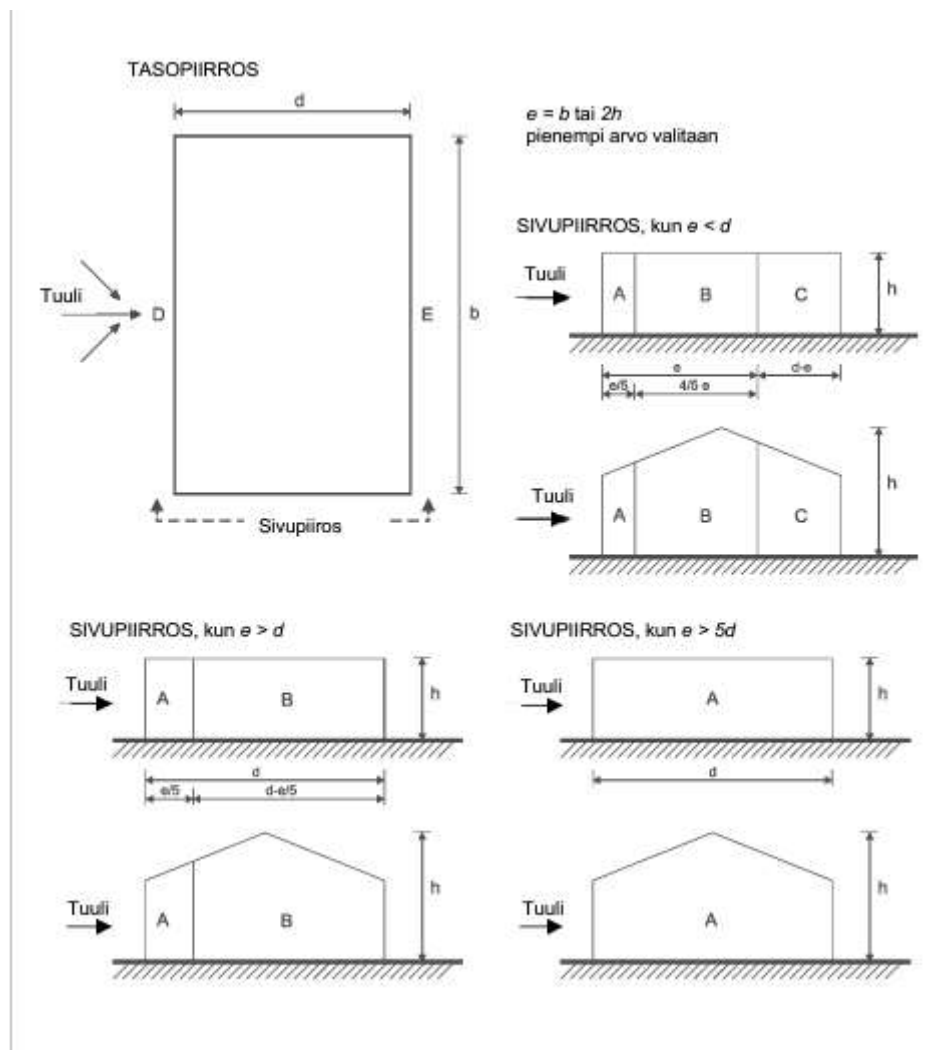
Painekertoimilla tarkoitetaan rakennuksen eri pintoihin kohdistuvaa tuulen aiheuttama vaikutusta. Painekertoimilla laskettaessa rakennuksen seinät ja katto jaetaan vyöhykkeisiin pysty ja vaakasuunnassa, joiden perusteella painekerroin määräytyy.

Painekertoimilla laskettaessa selvitetään nopeuspainekorkeus. Nopeuspainekorkeus saadaan taulukosta 11. Rakennukset, joiden korkeus (h) on pienempi kuin leveys (b) tarkastellaan yhtenä osana. Rakennukset, joiden korkeus (h) on suurempi kuin leveys (b) tarkastellaan joko kahtena osana tai useana osana (korkeus $h > 2b$) mukaisesti korkeusleveys suhteen mukaan.



Taulukko 11. Nopeuspaine korkeus (RIL 201-1-2017, 149).

Paineen kertoimia C_{pe} 10 ja C_{pe} 1 määriteltäessä rakennus jaetaan leveyssuunnassa vyöhykkeisiin kaavion 12 mukaisesti. Vyöhyke jaon jälkeen painekertoimet saadaan taulukosta 13.



Kaavio 12. Vyöhykekaavio (RIL 201-1-2017, 150).

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
≥ 5 ^{w)}	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Taulukko 13. Seinien ja painekertoimet (RIL 201-1-2017, 150).

Painekertoimien avulla saadaan laskettua yksittäiseen pintaan vaikuttava tuuli-kuorma (W_e) kaavalla 3.

$$W_e = q_p(Z_e)C_{pe}, \text{ jossa} \quad (3)$$

$q_p(Z_e)$ =Puuskannopeuspaine

C_{pe} = ulkoisen paineen kerroin

4.3 Pysyvät kuormat

Rakennuksen ja sen osien omat painot lasketaan tilavuuspainojen ja nimellismittojen mukaan tai tiheyksien mukaan. Teräsrakenteissa käytettävän teräksen tiheys on 7850 kg/m³. Nimellimitat ovat piirustuksissa esitettyjä mittoja. (RIL 201-1-2017, 67).

5 Teräsrakentaminen

5.1 Teräsrakentaminen yleisesti

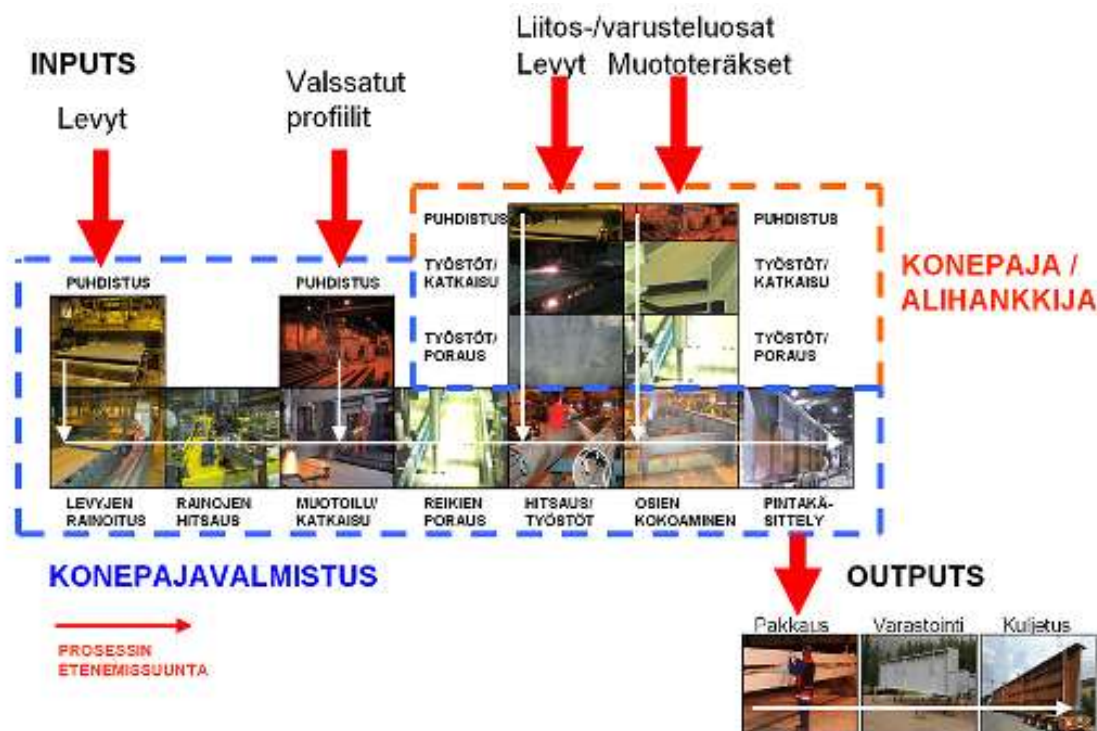
Teräsrakentamisen etuja on muun muassa, teräsrungon keveys muihin materiaaleihin verrattuna. Teräsrungon keveys pienentää perustamiskustannuksia. Teräsrunko valmistetaan konepajalla jolloin, asennusvaihe kohteessa on nopea ja tehokasta. (Teräsrakenneyhdistys. n.d)

5.2 Konepajavaihe

Teräsrakenteiden valmistus alkaa konepajalta. Konepajavalmistukseen tarvittavat piirustukset ovat: teräsluettelot, suunnitelmat terästä käytöstä, konepaja- ja kokoonpanopiirustukset. Tarvittavat teräkset tilataan teräsluettelon mukaan. Konepaja piirustuksissa tulee olla kaikki tarvittavat mitat rakenteen valmistamiseen. Pilari- ja palkki piirustuksissa palkit esitetään vaakatasossa ja mitoitetaan vasemmalta oikealle. Pilarit esitetään pystysuunnassa ja mitoitetaan alhaalta ylöspäin. (Teräsrakenneyhdistys ry 2020, 299–305)

Ensimmäisessä työvaiheessa konepajalle saapuvat teräkset varastoidaan ja tarkastetaan tarkastus merkinnät muun muassa koko- ja laatumerkinnät. Toisessa vaiheessa teräksistä puhdistetaan pintaruoste. Puhdistuksen jälkeen tehdään piirrotus, jossa piirustuksissa olevat yksityiskohdat kuten reikien paikat, leikkaukset ja liitoksienpaikat merkitään kappaleisiin. Kappaleet voidaan hitsata

ja kasata kun ne on leikattu ja työstetty. Lopuksi osat pintakäsitellään joko maa-
laamalla tai sinkittämällä. Konepajaprosessia havainnollistaa kuva 14.
(Teräsrakenneyhdistys ry 2020, 299–305)



Kuva 14. Konepajaprosessi (Teräsrakenneyhdistys ry 2020, 301)

5.3 Työmaavaihe

Työmaavaiheessa toteuttajalla pitää olla asennussuunnitelma. Asennussuunnitelma tehdään asennusmenetelmän perusteella.

Asennusmenetelmässä tulee ottaa huomioon muun muassa: kiinnitysten tyypit ja sijainnit, osien suurin koko, paino ja sijainti, asennusjärjestys ja turvallisuus riskit asennusaikana. Asennussuunnitelmassa tulee olla seuraavat asia: tuennat ennen hitsausta stabiiliuksen varmistamiseksi, tarvittavat nostovälineet. Asennussuunnitelman lisäksi tulee olla asennuspiirustukset. Asennuspiirustuksissa tulee esittää pohjapiirustukset ja leikkaukset.

Teräsrakenteiden stabiilius tulee säilyä asennuksen ajan.

(SFS-EN 1090-2:2018)

6 Teräsrakenteen mitoitus

6.1 Teräsrakenteen mitoituksesta yleisesti

Teräsrakenteiden mitoitus tehdään standardin SFS EN 1993 mukaan, joista oleellisimpana osana tätä työtä on EC3-1-1 ja EC3-1-8. Myös Suomen kansallisen liitteen vaatimukset huomioidaan.

Opinnäytetyössä mitoitukset tehtiin Robot Structural Analysis ohjelmalla.

Rakenteita mitoittaessa tarkastellaan rakenteen stabiiliutta. Teräsrakenteen mitoituksessa on huomioitava myös murto- ja käyttörajatilamitoitukset

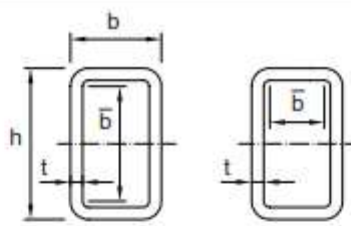
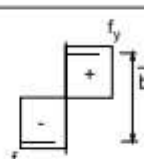

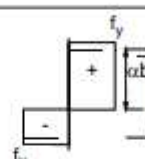
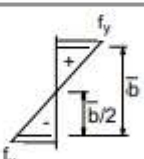
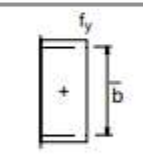
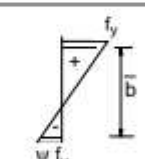
Murtorajatilat ovat rakenteiden varmuuteen ja ihmisten turvallisuuteen liittyviä, niitä ovat muun muassa rakenteen murtuminen, hajoaminen ja balanssin menetyt. Käyttörajatiloja ovat rajatilat, jotka liittyvät rakenteen toimintaan ja ulkonäköön. (Teräsrakenneyhdistys suunnittelu ja mitoitus 2020, 51–56).

6.2 Poikkileikkausluokat

Poikkileikkausluokituksella tunnistetaan missä laajuudessa poikkileikkauksen paikallinen lommahdus rajoittaa poikkileikkauksen kiertämiskykyä ja kestävyyttä.

Poikkileikkausluokkia on neljä eri luokkaa. Poikkileikkaus luokka riippuu puristettujen osien leveyspaksuus suhteesta taulukon 15 mukaisesti.

(SSAB DOMEX TUBE 2016, 57–58).

Kahdelta reunalta tuetut puristetut taso-osat						
			$\bar{b} = h - 3t$ tai $b - 3t$ ^{a)} Taivutus ko. akselin suhteen			
Poikkileikkausluokka	Taivutetut taso-osat	Puristetut taso-osat	Taivutetut ja puristetut taso-osat ^{b)}			
Taso-osan jännitys jakauma (puristus positiivinen)			 ^{c)}			
1	$\bar{b}/t \leq 72\epsilon$	$\bar{b}/t \leq 33\epsilon$	kun $\alpha > 0,5$: $\bar{b}/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ kun $\alpha \leq 0,5$: $\bar{b}/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$			
2	$\bar{b}/t \leq 83\epsilon$	$\bar{b}/t \leq 38\epsilon$	kun $\alpha > 0,5$: $\bar{b}/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ kun $\alpha \leq 0,5$: $\bar{b}/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$			
Taso-osan jännitys jakauma (puristus positiivinen)						
3	$\bar{b}/t \leq 124\epsilon$ ^{d)}	$\bar{b}/t \leq 42\epsilon$ ^{e)}	kun $\psi > -1$: $\bar{b}/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ ^{f)} kun $\psi \leq -1$ ^{g)} : $\bar{b}/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,0000	0,9244	0,8136	0,7480	0,7148
a) Kuvaan piirrettyä laskentaleveyttä \bar{b} ei ole määritetty yksiselitteisesti Eurocoden osassa EN 1993-1-1 Suositellaan käytettäväksi esitetyn lausekkeen mukaista osassa EN 1993-1-5 esitettyä määrittelyä. b) Varmalla puolella oleva arvio saadaan, kun poikkileikkausluokka määritetään puhtaan puristuksen mukaan c) Puristetun osan korkeuden määrittäminen (α -kerroin), ks. kohta 2.9.1.5.1 d) EN 1993-1-5 mukaan raja-arvoksi saadaan: $\bar{b}/t \leq 121,43\epsilon$ e) EN 1993-1-5 mukaan raja-arvoksi saadaan: $\bar{b}/t \leq 38,25\epsilon$ f) EN 1993-1-5 mukaan raja-arvo riippuu lommahduskertoimesta k_σ ja jännityssuhteesta ψ g) Kohtaa $\psi \leq -1$ käytetään, kun joko puristusjännitys $\sigma < f_y$ tai vedetyn puolen venymä $\epsilon_y > f_y/E$						

Taulukko 15. Rakenneputkien poikkileikkausluokat (SSAB DOMEX TUBE 2016, 58).

6.3 Palkin mitoitus

Palkkirakenteisiin kohdistuu pääasiassa taivutusmomenttia ja leikkausvoimaa. Palkkeja on yksiaukkoisia tai jatkuvia palkkeja. Rakennusten rungoissa palkkien tehtävä on siirtää tasoilta tulevat kuormat pilareille. Palkkeja voi olla ylä- ja välipohjissa.

Tässä opinnäytetyössä palkki oli yksiaukkoinen ja sen tehtävä on siirtää katon kuormat pilareille. Palkin jänne väli on 4,5 metriä. (Teräsrakenneyhdistys ry 2020, 109–110)

6.3.1 Taivutusmomentti

Kaikissa poikkileikkausluokissa taivutusmomentin M_{ed} tulee täyttää ehto 4.

$$\frac{M_{ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0, \quad (4)$$

jossa M_{ed} on palkin taivutusmomentti ja $M_{c,Rd}$ on poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo. (SFS-EN 1993-1-1, 53).

Poikkileikkausluokissa 1 ja 2 saadaan $M_{c,Rd}$ laskettua kaavalla 5.

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl}f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5)$$

, jossa W_{pl} on plastisuusteorian mukainen taivutusvastus, f_y on teräksen myötöraja ja γ_{M0} poikkileikkauskestävyyden osavarmuusluku riippumatta poikkileikkausluokasta. (SFS-EN 1993-1-1, 53).

6.3.2 Leikkausvoima

Kaikissa poikkileikkausluokissa leikkausvoiman V_{Ed} tulee täyttää ehto 6.

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0, \quad (6)$$

jossa V_{Ed} on palkin leikkausvoima ja $V_{c,Rd}$ on leikkauskestävyyden mitoitusarvo. Plastisuusteorian mukaan lasketaan kaavalla 7.

$$V_{ed} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}, \quad (7)$$

missä A_v = leikkaus pinta-ala
(SFS-EN 1993-1-1, 54).

6.3.3 Palkin kiepahduskestävyys

Neliön tai pyöreän muotoiset rakenneputket eivät ole herkkiä kiepahtamiselle.

Vahvemman pääjähäkselin suuntaan taivutettu sivusuunnassa tukematon sauva mitoitetaan kiepahdukselle seuraavalla ehdolla 8.

$$\frac{M_{ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0, \quad (8)$$

jossa $M_{b,Rd}$ on kiepahduskestävyyden mitoitusarvo.

Kiepahduskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavalla 9.

$$M_{b,Rd} = X_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{m1}}, \quad (9)$$

jossa X_{LT} on kiepahduskestävyyden pienennystekijä. λ_{LT}^2

X_{LT} lasketaan kaavalla 10.

$$X_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} \text{ mutta } X_{LT} \leq 1,0 \quad (10)$$

$$\phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] \quad (11)$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} \quad (12)$$

α_{LT} on epätarkkuustekijä ja sen saa taulukosta 16.

Kiepahduskäyrä	a	b	c	d
Epätarkkuustekijä α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Poikkileikkaus	Rajat	Kiepahduskäyrä
Valssatut I-profiilit	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Hitsatut I-profiilit	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Muut profiilit	-	d

Taulukko 16. kiepahduskäyrä (SFS-EN 1993-1-1, 66).

6.4 Pilarin mitoitus

Pilarirakenteisiin kohdistuu pääasiassa puristusvoima, mutta myös taivutusta. Teräspilarit ovat yleensä hoikkia, joten stabiiliuksesta tulee määräävä tekijä mitoitukselta. Pilareiden tehtävä on siirtää kuormat perustuksille. (Teräsrakenneyhdistys ry 2020, 128).

6.4.1 Puristusvoima

Kaikissa poikkileikkausluokissa tulee puristusvoiman N_{Ed} täyttää ehto 13.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0, \quad (13)$$

jossa $N_{c,Rd}$ puristuskestävyyden mitoitussarvo

Poikkileikkausluokissa 1, 2 ja 3 $N_{c,Rd}$ lasketaan kaavalla 14.

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{SFS-EN 1993-1-1, 53}). \quad (14)$$

6.4.2 Nurjahduskestävyys

Puristetuille sauvoille on nurjahdusehto 15.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0, \quad (15)$$

missä N_{Ed} on puristusvoiman mitoitussarvo ja $N_{b,Rd}$ sauvan nurjahduskestävyyden mitoitussarvo.

Poikkileikkausluokissa 1, 2 ja 3 $N_{b,Rd}$ lasketaan kaavalla 16.

$$N_{b,Rd} = \frac{x_A y}{\gamma_{M1}}, \quad (16)$$

missä x on nurjahduskestävyyden pienennystekijä.

x lasketaan kaavalla 12.

$$x = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \text{ mutta } x \leq 1,0 \quad (17)$$

$$\text{Missä } \phi = 0,5[1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2] \quad (18)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} \text{ Poikkileikkausluokissa 1, 2 ja 3} \quad (19)$$

N_{cr} on kimmoteorian mukainen bruttopoikkileikkauksen alainen kriittinen voima.
 α on epätarkkuustekijä ja sen saa taulukosta 17. Eri teräsprofiilien nurjahduskäyrät saa taulukosta 18.

Nurjahduskäyrä	a_0	a	b	c	d
Epätarkkuustekijä α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Taulukko 17. epätarkkuustekijä (SFS-EN 1993-1-1, 61).

Poikkileikkaus		Rajat	Nurjhdus ko. akselin suhteen	Nurjhduskäyrä		
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
Valssatut profiilit		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	a b	a ₀ a ₀
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c	a a
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ mm	y-y z-z	b c	a a
			$t_f > 100$ mm	y-y z-z	d d	c c
Hitsatut I-profiilit		$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	b c	b c	
		$t_f > 40$ mm	y-y z-z	c d	c d	
Rakenneputket		Kuumamuovattu	Kaikki	a	a ₀	
		Kylmämuovattu	Kaikki	c	c	
Hitsatut kotelo-profiilit		Yleensä (poikkeus, ks. alla)	Kaikki	b	b	
		Paksut hitsit: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Kaikki	c	c	
U-, T- ja um-piprofiilit			Kaikki	c	c	
L-teräkset			Kaikki	b	b	

Taulukko 18. Nurjhduskäyrätaulukko (SFS-EN 1993-1-1, 62–63).

6.4.3 Sauvojen yhdistetty taivutus ja puristus

Pilareille, jotka rasittuvat taivutukselle ja aksiaaliselle puristukselle on olemassa ehto 20 ja 21.

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{X_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (20)$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1, \quad (21)$$

missä

N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ ja $M_{z,Ed}$ ovat maksimimomenttien ja puristusvoiman mitoitusarvoja.

X_y ja X_z ovat taivutusnurjahduksen pienennystekijöitä.

X_{LT} on kiepahduksen pienennystekijä.

k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} on yhteisvaikutustekijöitä.

Yhteisvaikutustekijät valitaan liitteen A tai B mukaan. Tässä työssä tehtiin liitteen B mukaisesti.

(SFS-EN 1993-1-1, 70–71).

6.5 Vetotangon mitoitus

Vetotangot mitoitetaan vetovoimalle. Kaikissa poikkileikkausluokissa tulee vetovoiman N_{Ed} täyttää ehto 22.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0, \quad (22)$$

missä $N_{t,Rd} = N_{pl,Rd}$

$N_{pl,Rd}$ lasketaan kaavalla 23.

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (23)$$

missä $N_{pl,Rd}$ on "poikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen normaalikestävyyden mitoitusarvo" (SFS-EN 1993-1-1)

(SFS-EN 1993-1-1, 51–52)

7 Kantavan rungon suunnittelu

7.1 Liitosten suunnittelu

Kaikkien liitosten suunnittelussa kestävyden mitoitusarvon pitää täyttää standardin EN 1993-1-1 ja EN 1993-1-8 mukaiset vaatimukset. Opinnäytetyö sisältää hitsi- ja pulttiliitoksia. (SFS-EN 1993-1-8, 21).

7.2 Hitsiliitokset

Pienahitsi saadaan mitoitettua seuraavilla kaavoilla. Kaavat ovat yksinkertaistetun menetelmän kaavoja. Yksinkertaistetun menetelmän etuna on, että voimaresultantin suuntaa ei tarvitse tietää. Hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo $f_{vw.d}$ saadaan kaavasta 24.

$$f_{vw.d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}, \quad (24)$$

jossa f_u on heikoimman liitettävän osan murtolujuus, β_w on lujuuskerroin ja γ_{M2} on kestävyden osavarmuusluku.

	Hitsin lujuuskerroin β_w
S235	0,8
S275	0,85
S355	0,9
S420	1,0
S460	1,0

Taulukko 19. Hitsin lujuuskerrointaulukko (SSAB DOMEX TUBE 2016, 204).

Hitseille pätee mitoitusehto 25.

$$F_{e.Ed} \leq F_{w.Rd}, \quad (25)$$

jossa $F_{e.Ed}$ on hitsin pituutta kohti vaikuttavan voiman mitoitusarvo ja $F_{w.Rd}$ on hitsin kestävyden mitoitusarvo pituusyksikköä kohti.

$F_{w.Rd}$ saadaan kaavasta 26.

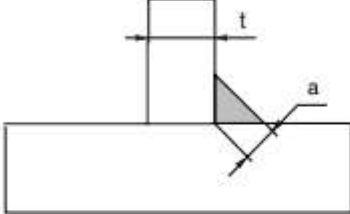
$$F_{w.Rd} = f_{vw.d} a, \quad (26)$$

jossa a on pienahitsin a -mitta ja se saadaan kaavasta 27

$$a \geq \sqrt{3} \beta_w * \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} * \frac{f_y}{f_u} *, \quad (27)$$

jossa t on seinämäpaksuus, f_y on materiaalin nimellinen myötölujuus ja f_u on materiaalin nimellinen murtolujuus.

(SSAB DOMEX TUBE 2016, 206).

	Teräslaji	Myötölujuus ^{a)} f_y (N/mm ²)	Murtolujuus ^{a)} f_u (N/mm ²)	Hitsin a -mitta ^{b)}
		S235H	235	360
	S275H	275	430	1,18 · t
	S355H	355	510	1,36 · t
	S275NH	275	370	1,37 · t
	S355NH	355	470	1,47 · t
	S460NH	460	550	1,81 · t
	S275MH	275	360	1,41 · t
	S355MH	355	470	1,47 · t
	S420MH	420	500	1,82 · t
	S460MH	460	530	1,88 · t

a) Taulukon 1.7 mukaiset nimelliset lujuusarvot.
b) Kuitenkin vähintään $a \geq 3$ mm.

- Tämän taulukon arvot on laskettu Eurocoden osien EN 1993-1-1 ja EN 1993-1-8 suositusarvoilla $\gamma_{M0} = 1,0$ ja $\gamma_{M2} = 1,25$. **Maakohtaiset vaatimukset on tarkastettava kyseisen maan kansallisesta liitteestä (= NA, National Annex).**

- Taulukon a -mitat pätevät:

- riippumatta rakenneputken seinämässä vaikuttavien jännitysten resultantin suunnasta
- kun hitsi kiertää liitettävän rakenneputken piiriin ympäri
- kun liitettävä rakenneputki on samaa tai alempaa lujuusluokkaa kuin viereinen rakenneos
- kun käytetään hitsausainetta, jonka myötölujuuden ja murtolujuuden minimiarvot vastaavat vähintään liitettävän rakenneputken vastaavia arvoja.

Taulukko 20. Hitsin a -mitta (SSAB DOMEX TUBE 2016, 207).

7.3 Pulttiliitokset

Lujuusluokkien 4.6–10.9 ruuvien vetomurtolujuuden f_{ub} ja myötörajan f_{yb} nimellisarvojen taulukko 21.

Ruuvien lujuusluokka	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

Taulukko 21. Ruuvien nimellisarvot (SFS-EN 1993-1-8, 21).

Pulttiliitokset jaetaan 5 eri luokkaan alla olevan taulukon mukaisesti, ja niiden ehdot näkyvät taulukossa 22

Luokka	Ehto	Huomautuksia
Leikkausvoiman rasittamat kiinnitykset		
A Reunapuristustyyppinen kiinnitys	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Esijännitystä ei vaadita. Kaikki lujuusluokat 4.6...10.9.
B Käyttörajoitilassa liukumisen kestävä kiinnitys	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Esijännitetyt lujuusluokkien 8.8 tai 10.9 ruuvit. Liukumiskestävyys käyttörajoitilassa, ks. 3.9.
C Murtorajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Esijännitetyt lujuusluokkien 8.8 tai 10.9 ruuvit. Liukumiskestävyys murtorajatilassa, ks. 3.9. $N_{net,Rd}$ ks. 3.4.1(1)c).
Vetovoiman rasittamat kiinnitykset		
D Esijännittämätön ruuvi	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Esijännitystä ei vaadita. Kaikki lujuusluokat 4.6...10.9. $B_{p,Rd}$ ks. taulukko 3.4.
E Esijännitetty ruuvi	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Esijännitetyt lujuusluokkien 8.8 tai 10.9 ruuvit. $B_{p,Rd}$, ks. taulukko 3.4.
Vetovoiman mitoitusarvoon $F_{t,Ed}$ lasketaan mukaan vipuvaikutus, ks. 3.11. Ruuvit, joihin kohdistuu sekä leikkaus- että vetovoima tarkistetaan lisäksi taulukon 3.4 mukaiselle yhteisvaikutukselle.		

Taulukko 22. Ruuvikiinnitysluokat (SFS-EN 1993-1-8, 23)

Ruuveille tehtävien reikien välykset ruuveille esitetään taulukossa 23.

Taulukko 11 Nimellisvälykset ruuveille ja niveltapeille (mm)

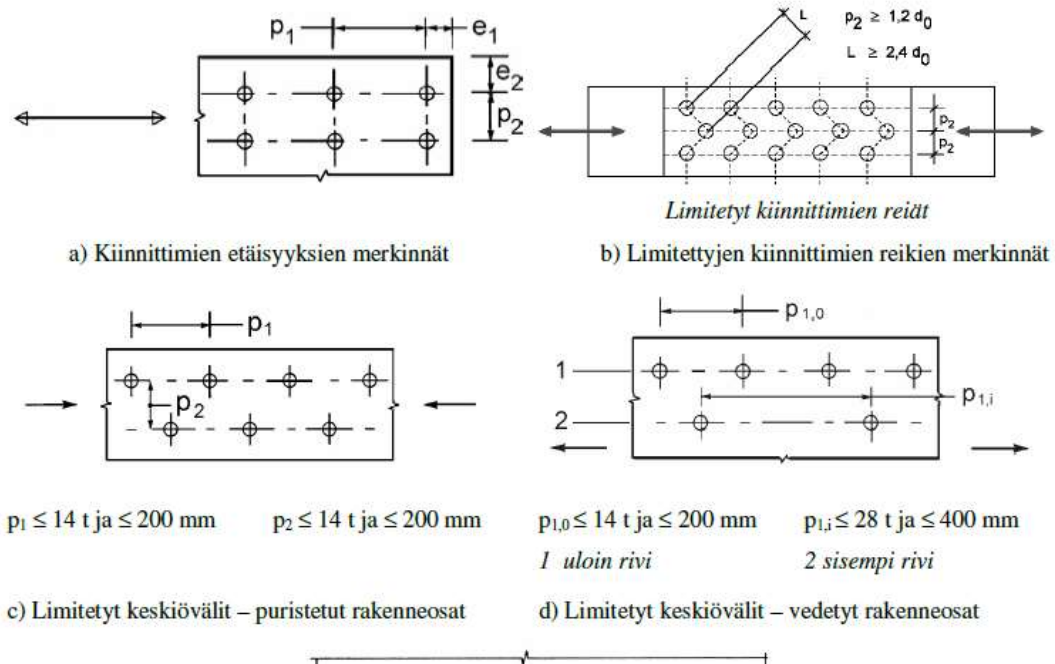
Ruuvien tai niveltapin nimellishalkaisija (mm)	12 ^a	14	16	18	20	22	24	27 to 36 ^b
Normaalit pyöreät reiät ^c	1 ^{d e}		2				3	
Ylisuuret pyöreät reiät	3		4				6	8
Lyhyet pidennetyt reiät (koko pituudelle) ^f	4		6				8	10
Pitkät pidennetyt reiät (koko pituudelle) ^f	1,5 d							
^a Koskee myös alle 12 mm:n läpimittoja, ellei toisin esitetä.								
^b Koskee myös yli 36 mm:n läpimittoja, ellei toisin esitetä.								
^c Torneille, mastoille ja vastaaville sovellutuksille normaalien pyöreiden reikien nimellisvälystä pienennetään 0,5 mm, ellei erikseen toisin esitetä.								
^d Pinnoitetuille kiinnittimille 1 mm:n nimellisvälystä voidaan suurentaa kiinnittimen pinnoitteen paksuuden verran.								
^e Ruuveja, joiden nimellishalkaisija on 12 mm tai 14 mm, ja uppokantaisia ruuveja voidaan myös käyttää 2 mm:n välyksen rei'issä, jos niin esitetään.								
^f Pidennetyissä rei'issä ruuvien nimellisvälyksen tulee leveyssuunnassa olla sama kuin normaaleilla pyöreillä rei'illä.								

Taulukko 23. Nimellisvälykset (SFS-EN 1090-2, 2018, 43)

Ruuveille tehtävien reikien pääty- ja reunaetäisyydet saadaan laskettua taulukon 24 mukaan ja reikien merkinnät esitetään taulukossa 25.

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli, ks. kuva 3.1	Minimiarvo	Maksimiarvo ^{1) 2) 3)}		
		EN 10025 mukaisista teräksistä (paitsi EN 10025-5:n mukaiset teräksiset) tehdyt rakenteet		EN 10025-5 mukaisista teräksistä tehdyt rakenteet
		Säälle tai muille korroosiorasituksille altis rakenne	Rakenne, joka ei ole altis säälle tai muille korroosiorasituksille	Suojaamaton rakenne
Päätyetäisyys e_1	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Suurempi arvoista $8t$ ja 125 mm
Reunaetäisyys e_2	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Suurempi arvoista $8t$ or 125 mm
Etäisyys e_3 Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Etäisyys e_4 Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Keskiöväli p_1	$2,2d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm
Keskiöväli $p_{1,0}$		Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm		
Keskiöväli $p_{1,1}$		Pienempi arvoista $28t$ ja 400 mm		
Keskiöväli p_2 ⁵⁾	$2,4d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm
<p>1) Keskiöväleillä, pääty- ja reunaetäisyyksillä ei ole ylärajaa paitsi seuraavissa tapauksissa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - puristetuissa rakenneosissa paikallisen lommahduksen ja korroosion välttämiseksi korroosiorasituksen alaisena ja; - korroosiorasitukselle alttiit vedetyt rakenneosat korroosion välttämiseksi. <p>2) Kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallinen lommahdus lasketaan standardin EN 1993-1-1 mukaan olettamalla levy pilariksi ja käyttämällä nurjahduspituutena arvoa $0,6p_1$. Kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallista lommahdusta ei tarvitse tarkistaa, jos p_1/t on pienempi kuin 9ε. Reunaetäisyys saa olla enintään ulokkeelliselle puristetulle taso-osalle esitetyn arvon suuruinen paikallisen lommahduksen estämiseksi, ks. standardi EN 1993-1-1. Tämä vaatimus ei koske päätyetäisyyttä.</p> <p>3) t on uloimman liitettävän osan pienempi paksuus.</p> <p>4) Pidennettyjen reikien raja-arvot esitetään kohdan 1.2.7 mukaisessa viitestandardiryhmässä 7.</p> <p>5) Limitetyille kiinnitinriveille voidaan käyttää minimiarvoa $p_2 = 1,2d_0$, jos kahden limityksessä olevan kiinnittimen välinen minimietäisyys $L \geq 2,4d_0$, ks. kuva 3.1b).</p>				

Taulukko 24. Keskiöväli, pääty- ja reunaetäisyydet (SFS-EN 1993-1-8, 24).



Taulukko 25. Keskiöväli, pääty- ja reunaetäisyyksien merkinnät (SFS-EN 1993-1-8, 25).

Ruuvien kestävyysien mitoitusarvot saadaan laskettua taulukon 26 kaavojen mukaan.

Murtumismuoto	Ruuvit	Niitit
Leikkauskestävyys leikettä kohti	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ <p>- kun ruuvin kierteet ovat leikkaustasossa (A on ruuvin jännityspoikkipinta-ala A_s):</p> <p>- lujuusluokat 4.6, 5.6 ja 8.8: $\alpha_v = 0,6$</p> <p>- lujuusluokat 4.8, 5.8, 6.8 ja 10.9: $\alpha_v = 0,5$</p> <p>- kun ruuvin kierteetön osa on leikkaustasossa (A on ruuvin bruttopoikkileikkauksen pinta-ala):</p> <p>- $\alpha_v = 0,6$</p>	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$
Reunapuristuskestävyys ^{1), 2), 3)}	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$ <p>missä a_b on pienin arvoista $\alpha_d \frac{f_{ub}}{f_u}$ ja 1,0; siirrettävän voiman suunnassa:</p> <p>- levyn pään ruuveille: $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$;</p> <p>- muille kuin pään ruuveille: $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$</p> <p>kohtisuorassa suunnassa siirrettävään voimaan nähden:</p> <p>- reunarivin ruuveille : k_1 on pienin arvoista $2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7$ ja 2,5</p> <p>- muille kuin pään ruuveille: k_1 on pienin arvoista $1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7$ ja 2,5</p>	
Vetokestävyys ²⁾	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>Missä $k_2 = 0,63$ uppokantaisille ruuveille, Muissa tapauksissa $k_2 = 0,9$.</p>	$F_{t,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$
Ruuvin ja mutterin lävistymiskestävyys	$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$	Tarkistus tarpeeton
Yhdistetty leikkaus- ja vetovoima	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$	

Taulukko 26. Ruuvien kestävyysmitoitussarvot (SFS-EN 1993-1-8, 28).

8 Opinnäytetyön rakennushanke

8.1 Tarveselvitys

Opinnäytetyö aloitettiin tarveselvityksellä. Tarveselvitykseen osallistui toimeksiantajalta kolme henkilöä. Tarveselvitys tehtiin haastattelututkimuksena.

Tutkimuksessa selvisi, että tarvetta oli teräskatokselle tehtaan rakennusosastolle rakennusmateriaalien säilytykseen. Katokselle oli käyttöä myös eri projekteissa tehdasalueella, joten katoksen tuli olla helposti siirreltävässä ja perustettavissa ilman suuria pohjatöitä. Siirreltävyyttä helpottaa myös, jos katos ei tarvitse rakennuslupaa vaan pelkkä toimenpidelupa riittäisi. Siirreltävyyteen piti miettiä ja suunnitella vaihtoehdot kokonaisuutena siirrettävyydelle ja osissa siirtämiselle. Katoksen koko piti olla tarpeeksi iso, jotta rautakauppa mitat mahtuivat sisään katokseen. Korkeus suunnassa katokseen piti mahtua ajamaan trukilla sisään, jotta tavaraa saatiin katokseen sisään ja sieltä ulos.

Katoksen käyttäjiä tehtaalla on oman henkilökunnan lisäksi myös ulkopuoliset urakoitsijat, joten katoksen tuli olla tarpeen vaatiessa lukittavissa. Katoksessa tuli olla myös kiinteä valaistus. Katokseen piti miettiä mahdolliset oviratkaisut, joka mahdollisti katoksen lukituksen. Katos piti olla myös kiinteistönhoidon kannalta helppo hoitoinen eli rakenteen piti kestää talven lumikuormat ilman lumien tiputtelua. Katoksen sijoituspaikat sijaitsivat myös meren rannalla, joten tuulikuormat olivat myös tavallista suuremmat.

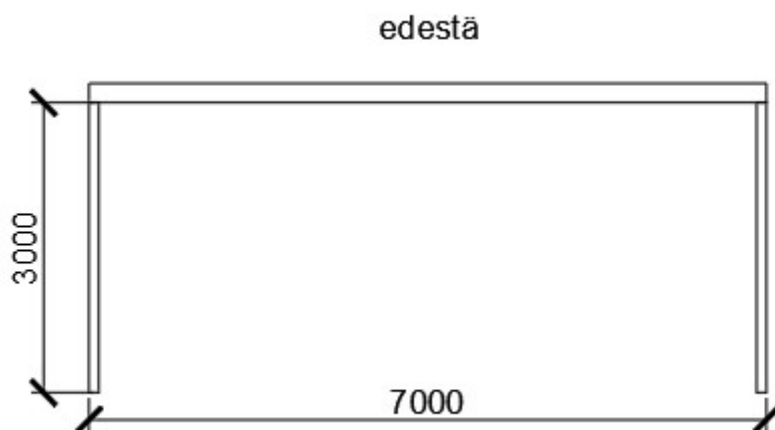
8.2 Tilaohjelma

Tarveselvityksen perusteella tehtiin tilaohjelma.

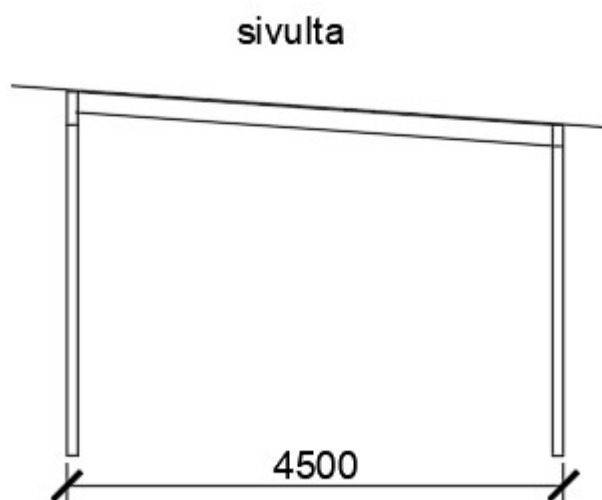
Tilaohjelmia tehtiin 2 eri versiota joista toinen valittiin suunniteltavaksi katokseksi. Ensimmäinen versio oli 7 metriä syvä ja 4,5 metriä leveä.

8.3 Vaihtoehto 1

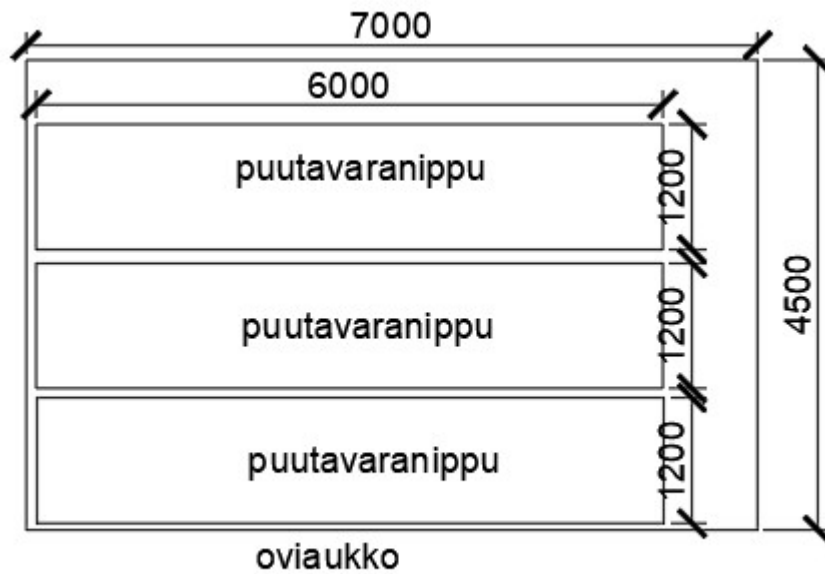
Ensimmäisessä luonnoksessa leveys oli 7 metriä, syvyyttä 4,5 metriä ja korkeutta 3 metriä. Katoksen katto kaataa lyhyemmän sivun mukaan.



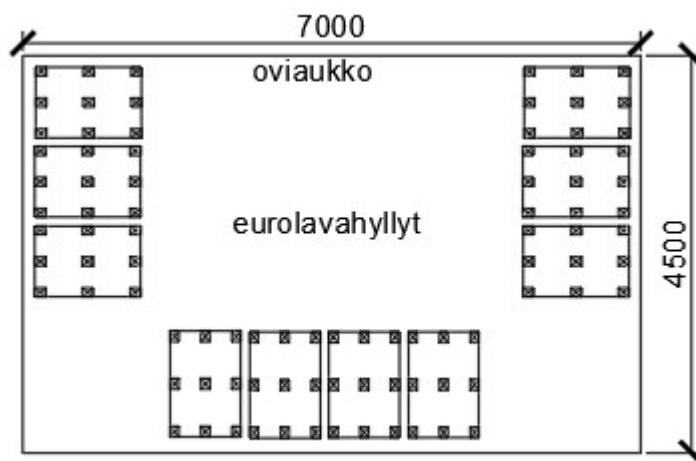
Kuva 27. Versio1 edestä (Kuva: Paavilainen 2023)



Kuva 28. Versio1 sivulta (Kuva: Paavilainen 2023)



Kuva 29. Versio1 pohjakuva (Kuva: Paavilainen 2023)



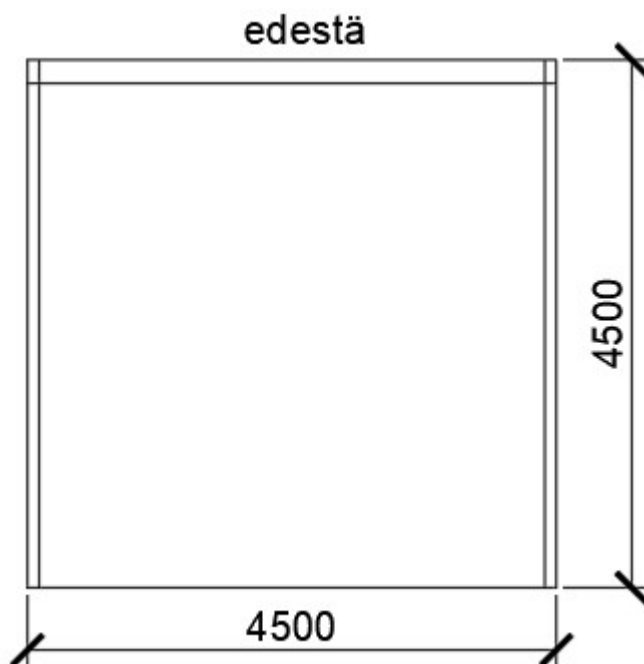
Kuva 30. Versio1 pohjakuva 2 (Kuva: Paavilainen 2023)

Ensimmäisessä versiossa puutavaroiden varastointi ja sieltä hakeminen käyttöön olisi ollut haastavaa, joten tehtiin toinen versio, joka valittiin suunniteltavaksi. Kuvassa on myös suunniteltuja hyllyjä eurolavoille.

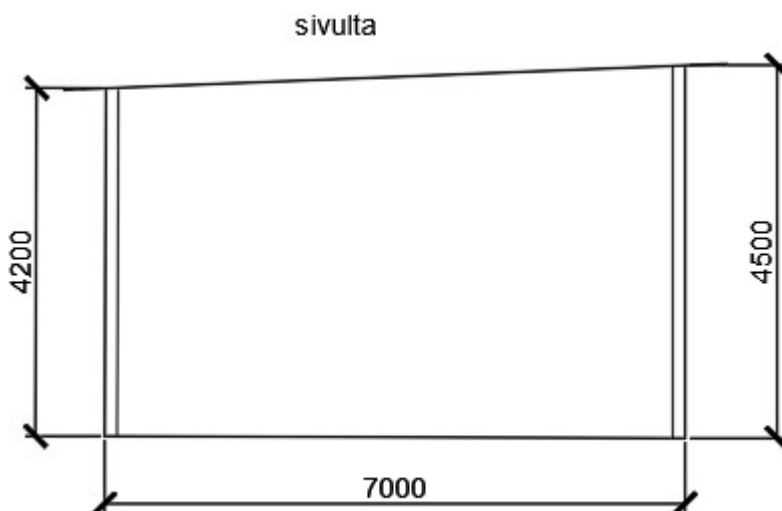
8.4 Vaihtoehto 2

Toisessa versiossa mitat olivat toisinpäin, leveyttä oli 4,5 metriä ja syvyyttä 7 metriä. Korkeutta olisi noin 4,5 metriä.

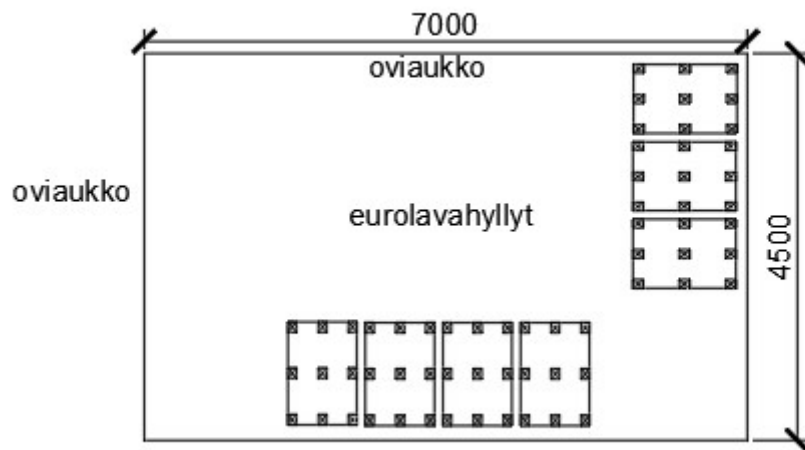
Kuvassa 33 on myös suunniteltuja hyllyjä eurolavoille.



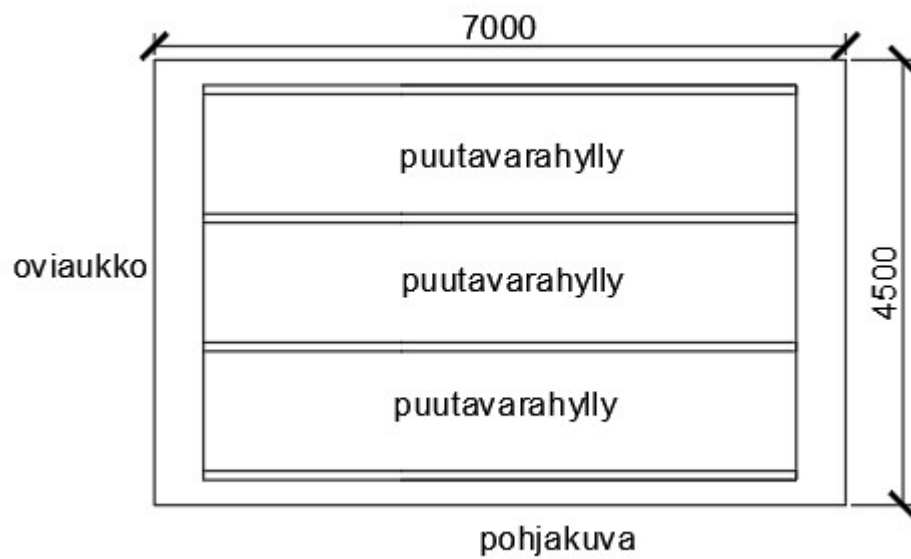
Kuva 31. Versio 2 edestä (Kuva: Paavilainen 2023)



Kuva 32. Versio 2 sivulta. (Kuva: Paavilainen 2023)

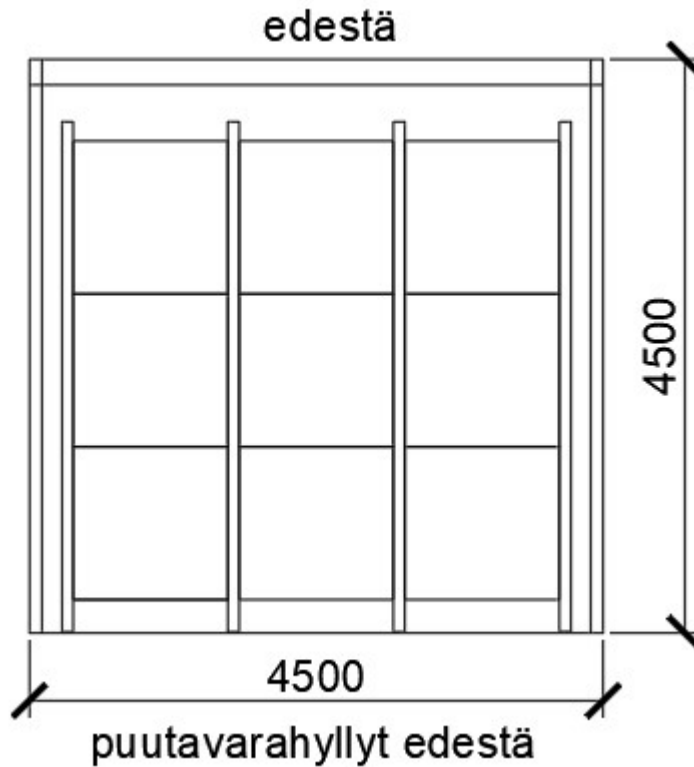


Kuva 33. Versio 2 Pohjakuva. (Kuva: Paavilainen 2023)



Kuva 34. Versio 2 Pohjakuva 2. (Kuva: Paavilainen 2023)

Puutavara hyllyt olivat edestä lastattavia rullahyllyjä, jolloin katos saatiin tehokkaasti käytettyä.



Kuva 35. Puutavarahylly edestä. (Kuva: Paavilainen 2023)

Näillä mitoilla katos toimi myös työkoneiden ja kaluston säilytykseen.

Kokoa ei haluttu kasvattaa liian suureksi, koska siirtely kokonaisena vaikeutuisi mitä suurempi katos oli. Oviaukkoja haluttiin myös kaikille sivuille, niin että 2 seinää olisi avoinna samaan aikaan.

9 Katoksen rakennesuunnittelu

9.1 Katoksen lumikuormat

Tämän opinnäytetyön kohde sijaitsee Kotkassa, jonka lumikuorman arvo maassa on 2,65 kN/m². Opinnäytetyön tapauksessa katon kaltevuus osuu välille $0 \leq \alpha \leq 30$, joten muotokerroin on 0,8.

Näiden tietojen perusteella saatiin laskettua katoksen lumikuomaksi:

$$s=0,8 \cdot 2,65=2,12 \text{ kN/m}^2$$

9.2 Katoksen tuulikuormat

Opinnäytetyön kohde sijaitsee meren rannalla, joten maastoluokaksi valittiin maastoluokka 0. Tässä opinnäytetyön tapauksessa katoksen korkeus on 4,5 m ja maastoluokka on 0, joten puuskannopeuspaine on 0,96kN/m². Opinnäytetyössä ei tarkasteltu nostetta.

9.2.1 Kokonaistuulikuorma opinnäytetyössä

Kokonaistuulikuorma laskettiin erikseen pitkälle ja lyhyelle sivulle.

Molemmissa tapauksissa puuskanopeuspaine on 0,96 kN/m² ja $C_s C_d$ 1.

Laskettaessa lyhyelle sivulle teholliseksi hoikkuudeksi saatiin 2 ja sivusuhte on 1.55, joten C_f saatiin 1.18.

$$F_w = C_s C_d C_f q_{p(h)} A_{ref},$$

$$F_w = 1 * 1.18 * 0.96 \text{ kN/m}^2 * (4,5 \text{ m} * 4,5 \text{ m}) = 22.94 \text{ kN Tuulikuorma lyhyelle sivulle.}$$

Laskettaessa pitkälle sivulle teholliseksi hoikkuudeksi saatiin 1.2857 ja sivusuhte on 0.64 joten C_f saatiin 1,4

$$F_w = C_s C_d C_f q_{p(h)} A_{ref},$$

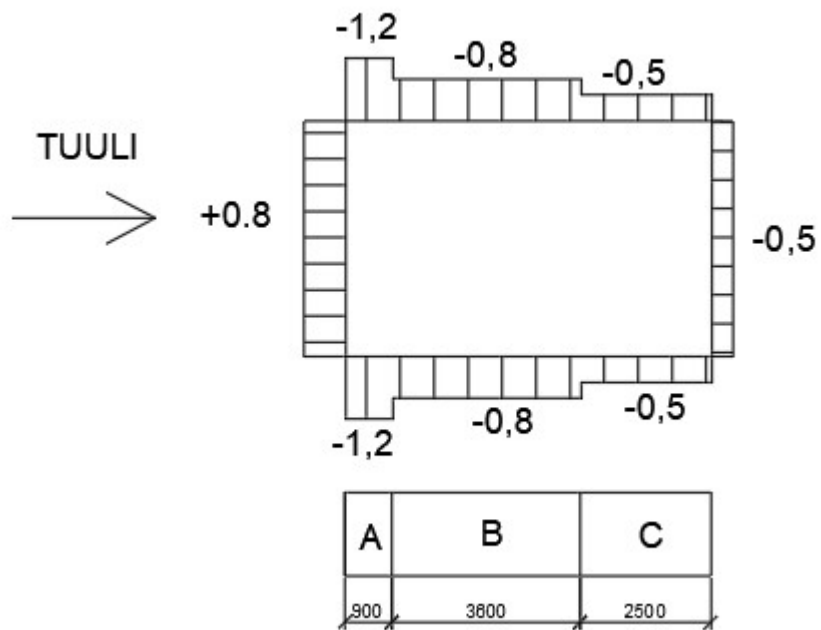
$$F_w = 1 * 1.4 * 0.96 \text{ kN/m}^2 * (7 \text{ m} * 4,5 \text{ m}) = 42.336 \text{ kN Tuulikuorma pitkälle sivulle.}$$

9.2.2 Paine kertoimet opinnäytetyössä

Tässä opinnäytetyössä rakennuksen korkeus (h) oli yhtä suuri kuin leveys (b), niin nopeuspaine korkeus tarkasteltiin yhtenä osana.

Opinnäytetyössä lyhyelle sivulle puhaltavan tuulen tapauksessa.

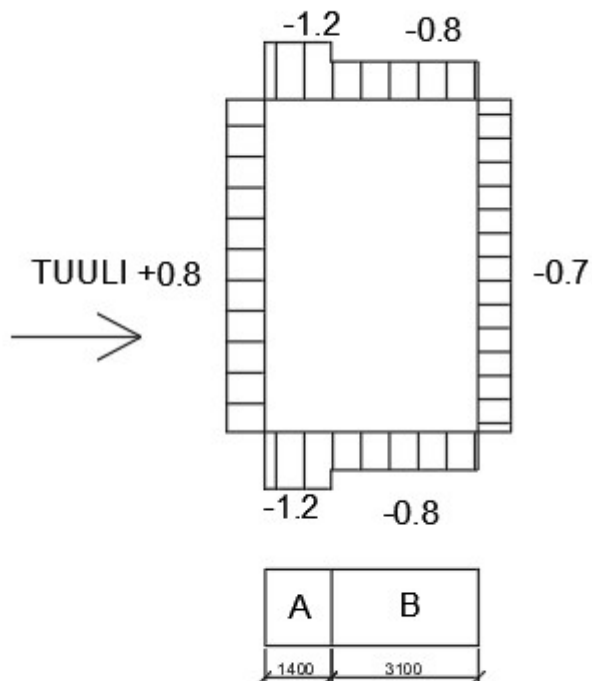
Käytetään sivupiirrosta $e < d$ koska $e = 4,5 \text{ m}$ ja $d = 7 \text{ m}$



Kuva 36. Paine kertoimet kun tuuli lyhyelle sivulle (Paavilainen 2023).

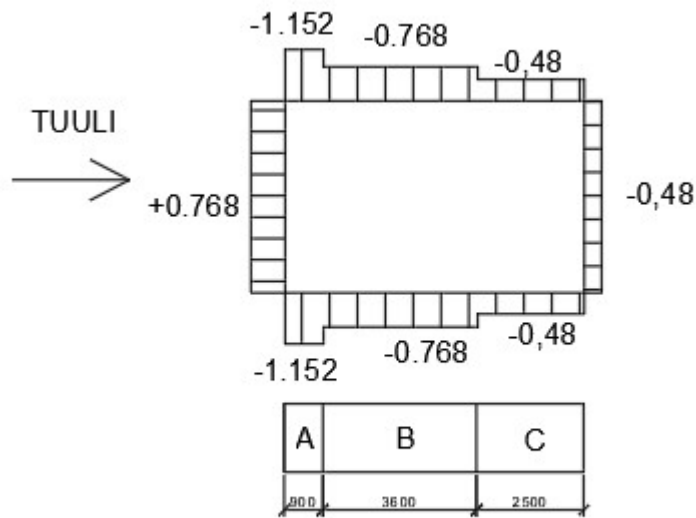
Opinnäytetyön pitkälle sivulle puhaltavan tuulen tapauksessa.

Käytetään sivupiirrosta $e > d$ koska $e = 7$ m ja $d = 4,5$ m



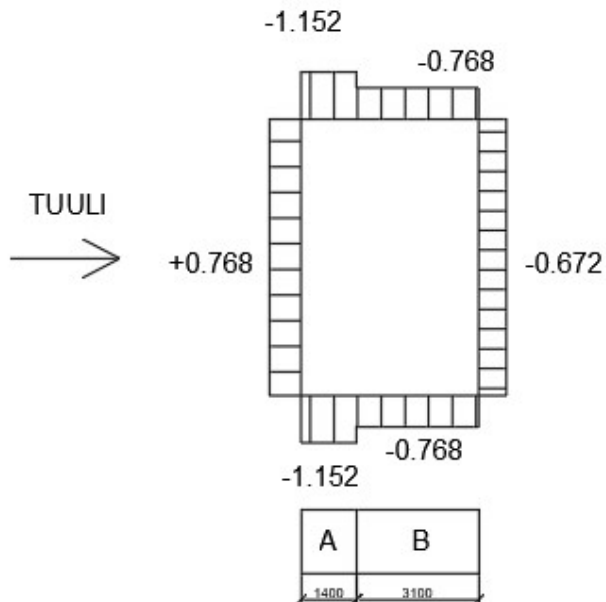
Kuva 37. Paine kertoimet kun tuuli pitkälle sivulle (Paavilainen 2023).

Painevoimat kun tuulee lyhyelle sivulle.
Painevoimat ovat kN/m²



Kuva 38. Painevoimat tuuli lyhyelle sivulle (Paavilainen 2023).

Painevoimat kun tuulee pitkälle sivulle.



Kuva 39. Painevoimat tuuli pitkälle sivulle (Paavilainen 2023).

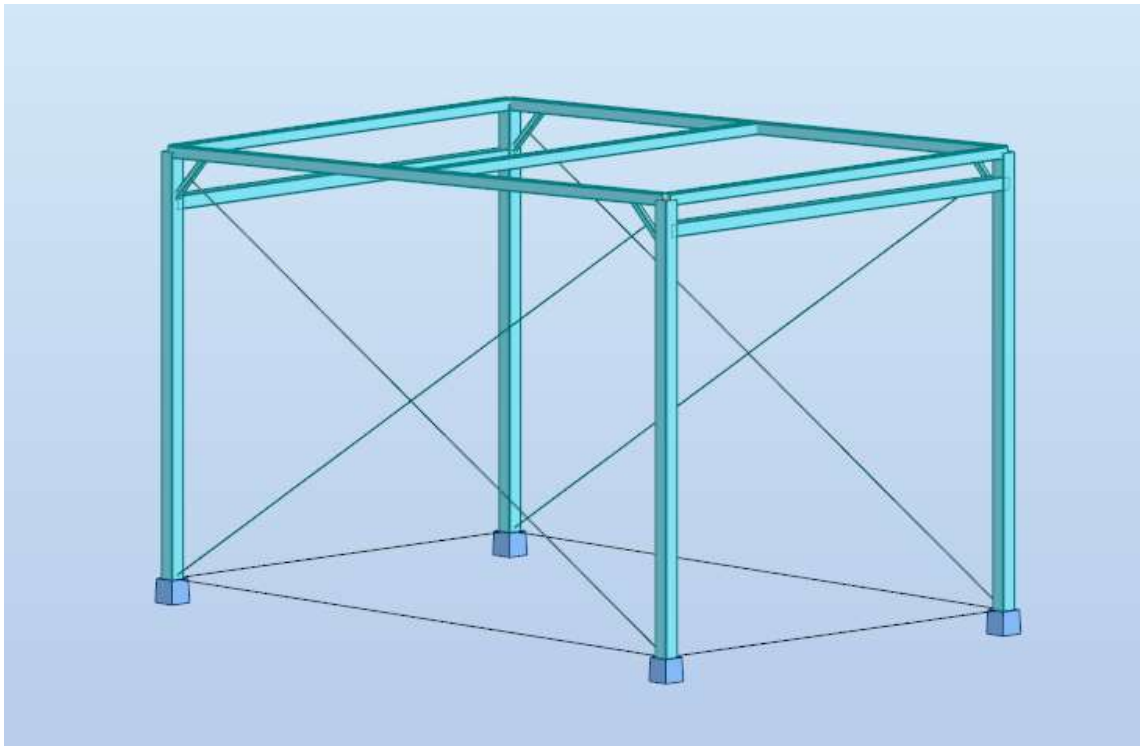
9.3 Katoksen kiinteät kuormat

Opinnäytetyössä pysyviä kuormia on katoksen omapaino. Omapaino koostuu kantavasta rungosta, joka tehdään rakenneputkista, katto ja seinä pelleistä. Rakenneputket on tehty teräksestä, jonka tiheys on 7850 kg/m^3 . Peltien paino vaihtelee profiilista ja painosta riippuen $5\text{--}25 \text{ kg/m}^2$

9.4 Kantavan rungon mitoitus

Kantava runko mitoitettiin Robot Structural Analysis ohjelmalla.

Suunnittelussa kattokehän liitokset ovat jäykkiä eli hitsiliitoksia ja pilareiden liitokset ovat nivelellisiä eli pulttiliitoksia. Vetotangot määriteltiin ottamaan vastaan vain veto.



Kuva 40. Katos Robot ohjelmassa (Robot Structural 2023).

Alla olevassa taulukoosta näkee laskennassa käytetyt murto- ja käyttörajatila yhdistelmät.

SLS lyhenne tarkoittaa käyttörajatilayhdistelmää ja OP on lyhenne omasta painosta. Kuormitusyhdistelmiä tuli monta eri tapausta, koska jokainen tapaus piti tutkia eri tuulen suunnista.

Name
SLS tav. 100%OP+20%Tuulietuseinään
SLS Tav 90%OP+20%Tuulisivuseinään
SLS 90%OP+20%Tuulitakaseinään
OP+100%lumi+0%tuuli
OP+100%lumi+60%tuulietuseinään
OP+100%lumi+60%tuulisivuseinään
OP+100%lumi+60%Tuulitakaseinään
OP+100%tuulietuseinään+70%lumi
OP+100%tuulisivuseinään+70%lumi
OP+100%tuulitakaseinään+70%lumi
90%OP+100%Tuulietuseinään
90%OP+100%tuulisivuseinään
90%OP+100%tuulitakaseinään
SLS 90%OP+100%tuulietuseinään
SLS 90%OP+100%tuulisivuseinään
SLS 90%OP+100%tuulitakaseinään

Kuva 41. Kuormitusyhdistelmät (Robot Structural 2023)

Laskennan tulokset ja käyttöasteet murtorajatila yhdistelmissä esitetään kuvassa 42.

Member	Section	Material	Ratio	Case
1 katoksen pilari_1	RRHS 160x160x5	S355	0.75	15 OP+100%tuulisivuseinään+70%lumi
2 katoksen pilari_2	RRHS 160x160x5	S355	0.60	15 OP+100%tuulisivuseinään+70%lumi
3 katoksen pilari_3	RRHS 160x160x5	S355	0.78	15 OP+100%tuulisivuseinään+70%lumi
4 katoksen pilari_4	RRHS 160x160x5	S355	0.60	15 OP+100%tuulisivuseinään+70%lumi
5 KATOKSEN KANTAVA PALKKI_5	RRHS 120x120x5	S355	0.53	13 OP+100%lumi+60%Tuulitakaseinään
6 KATOKSEN KANTAVA PALKKI_6	RRHS 120x120x5	S355	0.53	12 OP+100%lumi+60%tuulisivuseinään
7 katoksen sidepalkki_7	RRHS 120x120x5	S355	0.80	13 OP+100%lumi+60%Tuulitakaseinään
8 katoksen sidepalkki_8	RRHS 120x120x5	S355	0.80	12 OP+100%lumi+60%tuulisivuseinään
9 Simple member_9	RRHS 120x120x5	S355	0.82	13 OP+100%lumi+60%Tuulitakaseinään
10 Simple member_10	vetotanko 15mm	S355	0.17	17 90%OP+100%Tuulietuseinään
11 Simple member_11	RRHS 140x140x5	S355	0.71	15 OP+100%tuulisivuseinään+70%lumi
12 Simple member_12	RRHS 140x140x5	S355	0.76	15 OP+100%tuulisivuseinään+70%lumi
13 Simple member_13	RRHS 60x60x4	S355	0.46	16 OP+100%tuulitakaseinään+70%lumi
14 Simple member_14	RRHS 60x60x4	S355	0.46	16 OP+100%tuulitakaseinään+70%lumi
15 Simple member_15	RRHS 60x60x4	S355	0.48	14 OP+100%tuulietuseinään+70%lumi
16 Simple member_16	RRHS 60x60x4	S355	0.48	14 OP+100%tuulietuseinään+70%lumi
17 Simple member_17	vetotanko 15mm	S355	0.17	16 OP+100%tuulitakaseinään+70%lumi
18	vetotanko 15mm	S355	0.17	17 90%OP+100%Tuulietuseinään
19	vetotanko 15mm	S355	0.17	16 OP+100%tuulitakaseinään+70%lumi

Kuva 42. Murtorajatilojen käyttöasteet. (Robot Structural 2023)

Käyttörajatilayhdistelmien käyttöasteet esitetään kuvassa 43.

Member	Section	Material	Case (uy)	Ratio	Case (uz)	Ratio	Case (vx)
1 katoksen pilari_1	RRHS 160x160x5	S355	-	-	-	0.69	5 SLS Tav 90%OP+20%Tuulisivuseinään
2 katoksen pilari_2	RRHS 160x160x5	S355	-	-	-	0.69	5 SLS Tav 90%OP+20%Tuulisivuseinään
3 katoksen pilari_3	RRHS 160x160x5	S355	-	-	-	0.66	5 SLS Tav 90%OP+20%Tuulisivuseinään
4 katoksen pilari_4	RRHS 160x160x5	S355	-	-	-	0.66	5 SLS Tav 90%OP+20%Tuulisivuseinään
5 KATOKSEN KANTAVA PALKKI_5	RRHS 120x120x5	S355	5 SLS Tav 90%OP+	0.24	6 SLS 90%OP+20%Tuulitakaseinään	-	-
6 KATOKSEN KANTAVA PALKKI_6	RRHS 120x120x5	S355	5 SLS Tav 90%OP+	0.24	5 SLS Tav 90%OP+20%Tuulisivuseinään	-	-
7 katoksen sidepalkki_7	RRHS 120x120x5	S355	5 SLS Tav 90%OP+	0.18	5 SLS Tav 90%OP+20%Tuulisivuseinään	-	-
8 katoksen sidepalkki_8	RRHS 120x120x5	S355	5 SLS Tav 90%OP+	0.18	5 SLS Tav 90%OP+20%Tuulisivuseinään	-	-

Kuva 43. Käyttörajatilojen käyttöasteet (Robot Structural 2023)

9.5 Katoksen pulttiliitokset

Opinnäytetyössä pulttiliitoksilla liitetään katoksen pilarit kattorakenteeseen.

Liitokseen tulee neljä kappaletta 16 mm pultteja ja liitos rasittuu leikkausvoimalle. Laskut on tehty lujuusluokan 8,8 pultille. Alla on laskettu leikkaus-, reunapuristus- ja vetokestävyys yhdelle 16 mm pultille. Liitoslevyjen paksuus on 5 mm.

Pultin leikkauskestävyys saadaan kaavasta 24.

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \text{ N/mm}^2 \cdot 157 \text{ mm}^2}{1,25} = 60,29 \text{ kN} \quad (24)$$

Pultin reunapuristuskestävyys saadaan kaavasta 25.

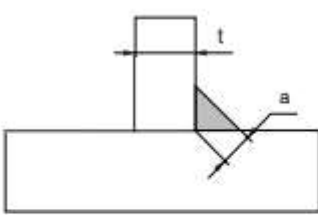
$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,65 \cdot 510 \text{ N/mm}^2 \cdot 16 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm}}{1,25} = 52,89 \text{ kN} \quad (25)$$

Pultin vetokestävyys saadaan kaavasta 26.

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \text{ N/mm}^2 \cdot 157 \text{ mm}^2}{1,25} = 90,43 \text{ kN} \quad (26)$$

9.6 Katoksen hitsiliitokset.

Opinnäytetyössä katoksen keuhkon liitokset tehdään hitsaamalla ja pilareiden välissä oleva palkki hitsataan pilareihin kiinni. Hitsin a-mitta saadaan laskettua taulukon 44 mukaan.

	Teräslaji	Myötölujuus ^{a)} f_y (N/mm ²)	Murtolujuus ^{a)} f_u (N/mm ²)	Hitsin a-mitta ^{b)}
	S235H	235	360	1,13-t
	S275H	275	430	1,18-t
	S355H	355	510	1,36-t
	S275NH	275	370	1,37-t
	S355NH	355	470	1,47-t
	S460NH	460	550	1,81-t
	S275MH	275	360	1,41-t
	S355MH	355	470	1,47-t
	S420MH	420	500	1,82-t
	S460MH	460	530	1,88-t

a) Taulukon 1.7 mukaiset nimelliset lujuusarvot.
b) Kuitenkin vähintään $a \geq 3$ mm.

- Tämän taulukon arvot on laskettu Eurocoden osien EN 1993-1-1 ja EN 1993-1-8 suositusarvoilla $\gamma_{M0} = 1,0$ ja $\gamma_{M2} = 1,25$. **Maakohtaiset vaatimukset on tarkastettava kyseisen maan kansallisesta liitteestä (= NA, National Annex).**

- Taulukon a-mitat pätevät:
- riippumatta rakenneputken seinämässä vaikuttavien jännitysten resultantin suunnasta
- kun hitsi kiertää liitettävän rakenneputken piiriin ympäri
- kun liitettävä rakenneputki on samaa tai alempaa lujuusluokkaa kuin viereinen rakenneosaa
- kun käytetään hitsausainetta, jonka myötölujuuden ja murtolujuuden minimiarvot vastaavat vähintään liitettävän rakenneputken vastaavia arvoja.

Taulukko 44 pienahitsin a-mitta (SSAB DOMEX TUBE 2016, 207).

9.7 Pohjalevyn mitoitus

Pohjalevyn mitoituksessa pilarilta tuleva kuorma on 20 kN, joka koostuu lumi-kuormasta ja katoksen omasta painosta. Pohjalevyn kooksi valittiin 400x400mm ja sen tulee kestää kuormat, vaikka pohjalevy tuettaisiin vain toisesta reunasta. Pohjalevyn paksuus saatiin laskettua alla olevalla tavalla.

$$N_{Ed} = 20 \text{ kN}$$

$$b_{levy} = 400 \text{ mm}$$

$$b_{pilari} = 160 \text{ mm}$$

Pohjalevyn pinta-ala saatiin kaavasta 27.

$$A_{levy} = b_{levy} * b_{levy} = 0,16 \text{ m}^2 \quad (27)$$

Pohjalevyn reunan ja pilarin välinen momenttivarsi saatiin kaavasta 28.

$$a_{levy} = \frac{b_{levy} - b_{pilari}}{2} = 120 \text{ mm} \quad (28)$$

$$\sigma_{m=f_y} = 355 \text{ MPa}$$

Pohjalevyn maksimi momentti laskettiin kaavalla 29.

$$M_{Ed.levy} = N_{Ed} * a_{levy} = 20 \text{ kN} * 0,12 \text{ m} = 2,4 \text{ kNm} * \quad (29)$$

Vaadittu levynpaksuus saatiin kaavasta 30.

$$t_{levy} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{Ed,levy}}{b_{levy} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2,4 \text{ kNm}}{0,4 \text{ m} \cdot 355 \text{ MPa}}} = 10,07 \text{ mm} \quad (30)$$

Kaava 30 johdettiin kaavoista 31 ja 32.

$$\sigma_m = \frac{M_{Ed,levy}}{W_{el,levy}} \quad (31)$$

$$W_{el,levy} = \frac{b_{levy} \cdot t_{levy}^2}{6} \quad (32)$$

Laskuista saadaan pohjalevyn paksuudeksi 10,07 mm, joten pohjalevyt tehdään 15 mm levyistä, jolloin niihin saadaan varmuutta mukaan.

Pohjalevyn ja asfaltin välinen paine laskettiin kaavalla 33.

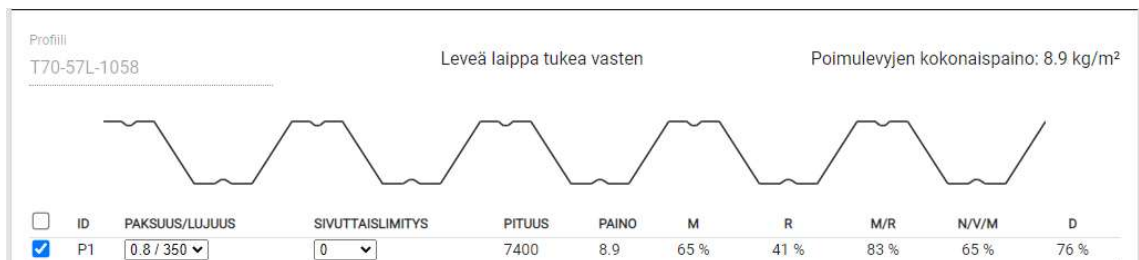
$$P_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_{levy}} = 125 \text{ kN/m}^2 \quad (33)$$

9.8 Katto ja seinäpeltien määrittäminen

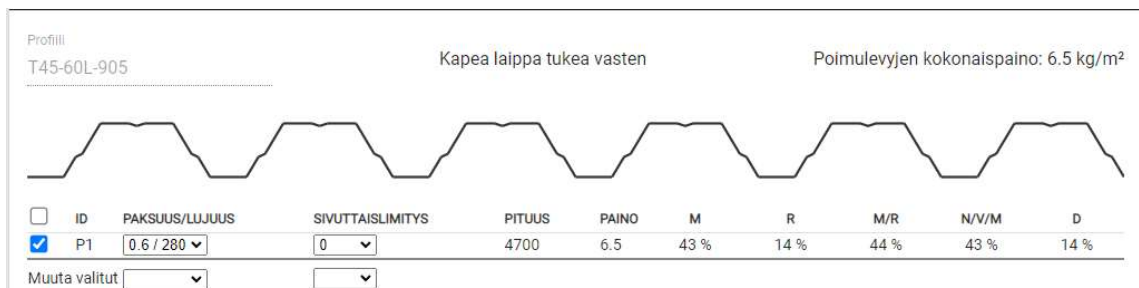
Katto ja seinäpellit määritettiin Ruukin poimu mitoitusohjelmalla.

Seinäpellit mitoitettiin orsiin kiinni pystyyn, vaakasuunnassa asennettuna kantavan levyn profiili olisi liian suuri. Kattopellit tuettiin palkkeihin. Kattopellin profiili ja käyttöasteet kuvassa 45. Seinäpeltien profiili ja käyttöasteet kuvassa 46.

Käyttöasteiden lyhennysten selitykset kuvassa 47.



Kuva 45. Kattopeltien käyttöasteet. (Ruukki poimu 2023).



Kuva 46. Seinäpeltien käyttöasteet. (Ruukki poimu 2023).

M	Taivutusmomentti	1 / 2.2 kNm/m
R	Paikallinen poikittainen voima	4.3 / 31.4 kN/m
M/R	Yhdistetty taivutusmomentti ja poikittainen kuorma	
V	Leikkausvoima	2.2 / 45.4 kN/m
N/V/M	Yhdistetty normaalivoima, leikkausvoima ja taivutusmomentti	
D	Kokonaistaipuma	3.2 / 23 mm

Kuva 47. Lyhennykset (Ruukki poimu 2023).

9.9 Opinnäytetyön määrälaskenta

Opinnäytetyön määrälaskenta tehdään Robot sovelluksessa tehdystä mallista. Taulukosta 43 näkee katoksen määrät ilman katto ja seinäpeltejä sekä ilman pohjalevyjä ja liitoksien tarvikkeita. Vetotangot ovat 15 mm paksuisia pyörötankoja. Pohjalevyjä on 4 kappaletta, niiden mitat ovat 15x400x400mm. Pohjalevyt tehdään S355 teräslevystä.

Kattopelteinä käytetään 0,8 mm paksua Ruukin T70 kantavaa poimulevyä ja seinäpelteinä käytetään 0,6 mm paksua Ruukin T45 kantavaa poimulevyä. Kattopinta-ala on noin $7,4 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} = 33,3 \text{ m}^2$ ja seinä pinta-ala on noin 82 m^2 . Katoksen oveksi tulee pressu ovi.

Type	Number	Length (m)	Unit weight (kG/m)	Member weight (kG)	Total weight (kG)	Painting area (m2)
S355						
RRHS 60x60x4	2	0,70	6,71	4,70	9	0,34
RRHS 60x60x4	2	0,73	6,71	4,90	10	0,35
RRHS 120x120x5	3	4,50	17,59	79,16	237	6,48
RRHS 120x120x5	2	7,01	17,59	123,31	247	6,73
RRHS 140x140x5	2	4,50	20,73	93,29	187	5,04
RRHS 160x160x5	2	4,20	23,87	100,26	201	5,38
RRHS 160x160x5	2	4,50	23,87	107,43	215	5,76
vetotanko 15mm	2	7,83	1,39	10,87	22	0,74
vetotanko 15mm	2	7,98	1,39	11,07	22	0,75
Total per sections						
RRHS 60x60x4	4	2,86	6,71	19,20	19	0,69
RRHS 120x120x5	5	27,52	17,59	484,09	484	13,21
RRHS 140x140x5	2	9,00	20,73	186,58	187	5,04
RRHS 160x160x5	4	17,40	23,87	415,38	415	11,14
vetotanko 15mm	4	31,62	1,39	43,88	44	1,49
Total					1149	31,56

Taulukko 48. Määrät Robot ohjelmasta (Robot Structural 2023).

9.10 Kustannusten arviointi

Rhs-profiilien hinta menee lähes suoraan kilojen mukaan ja profiilin koko vaikuttaa hintaan todella vähän. Rhs-profiileita voidaan jatkaa hitsaamalla millä saadaan vähennettyä hävikinmäärää. Rhs-profiileiden osalta hinta on verrannollinen teräskiloihin. Pyörötangot ovat kilohinnoiltaan kalliimpia kuin rhs profiilit. Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää kustannustehokas ratkaisu ja kustannustehokkain ratkaisu on se missä on vähiten teräskiloja.

10 Pohdinta

Opinnäytetyön päätavoitteena oli löytää ratkaisu kevytrakenteiselle teräskatokselle, joka olisi tarpeen tullen myös siirreltävässä. Opinnäytetyö aloitettiin tarveselvityksellä, jossa selvitettiin katoksen käyttökohteita ja niiden perusteella saatiin alustavat mitat katokselle. Päätavoitteet saavutettiin työssä, kun löydettiin toimiva ratkaisu katokselle.

Opinnäytetyö oli yllättävän haasteellinen johtuen vähäisestä suunnittelukokemuksesta. Suunnittelutyötä helpotti nykyaikaiset suunnittelutyökalut, joilla eri rakenneratkaisuiden vertailu oli helppoa.

Työn tulokset ovat luotettavia, ne on tehty standardien ja normien mukaan. Tulosten luotettavuutta heikentävä tekijä on opinnäytetyönsuorittaja, joka on opiskelija ja suunnittelupätevyyksien saaminen edellyttää usean vuoden työkokemusta suunnittelutehtävistä.

Työn mahdollisia jatkotutkimusideoita olisi nosteenvaikutus katokseen ja katoksen mahdollinen liukuminen alustalla ja sen estäminen sekä eri alustojen kantokyvyn määrittäminen.

Lähteet

Kotkamills. n.d. company. Verkkosivu. <https://kotkamills.com/company/>.

SSAB DOMEX TUBE RAKENNEPUTKET, 2016

Teräsrakenneyhdistys. n.d. rakentaminen teräksestä. Verkkosivu.

<https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/teras/rakentaminen-teraksesta/>

Tiainen, T. 2020. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus eurocode 3. Helsinki:

Teräsrakenneyhdistys ry

RT 10-112284. 2017. Talonrakennushankkeen kulku. Rakennustieto.

SFS-EN 1090-2. 2018. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliito SFS.

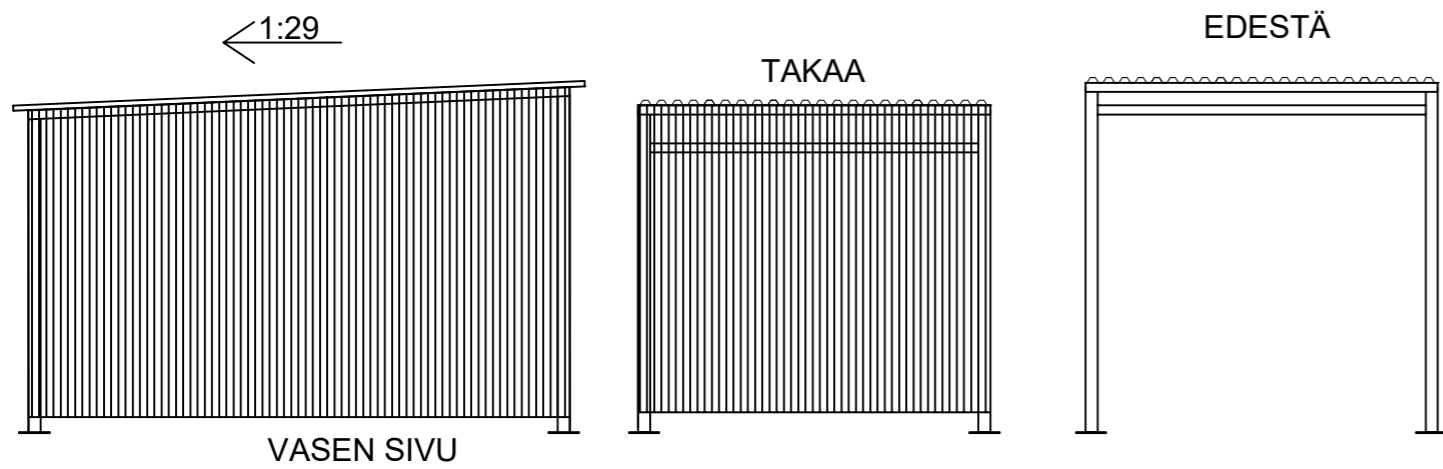
SFS-EN 1991-1-4. 2011. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1–4 Yleiset kuormat, Tuulikuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliito SFS.

SFS-EN 1993-1-1. 2014 Eurokoodi 3. teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–1 yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliito SFS.

SFS-EN 1993-1-8 Eurokoodi 3. teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–8 Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliito SFS.

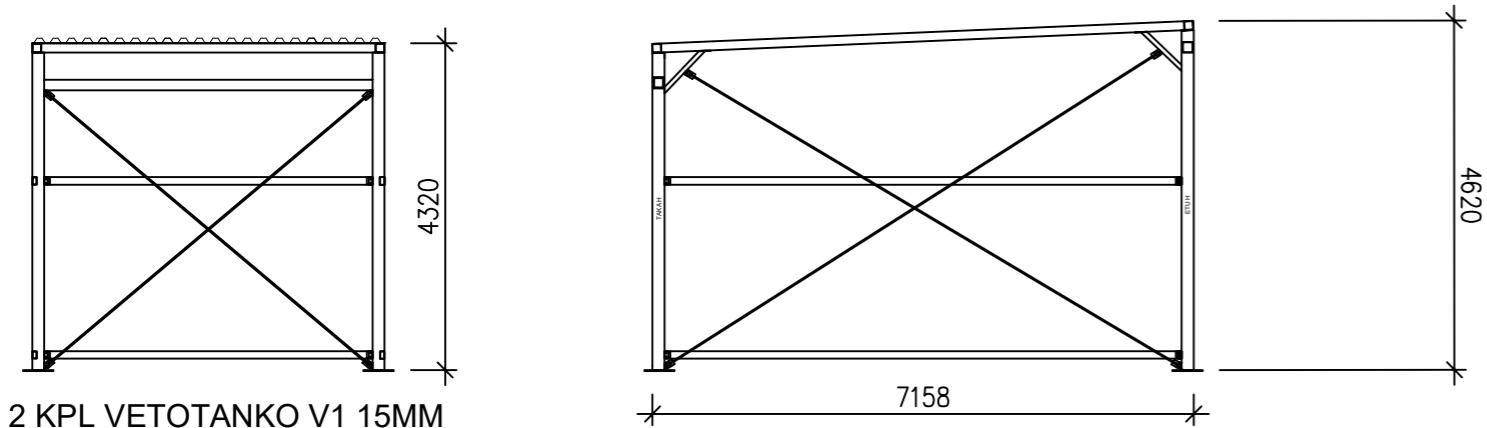
RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry

RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry



Liite 1.

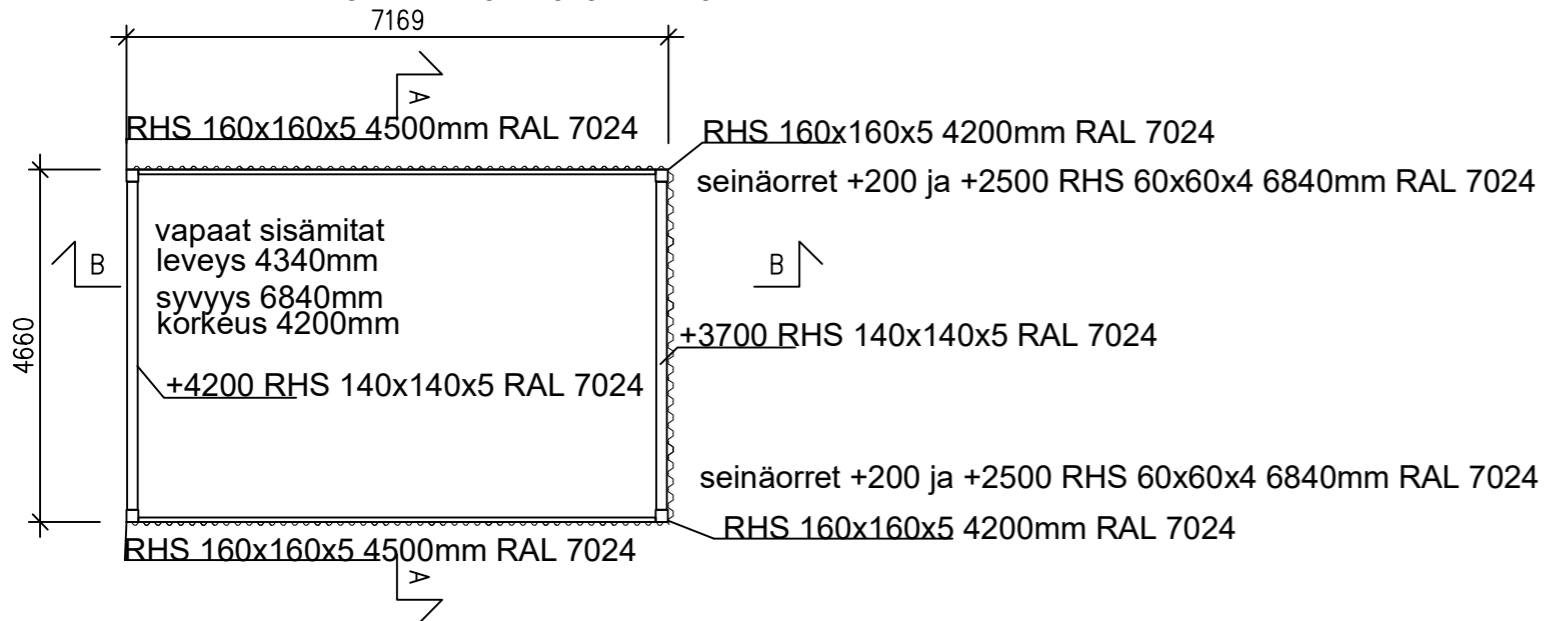
Kattopelti Ruukki T70-57L-1058 RR 23
 Kattopelti Seinäpelti T45-30L-905 RR 23
 Kattokehä RHS 120x120x5 RAL 7024
 VÄLIPALKKI RHS 140x140x5 RAL 7024
 Pilarit RHS 160x160x5 RAL 7024



KATTO KEHÄ RHS 120X120X5
 2 KPL VETOTANKO V2 15MM
 2 KPL VETOTANKO V3 15MM
 2 kpl ORSI O1 RHS 100X60X4

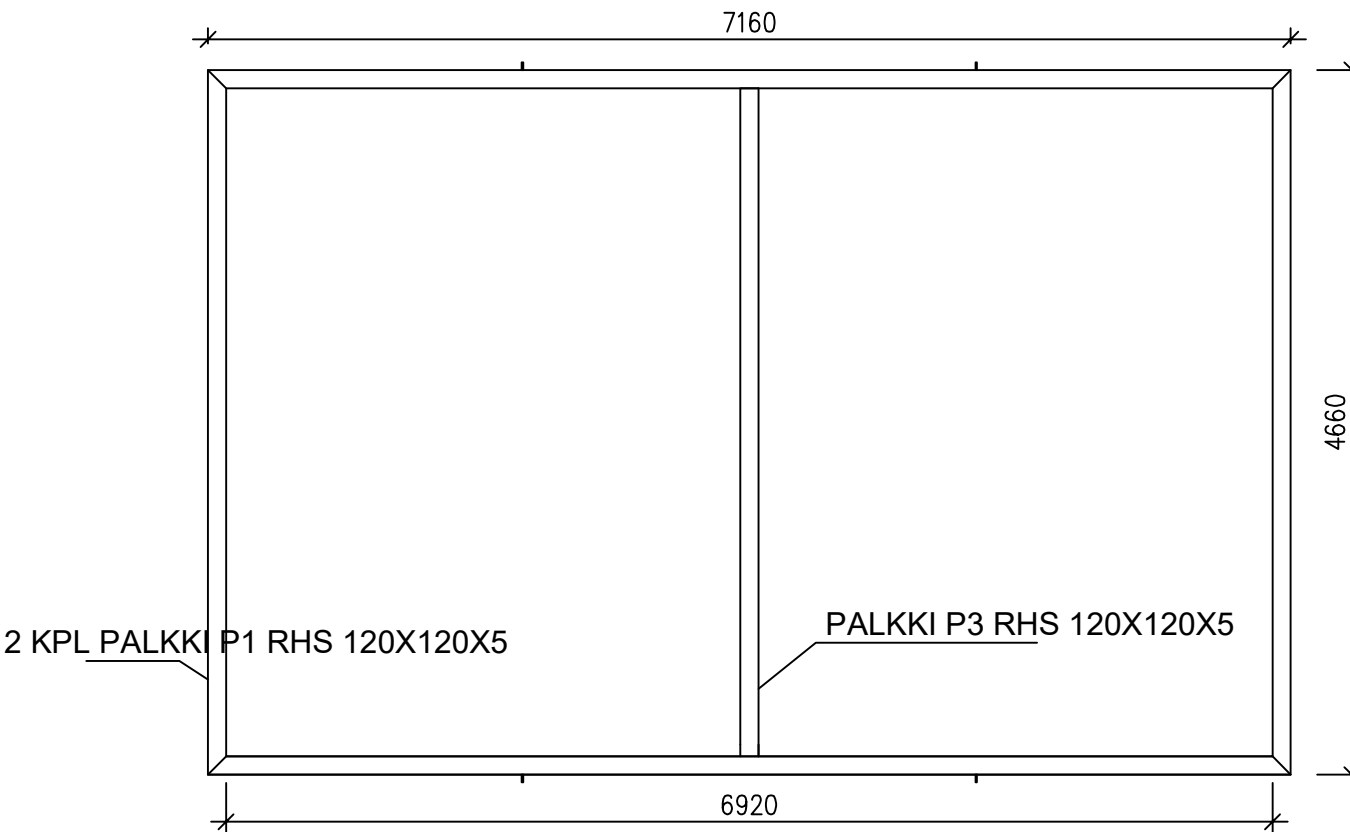
2 KPL VETOTANKO V1 15MM
 2 KPL ORSI O2 RHS 100X60X4

1KPL VÄLIPALKKI P5 RHS 140x140x5 RAL 7024



RAKENNUSKOHTTEEN NIMI	PVM	PIIR.NRO.	MITTAKAAVA
Teräskatos Kotkamills	26.04.2023	123	1:100
	PIIRTÄJÄ K-VPa		
	SUUNNITTELIJA K-VPa	OSA	teäskatos
	HYVÄKSYJÄ K-VPa		

Tehty opiskelija työnä ei sovellu suoraan tuotantoon!



2 KPL SIDEPAKKI P2 RHS 120X120X5

4 KPL NOSTOLENKKI N1 10X75X75

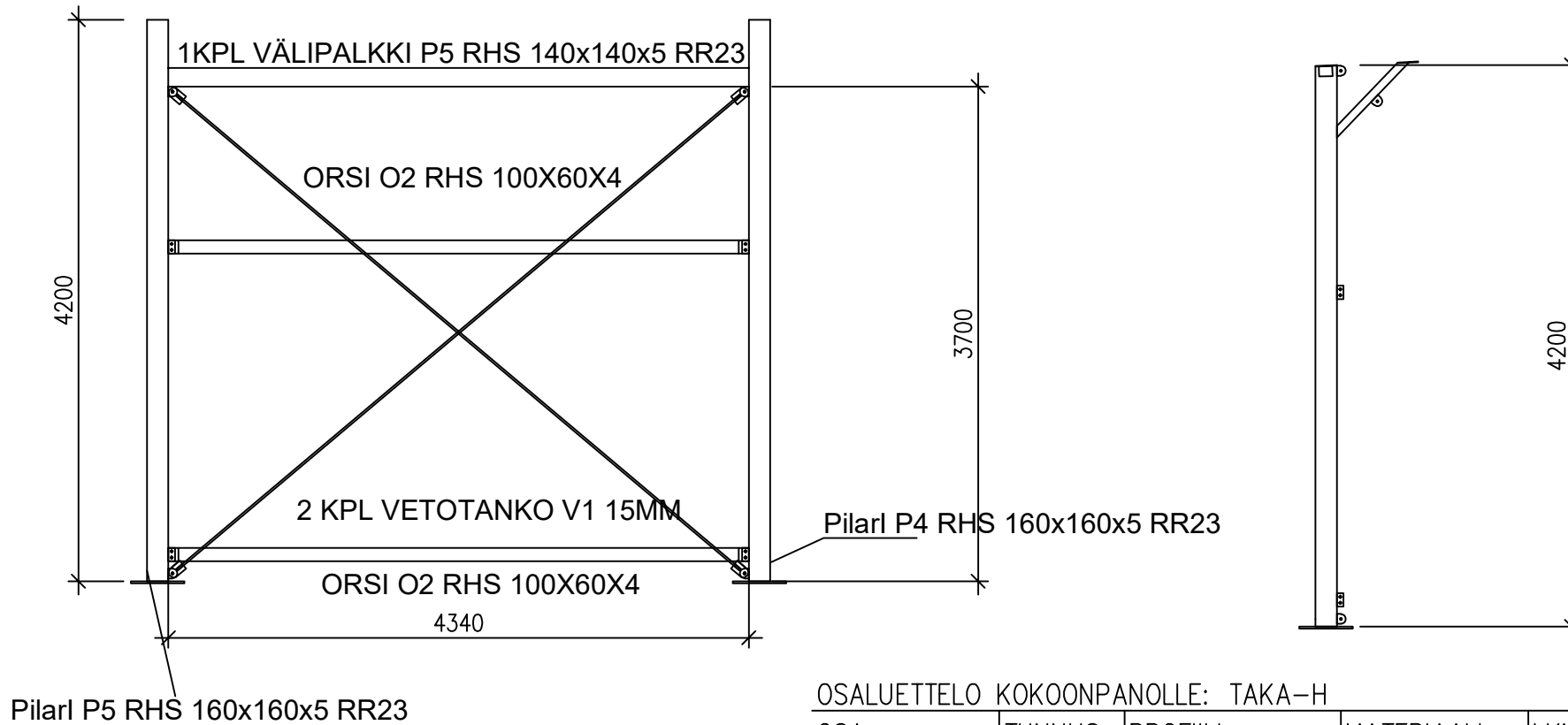
HITSIT: $a=1,36xt$
 Pienä/puoli v ympäri.
 Vähintään $a=3mm$

OSALUETTELO KOKOONPANOILLE: KATTO KEHÄ

OSA	TUNNUS	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS [mm]
PALKKI	P1	RHS 120X120X5	S355J2	2	4660
PALKKI	P2	RHS 120X120X5	S355J2	2	7160
PALKKI	P3	RHS 120X120X5	S355J2	1	4420
NOSTOLENKKI	K1	RHS 120X120X5	S355J2	4	4420

RAKENNUSKOHTEN NIMI		PVM	MITTAKAAVA
Teräskatos Kotkamills		26.04.2023	1:50
PIIRTÄJÄ	K-VP _a		
SUUNNITTELIJA	K-VP _a	OSA	Katto kehä
HYVÄKSYJÄ	K-VP _a		

Tehty opiskelija työnä ei sovellu suoraan tuotantoon!



Pilarl P5 RHS 160x160x5 RR23

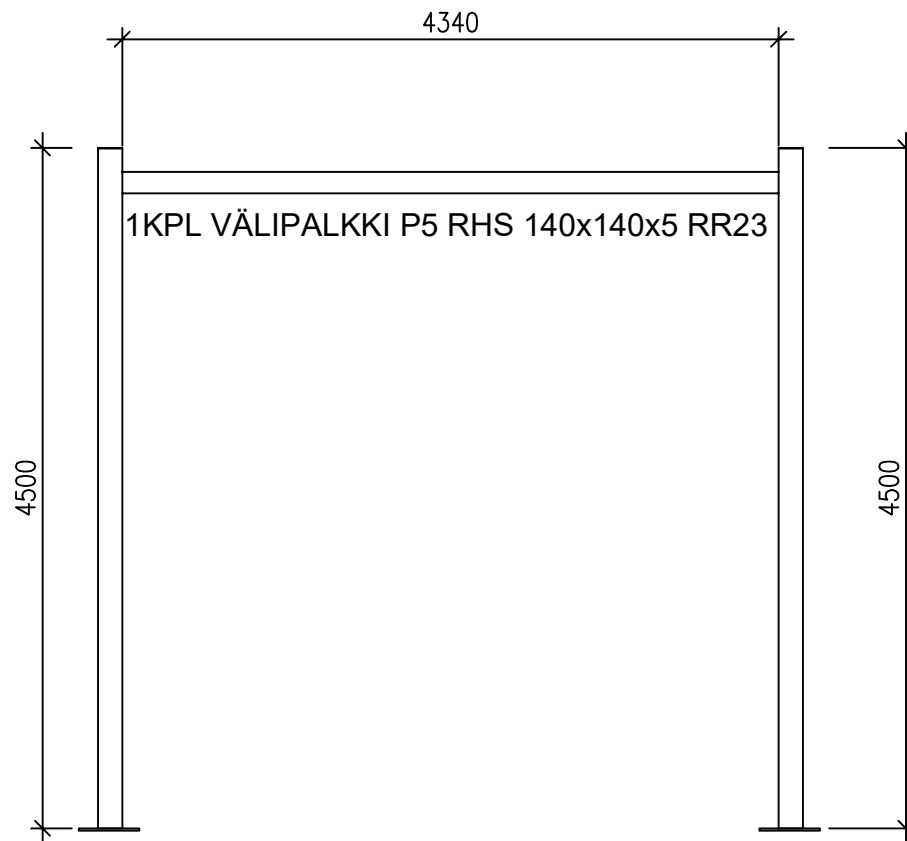
HITSIT: $a=1,36xt$
 Piena/puoli v ympäri.
 Vähintään $a=3mm$
 Välipalkki hitsataan pilareihin ja pohjalevu pilareihin

OSALUETTELO KOKOONPANOLLE: TAKA-H

OSA	TUNNUS	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS [mm]
PALKKI	P5	RHS 160X160X5	S355J2	1	4200
PALKKI	P4	RHS 160X160X5	S355J2	1	4200
VÄLIPALKKI	P5	RHS 140X140X5	S355J2	1	4340
POHJALEVY	PL1	400X400X15	S355J2	2	
VETOTANKO	V1	TANKO 15MM	S355J2	2	4200
ORSI	O2	RHS 100X60X4	S355J2	2	4190
POHJALEVY	PL1	400X400X15	S355J2	2	

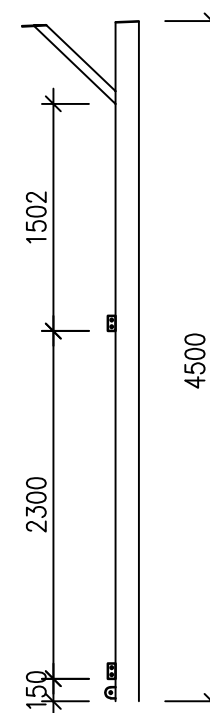
RAKENNUSKOHTEN NIMI Teräskatos Kotkamills	PVM 26.04.2023	MITTAKAAVA 1:50
	PIIRTÄJÄ K-VPa	
	SUUNNITTELIJA K-VPa	OSA Takah-H
	HYVÄKSYJÄ K-VPa	

Tehty opiskelija työnä ei sovellu suoraan tuotantoon!



PILARI P6 RHS 160X160X5

PILARI P7 RHS 160X160X5



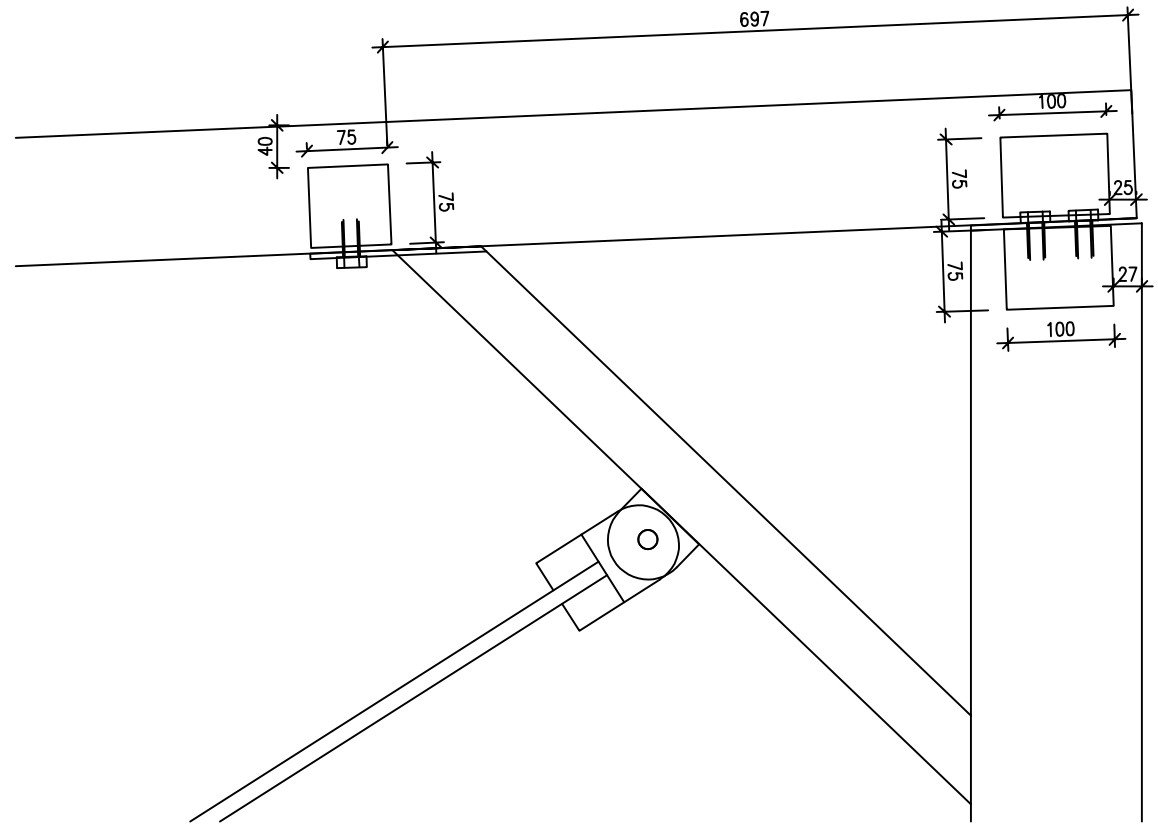
HITSIT: $a=1,36xt$
 Piena/puoli v ympäri.
 Vähintään $a=3mm$
 Välipakki hitsataan pilareihin ja pohjalevu pilareihin

OSALUETTELO KOKOONPANOILLE: ETU-H

OSA	TUNNUS	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS [mm]
PILARI	P5	RHS 160X160X5	S355J2	1	4200
PILARI	P4	RHS 160X160X5	S355J2	1	4200
POHJALEVY	PL1	400X400X15	S355J2	2	
VÄLIPALKKI	P5	RHS 140X140X5	S355J2	1	4340

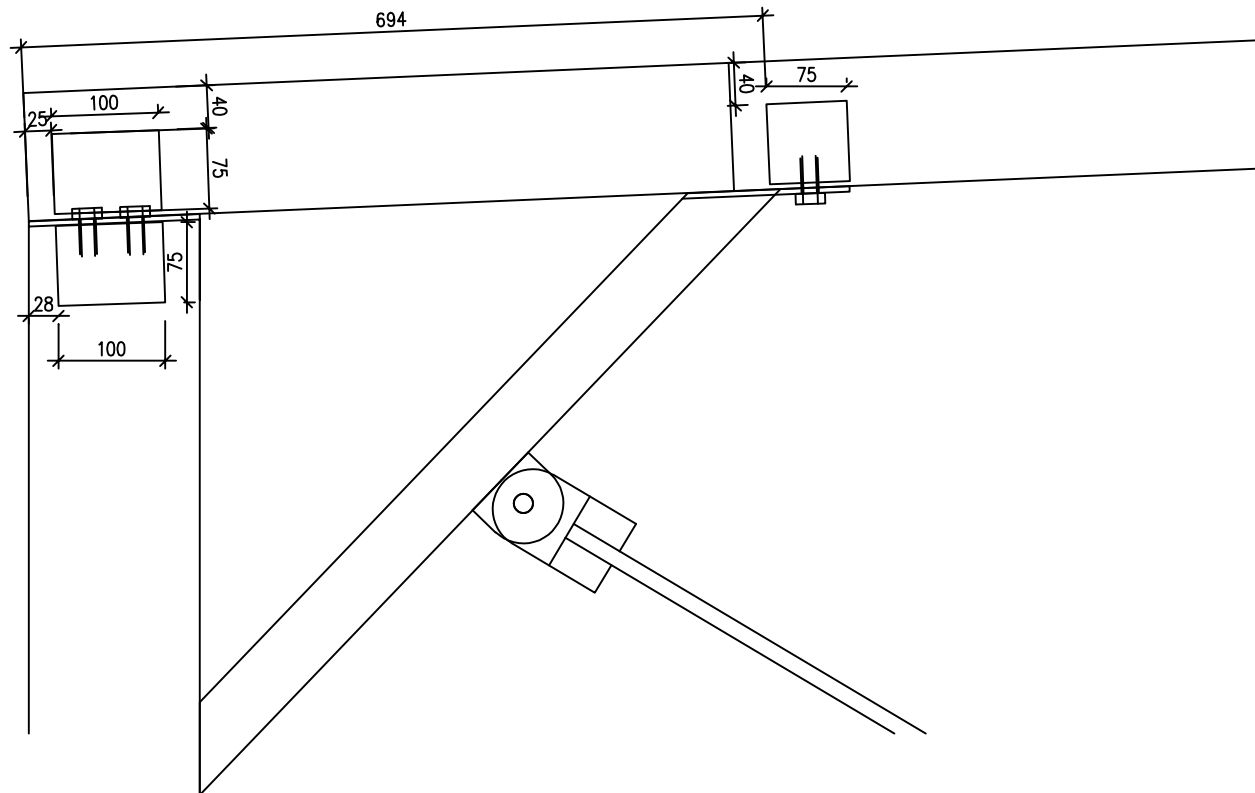
RAKENNUSKOHTEN NIMI Teräskatos Kotkamills	PVM 26.04.2023	MITTAKAAVA 1:50
	PIIRTÄJÄ K-VP _a	
	SUUNNITTELIJA K-VP _a	OSA Etu-H
	HYVÄKSYJÄ K-VP _a	

Tehty opiskelijana työnä ei sovellu suoraan tuotantoon!



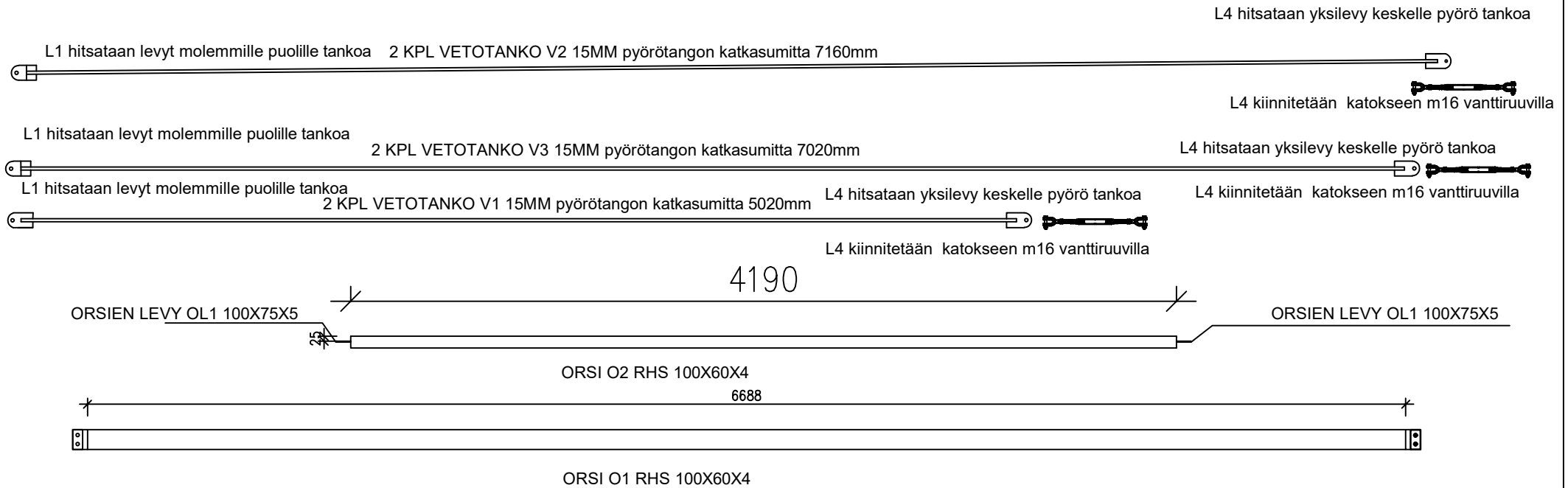
Palkkeihin ja pilareihin tehdään asennus aukot mittojen mukaan katoksen ulkopuolelle. asennus aukot jää peltien alle piiloon.
Liitoksissa käytetään m16x35 pultteja

RAKENNUSKOHTEEEN NIMI JA OSOITE	PVM	MITTAKAAVA
Teräskatos Kotkamills	26.04.2023	1:5
Norksankatu 6, 48100 Kotka	PIIRTÄJÄ K-VPa	OSA etupään liitokset
	SUUNNITTELIJA K-VPa	
	HYVÄKSYJÄ K-VPa	
Tehty opiskelija työnä ei suoraan tuotantoon!		



Palkkeihin ja pilareihin tehdään asennus aukot mittojen mukaan katoksen ulkopuolelle. asennus aukot jää peltien alle piiloon. Liitoksissa käytetään m16x35 pultteja

RAKENNUSKOHTIEN NIMI JA OSOITE	PVM	MITTAKAAVA	MUUTOS/REVISIO
Teräskatos Kotkamills	26.04.2023	1:5	A
Norksankatu 6, 48100 Kotka	PIIRTÄJÄ K-VPa	TYÖNUMERO LTR6054	
	SUUNNITTELIJA K-VPa	OSA takapään liitokset	
	HYVÄKSYJÄ K-VPa	TIEDOSTO Konepajapiirustus.dwg	
Tehty opiskelija työnä ei suoraan tuotantoon!			



HITSIT: a=1,36xt
Pieni/puoli v ympäri.
Vähintään a=3mm

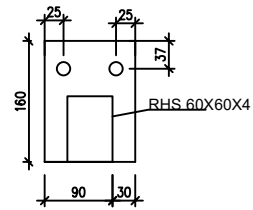
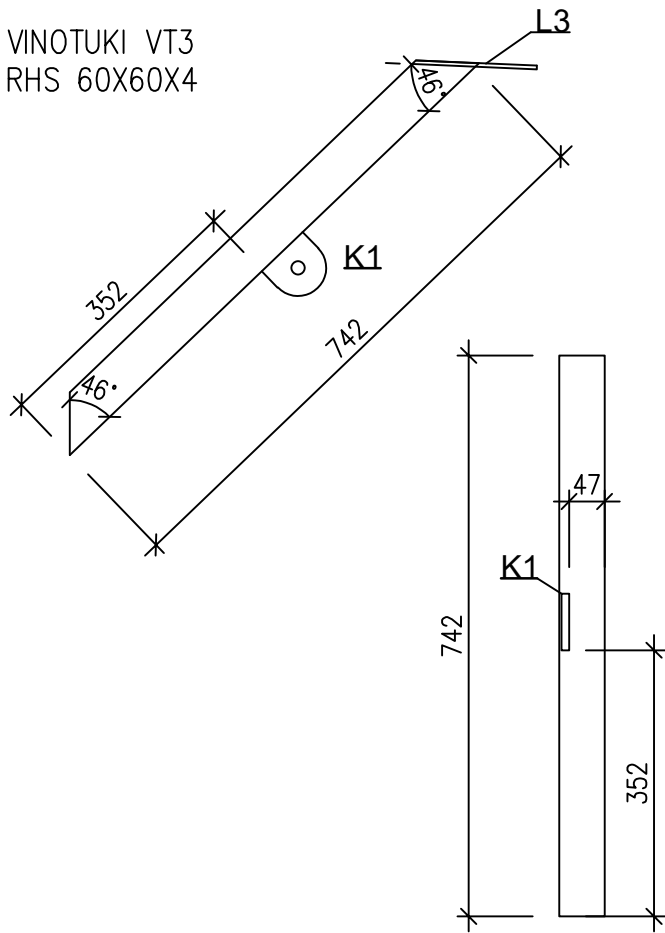
OSALUETTELO KOKOONPANOILLE: PILARI P4

OSA	TUNNUS	PROFIILI	MATERIAALI	LKM
pyörötanko	V3	m15x7160	S355J2	2
pyörötanko	V2	m15x7020	S355J2	2
pyörötanko	V1	m15x5020	S355J2	2
levy	L1	75x100x5	S355J2	12
levy	L4	75x100x5	S355J2	6
Vanttiruuvvi		m16		6
Orsi	O1	RHS 100x60x4	S355J2	2
Orsi	O2	RHS 100x60x4	S355J2	4
Orsien levy	OL1	100x70x5	S355J2	12

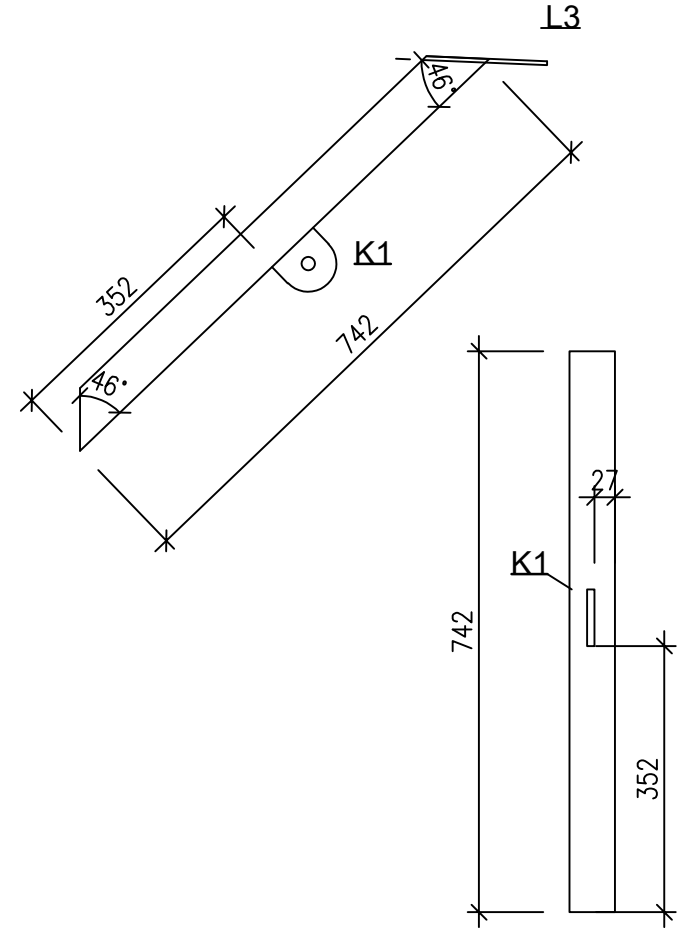
RAKENNUSKOHTEEN NIMI	PVM	MITTAKAAVA
Teräskatos Kotkamills	26.04.2023	1:20
	PIIRTÄJÄ	K-VPa
	SUUNNITTELIJA	K-VPa OSA Vetotangot ja orret
	HYVÄKSYJÄ	K-VPa

Tehty opiskelija työnä ei sovellu suoraan tuotantoon!

VINOTUKI VT3
RHS 60X60X4

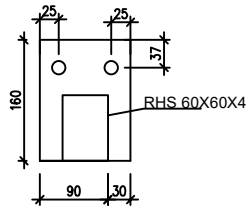
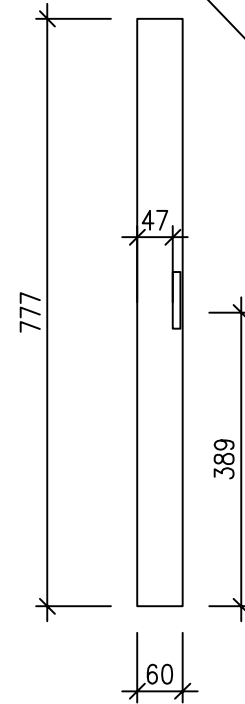
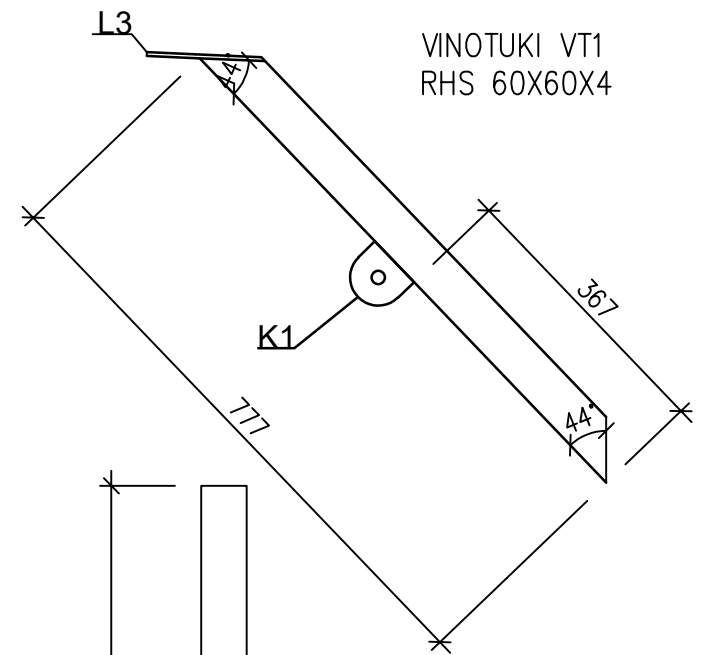
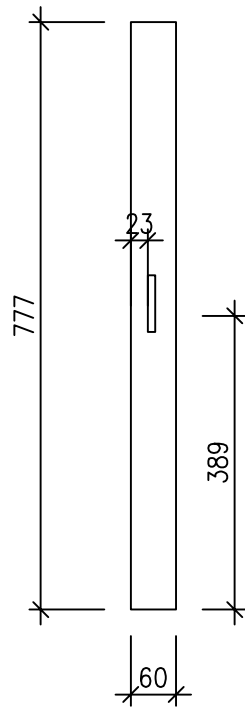
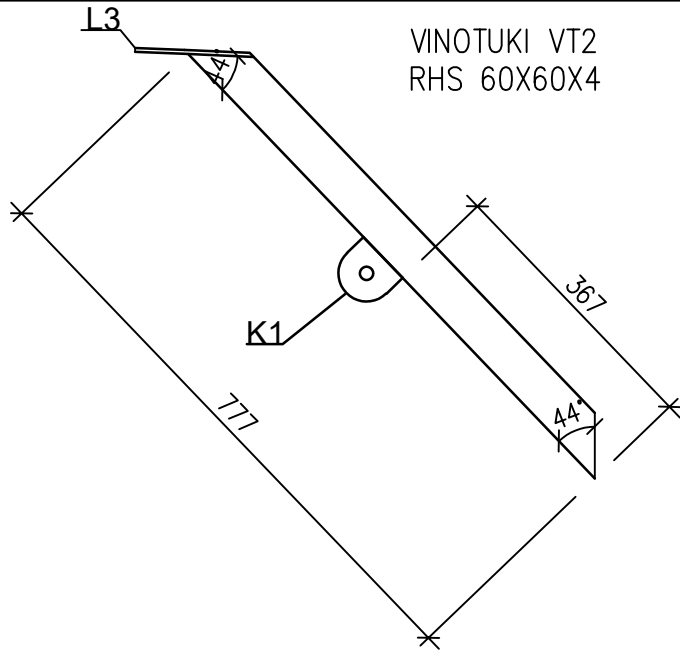


VINOTUKI VT4
RHS 60X60X4



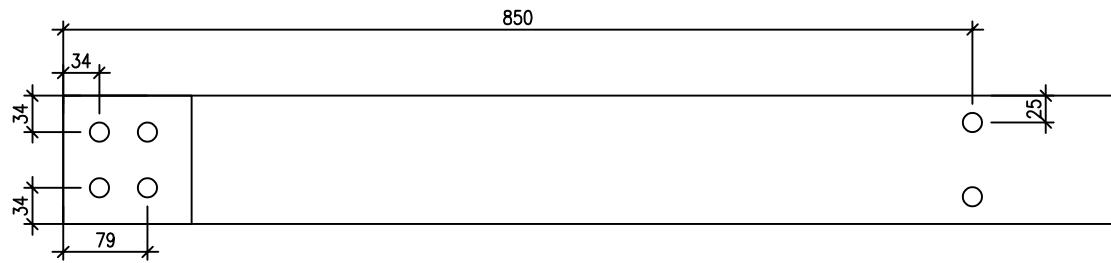
RAKENNUSKOHTTEEN NIMI	PVM	MITTAKAAVA
Teräskatos Kotkamills	26.04.2023	1:10
	PIIRTÄJÄ K-VPa	
	SUUNNITTELIJA K-VPa	OSA Vinotuki VT3 ja VT4
	HYVÄKSYJÄ K-VPa	

Tehty opiskelija työnä ei sovellu suoraan tuotantoon!

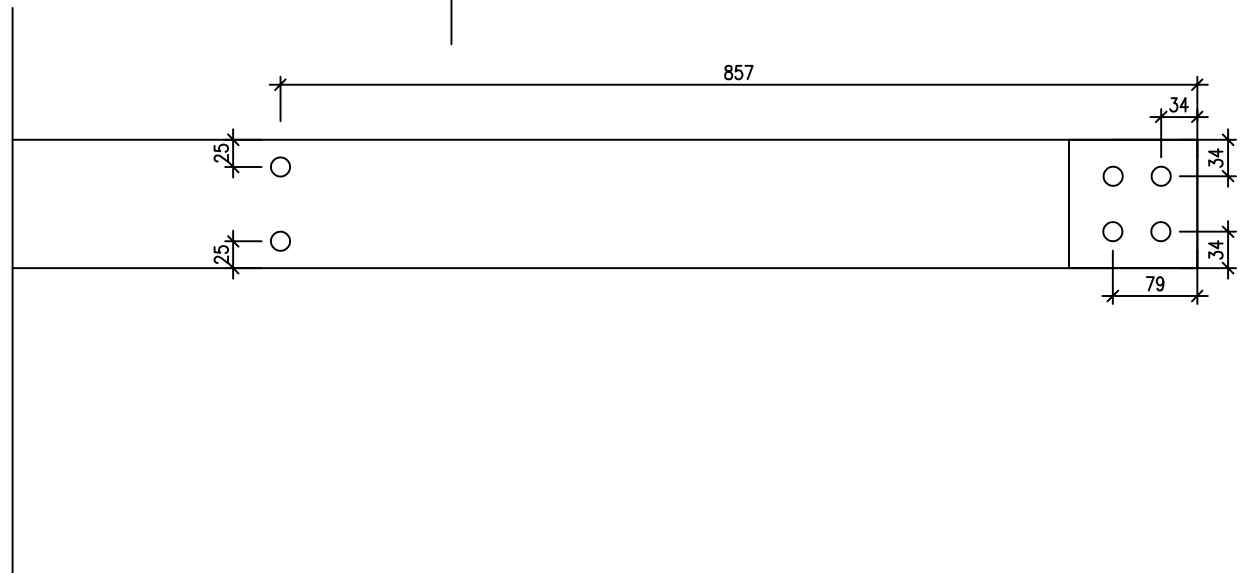


RAKENNUSKOHTTEEN NIMI	PVM	MITTAKAAVA
Teräskatos Kotkamills	26.04.2023	1:10
PIIRTÄJÄ	K-VPa	
SUUNNITTELIJA	K-VPa	OSA Vinotuki VT1 ja VT2
HYVÄKSYJÄ	K-VPa	

Tehty opiskelija työnä ei sovellu suoraan tuotantoon!



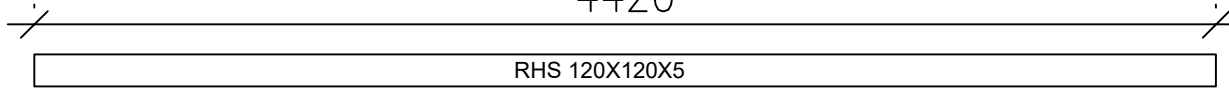
Tehtävät reiät D18



RAKENNUSKOHTEEN NIMI	PVM	MITTAKAAVA
Teräskatos Kotkamills	26.04.2023	1:5
PIIRTÄJÄ	K-VPa	TYÖNUMERO LTR6054
SUUNNITTELIJA	K-VPa	OSA palkki p2 tehtävät reiät
HYVÄKSYJÄ	K-VPa	
Tehty opiskelija työnä ei suoraan tuotantoon!		

4420

Palkki P1

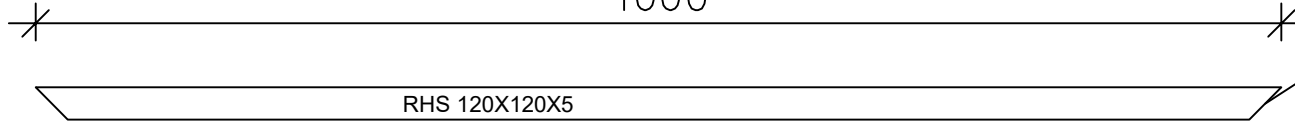


RHS 120X120X5

SAHATAAN 45 ASTETTA

4660

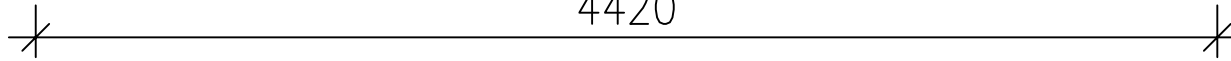
Palkki P1



RHS 120X120X5

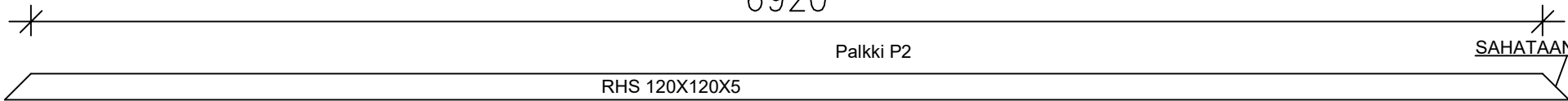
SAHATAAN 45 ASTETTA

4420



6920

Palkki P2



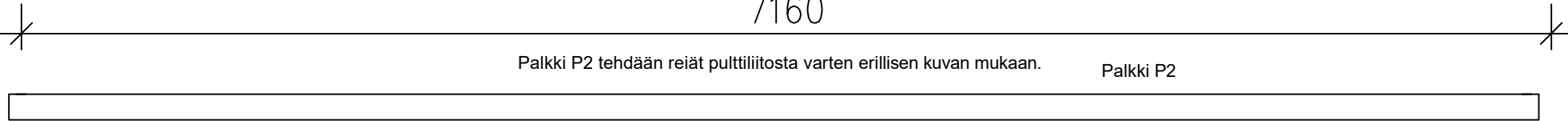
RHS 120X120X5

SAHATAAN 45 ASTETTA

7160

Palkki P2 tehdään reiät pulttiliitosta varten erillisen kuvan mukaan.

Palkki P2

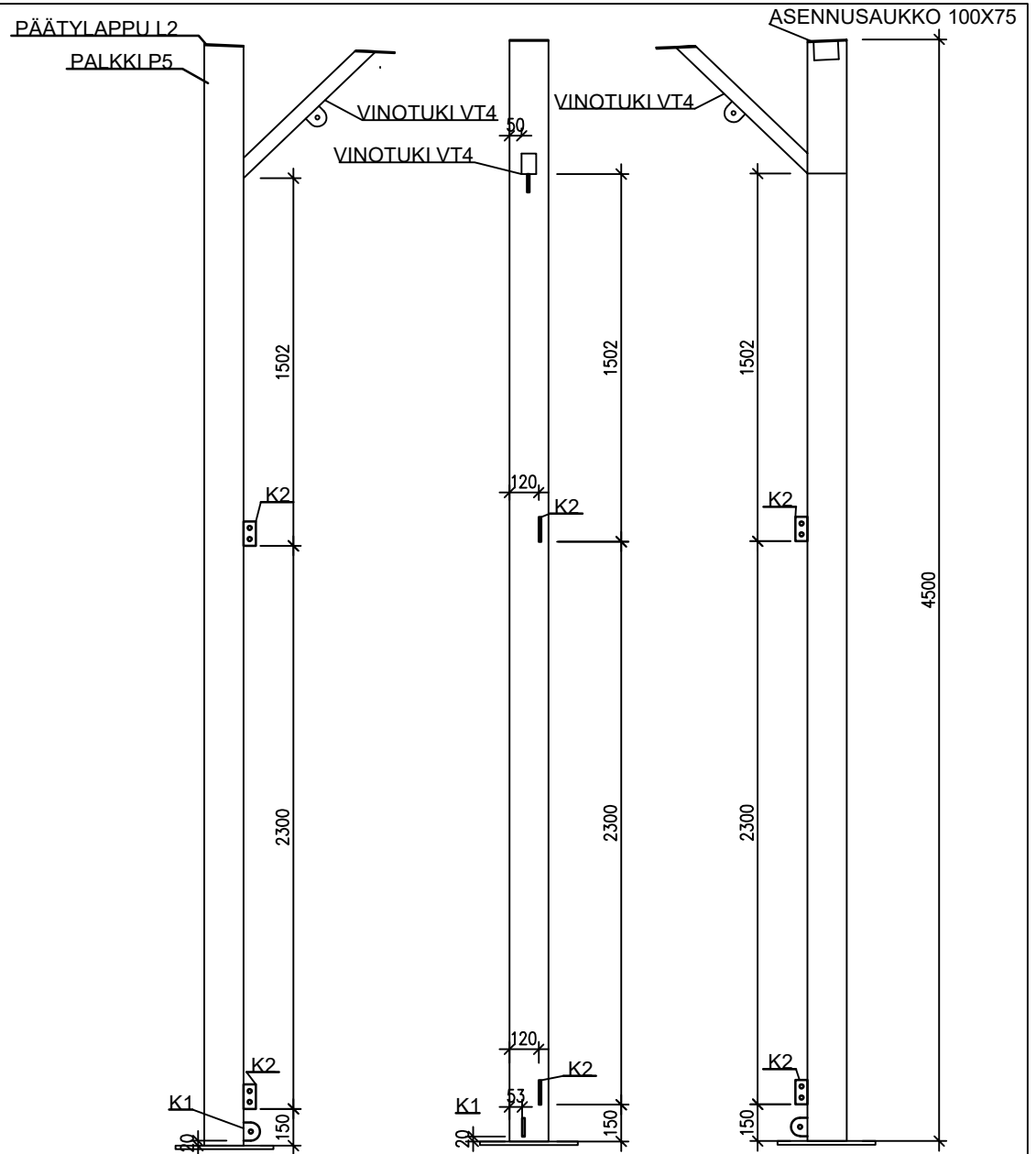


RAKENNUSKOHTIEN NIMI	PVM	MITTAKAAVA
Teräskatos Kotkamills	26.04.2023	1:20
	PIIRTÄJÄ K-VPa	
	SUUNNITTELIJA K-VPa	OSA palkit P1 ja P2
	HYVÄKSYJÄ K-VPa	
Tehty opiskelija työnä ei sovellu suoraan tuotantoon!		

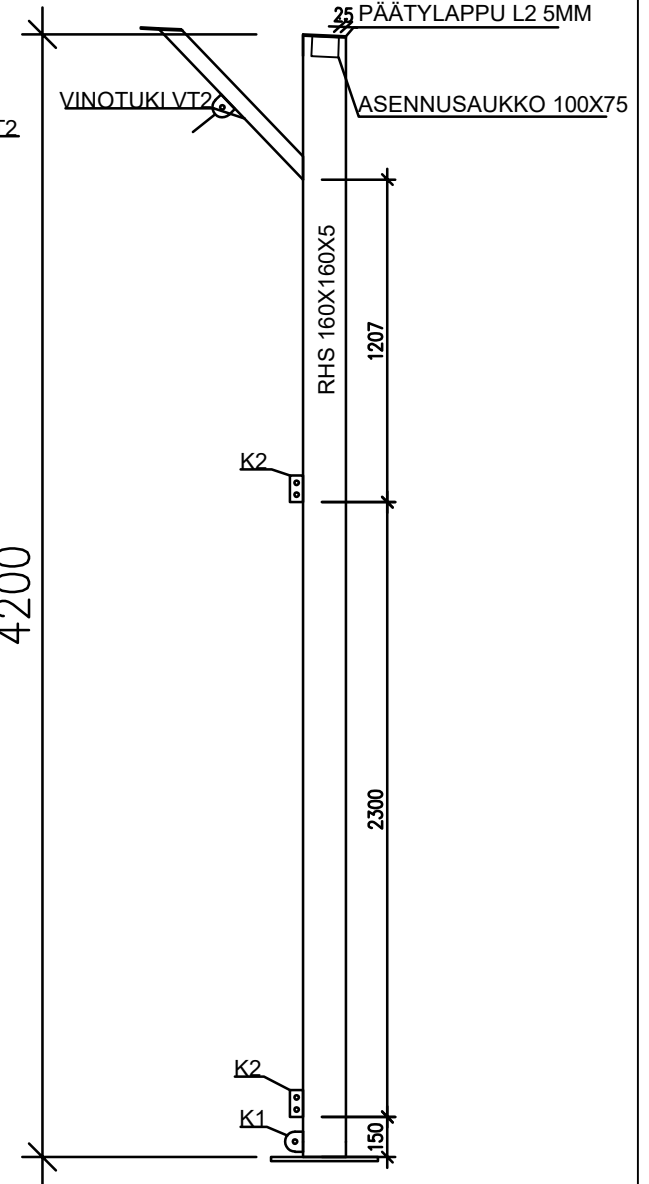
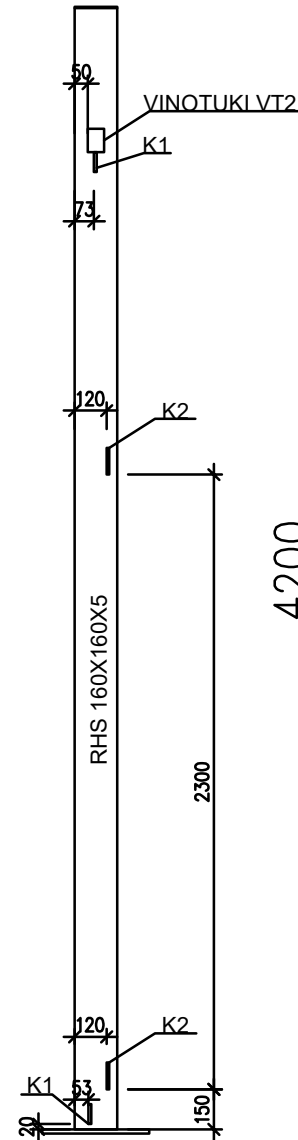
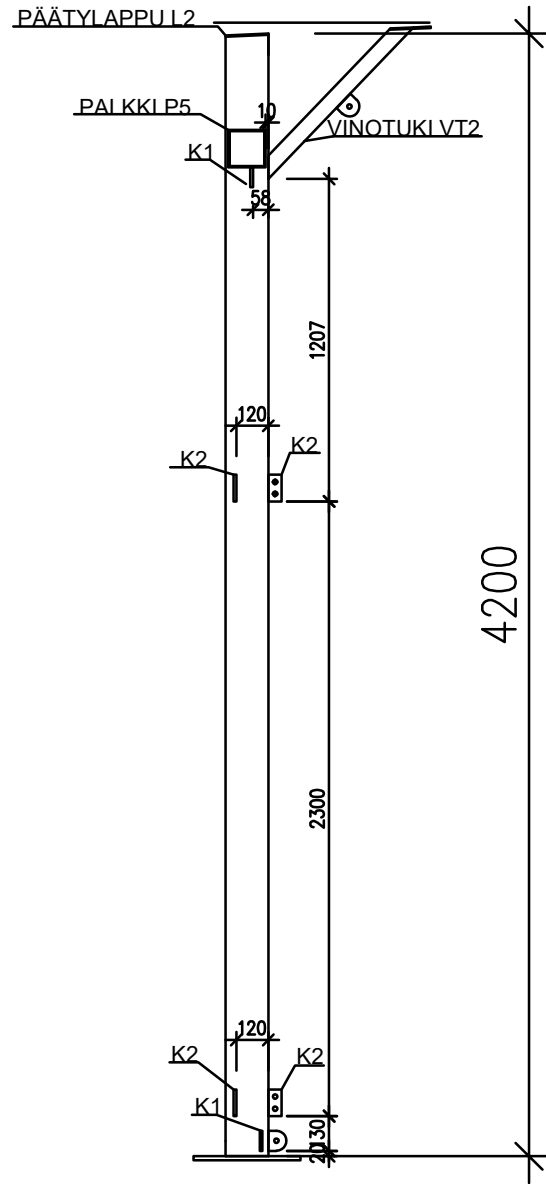
HITSIT: $a=1,36xt$
Piena/puoli v ympäri.
Vähintään $a=3mm$

OSALUETTELO KOKOONPANOILLE: PILARI P6

	TUNNUS	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS [mm]
PALKKI	P6A	RHS 160X160X5	S355J2	1	4500
KORVA	K1	75X67,5X10	S355J2	1	4500
KORVA	K2	100X50X10	S355J2	2	4340
POHJALEVY	PL1	400X400X15	S355J2	1	
PÄÄTYLAPPU	L2	160X160X5	S355J2	1	4340
VINOTUKI	VT4	RHS 60X60X4	S355J2	1	



RAKENNUSKOHTEEN NIMI	PVM	MITTAKAAVA
Teräskatos Kotkamills	26.04.2023	1:20
PIIRTAJÄ	K-VPa	
SUUNNITTELIJA	K-VPa	OSA Katoksen Pilari P6
HYVÄKSYJÄ	K-VPa	

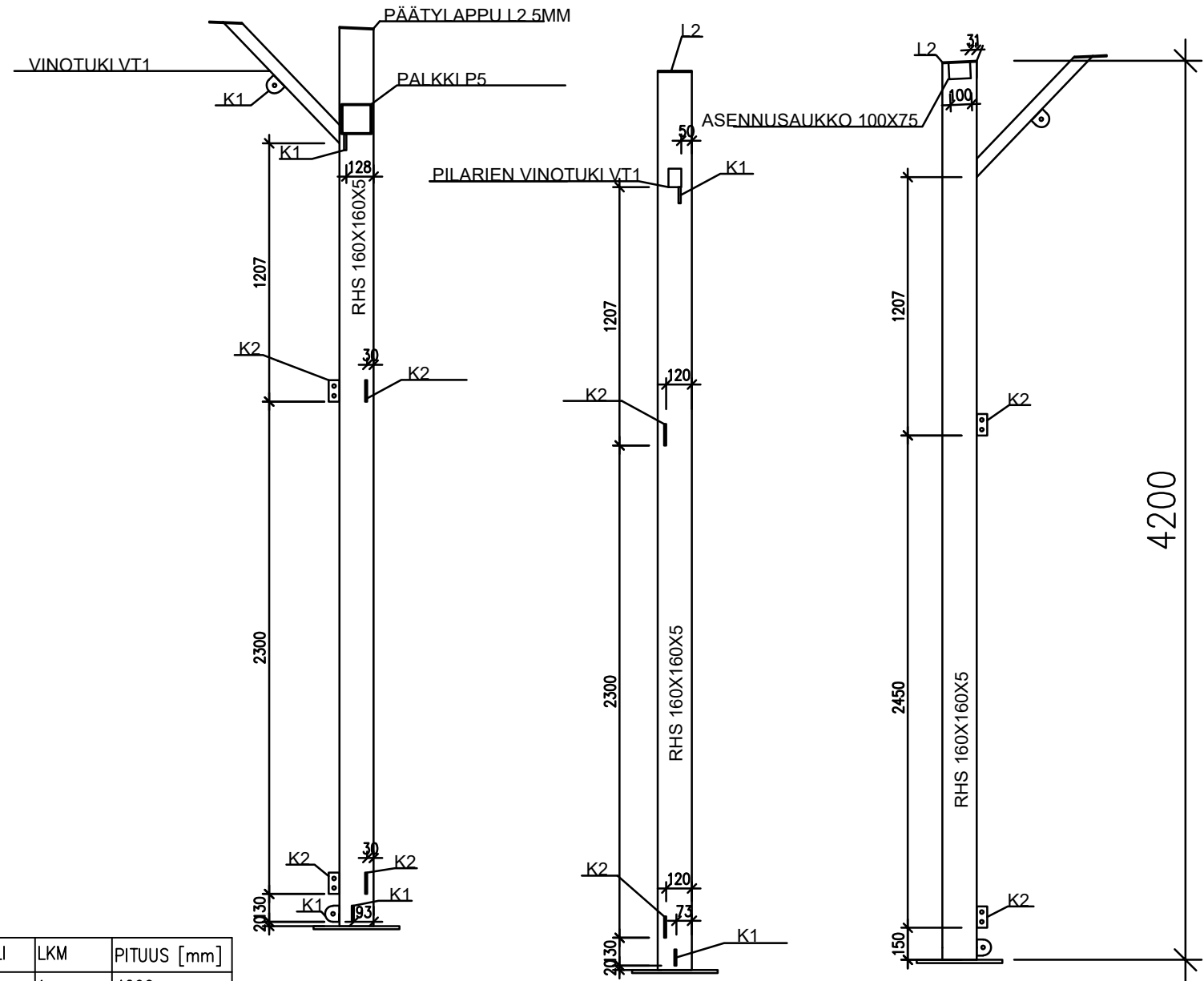


HITSIT: $a=1,36xt$
Piena/puoli v ympäri.
Vähintään $a=3mm$

OSALUETTELO KOKOONPANOILLE: PILARI P5

OSA	TUNNUS	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS [mm]
PALKKI	P5A	RHS 160X160X5	S355J2	1	4200
KORVA	K1	75X67,5X10	S355J2	3	4500
KORVA	K2	100X50X10	S355J2	4	4340
POHJALEVY	PL1	400X400X15	S355J2	1	
PÄÄTYLAPPU	L2	160X160X5	S355J2	1	4340
VINOTUKI	VT2	RHS 60X60X4	S355J2	1	

RAKENNUSKOHTEEN NIMI Teräskatos Kotkamills	PVM	26.04.2023	MITTAKAAVA	1:20
	PIIRTAJÄ	K-VPa		
	SUUNNITTELIJA	K-VPa	OSA	Katoksen Pilari P5
	HYVÄKSYJÄ	K-VPa		



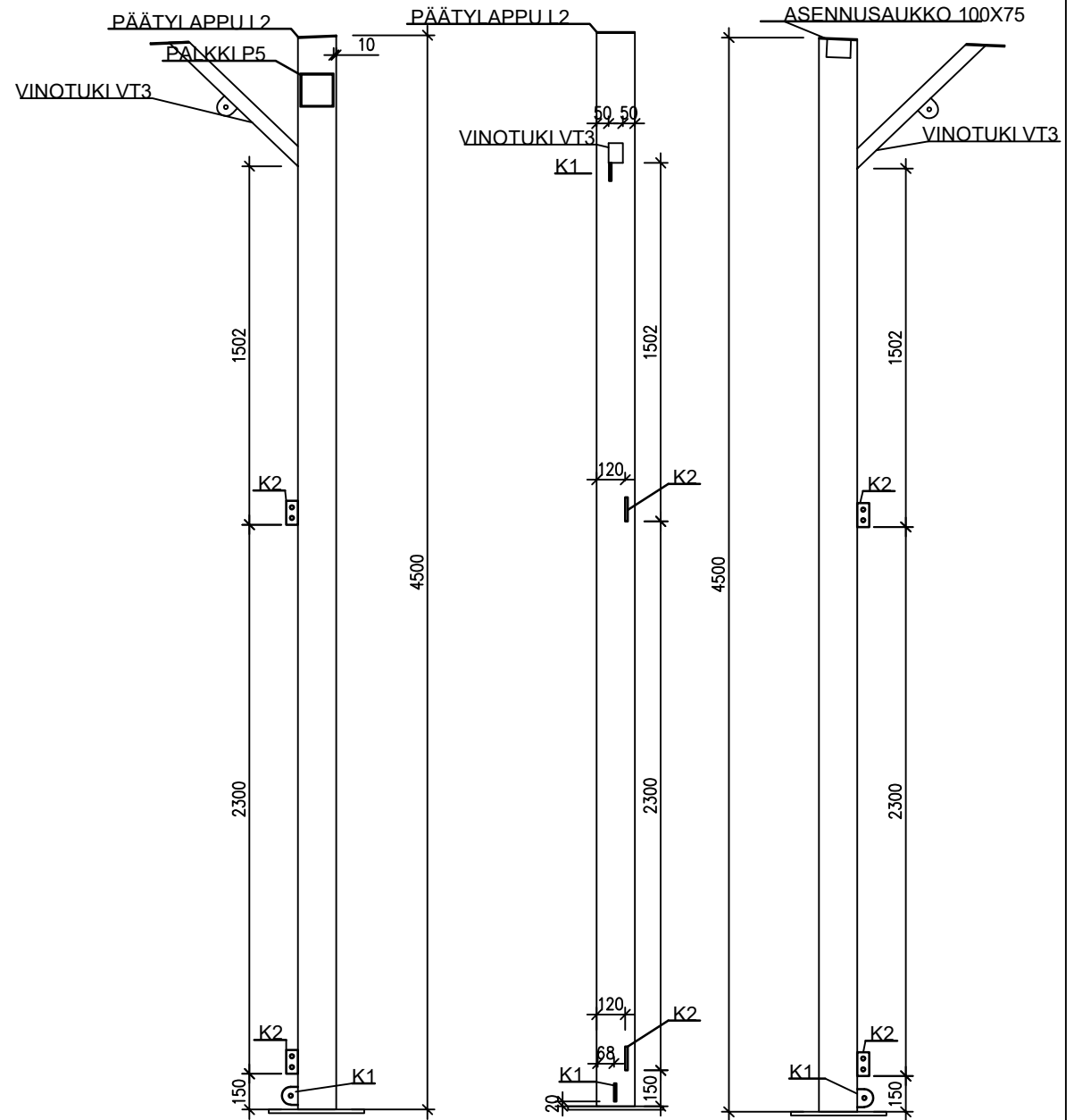
HITSIT: $a=1,36xt$
 Piena/puoli v ympäri.
 Vähintään $a=3mm$

OSALUETTELO KOKOONPANOILLE: PILARI P4

OSA	TUNNUS	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS [mm]
PALKKI	P4A	RHS 160X160X5	S355J2	1	4200
KORVA	K1	75X67,5X10	S355J2	3	4500
KORVA	K2	100X50X10	S355J2	4	4340
POHJALEVY	PL1	400X400X15	S355J2	1	
PÄÄTYLAPPU	L2	160X160X5	S355J2	1	4340
VINOTUKI	VT1	RHS 60X60X4	S355J2	1	

RAKENNUSKOHTEEN NIMI	PVM	MITTAKAAVA
Teräskatos Kotkamills	26.04.2023	1:20
PIIRTÄJÄ	K-VPa	OSA
SUUNNITTELIJA	K-VPa	Katoksen Pilari P4
HYVÄKSYJÄ	K-VPa	

Tehty opiskelijana tyänä ei sovellu suoraan tuotantoon!



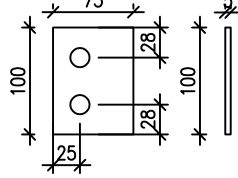
HITSIT: $a=1,36x$
Piena/puoli v ympäri.
Vähintään $a=3\text{mm}$

OSALUETTELO KOKOONPANOILLE: PILARI P7

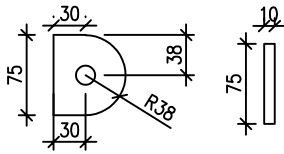
OSA	TUNNUS	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS [mm]
PALKKI	P7A	RHS 160X160X5	S355J2	1	4500
KORVA	K1	75X67,5X10	S355J2	1	4500
KORVA	K2	100X50X10	S355J2	2	4340
POHJALEVY	PL1	400X400X15	S355J2	1	
PÄÄTYLAPPU	L2	160X160X5	S355J2	1	4340
VINOTUKI	VT3	RHS 60X60X4	S355J2	1	

RAKENNUSKOHTIEN NIMI	PVM	PIIR.NRO.	MITTAKAAVA
Teräskatos Kotkamills	26.04.2023	123	1:20
	PIIRTAJA	K-VPa	
	SUUNNITTELIJA	K-VPa	
	HYVÄKSYJÄ	K-VPa	
	OSA	Katoksen Pilari P7	

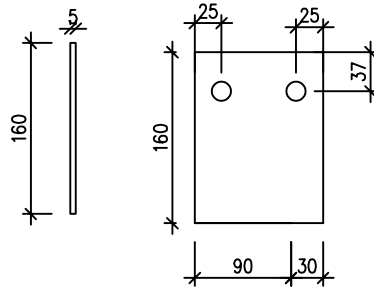
ORSIENLEVY OL1
100X75X5 D18 2KPL



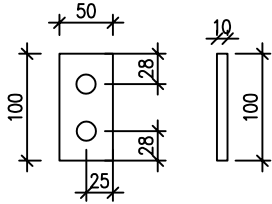
VETOTANGON KORVA K1
REIKÄ D18



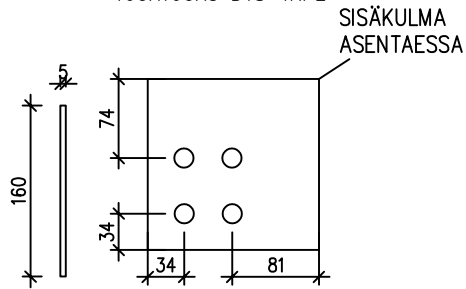
PÄÄTYLAPPU L3 5MM
REIKÄ D18 2 KPL



ORSIENKORVA KORVA K2 10MM
REIKÄ D18 2 KPL

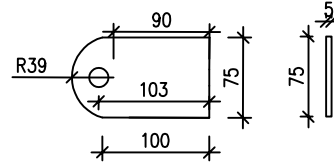


PÄÄTYLAPPU L2
160X160X5 D18 4KPL

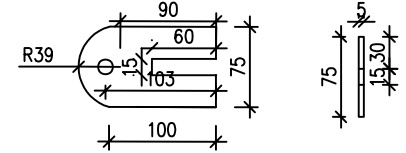


SISÄKULMA
ASENTAESSA

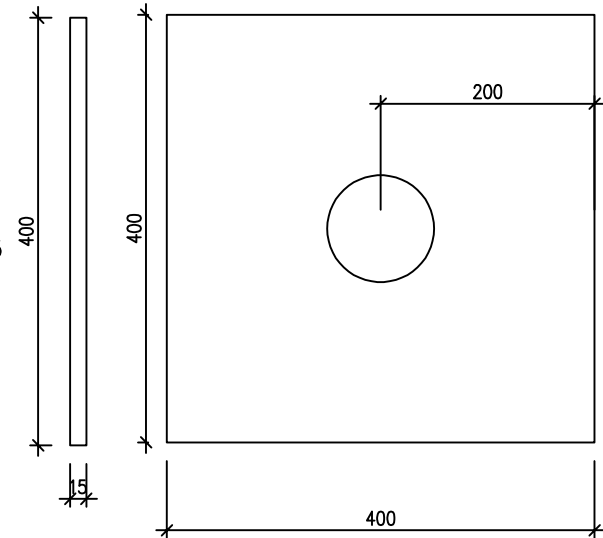
VETOTANGON KIIINNITYSLEVY L1
5MM D18



Vetotangon kiinnikelevy vanttiruuville
Reikä D14 L4



pojalevy PL1 400x400x15
D100 keskelle



OSALUETTELO KOKOONPANOILLE: PILARI P5

OSA	TUNNUS	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS [mm]
PALKKI	P5A	RHS 160X160X5	S355J2	1	4200
KORVA	K1	75X67,5X10	S355J2	3	4500
KORVA	K2	100X50X10	S355J2	4	4340
POHJALEVY	PL1	400X400X15	S355J2	1	
PÄÄTYLAPPU	L2	160X160X5	S355J2	1	4340
VINOTUKI	VT2	RHS 60X60X4	S355J2	1	

RAKENNUSKOHTIEN NIMI	PVM	MITTAKAAVA
Teräskatos Kotkamills	26.04.2023	1:5
PIIRTÄJÄ	K-VPa	
SUUNNITTELIJA	K-VPa	OSA Detail piirustukse
HYVÄKSYJÄ	K-VPa	
Tehty opiskelija työnä ei suoraan tuotantoon!		