



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Eetu Jutila

---

## **Rankarunkoisen puuelementtihallin mitoitus ja mallintaminen**

Ohje puuelementtipiirustusten tekemiseen Tekla structursilla

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talorakennustekniikka

Tekijä: Eetu Jutila

Työn nimi: Rankarunkoisen puuelementtihadlin mitoitus ja mallintaminen

Ohjaaja: Petri Koistinen

Vuosi:2023

Sivumäärä:31

Liitteiden lukumäärä:73

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä rankarunkoisen puuelementtihadlin rakennesuunnitelmat ja miettiä, miten tietomallinnusta voidaan samalla käyttää hyväksi. Mitoituksessa käytettiin hyväksi mitoitusohjelmia kuten Finnwood 2.4.3:a ja puuinfon omaa NR-kattorakenteiden jäykistysmitoitusohjelmaa.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin tehtyä ohje siitä, miten Tekla structures -ohjelmistolla tehdään puuelementtikuvat. Samalla vahvistettiin omia rakennesuunnittelijataitoja mitoituksen ja piirustusten kanssa.

<sup>1</sup> Asiasanat: rakennesuunnittelu, tietomallinnus, mitoitus, puuelementtisuunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Structural Design

Author: Eetu Jutila

Title of thesis: Dimensioning and modeling of a rigid-framed wooden element hall

Supervisor: Petri Koistinen

Year:2023

Number of pages:31

Number of appendices:73

---

The objective of the thesis was to make structural plans for a rigid-framed wooden element hall and plan how to utilize information modelling. Dimensioning was carried out by using programs such as Finnwood 2.4.3:a and Puuinfo's stiffening dimensioning design program for NR roof structures.

As a result of the thesis, a guide was created on how to create wooden element drawings using Tekla Structures -software. At the same time, the author's structural design skills were strengthened in sizing and drawing.

<sup>1</sup> Keywords: structural design, information modeling, dimensioning, wooden element design

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva- ja taulukkoluetelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
1 JOHDANTO .....	9
2 PUURAKENNUKSEN SUUNNITTELUN PERUSTEET .....	10
2.1 Kuormien yhdistely .....	10
2.1.1 Seuraamusluokat .....	10
2.1.2 Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet .....	11
2.2 Käyttö- ja aikaluokat .....	12
2.3 Kuormat .....	13
2.3.1 Omapaino .....	13
2.3.2 Lumikuorma .....	13
2.3.3 Tuulensuojaisuuskertoimet $C_e$ .....	14
2.3.4 Lumikuorman ominaisarvot $S_k$ .....	14
2.3.5 Katon ominaislumikuorma $q_k$ .....	14
2.3.6 Tuulikuormat .....	15
2.3.7 Maastoluokat .....	16
2.3.8 Tuulennopeuspaine .....	16
2.3.9 Rakennekerroin $c_s c_d$ .....	17
2.4 Rakenneosan mitoitus .....	17
2.4.1 Ulkoisen paineen kerroin .....	18
2.4.2 Vyöhykekaaviot pystyseinille .....	19
2.4.3 Sisäisen paineen kertoimet .....	19
3 RANKARUNKOISEN PUUHALLIN JÄYKISTYS .....	20
3.1 Pituussuunta .....	20
3.1.1 Tuulikuorma yläpaarretasolle .....	20
3.1.2 Yläpaarten nurjahdustuenta .....	21
3.1.3 Pukkijäykistys .....	22

3.1.4	Alapaarretason jäykistys .....	22
3.1.5	Rakennuksen vinoudesta aiheutuva kuormitus.....	23
3.1.6	Sivuseinien jäykistys .....	23
3.2	Poikkisuunnassa .....	23
3.2.1	Alapaarretason jäykistys .....	24
3.2.2	Rakennuksen vinoudesta aiheutuva kuormitus.....	24
3.2.3	Päätyseinien jäykistys.....	24
4	TEKLA STRUCTURES .....	26
4.1	Käyttötarkoitus.....	26
4.1.1	BIM .....	26
4.2	Tekla structuresin hyödyntäminen puuhallin mallintamisessa .....	27
5	ESIMERKKI KOHDE.....	28
5.1	Lähtötiedot.....	28
5.2	Arkkitehtikuvat.....	28
5.3	Mitoitus.....	29
5.3.1	Lumikuorman määrittäminen.....	29
5.3.2	Kattorakenteen omapaino.....	30
5.3.1	Tuulikuorman määrittäminen.....	30
5.3.2	Pääpalkin mitoitus.....	30
5.3.3	Runkotolpan mitoitus .....	30
5.3.4	Seinärungon jäykistys .....	30
5.3.5	NR-yläpohjan jäykistys.....	31
5.3.6	Päätyseinän lankun mitoitus .....	31
5.4	Piirustusten teko Teklalla .....	31
6	Pohdinta ja jatkokehitysideat .....	32
	LÄHTEET .....	33
	LIITTEET .....	34

## Kuva- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot Sk. ....	14
Kuvio 2. Pulpettikaton muotokerroin .....	15
Kuvio 3. Lumikuorman muotokerroin .....	15
Kuvio 4. Nopeuspaineen ominaisarvot eri maastoluokissa .....	16
Kuvio 5. Ulkoisen paineen kerroin riippuu kuormitusalan A koosta.....	18
Kuvio 6. Pystyseiniä koskeva vyöhykekaavio .....	19
Kuvio 7. Viivakuorma ristikon yläpaarretasoon. ....	21
Kuvio 8. NR-pukki ja paikalla rakennettu pukki. ....	22
Kuvio 9. Pohja- ja leikkauskuva .....	28
Kuvio 10. Julkisivukuvat.....	29

Taulukko 1, Seuraamusluokkien selitykset .....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
Taulukko 2, muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet. ....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
Taulukko 3, Kuormien aikaluokkien selitykset.....	12
Taulukko 4, aikaluokkien selitykset.....	12
Taulukko 5, Käyttöluokkien selitykset .....	13
Taulukko 6, Tuulensuojakertoimet Ce.....	14
Taulukko 7, maastoluokkien selitys.....	16
Taulukko 8, nopeuspaineen ominaisarvo.....	17
Taulukko 9, vyöhykekertoimet. ....	19

## Käytetyt termit ja lyhenteet

$G_{kj}$	Pysyvien kuormien ominaiskuorma
$K_{FI}$	Kuormakerroin, joka riippuu seuraamusluokasta
$\Psi_{0,i}$	Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin
$\Psi_0$	Yhdistelykerroin ominaisyhdistelmässä
$\Psi_1$	Tavallinen yhdistelykerroin
$\Psi_2$	Muuttuvan kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykerroin
$C_e$	Tuulensuojaisuuskerroin
$\mu_i$	Kattokulmasta riippuva lumikuorman muotokerroin
$S_k$	Maassa olevan lumikuorman ominaisarvo
$q_k$	Lumikuorman ominaiskuorma
$C_f$	Voimakerroin
$C_{pe}$	Ulkoisen paineen painekerroin
$C_e$	Tuulensuojaisuuskertoimet
$C_{pi}$	Sisäisen paineen painekerroin
$q_p(h)$	Tuulen nopeuspaine korkeudella h
$C_s C_d$	Rakennekerroin
$q_p(z)$	Puuskanopeuspaine
$C_{fr}$	Kitkakerroin
$q_{w,k}$	Paikallinen tuulen paine
$q_{t,k}$	Yläpaarteelle tuleva kuormitus
$A_{ref}$	Rakennuksen tuulta vastaan kohtisuora pinta-ala
$c_f$	Voimakerroin
$A_{yp}$	Se päädyn pinta-ala, jolta tuulikuorma kohdistuu yläpaarretasoon
$A_{fr}$	Katon kokonaispinta-ala
$B$	Rakennuksen pituus
$N_d$	Yläpaarteen keskimääräinen puristusvoiman mitoitusarvo

<b>n</b>	Ristikoiden lukumäärä
<b><math>k_e</math></b>	Pienennyskerroin
<b><math>H_{L,d}</math></b>	Lisävaakavoima rakennuksen pituussuunnassa
<b>L</b>	Rakennuksen pituus
<b><math>q_{w,L,k}</math></b>	Alapaarretason kuorma
<b><math>P_d</math></b>	Kattorakenteen omapaino ja lumikuorma katolla
<b><math>H_{b,b}</math></b>	Lisävaakavoima rakennuksen leveyssuunnassa
<b><math>q_{w,k}</math></b>	Kokonaistuulikuorma päätyyn
<b><math>h_1</math></b>	Seinän korkeus
<b><math>h_2</math></b>	Ristikon korkeus
<b><math>g_{HB,k}</math></b>	Lisävaakavoima kattorakenteen painosta
<b><math>q_{w,B,k}</math></b>	Tuulikuormitus rakenteen lyhyempään suuntaan
<b><math>q_{HB,k}</math></b>	Lisävaakavoima lumikuormasta
<b><math>F_{L,d}</math></b>	Rakennuksen päätyyn kohdistuva pistekuorma
<b><math>q_d</math></b>	Paarteen puristusvoima liitokselle
<b>BIM</b>	Rakennustietomallintaminen
<b>CAD</b>	Tietokoneavusteinen suunnittelu
<b>IFC</b>	Avoimen tiedonsiirron menetelmä



# 1 JOHDANTO

Tietomallinnus on rakennusalaalla yleistynyt merkittävästi. Iso osa suunnittelutoimistoista vaatii tietomallinnusohjelmisto Teklan hallitsemisen. Rakennesuunnittelussa Teklaa pystytään hyödyntämään kuvien teossa pelkästään muuttamalla kuvapohjan asetuksia. Tekla on erityisesti tehty teräs- ja betonimallintamiseen, ja niinpä puuelementtisuunnittelu vaatii hieman enemmän soveltamista Teklan ominaisuuksien kanssa.

Työn päätavoitteena oli tehdä rankarunkoisesta puuhallista rakennesuunnitelmat ja mitoittaa hallin tärkeimmät rakenneosat. Työssä käydään läpi NR-kattorakenteiden ja seinien jäykistys. Työssä laskettiin kuormat rakenteille ja lopulliset mitoitus tulokset saatiin mitoitusohjelmilla. Työssä myös mietitään, miten tietomallinnusta voisi hyödyntää puuelementti- ja rakennesuunnittelussa. Samalla on tarkoitus kehittää omia rakennesuunnittelu- ja tietomallinnustaitoja. Työn aikana tavoitteena on saada tietoa, miten tietomallinnusta voidaan käyttää hyväksi rakenne- ja puuelementtisuunnittelussa.

Opinnäytetyössä suunnitellaan rankarunoinen puuelementtitali mallintamalla halli Teklaan ja sen jälkeen Teklalla tehdään rakenne- ja elementtipiirustukset. Puuelementtikuvien luomisesta tehdään ohje, jossa kerrotaan, miten Teklaa sovelletaan.

## 2 PUURAKENNUKSEN SUUNNITTELUN PERUSTEET

Puurakentamisessa täytyy ottaa huomioon tietyt standardit ja määräykset.

Rajatilamitoituksessa ja osavarmuuslukumenetelmän mukaisessa laskelmassa käytetään standardia SFS-EN 1990 (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s.25). Kuormat ja niiden yhdistelmät määrätään standardin SFS-EN 1991 mukaan. Kestävyyksien kanssa käytetään standardia SFS-EN 1995 ja niissä esitettyjä, käyttökelpoisuutta ja säilyvyyttä koskevia sääntöjä.

### 2.1 Kuormien yhdistely

Mitoituskuorma lasketaan aikaluokittain seuraavalla kuormitusyhdistetyllä (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s.27):

$$\begin{cases} 1,15K_{FI}G_{kj} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\sum_{i>1}\Psi_{0,i}Q_{k,i}, & \text{muuttuvien kuormien aikaluokat} \\ 1,35K_{FI}G_{kj}, & \text{pysyvä aikaluokka} \end{cases} \quad (1)$$

missä

$G_{kj}$	on pysyvien kuormien ominaisarvo
$Q_{k,1}$	on määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo
$Q_{k,i}$	on muun muuttuvan kuorman ominaisarvo
$K_{FI}$	on seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin
$\Psi_{0,i}$	on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

Jos kuormien yhteisvaikutus lisää rakenteiden kestävyyttä, vaihdetaan ominaisarvon kerroin  $G_{kj}$  1,15 sijasta kertoimeen 0,9. Kuormitusyhdistelyyn ei oteta huomioon laitteita, jotka on kiinnitetty pysyvästi maanpaineeseen tai rakenteeseen.

#### 2.1.1 Seuraamusluokat

Kuormakertoimen  $K_{FI}$  kertoimet määritetään seuraamusluokkien avulla (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s.28). 1–2-kerroksiset varastot, joissa ei ole asutusta kuuluvat yleensä luokkaan CC1. Asuinkerrostalot, jotka ovat yli 8-kerroksisia, kuuluvat luokkaan CC3. CC2-luokkaan kuuluvat rakennukset, jotka eivät kuulu luokkaan CC1 tai CC2. Taulukosta 1 löytyy seuraamusluokkien selitykset.

Taulukko 1. Seuraamusluokkien selitykset (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s.26).

Luokka	$K_{FI}$	Kuvaus
CC3	1,1	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.
CC2	1,0	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristön vahinkojen takia.
CC1	0,9	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristön vahinkojen takia

### 2.1.2 Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet

Muuttuvien kuormien yhdistelykuormat riippuvat rakennustilasta ja rakennuksen käyttötarkoituksesta. Taulukossa 2 esitetään kertoimia, joissa  $\Psi_0$  on ominaisyhdistelyssä käytettävä kerroin,  $\Psi_1$  kuvaa tavallisesti toistuvan kuormituksen osuutta ja  $\Psi_2$  on muuttuvan kuorman pitkäaikaisosuutta kuvaava kerroin (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017, s. 29).

Taulukko 2. Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.51).

Kuorma	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Hyötykuormat rakennuksissa (kt. taulukko)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöivät tilat esim. autotallit	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöivät tilat, raskaat ajoneuvot	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot (kunnossapito)	0	0	0
Jääkuorma (huurtumisesta, jäätävästä sateesta tai räntäsateesta)	0,7	0,3	0
Lumikuorma, kun			
$S_k < 2,75 \text{ kN/m}^2$	0,7	0,4	0,2
$S_k > 2,75 \text{ kN/m}^2$	0,7	0,5	0,2
Rakennuksen tuulikuormat	0,6	0,2	0
Rakennuksen sisäinen lämpötila (ei tulipalossa)	0,6	0,5	0
Pakkomuodonmuutokset, tukien painumat	1,0	1,0	1,0

## 2.2 Käyttö- ja aikaluokat

Kuormien aikaluokka saadaan, kun arvioidaan tietyn rakenteen käyttöikä ja siihen vaikuttavan kuorman kestoa (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s.32). Kuorman aikaluokka saadaan alla olevasta taulukosta 3 ja taulukosta 4 löytyvät aikaluokkien selitykset.

Taulukko 3. Kuormien aikaluokkien selitykset.

Kuorman aikaluokka	Ominaiskuorman vaikutusajan suuruusluokka
Pysyvä	Yli 10 vuotta
Pitkäaikainen	6 kuukautta-10 vuotta
Keskipitkä	1 viikko-6 kuukautta
Lyhytaikainen	alle yksi viikko
Hetkellinen	

Esimerkkejä kuormituksista (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s.32).

Taulukko 4. Aikaluokkien selitykset.

Aikaluokka	Kuormitukset
Pysyvä	Oma paino Pysyvästi rakenteeseen kiinnitetyt koneet, laitteet ja kevyet väliseinät Maanpaine
Pitkäaikainen	Varastotilojen tavarakuorma (luokka E), vesisäiliökuorma
Keskipitkä	Lumi Lattioiden ja parvekkeiden hyötykuormat
Lyhytaikainen	Portaiden hyötykuormat Hyötykuorman pistekuorma, väliseinien ja kaiteiden vaakakuormat Asennuskuormat
Hetkellinen	Tuuli Onnettomuuskuorma

Rakenteet jaotellaan kohteiden mukaisiin käyttöluokkiin 1, 2 tai 3 (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s.33). Käyttöluokkien tarkoitus on määrittää lujuusarvoja ja auttaa ympäristöolosuhteista syntyvien muodonmuutoksien laskentaa varten. Taulukosta 5 löytyvät käyttöluokkien selitykset.

Taulukko 5. Käyttöluokkien selitykset.

Käyttöluokat	Kuvaus
Käyttöluokka 1	Materiaalin kosteus on lämpötilassa 20 °C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 65 % vain muutamana viikkona vuodessa.
Käyttöluokka 2	Materiaalin kosteus on lämpötilassa 20 °C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 85 % vain muutamana viikkona vuodessa.
Käyttöluokka 3	Ilmasto-olosuhteet johtavat suurempiin kosteusarvoihin kuin käyttöluokassa 2.

## 2.3 Kuormat

Rakennukselle syntyvät kuormat syntyvät pysty- ja vaakasuuntaisista kuormista (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2007, s.13). Yleensä vaakavoimat johtuvat tuulesta ja pystyvoimat rakenteiden omasta painosta ja lumikuormasta.

### 2.3.1 Omapaino

Oman painon kuormat syntyvät pysyvästä ja kiinteästä kuormasta (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.63). Standardin EN 1990 ylä- ja alarajaa voidaan joutua tarvittaessa käyttämään oman painon ominaisarvolle.

Vesikatolla tai terassilla olevat maakuormat ovat pysyviä kuormia. Huomioon on otettava maakuormien kerrospaksuudet ja kosteuspitoisuuden vaihtelut.

### 2.3.2 Lumikuorma

Lumikuorman ominaisarvo  $s_k$  määräytyy paikkakuntaakohtaisesti. Kattojen ominaiskuormat saadaan kertomalla maanpinnan lumikuorma katon muotokertoimella  $\mu_i$  ja tuulensuojaisuuskerroimella  $C_e$  (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s.36). Tuulensuojakeroimet löytyvät taulukosta 6.

Ominaiskuorma  $q_k$  saadaan kaavalla

$$q_k = \mu_i C_e s_k \quad (2)$$

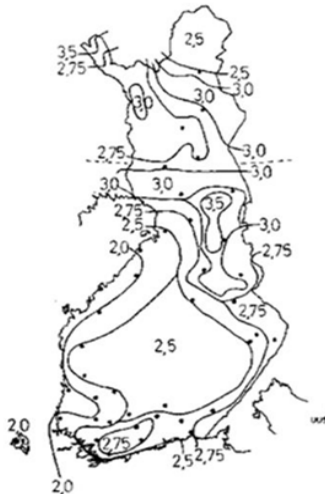
### 2.3.3 Tuulensuojaisuuskertoimet $C_e$

Taulukko 6. Tuulensuojakertoimet  $C_e$  (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s.36).

Maastotyyppi	$C_e$
Tuulinen	0,8 (1,0, mikäli lyhyempi sivumitta > 50 m)
Normaali	1,0
Suojainen	1,2

### 2.3.4 Lumikuorman ominaisarvot $S_k$

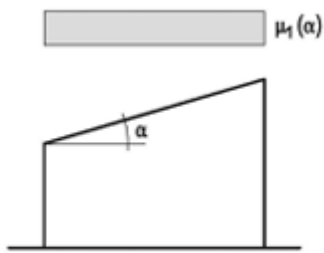
Lumikuorman ominaisarvo maassa saadaan katsomalla kartasta (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s.37). Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot löytyvät kuviosta 1.



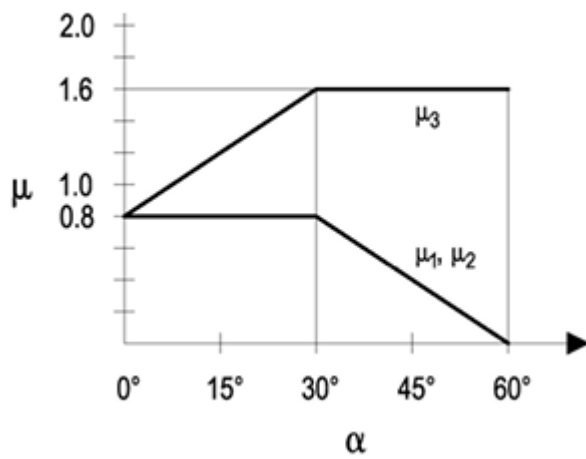
Kuvio 1. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot  $S_k$  (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.116).

### 2.3.5 Katon ominaislumikuorma $q_k$

Katon muotokerroin  $\mu_i$  määrittyy kattotyyppistä ja sen kulmasta (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s. 36). Ominaiskuorma  $q_k$  saadaan kertomalla katon muotokerroin ja lumikuorman ominaisarvo. Kerrointa  $C_e$  käytetään tapauksissa, joissa katon lyhyemmän sivun pituus on yli 50 m. Pulpettikaton muotokerroin löytyy kuviosta 2 ja lumikuorman muotokerroin löytyy kuviosta 3.



Kuvio 2. Pulttikatton muotokerroin (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s.38).



Kuvio 3. Lumikuorman muotokerroin (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s.39).

### 2.3.6 Tuulikuormat

Rakennusta kuormittaa vaakavoima, joka johtuu tuulesta (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.139). Maastoluokkien selitykset löytyvät taulukosta 7. Tuulikuormat voidaan määrittää koko rakennukseen tai joko yksittäiseen rakenneosaan vaikuttavana

- voimakerronta ( $c_f$ ) käyttäen
- pintapaineiden perusteella ja pintakertoimia ( $c_{pe}$ ) käyttäen.

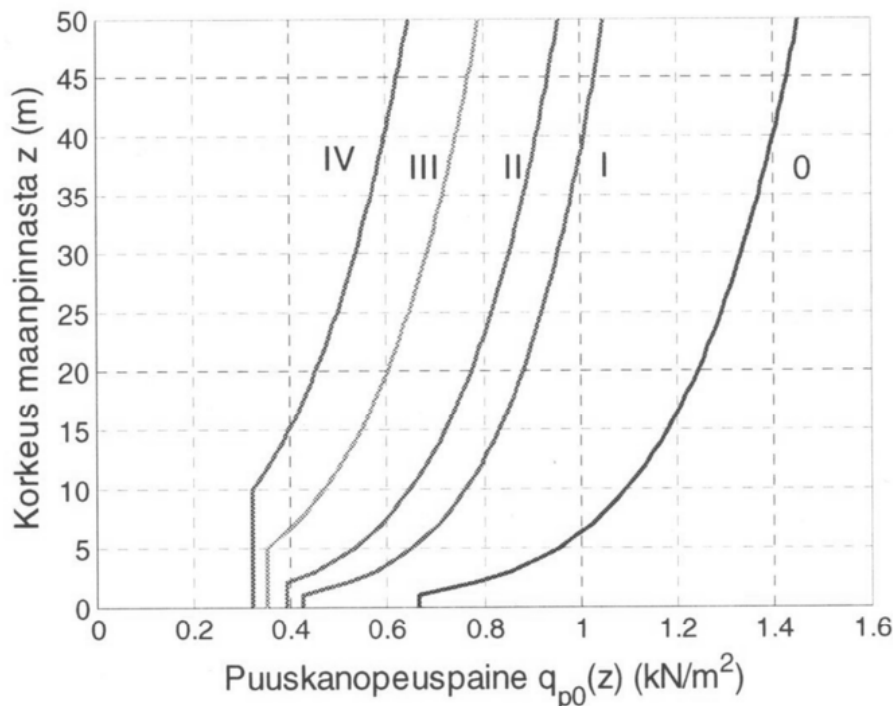
### 2.3.7 Maastoluokat

Taulukko 7. Maastoluokkien selitys (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s.43).

Luokka	Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko
I	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä
II	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa asteen korkeus. Esim. maatalousmaa.
III	Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.
IV	Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m

### 2.3.8 Tuulennopeuspaine

Nopeuspaineen ominaisarvoa  $q_p(h)$  määrittäyty rakennuksen korkeuden ja maaston pinnanmuodon mukaan Taulukko 8. Maastoluokkien selitys (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.137). Myös Ilmastonmuutos on otettu huomioon, joten tuulen nopeuspaineen ominaisarvo on varmemmalla puolella vuoteen 2035 asti. Kuviosta 4 löytyvät nopeuspaineen ominaisarvot eri maastoluokissa. Taulukosta 8 löytyvät tarkat arvot nopeuspaineen ominaisarvolle.



Kuvio 4. Nopeuspaineen ominaisarvot eri maastoluokissa (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017a, s.42).



Taulukko 9. Nopeuspaineen ominaisarvo (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.137).

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

### 2.3.9 Rakennekerroin $c_s c_d$

Kertoimella otetaan huomioon kaksi tekijää, jotka vaikuttavat kokonaisvoimaan (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.145):

- Kerroin  $c_s$  on koon ja mittasuhteiden vaikutuskerroin. Sillä otetaan huomioon, että huippuarvot eivät vaikuta samanaikaisesti rakennuksen eri kohdissa.
- Kerroin  $c_d$  ottaa huomioon tuulenpuuskien dynaamiset vaikutukset.

Kertoimella  $c_s c_d$  voidaan käyttää arvoa 1 tapauksissa, jossa (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.145):

- rakennuksen korkeus on alle 15 m
- ulkoseinän ja vesikaton rakenteiden ominaistaajuus on yli 5 Hz
- Rakennukset ovat alle 100 m ja samalla pienempiä kuin 4 kertaa rakennuksen tuulen-suuntainen mitta.

## 2.4 Rakenneosan mitoitus

Kun halutaan mitoittaa tiettyä rakenneosaa, on otettava huomioon, missä rakenneosa sijaitsee (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.146). Tuulikuormaa laskettaessa tilanteen mukaan käytetään rakenteiden aerodynaamisia ominaisuuksia kuvaavia kertoimia:

- ulko- ja sisäpuolisen paineen kertoimia  $C_{pe}$  ja  $C_{pi}$
- kitkakerrointa  $C_{fr}$

- ulko- ja sisäpuolisen paineen yhteisvaikutusta kuvaavia nettopainekertoimia.

Paikallinen tuulivoima voidaan laskea kaavasta (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.144):

$$q_{w,k} = (C_{pe} + C_{pi}) * q_p(z) \quad (3)$$

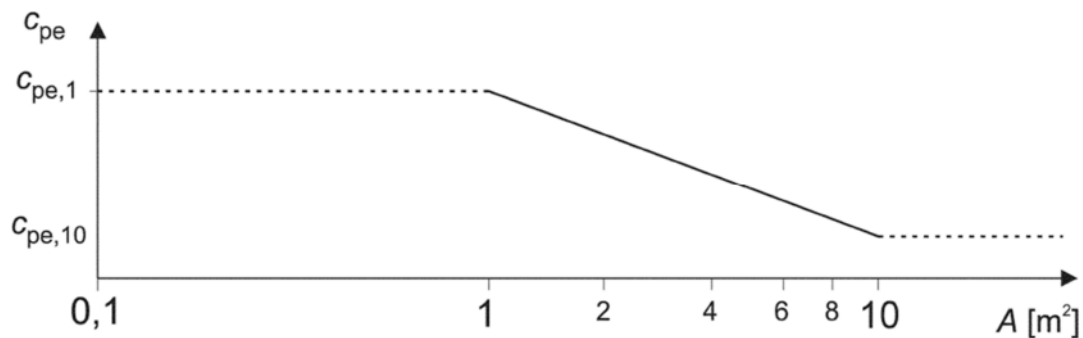
Missä

$C_{pe}$	on ulkoisen paineen kerroin
$C_{pi}$	on sisäisen paineen kerroin
$q_p(z)$	on nopeuspaineen ominaisarvo

### 2.4.1 Ulkoisen paineen kerroin

Ulkoisen paineen kertoimet  $c_{pe}$  ovat riippuvaisia kuormitusalan  $A$  koosta (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.147). Kuviossa 5 on esitetty ulkoisen paineen kertoimet eri kuormitusalassa. Kun kuormitusala  $A$  on välillä  $1 \text{ m}^2$  ja  $10 \text{ m}^2$ , saadaan  $c_{pe}$  kaavasta:

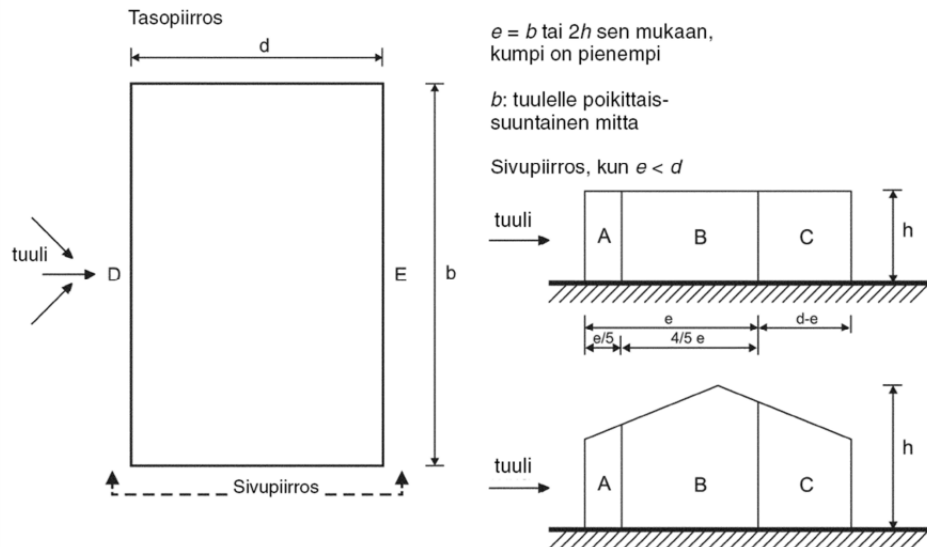
$$C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) \lg A \quad (4)$$



Kuvio 5. Ulkoisen paineen kerroin riippuu kuormitusalan  $A$  koosta (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.148).

## 2.4.2 Vyöhykekaaviot pystyseinille

Kuviosta 6 löytyy vyöhykekaavio pystyseinälle (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.148). Taulukosta 9 löytyvät väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti.



Kuvio 6. Pystyseiniä koskeva vyöhykekaavio (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.150).

Taulukko 10. Vyöhykekertoimet (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.150).

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
h/d	C <sub>pe,10</sub>	C <sub>pe,1</sub>	C <sub>pe,10</sub>	C <sub>pe,1</sub>	C <sub>pe,10</sub>	C <sub>pe,1</sub>	C <sub>pe,10</sub>	C <sub>pe,1</sub>	C <sub>pe,10</sub>	C <sub>pe,1</sub>
≥5	-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	-0,7	
≤0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

## 2.4.3 Sisäisen paineen kertoimet

Sisäisen paineen kerroin on riippuvainen rakennuksissa olevista aukoista (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2017b, s.163). Kun vaipan aukkosuhdetta ei voida arvioida, niin lähes neliömäisille rakennuksille voidaan sisäisen paineen kertoimena käyttää arvoja -0,3 tai +0,2, joista suuremman arvon antama lukema suhteessa nollaan on määräävä.

### 3 RANKARUNKOISEN PUUHALLIN JÄYKISTYS

Rakennejärjestelmä suunnitellaan huomioiden vaaka- ja pystysuuntainen kuorma (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2007, s.10). Edellä mainitut kuormat täytyy viedä perustuksille.

Yksittäisten rakenneosien tulee kestää rakenteiden sisäiset kuormat. Sisäisiä voimia syntyy, kun rakenteiden geometria poikkeaa geometrisesti tai fysikaalisilta ominaisuuksilta rakenteesta. Näitä voimia ei tarvitse viedä perustuksille, vaan nämä voimat otetaan huomioon rakennesysteemin sisällä.

#### 3.1 Pituussuunta

Hallin pituussuuntaan vaikuttavat tuulikuorma ja lisävaakavoimat. Lisävaakakuormat syntyvät kattorakenteen omasta painosta ja lumikuormasta. Rakennuksen pätyyn lasketaan yläpaarteiden nurjahduskuorma ja pistekuorma sivuseinien jäykisteille.

##### 3.1.1 Tuulikuorma yläpaarretasolle

NR-kattorakenne yleensä jäykistetään kattokannattajien alapaarretasossa (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2013, s.21). Tällöin puolet tuulikuormasta menee katon lapetalle. Puolet kuormasta menee tällöin alapaarretason jäykistysrakenteille ja edelleen rakennuksen jäykistävälle pystyrungolle.

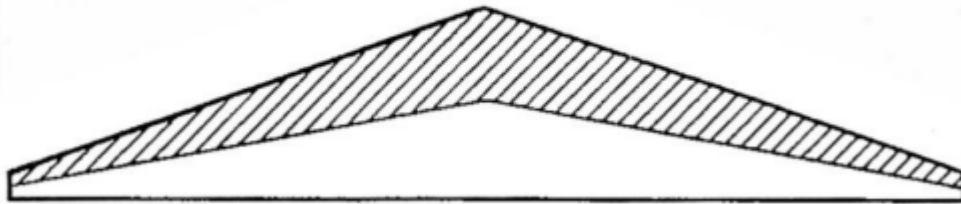
Tuulikuorma määritetään ohjeen RIL 201-1-2017 tai yksinkertaistetun ohjeen RIL 205-1-2017 mukaan. Jos katon lapetason tuulikuorma lasketaan pinta-alojen suhteessa voimakerroinmenetelmällä määritetystä koko rakennuksen kokonaistuulikuormasta, tulee kattoon kohdistuva kitkakuorma sisällyttää arvoon. Kuvioista 7 näkyy, mille alueelle yläpaarteiden kuorma vaikuttaa. Yläpaarteelle tuleva kuormitus saadaan kaavasta (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2013, s.48).

$$q_{t,k} = \frac{q_k(h)}{B} \left( c_f A_{yp} + c_{fr} * A_{fr} * \left( 1 - \frac{A_{yp}}{A_{ref}} \right) \right) \quad (5)$$

missä

$A_{ref}$  on rakennuksen tuulta vastaan kohtisuora pinta-ala

- $q_k(h)$  on rakennuksen korkeutta  $h$  vastaava tuulen nopeuspaine
- $c_f$  on voimakerroin
- $A_{yp}$  on se päädyn pinta-ala, johon tuulikuorma kohdistuu
- $A_{fr}$  on katon kokonaispinta-ala
- $B$  on rakennuksen leveys tuulta vastaan kohtisuorassa suunnassa
- $c_{fr}$  on vesikatteen kitkakerroin, jolle voidaan käyttää seuraavia arvoja
- 0,02 kattohuopa tai vastaavat muovipohjaiset rullatavat katteet
  - 0,04 aalto-, ripa- tai poimuprofiloidut katteet, kuten pelti- ja betonitiilikatteet



Kuvio. Viivakuorma ristikon yläpaarretasoon (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2013, s.21).

### 3.1.2 Yläpaarteen nurjahdustuenta

Yläpaarteen nurjahdustuenta hoidetaan vaakajäykisteellä. Vaakajäykisteellä estetään yläpaarteen nurjahdus. Yläpaarteeseen kohdistuvat kuormat siirtyvät kattoruoteilta vaakajäykisteille. NR-rakenteissa olevat sivuttaistuennat asennetaan tuennan sivusuunnassa (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2013, s.22). Puristettujen paarteiden aiheuttama stabiloiva kuormitus saadaan kaavasta

$$q_d = k_\ell \frac{nN_d}{50\ell} \quad (6)$$

Missä

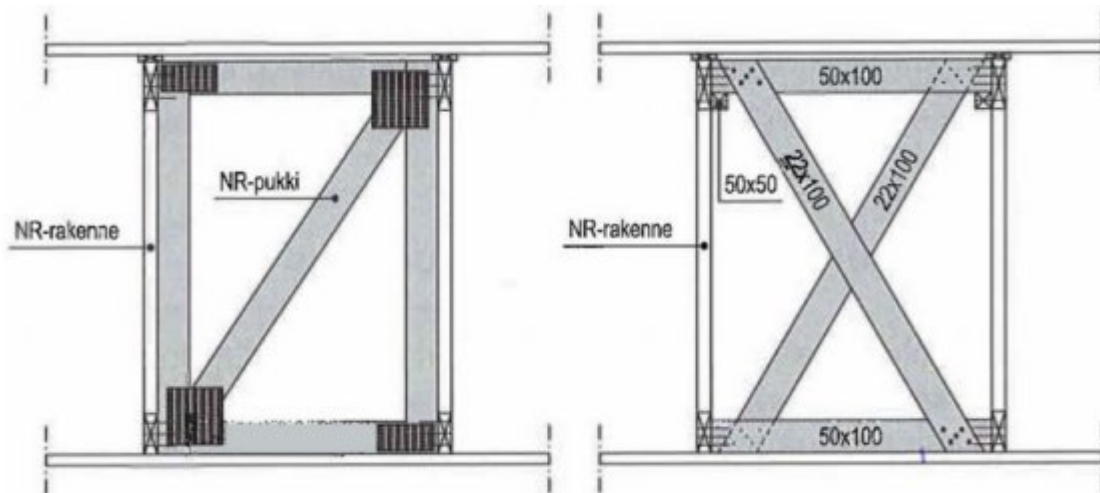
- $N_d$  on jäykistysjärjestelmän jännevälillä  $\ell$  vaikuttava yläpaarteen keskimääräinen puristusvoiman mitoitusarvo
- $n$  on ristikoiden määrä rakennuksessa
- $k_\ell$  on pienennyskerroin, joka saadaan kaavasta

$$k_{\ell} = \min \left\{ \frac{1}{\sqrt{\frac{15}{\ell}}} \right\} \quad (7)$$

Pienennyskertoimella  $k_{\ell}$  otetaan huomioon asennustoleranssi yli 15 m pitkillä paarteilla (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2013, s.22). Asennustoleranssi on enintään 15 mm. Lyhyimmillä paarteilla toleranssi on  $L/300$ .

### 3.1.3 Pukkijäykistys

Tehdasvalmisteisia pukkeja voidaan käyttää, jos NR-rakenteiden alapaarretaso on jäykistetty (RIL 248-2013, 2013, s.29). Pukit mitoitetetaan ja asennetaan niin, että päädyn yläsidepuu pysyy välittämään pukien väliin jääviltä ruoteilta tulevat vaakasuuntaiset voimat pukille. Pukit asennetaan molempiin päätyihin reunimmaisiiin kannattajaväleihin. Suurissa rakennuksissa pukkeja voidaan asentaa myös rakennuksen keskiosiin. Kuvasta 8 näkyy periaatekuva NR-pukeista ja sen asennuksesta.



Kuvio 7. NR-pukki ja paikalla rakennettu pukki (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2013, s.29).

### 3.1.4 Alapaarretason jäykistys

Alapaarretason jäykistys hoidetaan esimerkiksi alapaarretason alaosaan tulevalla vinolaudoituksella. Laudoituksella jäykistetään katto sekä tuulesta, lisävaakavoimasta että NR-rakenteiden yläpaarretason sivuttaistuennasta tulevaa kuormitusta vastaan (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2013, s.29). Vinolaudoituksen lisäksi tarvitaan NR-rakenteiden väliin asennettavat pukit, jotka siirtävät kuormat seinälinjoille.

### 3.1.5 Rakennuksen vinoudesta aiheutuva kuormitus

Lisävaakavoima rakennuksen pitkälle sivulle saadaan kaavasta

$$H_{L,d} = \frac{B}{L} * \frac{P_d}{150} \geq \frac{P_d}{250} \quad (8)$$

missä

$H_{L,d}$	on lisävaakavoima rakennuksen pituussuunnassa
$B$	on rakennuksen leveys
$L$	on rakennuksen pituus
$P_d$	on kattorakenteen omapaino ja lumikuorma katolla

### 3.1.6 Sivuseinien jäykistys

Rakennuksen pituussuuntaan kuormitusta tulee päätyseinään kohdistuvasta tuulesta ja lisävaakavoimasta (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2013, s.61). Lisävaakavoimat johtuvat kattorakenteen omasta painosta ja lumikuormasta.

Sivuseinän jäykisteille tuleva kuorma lasketaan päätyseinään ylänurkkaan tulevasta piste-kuormasta. Pistekuorma saadaan alapaarretason viivakuormasta (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2013, s.66).

$$F_{L,D} = q_{w,L,k} * \frac{B}{2} \quad (9)$$

missä

$q_{w,L,k}$	on alapaarretason kuorma
$B$	on rakennuksen pituus

## 3.2 Poikkisuunnassa

Hallin poikkisuuntaan vaikuttavat tuulikuorma ja lisävaakavoimat. Lisävaakakuormat syntyvät kattorakenteen omasta painosta ja lumikuormasta. Rakennuksen poikkisuunnassa lasketaan alapaarretason jäykistys, rakennuksen vinoudesta aiheutuva kuormitus ja päätyseinien jäykistys.

### 3.2.1 Alapaarretason jäykistys

Alapaarteen jäykistys hoidetaan esimerkiksi vinolaudoituksella, joka asennetaan alapaarteen alapintaan. Rakennuksen poikkisuunnassa NR-ristikot ovat jäykkiä omassa tasossaan. Alapaarretason kuorma aiheutuu tuulikuormasta ja lisävaakavoimasta (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2013, s.21).

### 3.2.2 Rakennuksen vinoudesta aiheutuva kuormitus

Lisävaakakuorma hallin poikkisuunnassa saadaan kaavasta

$$H_{b.b} = \frac{P_d * L}{150} \quad (10)$$

missä

L	on rakennuksen leveys
P <sub>d</sub>	on kattorakenteen omapaino ja lumikuorma katolla

### 3.2.3 Päätyseinien jäykistys

Kuormat rungon vinolaudoitukselle lasketaan rakennuksen sivuseinään kohdistuvasta alapaarteen kuormasta (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL), 2013, s.60–61). Alapaarteen kuorma saadaan laskemalla ensin kokonaistuulikuorma. Sen jälkeen alapaarteen kuorma saadaan laskemalla viivakuorma kaavalla:

$$q_{w.B.k} = q_{w.k} * (h_2 + \frac{h_1}{2}) \quad (11)$$

missä

q <sub>w.k</sub>	on tuulikuorma sivuun
h <sub>1</sub>	on seinän korkeus
h <sub>2</sub>	on ristikon korkeus



Lopuksi lasketaan pistemäinen kuorma päätyseinään. Kuorma saadaan kaavasta

$$F_{L,d} = q_{w.b.k} * \frac{L}{2} \quad (13)$$

## 4 TEKLA STRUCTURES

### 4.1 Käyttötarkoitus

Tekla structures on tietomalliohjelmisto, jota hyödynnetään pääasiassa rakennusalan, infrastruktuuri- ja energiaprojektien suunnittelutehtävissä toteutuksissa ja ylläpidossa. Tekla structures -ohjelmistolla mallinnetaan 3d-malleja teräs- ja betonielementtirakennuksista.

Tietomallinnuksella on paljon etuja suunnittelu- ja rakennuttaja puolella. Tietomallin visualisoinnasta rakennuksen ulkonäöstä urakan alkuvaiheessa urakkatilaajalle on iso hyöty lopputulosta ajatellen. Näin tilaajalle ei tule yllätyksiä rakennuksen loppuvaiheessa (Valtonen, 2019). Tietomallinnuksen etu on aikataulun ja kustannuksen hallinnassa, koska malli voidaan jakaa suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden välillä.

Työmaa-aikatauluihin saadaan lisää tarkkuutta, kun tietomallista voidaan poimia rakennusosien määrätietoja. Samaa tietopohjaa voidaan myös käyttää työmaalogistiikan suunnittelussa.

#### 4.1.1 BIM

BIM on teknologia, jolla tarkoitetaan tiedon käyttämistä (Tekla structures, i.a.-a.). BIM-teknologiaa on käytetty jo CAD-ohjelmien myötä. Ohjelmistolta vaaditaan tarkkuutta, kykyä käsitellä suuria tietomääriä ja yhteensopivuutta muiden ohjelmistojen kanssa. Jos ohjelmisto ei ole yhteensopiva muiden ohjelmistojen kanssa, työn eri vaiheet ovat hitaita ja haastavia.

Tekla structures ohjelmistossa käytetään Open BIM -järjestelmää, joka on avoin tietomallijärjestelmä (Tekla structures, i.a.-b.). Tällä varmistetaan avoin tietomallinnus koko rakennushankkeen työnkulun tasolla. Toimivin tapa toteuttaa avointa tietomallinnusta on IFC-tiedostomuodon käyttäminen. Näin saadaan Tekla-malli arkkitehti- ja talotekniikkamalleihin, mutta myös tehdassuunnittelumalleihin.

## **4.2 Tekla structuresin hyödyntäminen puuhallin mallintamisessa**

Puuelementtirakennuksia Teklalla voidaan mallintaa, mutta vain soveltamalla teräs- ja betoni-työkaluja. Opinnäytetyöhön on tehty ohje, jossa esitetään, miten puuelementtejä voidaan Teklalla tehdä. Ohje löytyy liitteestä 16.

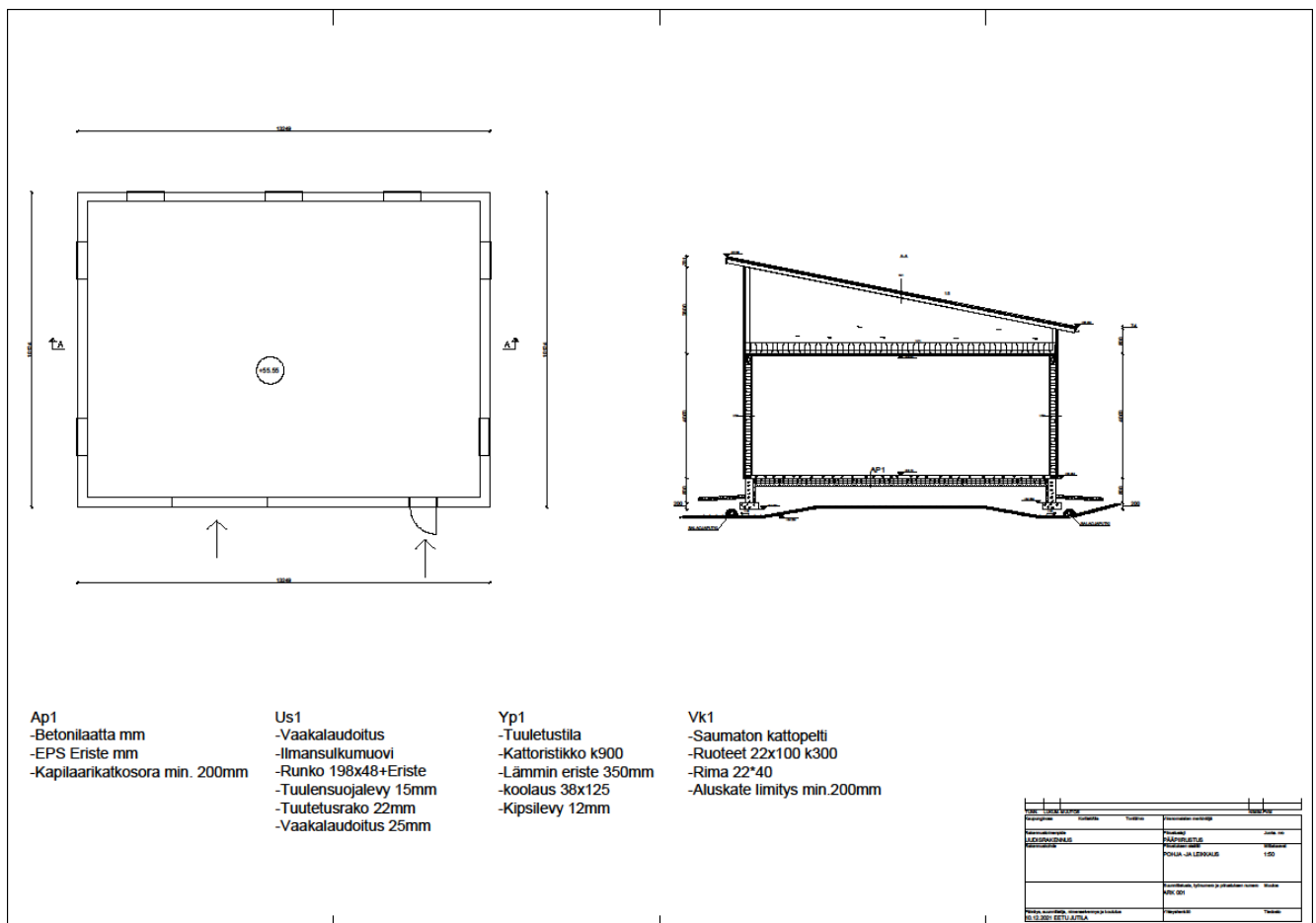
## 5 ESIMERKKI KOHDE

### 5.1 Lähtötiedot

Opinnäytetyössä suunnittelin esimerkkikohteen, joka on rankarunkoinen puuelementtihalli. Sijainniksi valittiin Kalajoki. Rakennuksen maastoluokka on 2. Korkeus on 7,5 m. Rakennuksen pituus on 13,125 m ja leveys 10 m. Huoneistokorkeus on 4 m. Korkeus lattiapinnasta maanpintaan on 0,4 m. Pulttikatkon kaltevuudeksi tulee 11°.

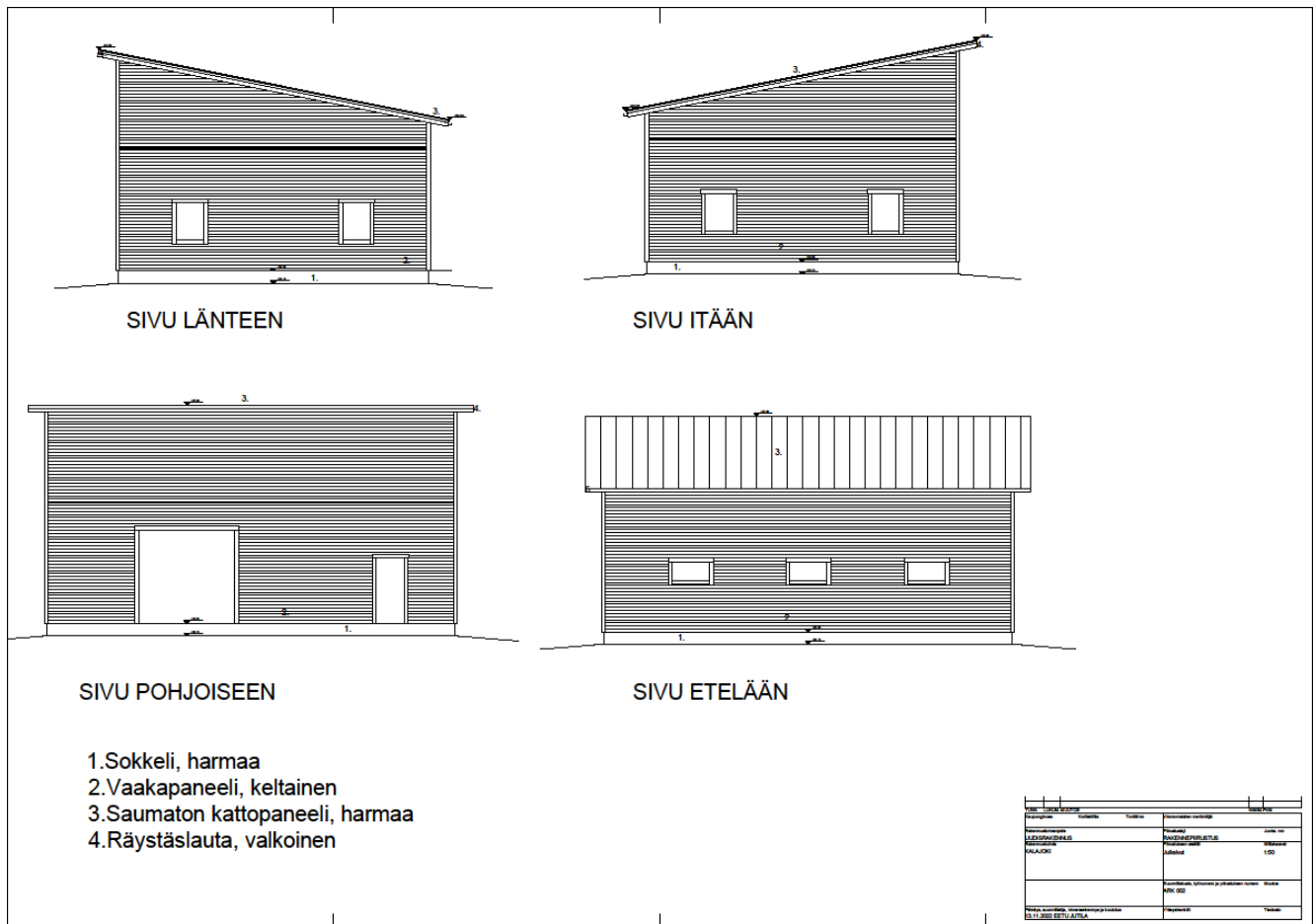
### 5.2 Arkkitehtikuvat

Opinnäytetyö aloitettiin tekemällä ARK-kuvat. Kuvat tehtiin Autocad-suunnitteluohjelmalla. ARK-kuvat aloitettiin hahmottelemalla pohja- ja leikkauspiirustus. Arkkitehtikuva löytyy kuvio 9.



Kuvio 8. Pohja- ja leikkauskuva.

Tämän jälkeen tehtiin julkisivukuvat. Julkisivupiirustus löytyy kuviosta 10.



Kuvio 9. Julkisivukuvat.

### 5.3 Mitoitus

Kun arkkitehtikuvat saatiin valmiiksi, aloitettiin mallintaminen. Teklaan lisättiin ARK-pohja- ja leikkauspiirustus malliin ja sitten mitoitettiin rakenteet.

#### 5.3.1 Lumikuorman määrittäminen

Mitoitus aloitettiin lumikuorman määrittämisellä. Lumikuorma maassa riippuu hallin sijainnista. Tässä työssä halli sijaitsee Kalajoella, joten arvoksi saadaan  $2,00 \text{ kN/m}^2$ . Lumikuorman ominaisarvo katolle saadaan kertomalla se katon muotokertoimella. Katon muoto on pulpettikatto ja katon kaltevuus on 11 astetta. Näin kertoimeksi saadaan 0,8. Lumikuormalaskut löytyvät liitteestä 1.

### 5.3.2 Kattorakenteen omapaino

Seuraavaksi laskettiin kattorakenteen oma paino. Jokaisesta kattorakenteen osasta laskettiin erikseen neliöpaino. Laskemalla rakenteet yhteen saatiin katolle oma paino. Kattorakenteen oma painon lasku löytyy liitteestä 2.

#### 5.3.2.1 Tuulikuorman määrittäminen

Tuulikuorman määrittäminen alkaa valitsemalla maastoluokka. Tässä työssä maastoluokaksi valittiin 2. Tämän jälkeen määritetään tuulen nopeuspaine, joka on riippuvainen rakennuksen korkeudesta ja maastoluokasta. Tuulikuorma lasketaan rakenneosalle, tässä tapauksessa runkotolpalle, käyttämällä  $C_{pi}$ - ja  $C_{pe}$ -kertoimia. Tuulikuorman laskut löytyvät liitteestä 3.

### 5.3.3 Pääpalkin mitoitus

Tämän jälkeen voidaan laskea pääpalkki rakennukselle. Mitoituksessa käytettiin apuna Finnwood-mitoitusohjelma. Pääpalkin sijainti valitaan pahimmasta paikasta. Tässä kohteessa pääpalkki sijaitsee nosto-oven kohdalla. Mitoitusohjelmaan syötetään palkin pituus ja tuentatapa. Palkille tulevat kuormat syntyvät lumikuormasta ja kattorakenteen omasta painosta. Mitoitusohjelmasta saatavat tulokset löytyvät liitteestä 4.

### 5.3.4 Runkotolpan mitoitus

Runkotolpan kuormat saadaan pääpalkin tuloksista. Finnwoodin tuloksista selviää, paljonko kuormaa tulee palkin vasemmalle puolelle. Näin voidaan kätevästi sijoittaa pääpalkin tuloksista löytyvät kuormat runkotolpalle, tuulikuorma, joka on laskettu rakenneosalle, lisätään taiseisena viivakuormana runkotolpalle. Runkotolpan tulokset löytyvät liitteestä 5.

### 5.3.5 Seinärungon jäykistys

Seinärungon jäykistys ratkaistiin vinolaudoituksella. Vinolaudoituksen määrä saatiin laskemalla tuulen pistekuorma seinän yläpäähän. Tämän jälkeen laskettiin lauta- ja naulamäärät tuelle. Pistekuorman, lauta- ja naulamäärien laskut löytyvät liitteestä 6.

### 5.3.6 NR-yläpohjan jäykistys

Yläpohjan jäykistyksessä on käytetty apuna Puuinfon omaa laskentapohjaa, jossa saadaan kuormat jäykistelohekkele. Laskentapohjaan pitää laskea yhden ristikon yläpaarteelle tuleva kuormitus. Ominaiskuormat ristikolle on laskettu liitteessä 7. Mitoitusohjelmaan lisätään myös lisävaakavoima pysyvästä kuormasta ja lumikuormasta. Lisävaakavoiman mitoitus löytyy liitteestä 8. Laskentapohjan tulokset löytyvät liitteestä 9.

### 5.3.7 Päätyseinän lankun mitoitus

Lankun mitoituksen kestävyys lasketaan yläpaarteelle tulevasta kuormasta. Lankun pituus otetaan NR-pukkien välistä. Tässä työssä korokeriman kestävyys on laskettu Finnwood-mitoitusohjelmalla. Kestävyyden tulos löytyy liitteestä 10.

## 5.4 Piirustusten teko Teklalla

Kun rakenteet oli mitoitettu, aloitettiin mallinnus. Teklaan mallinnettiin sokkeli, seinärakenteet ja kattorakenteet. Seinärakenteista tehtiin elementtikuvat, joissa esitettiin seinän runko ja vinolaudoitus. Seinäelementtipiirustus löytyy liitteestä 11. Myös kattoristikosta tehtiin ristikkokaaviot. Ristikkokaaviossa esitetään ristikon kokonaisleveys ja pituus, ala- ja yläräystäksen pituus, molemmat tukikorkeudet, tukien etäisyys ja yläräystäksen pituus. Kattoristikkokaavio löytyy liitteestä 12. Tasopiirustukset tehtiin elementtikaaviosta ja vesikattopiirustuksesta. Hallista tehtiin leikkauspiirustukset molemmista suunnista. Leikkauspiirustuksessa esitetään rakennuksen runko, kattoristikot ja niiden rakenteet ja moduulimitat. Leikkauspiirustus löytyy liitteestä 13. Elementtikaavio tehtiin tasopiirustukseen. Elementtikaaviosta löytyy seinäelementit, seinäelementtien tunnuksat, moduulimitat ja elementtimatat. Elementtikaavio löytyvät liitteestä 14. Vesikattopiirustuksessa esitetään kattoristikot ja niiden tunnuksat. Näiden lisäksi piirustuksessa tulee olla ristikkokako, rakennuksen ristimitta, yläjuoksut, räystäät, Runkotolpat ja jäykistepukit. Vesikattopiirustukset löytyvät liitteestä 15.

## 6 Pohdinta ja jatkokehitysideat

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä rakennesuunnitelmat ja rakennepiirustukset esimerkkikohteeseen, joka oli rankarunkoinen puuelementtitali. Samalla työhön päätettiin tehdä ohje, miten puuelementtipiirustukset tehdään Tekla-ohjelmistolla. Tein ohjeen, koska Tekla-ohjelmistossa ei ole työkaluja puuelementtisuunnittelulle. Piirustukset päätettiin tehdä Tekla-ohjelmistolla, koska ohjelmisto on yleistynyt ja on laajasti käytössä suunnittelutoimistoissa ja työmaalla. Autocad-ohjelmistoa käytettiin arkkitehtikuvien tekemisessä.

Aloitin työn tekemällä arkkitehtipiirustukset, joissa oli julkisivupiirustukset, pohja- ja leikkauspiirustukset. Tämän jälkeen toin piirustukset Tekla-ohjelmistoon ja aloitin rakenteiden mitoittamiset. Mitoituksen jälkeen aloitin rakenteiden mallinnuksen. Malliin mallinnettiin kaikki rakenteet lukuun ottamatta julkisivu- ja katemateriaaleja. Tämän jälkeen tein Tekla-ohjelmistolla rakenne- ja elementtipiirustukset.

Rakennuksen mitoitus onnistui työssä hyvin. Haastavinta työssä olivat jäykistyslaskut. Itselle helppoa oli Tekla-ohjelmiston käyttäminen, koska minulla on aikaisempaa kokemusta Teklan käytöstä. Uutta asiaa tuli NR-kattorakenteiden jäykistysmitoituksessa, ja Puuinfon NR-jäykistykseen liittyvä mitoitusohjelma ei ollut tuttu.

Elementtiohjetta tehdessä eteen tuli jonkin verran pieniä ongelmia. Näitä ongelmia ei vähän kokemusta omaava käyttäjä pystyisi ratkaisemaan. Ohjeelle voisi vielä tehdä listan yleisistä virheistä ja ongelmista, joita on voinut vahingossa tehdä.



## LÄHTEET

- Suomen rakennusinsinöörien Liitto (RIL). (2017b) Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. *RIL 201-1-2017 Suunnittelun perusteet ja rakenteiden kuormat: Eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3, EN 1991-1-4.*
- Suomen rakennusinsinöörien Liitto (RIL). (2007). Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta. *RIL 244-2007 Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta: Suunnittelu ja valmistusohjeet.*
- Suomen rakennusinsinöörien Liitto (RIL). (2013) NR-kattorakenteen jäykistyksen suunnittelu ja toteuttaminen. *RIL 248-2013 NR-kattorakenteen jäykistyksen suunnittelu ja toteuttaminen.*
- Suomen rakennusinsinöörien Liitto (RIL). (2017a) Puurakenteiden suunnitteluohje. *RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje: Eurokoodi EN 1995-1-1*
- Tekla structures. (i.a.-a). Mitä on BIM: BIM-teknologia. [https://www.tekla.com/fi/ajankoh-  
taista/artikkelit/mit%C3%A4-on-bim](https://www.tekla.com/fi/ajankoh-<br/>taista/artikkelit/mit%C3%A4-on-bim)
- Tekla structures (i.a.-b) Open BIM: Avoimen tietomallinnuksen edut käytännössä. <https://www.tekla.com/fi/ajankohtaista/artikkelit/open-bim>
- Valtonen, R. (27.08.2019). Tietomallinnusta kannattaa käyttää rakennushankkeen alusta loppuun – lue 5 hyvää syytä. [https://www.ains.fi/asiantuntija-artikkelit/5-syyta-kayttaa-tieto-  
mallinnusta-rakennushankkeessa](https://www.ains.fi/asiantuntija-artikkelit/5-syyta-kayttaa-tieto-<br/>mallinnusta-rakennushankkeessa)

## LIITTEET

- Liite 1. Lumikuorman määrittäminen
- Liite 2. Kattorakenteen omapaino
- Liite 3. Tuulikuorman määrittäminen
- Liite 4. Pääpalkin tulokset
- Liite 5. Runkotolpan tulokset
- Liite 6. Pistekuorma, lauta- ja naulamäärät ja reunaetäisyydet
- Liite 7. Yhden ristikon yläpaarteen ominaiskuormat
- Liite 8. Lisävaakavoimariistikko
- Liite 9. NR-yläpohjan jäykistämisen mitoitus
- Liite 10. Yläpaarteen kororiman mitoitus
- Liite 11. Seinäelementtipiirustus
- Liite 12. Ristikkokaavio
- Liite 13. Leikkauspiirustus
- Liite 14. Elementtikaavio
- Liite 15. Vesikattopiirustus
- Liite 16. Käyttöopas puuelementtipiirustusten tekoon

**Liite 1. Lumikuorman määrittäminen**

mitoitus opinnäytetyö

**Lähtötiedot**

- Sijainti: Kalajoki
- Korkeus maanpintaan 400mm
- Maastoluokka 2
- Rakennuksen korkeus 7,5m
- Räystään leveys 600mm
- Huoneistokorkeus 4000mm
- Rakennuksen pituus 13125mm
- Rakennuksen leveys 10000mm
- Ristikön kaltevuus 11°

Lumikuorma maassa

$$S_k := 2.00 \frac{kN}{m^2}$$

Katon Muotokerroin

$$\mu_i := 0.8$$

Lumikuorma katolla

$$S_k := S_k \cdot \mu_i = 1.6 \frac{kN}{m^2}$$

## Liite 2. Kattorakenteen omapaino

mitoitus opinnäytetyö

### Lähtötiedot

- Sijainti: Kalajoki
- Korkeus maanpintaan 400mm
- Maastoluokka 2
- Rakennuksen korkeus 7,5m
- Räystään leveys 600mm
- Huoneistokorkeus 4000mm
- Rakennuksen pituus 13125mm
- Rakennuksen leveys 10000mm
- Ristikon kaltevuus  $11^\circ$

### Kattorakenteen omapaino

$$Ristikko := 0.135 \frac{kN}{m^2}$$

$$Pelti := 0.052 \frac{kN}{m^2}$$

$$Ruode := 0.016 \frac{kN}{m^2}$$

$$Rima := 0.0504 \frac{kN}{m^2}$$

$$Aluskate := 0.02 \frac{kN}{m^2}$$

$$Villa := 0.121 \frac{kN}{m^2}$$

$$Koolaus := 0.024 \frac{kN}{m^2}$$

$$Kipsilevy := 0.115 \frac{kN}{m^2}$$

$$Kattorakenne := Ristikko + Pelti + Ruode + Villa + Rima + Aluskate + Koolaus + Kipsilevy = 0.533 \frac{kN}{m^2}$$

$$Kattorakenne = 0.533 \frac{kN}{m^2}$$

### Liite 3. Tuulikuorman määrittäminen

mitoitus opinnäytetyö

#### Lähtötiedot

- Sijainti: Kalajoki
- Korkeus maanpintaan 400mm
- Maastoluokka 2
- Rakennuksen korkeus 7,5m
- Räystään leveys 600mm
- Huoneistokorkeus 4000mm
- Rakennuksen pituus 13125mm
- Rakennuksen leveys 10000mm
- Ristikon kaltevuus 11°

#### Tuulikuorma

Rakennuksen korkeus	$h := 7.5 \text{ m}$
Rakennuksen Leveys	$d := 10 \text{ m}$
Rakennuksen pituus	$b := 13.125 \text{ m}$
Ristikon korkeus	$h_{ristikko} := 3.050 \text{ m}$

#### Maastoluokka 2

$m_{rak} := 7.5 \text{ m}$

$m := \begin{bmatrix} 5 \\ 8 \end{bmatrix} \text{ m}$        $Maastoluokka2 := \begin{bmatrix} 0.53 \\ 0.61 \end{bmatrix} \frac{kN}{m^2}$

Tuulen nopeuspaine       $q_{p0} := \text{interp}(m, Maastoluokka2, m_{rak}) = 0.6 \left( \frac{kN}{m^2} \right)$

#### Tuulee sivuseinään

#### Ulkoisen paineen kertoimet Cpe

$e_{min} = \begin{bmatrix} b \\ 2 h \end{bmatrix}$        $e := \begin{cases} \text{if } b < 2 h \\ \parallel b \\ \text{else if } 2 h < b \\ \parallel 2 h \\ \text{else} \\ \parallel 0 \end{cases}$        $e = 13.125 \text{ m}$

$$A_{rak} := \frac{e}{5} = 2.625 \text{ m}$$

$$B_{rak} := d - \frac{e}{5} = 7.375 \text{ m}$$

$$A_{cpe10} := -1.2 \quad A_{cp1} := -1.4$$

$$B_{cpe10} := -0.8 \quad B_{cpe1} := -0.5$$

$$Vyöhyke := \frac{h}{d} = 0.75$$

$$vyö_{hd} := \begin{bmatrix} 0.25 \\ 1 \end{bmatrix} \quad D_{cp10} := \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.8 \end{bmatrix}$$

$$D_{cpe10} := \text{linterp}(vyö_{hd}, D_{cp10}, Vyöhyke) = 0.767 \quad D_{cp1} := 1.0$$

$$vyö_{hd} := \begin{bmatrix} 0.25 \\ 1 \end{bmatrix} \quad E_{cp10} := \begin{bmatrix} -0.5 \\ -0.3 \end{bmatrix}$$

$$E_{cpe10} := \text{linterp}(vyö_{hd}, E_{cp10}, Vyöhyke) = -0.367$$

Cpi yhteisvaikutus

$$A_{vyöhyke} := (A_{cpe10} - 0.3) \cdot q_{p0} = -0.895 \frac{kN}{m^2}$$

$$B_{vyöhyke} := (B_{cpe10} - 0.3) \cdot q_{p0} = -0.656 \frac{kN}{m^2}$$

$$D_{vyöhyke} := (D_{cpe10} + 0.3) \cdot q_{p0} = 0.636 \frac{kN}{m^2}$$

$$E_{vyöhyke} := (E_{cpe10} - 0.3) \cdot q_{p0} = -0.398 \frac{kN}{m^2}$$

Tarkasteltava pilari vyöhykkeellä D

Pilarin jako

$$Pilar_i_{ala} := 1.574 \text{ m} + 0.175 \text{ m} = 1.749 \text{ m}$$

viivakuorma pilarille

$$q_k := D_{vyöhyke} \cdot Pilar_i_{ala} = 1.113 \frac{kN}{m}$$

## Liite 4. Pääpalkin tulokset

Finnwood 2.4.3 (2.4.089)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Pääpalkki

13.11.2022

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

Finnwood 2.4.3 (2.4.089)

RIL 205-1-2017 (30.12.2021)

Rakennemitoitus ilman onnettomuus-/palotilannetta



PROJEKTITIEDOT:

Nimi: Pääpalkki

C:\Users\jutil\OneDrive\koulu\koulu\Opinnäytetyö\Materiaali\Mitoitus\Pääpalkki 3000.s01

RAKENNETIEDOT:

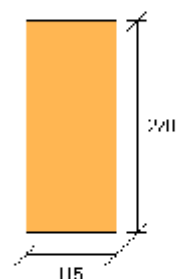
Rakennetyyppi: Kattopalkki/laatta  
 Materiaali: GL24h  
 Poikkileikkaus: 115x270  
 (B=115 mm, H=270 mm, A=31050 mm<sup>2</sup>, I<sub>y</sub>=188628750 mm<sup>4</sup>, W<sub>y</sub>=1397250 mm<sup>3</sup>)  
 Käyttöluokka: 1  
 Seuraamusluokka: CC2 (KF=1.0)  
 Jako/kuormituslev.: 5000 mm (pintakuormille)

Uloke-/jännevälipituudet:

Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:

Jänneväli 1: 3000.0

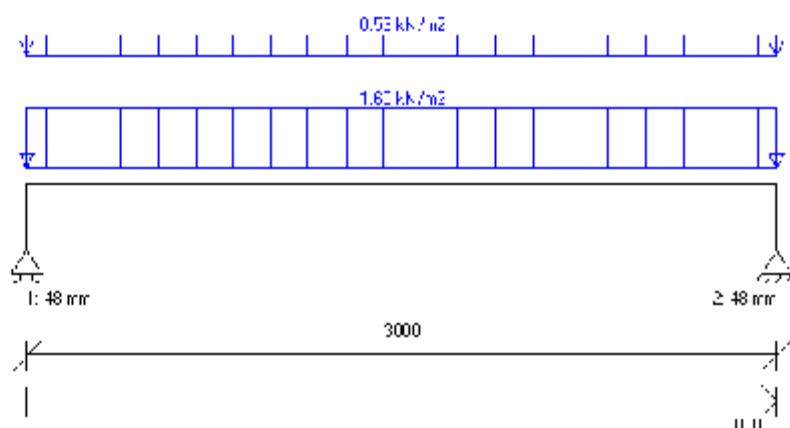
Yhteensä: 3000.0



Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	48	Liukutuki (Z)
2:	3000	48	Kiinteä niveltuki (X,Z)

f <sub>m,k</sub> (M <sub>y</sub> ):	28.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>m,k</sub> (M <sub>z</sub> ):	24.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>c,0,k</sub> :	24.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>c,90,k</sub> :	2.50 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>t,0,k</sub> :	20.80 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>t,90,k</sub> :	0.50 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>v,k</sub> (V <sub>z</sub> ):	3.50 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>v,k</sub> (V <sub>y</sub> ):	3.50 N/mm <sup>2</sup>
E <sub>mean</sub> :	11500 N/mm <sup>2</sup>
G <sub>mean</sub> :	650 N/mm <sup>2</sup>
E 0.05:	9600 N/mm <sup>2</sup>
G 0.05:	540 N/mm <sup>2</sup>
Tilavuuspaino:	5.00 kN/m <sup>3</sup> (omapainon laskentaa varten)

km-kerroin:	0.70
kcr-kerroin:	1.00
<hr/>	
Osavarmuusluku:	1.25
<hr/>	
Aikaluokka:	kmod:
Pysyvä:	0.600
Pitkäaikainen:	0.700
Keskipitkä:	0.800
Lyhytaikainen:	0.900
Hetkellinen:	1.100
<hr/>	
kdef:	0.600

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Rakenneosan paino: QZ = 0.155 kN/m x = 0 - 3000 mm

Pintakuorma: 1: QZ = 0.533 kN/m² x = 0 - 3000 mm

Lumikuorma (Lumikuorma Sk&lt;2.75 kN/m², Keskipitkä):

Pintakuorma: 1: QZ = 1.600 kN/m² x = 0 - 3000 mm

**KUORMITUSYHDISTELMÄT:**



---

Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)

1.00\*1.35\*Omapaino

---

Yhdistelmä 2 (MRT, Keskipitkä)

1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*Lumikuorma

---

Yhdistelmä 4 (MRT, Keskipitkä)

1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*0.70\*Lumikuorma

---

Yhdistelmä 7 (MRT, Pysyvä)

1.00\*1.15\*Omapaino

---

Yhdistelmä 9 (MRT, Pysyvä)

0.90\*Omapaino

---

Yhdistelmä 12 (KRT)

1.00\*Omapaino

---

Yhdistelmä 13 (KRT)

1.00\*Omapaino + 1.00\*Lumikuorma

---

Yhdistelmä 15 (KRT)

1.00\*Omapaino + 1.00\*0.70\*Lumikuorma

---

**MITOITUS:**

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + A2:2014 + RIL 205-1:2017

Kokonaiskäyttöaste: 91.0 %

---

**MITOITUSPARAMETRIT:**
Taipumaraja  $W_{net,fin}$ : L/300

Korotuskertoimen, vasen uloke: 2.00

Korotuskertoimen, oikea uloke: 2.00

Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)

Kiepahdus taivutuksesta  $M_y$  (y-askelin suhteen):Kiepahdustukiväli rakenteen yläpuolella:  $L_{k1}$  = Päätukien välimatkaKiepahdustukiväli rakenteen alapuolella:  $L_{k2}$  = Päätukien välimatka $L_{ef1} = L_{k1}$  ja  $L_{ef2} = L_{k2}$  (Esim. kuormitus neutraaliakselilla/kiepahdustukien kautta)HUOM!  $L_{k1}$ :ta käytetään, kun  $M_y > 0$  ja  $L_{k2}$ :ta, kun  $M_y < 0$ 


---

**MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:**

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	22.86 kN	46.37 kN	49.3 %	3000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Taivutus ( $M_y$ ):	17.15 kNm	23.25 kNm	73.8 %	1500 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
(ilman kiepahdusta):	17.15 kNm	23.25 kNm	73.8 %	1500 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä

---

Tukipaine, tuki 1:	22.86 kN	25.12 kN	91.0 %	0 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 2.84					
Tukipaine, tuki 2:	22.86 kN	25.12 kN	91.0 %	3000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 2.84					
jänneväli 1, Wz,fin:	7.5 mm	– mm	– %	1500 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 1, Wz,net,fin:	7.5 mm	10.0 mm	74.5 %	1500 mm	Yhdistelmä 13/1

**ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT**

Yhdistelmä 2/1 (Keskipitkä):

1.15\*Omapaino + 1.50\*Lumikuorma

Yhdistelmä 13/1 :

1.00\*Omapaino + 1.00\*Lumikuorma

**VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:**

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
Vz,max	22.86 kN	3000 mm
My,max	17.15 kNm	1500 mm

**TUKIREAKTIOT:**

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	22.86 kN	3.81 kN	16.23 kN	4.23 kN
2:	22.86 kN	3.81 kN	16.23 kN	4.23 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

**TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):**

Kuormitustapaus: Omapaino

Tuki: FZ [kN]:

1: 4.23

2: 4.23

Kuormitustapaus: Lumikuorma

Tuki: FZ [kN]:

1: 12.00

2: 12.00

**HUOMIOT:**

- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosien A1:2008, A2:2014 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2017 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta

- VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03665-17 ja VTT-S-05393-17)

- MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila

- \*) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta

- Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen

- 
- Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
  - Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
  - Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttörajatilamitoituksessa
  - Leikkausmuodonmuutos ei ole mukana voimasuureiden laskennassa
  - Rakenneosan koon vaikutus lujuuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
  - Suunnittelijan tulee kiinnittää huomiota myös rakennedetaljeihin ja varmistaa, ettei rakenteisiin muodostu vesitaskuja
  - Kuormitustiedoissa esitetään lumikuorman ominaisarvo katolla.  
Tämä on saatu kertomalla maassa oleva ominaislumikuorma katon muotokertoimella
- 

Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakenneosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Woodin tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.

---

## Liite 5. Runkotolpan tulokset

Finnwood 2.4.3 (2.4.089)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Runkotolppa

13.11.2022

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

Finnwood 2.4.3 (2.4.089)

RIL 205-1-2017 (30.12.2021)

Rakennemitoitus ilman onnettomuus-/palotilannetta



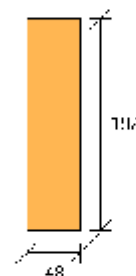
PROJEKTITIEDOT:

Nimi: Runkotolppa

C:\Users\juti\OneDrive\koulukoulu\Opinnäytetyö\Materiaali\Mitoitus\runkotolppa.s01

RAKENNETIEDOT:

Rakennetyyppi: Pilari  
 Materiaali: C24  
 Poikkileikkaus: 48x197  
 (B=48 mm, H=197 mm, A=9456 mm<sup>2</sup>, I<sub>y</sub>=30581492 mm<sup>4</sup>, W<sub>y</sub>=310472 mm<sup>3</sup>)  
 Käyttöluokka: 2  
 Seuraamusluokka: CC2 (KFI=1.0)  
 Kulma: 90.0 astetta



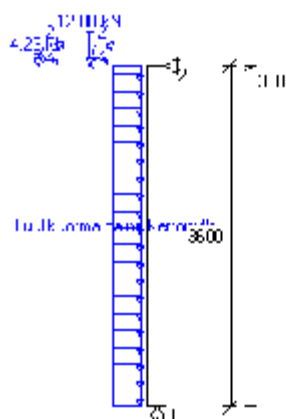
Uloke-/jännevälipituudet:

Uloke/jänneväli: Pystymitta [mm]:  
 Jänneväli 1: 3600.0  
 Yhteensä: 3600.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Tyyppi:
1:	0	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	3600	Liukutuki (X)

f <sub>m,k</sub> (M <sub>y</sub> ):	24.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>m,k</sub> (M <sub>z</sub> ):	30.14 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>c,0,k</sub> :	21.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>c,90,k</sub> :	2.50 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>t,0,k</sub> :	14.50 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>t,90,k</sub> :	0.40 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>v,k</sub> (V <sub>z</sub> ):	4.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>v,k</sub> (V <sub>y</sub> ):	4.00 N/mm <sup>2</sup>
E <sub>mean</sub> :	11000 N/mm <sup>2</sup>
G <sub>mean</sub> :	660 N/mm <sup>2</sup>
E <sub>0.05</sub> :	7400 N/mm <sup>2</sup>
G <sub>0.05</sub> :	460 N/mm <sup>2</sup>
Tilavuuspaino:	5.00 kN/m <sup>3</sup> (omapainon laskentaa varten)

km-kerroin:	0.70
kcr-kerroin:	1.00
<hr/>	
Osavarmuusluku:	1.30
<hr/>	
Aikaluokka:	kmod:
Pysyvä:	0.600
Pitkäaikainen:	0.700
Keskipitkä:	0.800
Lyhytaikainen:	0.900
Hetkellinen:	1.100
<hr/>	
kdef:	0.800

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Pistekuorma: 1:	FZ = 4.23 kN	x = 3600.0 mm
Pistekuorma: 2:	My = -0.212 kNm	x = 3600.0 mm
Rakenneosan paino:	QZ = 0.047 kN/m	x = 0 - 3600 mm

Lumikuorma (Lumikuorma Sk < 2.75 kN/m<sup>2</sup>, Keskipitkä):

Pistekuorma: 1:	FZ = 12.00 kN	x = 3600.0 mm
Pistekuorma: 2:	My = -0.600 kNm	x = 3600.0 mm

---

Tuulikuorma (Tuulikuorma, Hetkellinen):

viivakuorma: 1:  $QZ = 1.113 \text{ kN/m}$   $x = 0 - 3600 \text{ mm}$  ( Tuulikuorma paine kertoimilla)

---

#### --- **KUORMITUSYHDISTELMÄT:**

Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)

0.90\*Omapaino

---

Yhdistelmä 2 (MRT, Pysyvä)

1.00\*1.35\*Omapaino

---

Yhdistelmä 3 (MRT, Pysyvä)

1.00\*1.15\*Omapaino

---

Yhdistelmä 4 (MRT, Keskipitkä)

1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*0.70\*Lumikuorma

---

Yhdistelmä 5 (MRT, Keskipitkä)

1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*Lumikuorma

---

Yhdistelmä 6 (MRT, Hetkellinen)

1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*0.70\*Lumikuorma + 1.00\*1.50\*0.60\*Tuulikuorma

---

Yhdistelmä 7 (MRT, Hetkellinen)

1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*Lumikuorma + 1.00\*1.50\*0.60\*Tuulikuorma

---

Yhdistelmä 8 (MRT, Hetkellinen)

1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*0.70\*Lumikuorma + 1.00\*1.50\*Tuulikuorma

---

Yhdistelmä 9 (KRT)

1.00\*Omapaino

---

Yhdistelmä 10 (KRT)

1.00\*Omapaino + 1.00\*0.70\*Lumikuorma

---

Yhdistelmä 11 (KRT)

1.00\*Omapaino + 1.00\*Lumikuorma

---

Yhdistelmä 12 (KRT)

1.00\*Omapaino + 1.00\*0.70\*Lumikuorma + 1.00\*Tuulikuorma

---

#### **MITOITUS:**

Mitoitusstandardi:

EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + A2:2014 + RIL 205-1-2017

Kokonaiskäyttöaste:

54.4 %

---

**MITOITUSPARAMETRIT:**

Taipumaraja $W_{net,fin}$ :	L/300
Korotuskerroin, vasen uloke:	2.00
Korotuskerroin, oikea uloke:	2.00
Nurjahdus z-suuntaan:	$L_c = 1.00 \cdot L$
Nurjahdus on estetty y suuntaan	
Kiepahdus on estetty	

**MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:**

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste %:	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	0.32 kN	15.52 kN	2.0 %	2340 mm	Yhdistelmä 5/1, Keskipitkä
Puristus:	23.06 kN	77.56 kN	29.7 %	0 mm	Yhdistelmä 5/1, Keskipitkä
Taivutus ( $M_y$ ):	1.14 kNm	4.59 kNm	24.9 %	3600 mm	Yhdistelmä 5/1, Keskipitkä
Taivutus+puristus:	0.54	1.00	54.4 %	3600 mm	Yhdistelmä 5/1, Keskipitkä
( $M_y=1.14$ kNm, $M_z=0.00$ kNm, $N_x=22.86$ kN)					
jänneväli 1, $W_z,inst$ :	-2.0 mm	— mm	— %	2070 mm	Yhdistelmä 11/1
jänneväli 1, $W_z,net,fin$ :	-2.7 mm	12.0 mm	22.2 %	2070 mm	Yhdistelmä 11/1

**ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT**

Yhdistelmä 5/1 (Keskipitkä):

1.15\*Omapaino + 1.50\*Lumikuorma

Yhdistelmä 11/1 :

1.00\*Omapaino + 1.00\*Lumikuorma

**VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:**

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
$N_{x,max}$	26.67 kN	0 mm
$V_{z,max}$	0.32 kN	2340 mm
$M_{y,max}$	1.14 kNm	3600 mm

**TUKIREAKTIOT:**

FX:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	0.32 kN	0.05 kN	0.23 kN	0.06 kN
2:	-0.05 kN	-0.32 kN	-0.06 kN	-0.23 kN

FZ:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	26.67 kN	3.96 kN	16.81 kN	4.40 kN
2:	0.00 kN	0.00 kN	0.00 kN	0.00 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

**TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):**

---

Kuomitustapaus:	Omapaino	
Tuki:	FX [kN]:	FZ [kN]:
1:	0.08	4.40
2:	-0.08	0.00

---

Kuomitustapaus:	Lumikuorma	
Tuki:	FX [kN]:	FZ [kN]:
1:	0.17	12.00
2:	-0.17	0.00

---

Kuomitustapaus:	Tuulikuorma	
Tuki:	FZ [kN]:	
1:	4.01	
2:	0.00	

---

**HUOMIOT:**

- 
- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosien A1:2008, A2:2014 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2017 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
  - VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03665-17 ja VTT-S-05393-17)
  - MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila
  - \*) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
  - Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen
  - Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
  - Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
  - Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttöraja-tilamitoituksessa
  - Leikkausmuodonmuutos ei ole mukana voimasuureiden laskennassa
  - Rakennneosan koon vaikutus lujuuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
  - Suunnittelijan tulee kiinnittää huomiota myös rakennedetaljeihin ja varmistaa, ettei rakenteisiin muodostu vesitaskuja
- 

Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakennneosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Woodin tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.

---



## Liite 6. Pistekuorma, lauta- ja naulamäärät ja reunaetäisyydet

Lähtötiedot
Kuorman aikaluokka hetkellinen
Käyttöluokka 2
Sahatavara c24 38x125mm
Pistekuorma päähän 14.2kN
Tarkasteltava naula 3,1*90 =kestävyys 710N
Rakennuksen korkeus $h := 7.5 \text{ m}$
Rakennuksen leveys $b := 10 \text{ m}$
Rakennuksen pituus $d := 13 \text{ m}$
Nopeuspaineen ominaisarvo $q_0 := 0.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
$L := d, B := b$
Rakennekerroin $C_s C_d := 1.0$
$h < 15\text{m} \quad 2 \cdot \frac{h}{b} = 1.5$
Sivusuhte $d/h \quad \frac{d}{b} = 1.3$
voimakerto $C_f := 1.35$
Kokonaistuulivoima $q_{w,k} := q_0 \cdot C_s C_d \cdot C_f = 0.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
$h_1 := 4.4 \text{ m}$
$h_2 := 0.4 \text{ m}$
$h_3 := 0.8 \text{ m}$
$h_4 := 3.05 \text{ m}$
Lyhyt suunta
Lisävaakakuorma lyhyt suunta
Lisävaakavoima kattorakenteen omasta painosta $H_{dt,omapaino} := 0.036 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Lisävaakakuorma lumikuormasta $q_{HB,k} := 0.107 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Tuulikuorma $q_{w,B,k} := q_{w,k} \cdot \left( h_2 + \frac{h_1}{2} \right) = 2.106 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Viivakuormitus lyhyempi suunta
$W_{B,d} := 1.15 \cdot q_{HB,k} + 1.5 \cdot q_{w,B,k} + 1.5 \cdot 0.7 \cdot q_{HB,k} = 3.394 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Kuorma päädyssä $F_{B,d} := W_{B,d} \cdot \frac{B}{2} = 16.972 \text{ kN}$
Pitkä suunta
Lisävaakavoima kattorakenteen painosta $g_{HL,k} := 0.036 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Lisävaakavoima lumikuormituksesta $q_{HL,k} := 0.107 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Tuulikuormitus $q_{WL,k} := 0.698 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Viivakuormitus pidempi suunta

$$W_{L,d} := 1.15 \cdot q_{HL,k} + 1.5 \cdot q_{WL,k} + 1.5 \cdot 0.7 \cdot q_{HL,k} = 1.282 \frac{kN}{m}$$

Kuorma sivuseinän päädyssä

$$F_{L,d} := W_{L,d} \cdot \frac{L}{2} = 8.336 \text{ kN}$$

Vinolaudoituksen laskelmat

Naulamäärä

$$F_{B,d} = 16.972 \text{ kN}$$

$$N_{aula_{määrä}} := \frac{F_{B,d}}{N_{aula}} = 23.904$$

$$N_{aula} := 0.710 \text{ kN}$$

$$L_{autaa} := \frac{N_{aula_{määrä}}}{3} = 8$$

Mallissa käytetään 8 lautaa.

4 Puolelle

Naula 3,1\*90mm

Reunaetäisyydet

$$F_{daste} := \frac{F_{B,d}}{\cos(31.3)} = 17.087 \text{ kN}$$

Puun leveys

$$b := 125 \text{ mm}$$

Puun korkeus

$$h := 38 \text{ mm}$$

Puun pituus

$$L := 1117 \text{ mm}$$

Puun poikkileikkaus

$$A := b \cdot h = 4750 \text{ mm}^2$$

Puun puristuskestävyys

$$f_{c,0,k} := 21 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Kimmomoduuli

$$E_{0,06} := 11000 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Osavarmuusluku

$$\gamma_M := 1.3$$

Nurjahduspituus

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L = 1.117 \text{ m}$$

Jäyhyysmomentti

$$I_z := \frac{b \cdot h^3}{12} = 571583.333 \text{ mm}^4$$

Poikkileikkauksen jäyhyyssäde

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 10.97 \text{ mm}$$

Sauvan muunnettu hoikkuus

$$\lambda_z := \frac{L_{c,y}}{i_z} = 101.826$$

Hoikkuusluku

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1.416$$

Sauvan alkukäyryydestä riippuva kerroin

$$\beta_c := 0.25$$

Kz-kerroin

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1.642$$

nurjahduskerroin  $k_{c,z}$ 

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.404$$

$$k_{mod} := 1.1$$

Puristuslujuus

$$f_{c,0,d} := \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 17.769 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuskestävyys

$$N_{R,d} := k_{c,z} \cdot f_{c,0,d} \cdot A = 34.117 \text{ kN}$$

Vinolaudoituksen kestävyys voimalle  $F_d$ 

$$F_{d,act} := F_{B,d} \cdot \cos(31.3) = 16.858 \text{ kN}$$

$$Ka := \frac{F_{d,act}}{N_{R,d}} = 0.494$$

$$d := 3.1 \text{ mm}$$

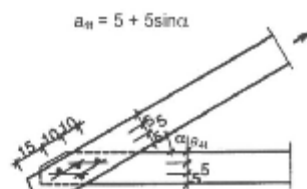
$$5 \cdot d = 15.5 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} := (5 + 5 \cdot \sin(31.1)) \cdot d = 10.684 \text{ mm}$$

$$15 \cdot d = 46.5 \text{ mm}$$

$$10 \cdot d = 31 \text{ mm}$$

Ok!



# Liite 7. Yhden ristikon yläpaarteen ominaiskuormat

Yläpojan nurjahduslaskelmat puuinfon mukaan			
Tuulikuorma			
Rakennuksen korkeus	$h := 7.5 \text{ m}$		
Rakennuksen Leveys	$b := 10 \text{ m}$	pääty	
Rakennuksen pituus	$d := 13.125 \text{ m}$	sivu	
Yläpaarteen puristuskuorma pysyvältä- ja lumikuormasta			
$L_{yläppaarre} := 11.4 \text{ m}$			
$H_{ka} := 1.9 \text{ m}$			
$0.016 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.002 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.048 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.016 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.052 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.134 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$			
Pelti	$0.052 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
Ruode	$0.016 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
rima	$0.048 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
aluslata	$0.002 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
vaakalautoitus	$0.016 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
$P_{d,omapaino} := 0.134 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0.9 \text{ m} = 0.121 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$			
$P_{d,lumikuorma} := 1.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0.9 \text{ m} = 1.44 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$			
$m_{d,omapaino} := \frac{(P_{d,omapaino} \cdot L_{yläppaarre}^2)}{8} = 1.959 \text{ kN} \cdot \text{m}$			
$n_{d,omapaino} := \frac{m_{d,omapaino}}{H_{ka}} = 1.031 \text{ kN}$			
$m_{d,lumikuorma} := \frac{(P_{d,lumikuorma} \cdot L_{yläppaarre}^2)}{8} = 23.393 \text{ kN} \cdot \text{m}$			
$n_{d,lumikuorma} := \frac{m_{d,lumikuorma}}{H_{ka}} = 12.312 \text{ kN}$			

Ristikön ka korkeus	$h_{\text{ristikko}} := \frac{3.050 \text{ m} + 0.8 \text{ m}}{2} = 1.925 \text{ m}$
Rakennuksen korkeus	$m_{\text{rak}} := 7.5 \text{ m}$
	$m := \begin{bmatrix} 5 \\ 8 \end{bmatrix} \text{ m} \quad Maastoluokka2 := \begin{bmatrix} 0.53 \\ 0.61 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Tuulen nopeuspaine	$q_{p0} := \text{linterp}(m, Maastoluokka2, m_{\text{rak}}) = 0.6 \left( \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right)$
Tuuli kohtisuoraan sivuseinää vastaan	
Rakennekerroin	$C_s C_d := 1.0$
Tehollinen hoikkuus	$\lambda := \frac{2 \cdot h}{d} = 1.143$
Sivusuhte	$\frac{b}{d} = 0.762$
	$\lambda_{cf} := \begin{bmatrix} 1 \\ 3 \end{bmatrix} \quad Sivusuhte := \begin{bmatrix} 0.7 \\ 1 \end{bmatrix}$
Voimakertoimen $C_f$	$C_f := \text{linterp}\left(\lambda_{cf}, Sivusuhte, \frac{b}{d}\right) = 0.664$
Kokonaistuulikuorman ominaisarvo sivuseinää vastaan neliökuormana	$q_{w,k} := C_s C_d \cdot C_f \cdot q_{p0} = 0.396 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Tuuli kohtisuoraan päätyseinää vastaan	
Tehollinen hoikkuus	$\lambda := \frac{2 \cdot h}{b} = 1.5$
Sivusuhte	$\frac{d}{b} = 1.313$
	$\lambda_{cf} := \begin{bmatrix} 1 \\ 3 \end{bmatrix} \quad Sivusuhte := \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}$
Voimakertoimen $C_f$	$C_f := \text{linterp}\left(\lambda_{cf}, Sivusuhte, \frac{d}{b}\right) = 1.156$

Kokonaistuulikuorman ominaisarvo päätyseinää vastaan neliökuormana  $q_{w,k} := C_s C_d \cdot C_f \cdot q_{p0} = 0.69 \frac{kN}{m^2}$

Kitkakerroin

$$C_{fr} := 0.04$$

Kitkakertoimen vaikutusala

$$min := \begin{cases} \text{if } 2 \leq b < 4 \text{ h} \\ \parallel 2 \text{ b} \\ \text{else if } 4 \leq h < 2 \text{ b} \\ \parallel 4 \text{ h} \\ \text{else} \\ \parallel 0 \end{cases} \quad min = 20 \text{ m}$$

$$L_f := b - min = -10 \text{ m}$$

Kitkakuorma menee negatiiviseksi, joten kitkakuormaa ei tarvitse huomioida

$$q_{fr,k} := q_{p0} \cdot C_{fr} \cdot L_f = -0.239 \frac{kN}{m}$$

Tuulikuorma yläpaarteelle

$$q_{w,k,3} := q_{w,k} \cdot \frac{h_{ristikko}}{2} = 0.664 \frac{kN}{m}$$

Tuulikuorma yläpaarteelle pinta-alan avulla

rakennuksen leveys

$$B := 10 \text{ m}$$

On se päädyn pinta-ala, jolta tuulivoima kohdistuu

$$A_{yp} := 12 \text{ m}^2$$

Katon kokonaispinta-ala

$$A_{fr} := 135 \text{ m}^2$$

On rakennuksen tuulta vastaan kohtisuora pinta-ala

$$A_{red} := 55 \text{ m}^2$$

Tuulikuorma yläpaarteelle

$$q_{t,k} := \frac{0.69}{10} \cdot \left( 1.156 \cdot 12 + 0.04 \cdot 12 \cdot \left( 1 - \frac{12}{55} \right) \right) = 0.983$$

Kuorma jaetaan molemmille puolille

$$\frac{0.983}{2} = 0.492$$

## Liite 8. Lisävaakavoimaristikko

Lisävaakavoimat Omasta painosta	Rakennuksen korkeus $h := 7.5 \text{ m}$ Rakennuksen Leveys $B := 10 \text{ m}$ Rakennuksen pituus $L := 13.125 \text{ m}$	pääty sivu
Kattorakenteen omapaino	Ristikon korkea räystäs $h_2 := 3.050 \text{ m}$ Ristikon Lyhyt räystäs $h_1 := 0.8 \text{ m}$ Ristikon ka korkeus	
$Ristikko := 0.135 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$h_{ristikko} := \frac{3.050 \text{ m} + 0.8 \text{ m}}{2} = 1.925 \text{ m}$	
$Pelti := 0.052 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
$Ruode := 0.016 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
$Rima := 0.0504 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
$Aluskate := 0.02 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
$Villa := 0.121 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
$Koolaus := 0.024 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
$Kipsilevy := 0.115 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
Kattorakenteen omapaino		
$g_{yp,k} := Ristikko + Pelti + Ruode + Rima + Aluskate + Villa + Koolaus + Kipsilevy = 0.533 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
Muotokerroin	$\mu_1 := 0.8$	
Lumikuorma maassa	$s_k := 2.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	
Lumikuorma katolla	$q_k := \mu_1 \cdot s_k = 1.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	
Tuulipaine	$q_{w,k} := 0.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	
Lisävaakavoima ristikolle		
Kattorakenteen omasta painosta	$g_{H,k} := \frac{\left(\frac{B}{L}\right) \cdot g_{yp,k} \cdot (L)}{150} = 0.036 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \geq \parallel g_{H,k} := \frac{g_{yp,k} \cdot (L)}{250} = 0.028 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	
Lumikuormasta	$g_{H,k} := \frac{\left(\frac{B}{L}\right) \cdot q_k \cdot (L)}{150} = 0.107 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \geq \parallel g_{H,k} := \frac{q_k \cdot (L)}{250} = 0.084 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	

Rakennuksen lyhyempi suunta

Lisävaakavoima  
kattorakenteen painosta

$$H_{dt, oma\ paino} := \frac{g_{yp,k} \cdot B}{150} = 0.036 \frac{kN}{m}$$

Lisävaakavoima  
lumikuormituksesta

$$q_{HB,k} := \frac{q_k \cdot B}{150} = 0.107 \frac{kN}{m}$$

Rakennuksen pidempi suunta

Kattorakenteen painosta  
Sivuseinälle

$$g_{L,k} := g_{yp,k} \cdot \frac{B}{2} = 2.667 \frac{kN}{m}$$

Lumikuormitus sivuseinälle

$$q_{L,k} := q_k \cdot \frac{B}{2} = 8 \frac{kN}{m}$$

Lisävaakavoima  
kattorakenteen painosta

$$g_{HL,k} := \frac{B}{L} \cdot \frac{g_{yp,k} \cdot L}{150} = 0.036 \frac{kN}{m} \geq \frac{g_{yp,k} \cdot L}{250} = 0.028 \frac{kN}{m}$$

Lisävaakavoima  
lumikuormituksesta

$$q_{HL,k} := \frac{B}{L} \cdot \frac{q_k \cdot L}{150} = 0.107 \frac{kN}{m} \geq \frac{q_k \cdot L}{250} = 0.084 \frac{kN}{m}$$

Tuulikuormitus

$$q_{W,L,k} := q_{w,k} \cdot \left( \frac{0.5 \cdot h_2}{2} + \frac{h_1}{2} \right) = 0.698 \frac{kN}{m}$$

Tuulikuorma yläpaarteeseen

$$\frac{q_{W,L,k}}{2} = 0.349 \frac{kN}{m}$$

Tuulikuorma alapaarteeseen

$$\frac{q_{W,L,k}}{2} = 0.349 \frac{kN}{m}$$



## Liite 9. NR-yläpohjan jäykistyksen mitoitus

Käyttäjän nimi: _____		Päivä: _____		Vaihe: _____	
K: _____		Paino: _____		1 / 1	
Näyttämönumero: _____		Vaihe 1: Yläpäärteen nurjehdus			

### 1.0 RISTIKKO JA VAAKAJÄYKISTE

---

Radion tyyppi	Pöytä / Kallio	▼
Jäykistettävien kielten määrä yläpäärteen puitteissa	4	▼
Vaakajäykitys yläpäärteen päällä	214 037 14	▼

Radion jonovali	L = 9800 mm	▼
Radion pienempi tukikohta	H = 800 mm	▼
Yläpäärteen kaltevuus	α = 11,3 °	▼
Radion suurempi tukikohta	H <sub>0</sub> = 2700 mm	▼
Jäykistysjärjestelmän jonovali (yläpäärteen pituus)	L <sub>0</sub> = 9800 mm	▼
Jäykistysjärjestelmän jonovalinumeron	K <sub>0</sub> = 1,0	▼
Vaakajäykityksen jonovali	Yläpää = 2400 mm	▼

### 1.2 YHDEN RISTIKON YLÄPÄÄRTEEN OMINAISUUKSIJAKMAT

---

Yläpäärteen puristavoima pyydytte luomasta	N <sub>0,1</sub> = 1,1 kN	100 %
Yläpäärteen puristavoima lunkilukomasta	N <sub>0,2</sub> = 13,4 kN	100 %
Lätkävoima pyydytte luomasta	H <sub>0,1</sub> = 0,036 kNm	100 %
Lätkävoima lunkilukomasta	H <sub>0,2</sub> = 0,367 kNm	100 %
Tuulikuorman yläpäärteelle	Q <sub>0,1</sub> = 0,007 kNm	100 %
Lunkikuorman yläpäärteelle	W <sub>0</sub> = 0,2	100 %

### 1.3 YHDEN RISTIKON YLÄPÄÄRTEEN VAAKAJÄYKISTEEN MITOITUS

---

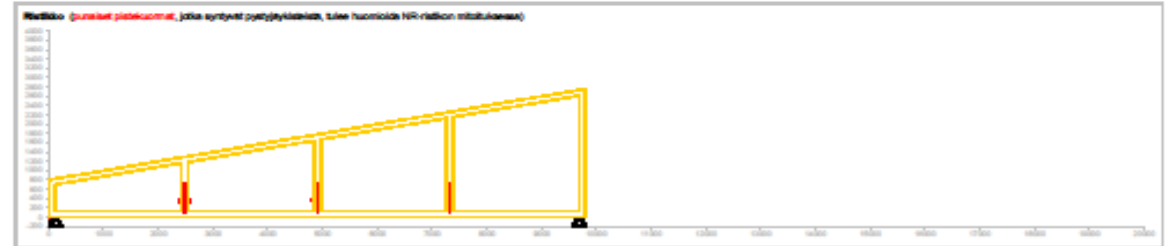
Kuormituslajit	Pöytä / Kallio / Kallio	
Käyttökäyttö / Alkukäyttö	KL 2 / Mittailin	
K <sub>use</sub> 1,1	Muutoksesta	
K <sub>use</sub> 0,8	Vuorokäyttö	
K <sub>se</sub> 1,3	Säätövoiman säätövoimaksi	
N <sub>0,1</sub> 1,3 kN	Yläpäärteen puristavoima pyydytte luomasta	100 %
N <sub>0,2</sub> 14,1 kN	Yläpäärteen puristavoima lunkilukomasta	70 %
Q <sub>0,1</sub> 0,03 kNm	Yläpäärteen jäykistyskuorma	70 %
Q <sub>0,2</sub> 0,04 kNm	Lätkävoima pyydytte luomasta	100 %
Q <sub>0,3</sub> 0,11 kNm	Lätkävoima lunkilukomasta	70 %
Q <sub>0,4</sub> 0,14 kNm	Tuulikuorma yläpäärteelle	100 %

#### Vaakajäykityksen poikkileikkaus

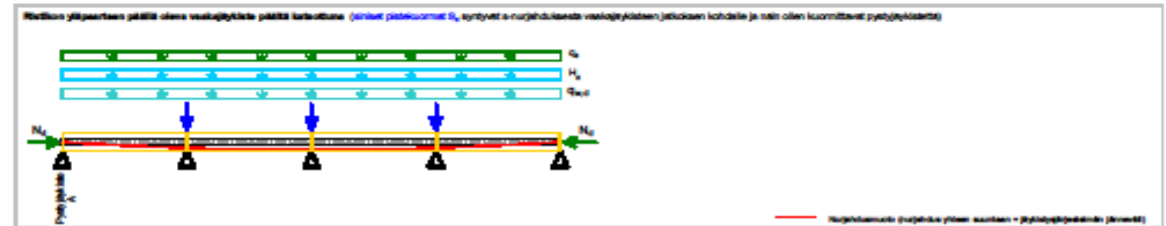
---

L <sub>0</sub> 12957 mm	Jäykitysmenetelmä
W <sub>0</sub> 175232 mm <sup>3</sup>	Säätövoima
A 7104 mm <sup>2</sup>	Poikkileikkaus
K <sub>0</sub> 1,0	Heliksimuunnos
K <sub>0,use</sub> 11000 N/mm <sup>2</sup>	Käyttömoduuli



#### 1.4 VAAKA-JÄYKISTEN MITOITUSTULOKSET

Pyöryk + Työväli 100 % + Luvut 70 %	Tähtikastakkeetys [ g = m ]		Lakikastakkeetys [ g = m ]		Loppukastakkeetys MWT [ g = m ]		Välivaiheiden painon kääntäminen yksiköksi: keskimääräinen vääntö $V_{\text{kesk}}$	
	$M_{\text{kesk}}$	$V_{\text{kesk}}$	$M_{\text{kesk}}$	$V_{\text{kesk}}$	$M_{\text{kesk}}$	$V_{\text{kesk}}$	$F_{\text{kesk}}$	$P_{\text{kesk}}$
<b>C26 48x148</b>	6,72 N/mm²	1,78 N/m	0,24 N/mm²	0,30 N/m	3,30 N/mm²	4 N/m	0,29 N/m	0,69 N/m
$L_{\text{kesk}}$ 2499 mm	$V_{\text{kesk}}$ 20,31 N/mm²	$M_{\text{kesk}}$ 7 %	$V_{\text{kesk}}$ 77 %					
$Q_{\text{kesk}}$ 0,00 m³/min								



Pystylyhtälöiden ulkoiset tulokset 1-aulkoiselta vaakayhtälöeltä ( $F_{\text{tot}}$  ja  $G_x$  eivät vaikuta samanaikaisesti)

Pyruvylactide	A (mM)	B	C	D	E
Pyruvylactide $F_{50}$	0.153 mM	0.077 mM	0.077 mM	0.077 mM	0.153 mM
Lactide $F_{50}$	0.153 mM	0.384 mM	0.384 mM	0.384 mM	0.153 mM
Tetralactide $F_{50}$	0.626 mM	1.856 mM	1.856 mM	1.856 mM	0.626 mM
5-methylolac $F_{50}$	0.153 mM	0.123 mM	0.123 mM	0.123 mM	0.153 mM
Tetralactide $S_0$ (mM)	1.57 mM	2.36 mM	2.36 mM	2.36 mM	1.57 mM

Suunnittelutoimisto	Työn nro		Sivu
X	X		1 / 3
	Päiväys	Tekijä	
	X	X	
Rakennuskohde	Sisältö		
X	Vaihe 2: Yläpaarteen s-nurjahdus		

## 2.0 YLAPAARRE

Yläpaarteen lujuusluokka	C24
Yläpaarteen leveys	$b = 48 \text{ mm}$
Yläpaarteen korkeus	$h = 123 \text{ mm}$

## 2.1 KUORMITUS

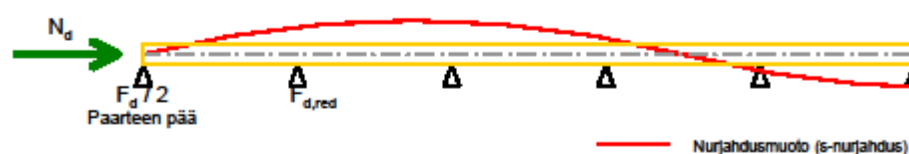
Kuormitustapa	Pysyvä + Tuuli 100 % + Lumi 70 %		
Käyttöluokka / Aikaluokka	KL 2 / Hetkellinen		
$k_{mod}$	1,1	Muunnoskerroin	
$k_{def}$	0,8	Virumaluku	
$\gamma_M$	1,3	Sahatavaran osavarmuusluku	
$\psi_2$	20 %	Lumikuorman pitkäaikaisuus	
$N_{d,d}$	1,3 kN	Yläpaarteen puristusvoima pysyvästä kuormasta	100 %
$N_{q,d}$	14,1 kN	Yläpaarteen puristusvoima lumikuormasta	70 %

## 2.2 YLAPAARTEN NURJAHDUSTUEN LIITOKSEEN SYNTYVA VOIMA

Info

Nurjahdustukien k-jako (ks. kohta 2.4)	Naula ryhmän k-jako = 300 mm		
$\ell$	9996 mm	Jäykistysjärjestelmän jänneväli (yläpaarteen pituus)	
$E_{0,05}$	7400 N/mm <sup>2</sup>	Yläpaarteen kimmomoduulin ominaisarvo	
$I_z$	1133568 mm <sup>4</sup>	Yläpaarteen jäyhyysmomentti heikommassa suunnassa	
$m$	33 kpl	Nurjahdustuetujen kenttien määrä	
$C_{red}$	204 N/mm	Vaadittu nurjahdustuen jousijäykkyys	
$\ell_s$	1047 mm	Nurjahdusmuodon kriittinen aallonpituus	
$N_d$	15,3 kN	Yläpaarteen puristusvoima valitusta kuormitustapauksesta	
$F_d$	0,307 kN	Nurjahdustuen voima kriittisen aallonpituuden keskellä	
$F_d / 2$	0,153 kN	Nurjahdustuen voima kriittisen aallonpituuden päässä	
$F_{d,red}$	0,123 kN	Redusoitu nurjahdustuen voima kriittisen aallonpituuden keskialueella	

Yläpaarre päältä katsottuna

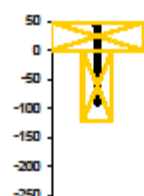


Nurjahdustuki	Paarteen päässä	Paarteen keskialueella	$F_{d,tuki} \text{ (max)}$
S-nurjahdus	$F_d / 2$ 0,153 kN	$F_{d,red}$ 0,123 kN	
Lisävaakavoima	$F_{H,d}$ 0,192 kN	$F_{H,d}$ 0,384 kN	
Tuulikuorma	$F_{q,w,d}$ 0,928 kN	$F_{q,w,d}$ 1,856 kN	
Nurjahdustukivoima	$F_{d,tuki}$ 1,27 kN	$F_{d,tuki}$ 2,36 kN	2,36 kN



Suunnittelutoimisto	Työn nro		Sivu
X	X		2 / 3
	Päiväys	Tekijä	
	X	X	
Rakennuskohde	Sisältö		
X	Vaihe 2: Yläpaarteen s-nurjahdus		

## 2.3 VAAKAJÄYKISTE



Vaakajäykisteen tyyppi	C24 45x145
Vaakajäykisteen kiinnitys	Naula 3,1x90
Naulamäärä voimalle $F_{d,tuki}$ (max)	4 kpl

## Vaakajäykisteen poikkileikkaus

$I_z$	12967168	mm <sup>4</sup>	Jäyhyysmomentti
$W_z$	175232	mm <sup>3</sup>	Taivutusvastus
$A$	7104	mm <sup>2</sup>	Poikkileikkausala
$k_{cr}$	1,0		Halkeilukerroin
$E_{0,mean}$	11000	N/mm <sup>2</sup>	Kimmomoduuli
$\rho_m$	420	kg/m <sup>3</sup>	Tiheys

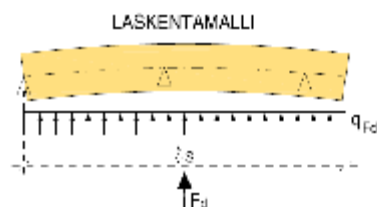
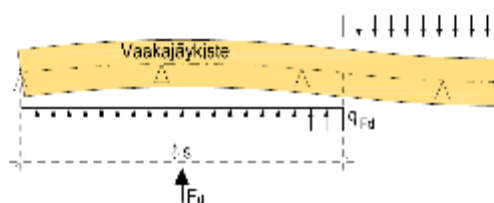
Naularyhmän kestävyys voimalle  $F_{d,tuki}$  (max)

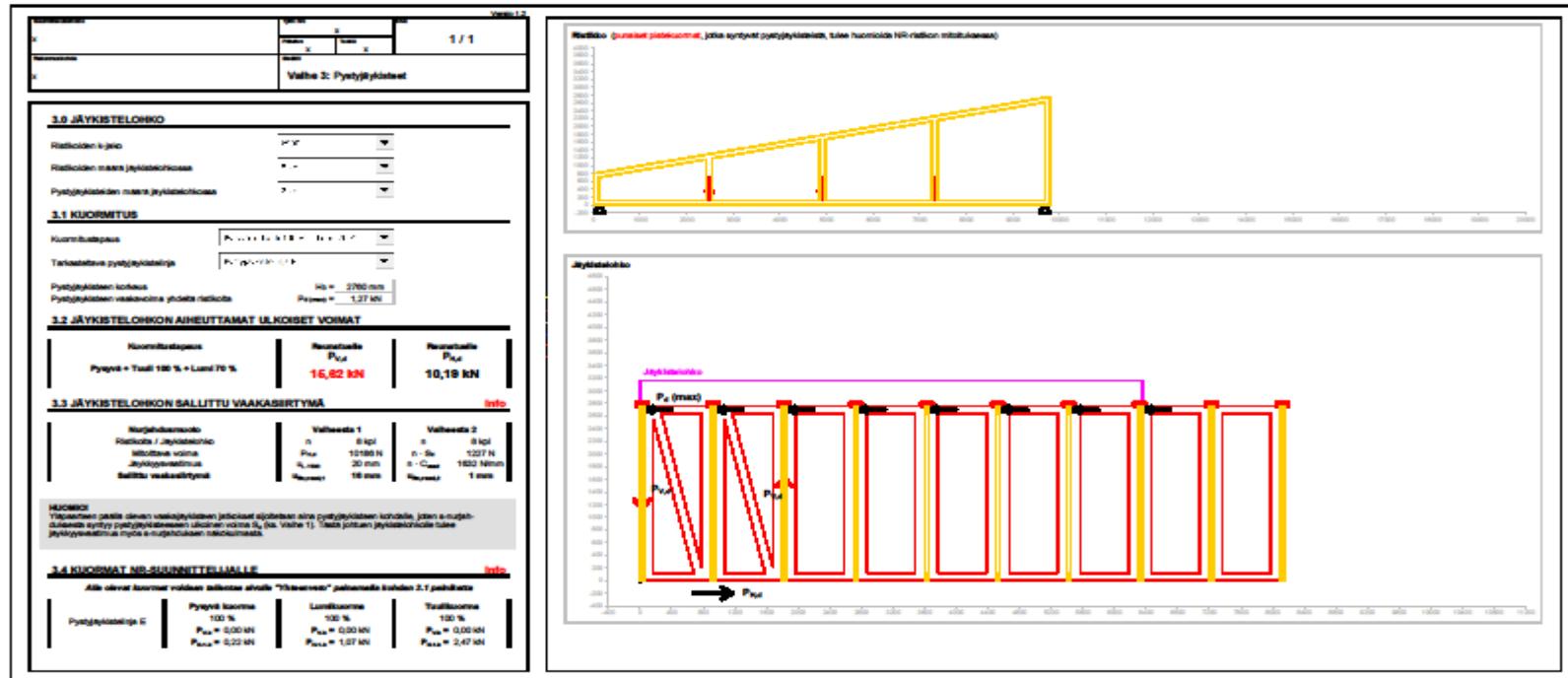
Naula 3,1x90			
$n$	4	kpl	Naulojen määrä nurjahdustuen kohdalla (jatkoksessä 2-kertainen)
$d$	3,1	mm	Naulan paksuus
$F_{d,tuki}$ (max)	2363	N	Nurjahdustukivoima (maksimi)
$F_{d,naula}$	591	N	Leikkausvoima yhdessä naulassa
$Y_{M,liitos}$	1,3	N	Liitoksen osavarmuusluku
$R_{d,naula}$	695	N	Naulan kestävyys
EHTO	0,85	$\leq 1$	

## Nurjahdustuen jäykkyys

Info

$\ell_s$	1047	mm	Yläpaarteen nurjahdusmuodon kriittinen aallonpituus
$q_{Fd}$	0,29	kN/m	Tasainen kuorma, kun voima $F_d$ jaetaan aallonpituudelle $\ell_s$
$u_{fn,jäykiste}$	0,04	mm	Vaakajäykisteen lopputilan siirtymä kuormasta $q_{Fd}$ (1-aukkoinen)
$k_{del,liitos}$	1,6		Naulaliitoksen virumaluku
$K_{u,fn}$	358	N/mm	Naulaliitoksen siirtymäkerroin murtorajatilassa
$F_{d,naula}$	77	N	Leikkausvoima yhdessä naulassa
$u_{fn,naula}$	0,21	mm	Naulan lopputilan siirtymä voimasta $F_{d,naula}$
$u_{fn,tuki}$	0,47	mm	Nurjahdustuen lopputilan siirtymä (vaakajäykiste + liitokset)
$C_{vaad}$	204	N/mm	Vaadittu nurjahdustuen jousijäykkyys
$C_{tuki}$	659	N/mm	Nurjahdustuen jousijäykkyys
EHTO	0,31	$\leq 1$	





Versio 1.2		
Suunnittelutoimisto X	Työn nro X	Sivu 1 / 3
Rakennuskohde X	Päiväys X	Tekijä X
Sääntö Yhteenveto		

### 1.0 YHTEENVETO MITOITUKSESTA

Kuormitustapaus	Pysyvä + Tuuli 100 % + Lumi 70 %	▼	KL 2 / Hetkellinen
-----------------	----------------------------------	---	--------------------

Yläpaarteen päällä oleva vaakajäkyste	C24 48x148	OK
Vaakajäkysteen kiinnitys yläpaarteeseen	Naula 3,1x90    4 kpl    k300	OK
Vaakajäkysteen lopputilan taipuma L/500 (nurjahdus)	77 %	OK
Vaakajäkysteen jäykkyys (s-nurjahdus)	31 %	OK
Vaakajäkysteen taivutuskestävyys	20 %	OK
Vaakajäkysteen leikkauskestävyys	7 %	OK

### 2.0 PYSTYJÄKYSTEN MITOITUS Info

Tarkasteltava pystyjäkystelinja    Pystyjäkystelinja E    ▼

**Päärakennesuunnittelija mitoitaa**

- jokaisen yläpaarteen kiinnityksen pystyjäkysteeseen voimalle  $P_d (max) = 1,27 \text{ kN}$
- yksittäinen pystyjäkysteen voimalle  $P_{H1,d} = 5,09 \text{ kN}$

E

Suunnittelutoimisto	Työn nro		Sivu
X	X		
	Päiväys	Tekijä	
	X	X	2 / 3
Rakennuskohde	Sisältö		
X	Yhteenveto		

### 3.0 JÄYKISTELOHKON MITOITUS

Tarkastettava pystyjäykistelinja

Pystyjäykistelinja E

#### Päärakennesuunnittelija mitoittaa

- jokaisen pystyjäykisteen kiinnityksen ristikon pystysauvaan voimalle

$$P_{V,d} = 15,62 \text{ kN}$$

- jäykistelohekki kiinnityksen alakaton jäykisteeseen voimalle

$$P_{H,d} = 10,19 \text{ kN}$$

- pystyjäykisteen lopputilan vaakasiirtymän murtorajatilassa raja-arvoon

$$u_{fin,vaad,1} = 16 \text{ mm}$$

- siirtymätarkastelussa käytetään voimaa

$$P_{H,d} = 10,19 \text{ kN}$$

$$u_{fin,vaad,1} = \text{pystyjäykisteen siirtymä liitossiirtymineen} + \text{alakaton siirtymä}$$

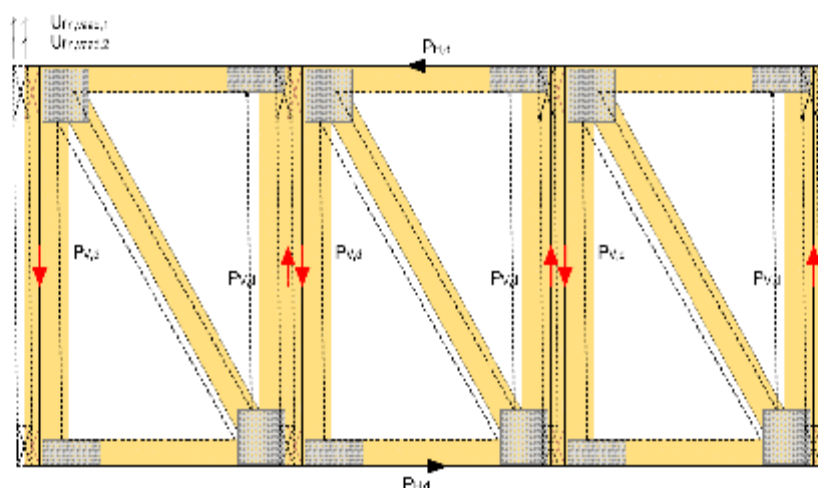
- pystyjäykisteen lopputilan vaakasiirtymän murtorajatilassa raja-arvoon

$$u_{fin,vaad,2} = 1 \text{ mm}$$

- siirtymätarkastelussa käytetään voimaa

$$n \cdot S_d = 1,23 \text{ kN}$$

$$n = \text{ristikoiden määrä jäykistelohekossa}$$

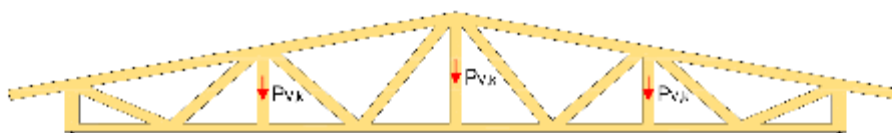
$$u_{fin,vaad,2} = \text{pystyjäykisteen siirtymä liitossiirtymineen}$$


Suunnittelutoimisto	Työn nro		Sivu
X	X		
	Päiväys	Tekijä	
	X	X	3 / 3
Rakennuskohde	Sisältö		
X	Yhteenveto		

## 4.0 OMINAISKUORMAT NR-SUUNNITTELIJALLE

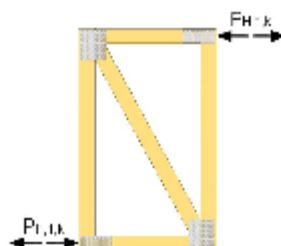
Info

## NR-ristikon kuormitus (tallennus vaiheesta 3 kohdasta 3.4)



Pystyjäykistelinä	Pysyvä kuorma 100 %	Lumikuorma 100 %	Tuulikuorma 100 %
A	$P_{vk} = 0,00 \text{ kN}$	$P_{vk} = 0,00 \text{ kN}$	$P_{vk} = 0,00 \text{ kN}$
B	$P_{vk} = 0,59 \text{ kN}$	$P_{vk} = 1,67 \text{ kN}$	$P_{vk} = 0,10 \text{ kN}$
C	$P_{vk} = 0,83 \text{ kN}$	$P_{vk} = 2,37 \text{ kN}$	$P_{vk} = 0,15 \text{ kN}$
D	$P_{vk} = 0,59 \text{ kN}$	$P_{vk} = 1,67 \text{ kN}$	$P_{vk} = 0,10 \text{ kN}$
E	$P_{vk} = 0,00 \text{ kN}$	$P_{vk} = 0,00 \text{ kN}$	$P_{vk} = 0,00 \text{ kN}$
	$P_{vk} =$	$P_{vk} =$	$P_{vk} =$
	$P_{vk} =$	$P_{vk} =$	$P_{vk} =$
	$P_{vk} =$	$P_{vk} =$	$P_{vk} =$
	$P_{vk} =$	$P_{vk} =$	$P_{vk} =$

## NR-pukin kuormitus (tallennus vaiheesta 3 kohdasta 3.4)



Pystyjäykistelinä	Pysyvä kuorma 100 %	Lumikuorma 100 %	Tuulikuorma 100 %
A	$P_{hk,k} = 0,37 \text{ kN}$	$P_{hk,k} = 1,05 \text{ kN}$	$P_{hk,k} = 0,03 \text{ kN}$
B	$P_{hk,k} = 0,38 \text{ kN}$	$P_{hk,k} = 1,07 \text{ kN}$	$P_{hk,k} = 0,07 \text{ kN}$
C	$P_{hk,k} = 0,38 \text{ kN}$	$P_{hk,k} = 1,07 \text{ kN}$	$P_{hk,k} = 0,07 \text{ kN}$
D	$P_{hk,k} = 0,38 \text{ kN}$	$P_{hk,k} = 1,07 \text{ kN}$	$P_{hk,k} = 0,07 \text{ kN}$
E	$P_{hk,k} = 0,37 \text{ kN}$	$P_{hk,k} = 1,05 \text{ kN}$	$P_{hk,k} = 0,03 \text{ kN}$
	$P_{hk,k} =$	$P_{hk,k} =$	$P_{hk,k} =$
	$P_{hk,k} =$	$P_{hk,k} =$	$P_{hk,k} =$
	$P_{hk,k} =$	$P_{hk,k} =$	$P_{hk,k} =$
	$P_{hk,k} =$	$P_{hk,k} =$	$P_{hk,k} =$





## Liite 10. Päätyseinän lankun mitoitus

Finnwood 2.4.3 (2.4.089)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

?

14.3.2023

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

Finnwood 2.4.3 (2.4.089)

RIL 205-1-2017 (30.12.2021)

Rakennemitoitus ilman onnettomuus-/palotilannetta



PROJEKTITIEDOT:

Nimi:

?

C:\Users\Eetu\OneDrive\koulu\koulu\Opinnäytetyö\Materiaali\Mitoitus\Finnwood\Lankun mitoitus.s01

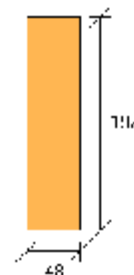
RAKENNETIEDOT:

Rakennetyyppi: Kattopalkki/laatta  
 Materiaali: C24  
 Poikkileikkaus: 48x197  
 (B=48 mm, H=197 mm, A=9456 mm<sup>2</sup>, I<sub>y</sub>=30581492 mm<sup>4</sup>, W<sub>y</sub>=310472 mm<sup>3</sup>)  
 Käyttöluokka: 1  
 Seuraamusluokka: CC2 (KFI=1.0)  
 Jako/kuormituslev.: 547 mm (pintakuormille)

Uloke-/jännepituudet:

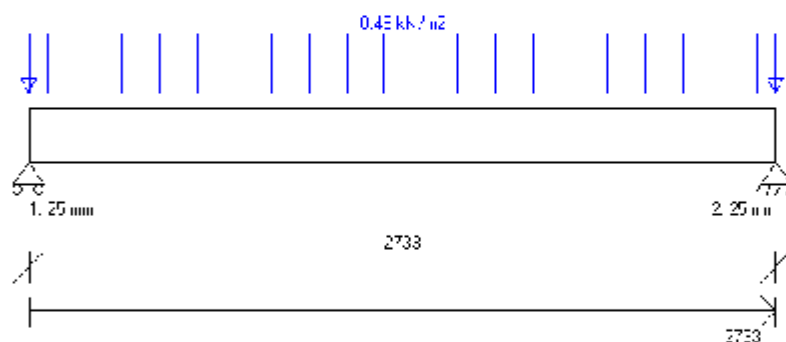
Uloke/jännepäli: Vaakamitta [mm]:  
 Jännepäli 1: 2733.0  
 Yhteensä: 2733.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	25	Liukutuki (Z)
2:	2733	25	Kiinteä niveltuki (X,Z)



f<sub>m,k</sub> (M<sub>y</sub>): 24.00 N/mm<sup>2</sup>  
 f<sub>m,k</sub> (M<sub>z</sub>): 30.14 N/mm<sup>2</sup>  
 f<sub>c,0,k</sub>: 21.00 N/mm<sup>2</sup>  
 f<sub>c,90,k</sub>: 2.50 N/mm<sup>2</sup>  
 f<sub>t,0,k</sub>: 14.50 N/mm<sup>2</sup>  
 f<sub>t,90,k</sub>: 0.40 N/mm<sup>2</sup>  
 f<sub>v,k</sub> (V<sub>z</sub>): 4.00 N/mm<sup>2</sup>  
 f<sub>v,k</sub> (V<sub>y</sub>): 4.00 N/mm<sup>2</sup>  
 E<sub>mean</sub>: 11000 N/mm<sup>2</sup>  
 G<sub>mean</sub>: 690 N/mm<sup>2</sup>  
 E<sub>0.05</sub>: 7400 N/mm<sup>2</sup>  
 G<sub>0.05</sub>: 480 N/mm<sup>2</sup>  
 Tilavuuspaino: 5.00 kN/m<sup>3</sup> (omapainon laskentaa varten)

km-kerroin:	0.70
kcr-kerroin:	0.67
<hr/>	
Osavarmuusluku:	1.30
<hr/>	
Aikaluokka:	kmod:
Pysyvä:	0.600
Pitkäaikainen:	0.700
Keskipitkä:	0.800
Lyhytaikainen:	0.900
Hetkellinen:	1.100
<hr/>	
kdef:	0.600

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Rakenneosan paino:  $Q_Z = 0.047 \text{ kN/m}$   $x = 0 - 2733 \text{ mm}$ 

Tuulikuorma (alas) (Tuulikuorma, Hetkellinen):

Pintakuorma: 1:  $Q_z = 0.492 \text{ kN/m}^2$   $x = 0 - 2733 \text{ mm}$ **KUORMITUSYHDISTELMÄT:**

---

Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)

1.00\*1.35\*Omapaino

---

Yhdistelmä 2 (MRT, Pysyvä)

1.00\*1.15\*Omapaino

---

Yhdistelmä 3 (MRT, Hetkellinen)

1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*0.60\*Tuulikuorma (alas)

---

Yhdistelmä 4 (MRT, Hetkellinen)

1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*Tuulikuorma (alas)

---

Yhdistelmä 9 (MRT, Pysyvä)

0.90\*Omapaino

---

Yhdistelmä 12 (KRT)

1.00\*Omapaino

---

Yhdistelmä 14 (KRT)

1.00\*Omapaino + 1.00\*Tuulikuorma (alas)

---

**MITOITUS:**

Mitoitusstandardi:

EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + A2:2014 + RIL 205-1:2017

Kokonaiskäyttöaste:

8.8 %

---

**MITOITUSPARAMETRIT:**
Taipumaraja  $W_{net,fin}$ : L/300

Korotuskerroin, vasen uloke: 2.00

Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00

Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)

Kiepahdus taivutuksesta  $M_y$  (y-askelin suhteen):Kiepahdustukiväli rakenteen yläpuolella:  $L_{k1} = 800.00$  mmKiepahdustukiväli rakenteen alapuolella:  $L_{k2} =$  Päätukien välimatka $L_{ef1} = L_{k1}$  ja  $L_{ef2} = L_{k2}$  (Esim. kuormitus neutraaliakselilla/kiepahdustukien kautta)HUOM!  $L_{k1}$ :ta käytetään, kun  $M_y > 0$  ja  $L_{k2}$ :ta, kun  $M_y < 0$ 


---

**MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:**

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	0.63 kN	14.30 kN	4.4 %	0 mm	Yhdistelmä 4/1, Hetkellinen
Taivutus ( $M_y$ ):	0.43 kNm	6.30 kNm	6.8 %	1366 mm	Yhdistelmä 4/1, Hetkellinen
(ilman kiepahdusta):	0.43 kNm	6.30 kNm	6.8 %	1366 mm	Yhdistelmä 4/1, Hetkellinen
Tukipaine, tuki 1:	0.63 kN	7.62 kN	8.2 %	0 mm	Yhdistelmä 4/1, Hetkellinen
Tukipainekerroin = 3.00					
Tukipaine, tuki 2:	0.63 kN	7.62 kN	8.2 %	2733 mm	Yhdistelmä 4/1, Hetkellinen
Tukipainekerroin = 3.00					

---

jänneväli 1, Wz <sub>fin</sub> :	0.8 mm	– mm	– %	1366 mm	Yhdistelmä 14/1
jänneväli 1, Wz <sub>net,fin</sub> :	0.8 mm	9.1 mm	8.8 %	1366 mm	Yhdistelmä 14/1

**ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT**

Yhdistelmä 4/1 (Hetkellinen):

1.15\*Omapaino + 1.50\*Tuulikuorma (alas)

Yhdistelmä 14/1 :

1.00\*Omapaino + 1.00\*Tuulikuorma (alas)

**VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:**

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
Vz <sub>max</sub>	0.63 kN	0 mm
My <sub>max</sub>	0.43 kNm	1366 mm

**TUKIREAKTIOT:**

Tuki:	MRT <sub>max</sub> :	MRT <sub>min</sub> :	KRT <sub>max</sub> :	KRT <sub>min</sub> :
1:	0.63 kN	0.06 kN	0.43 kN	0.06 kN
2:	0.63 kN	0.06 kN	0.43 kN	0.06 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

**TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):**

Kuormitustapaus:	Omapaino
Tuki:	FZ [kN]:
1:	0.06
2:	0.06
Kuormitustapaus:	Tuulikuorma (alas)
Tuki:	FZ [kN]:
1:	0.37
2:	0.37

**HUOMIOT:**

- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosien A1:2008, A2:2014 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2017 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
- VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03665-17 ja VTT-S-05393-17)
- MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila
- \*) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
- Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen
- Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
- Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
- Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttörajatilamitoituksessa
- Leikkausmuodonmuutos ei ole mukana voimasuureiden laskennassa

- 
- Rakenneosan koon vaikutus lujuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
  - Rakenneosan mahdollinen halkeilu käyttöluokassa 1 on huomioitu kertoimella kcr, joka on mukana leikkauslujuuden mitoitusarvossa fv,d
  - Suunnittelijan tulee kiinnittää huomiota myös rakennedetaljeihin ja varmistaa, ettei rakenteisiin muodostu vesitaskuja
  - Kuormitustiedoissa esitetään lumikuorman ominaisarvo katolla.  
Tämä on saatu kertomalla maassa oleva ominaislumikuorma katon muotokertoimella
- 

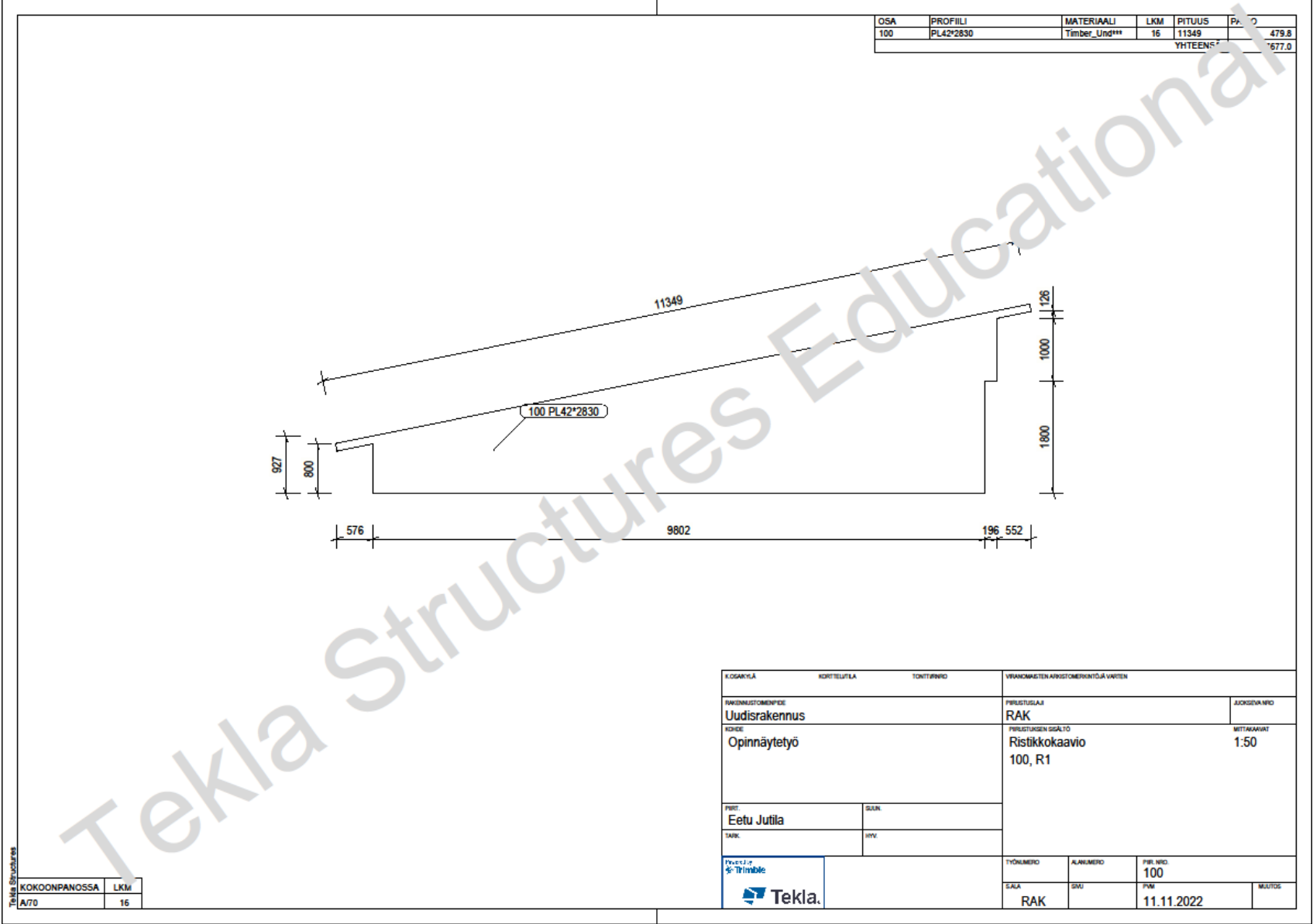
Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakenneosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Woodin tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.

---



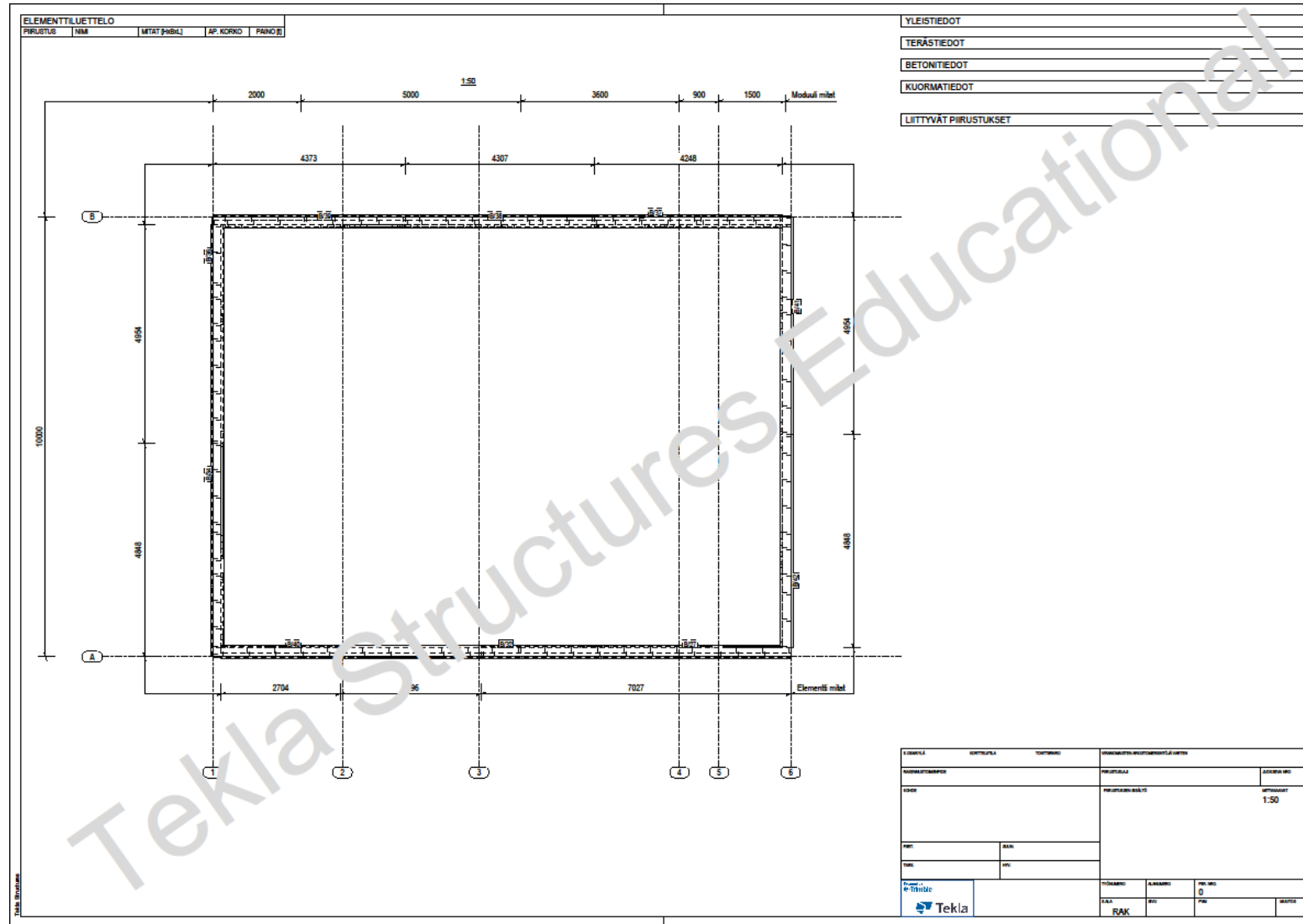
Liite 12. Ristikkokaavio



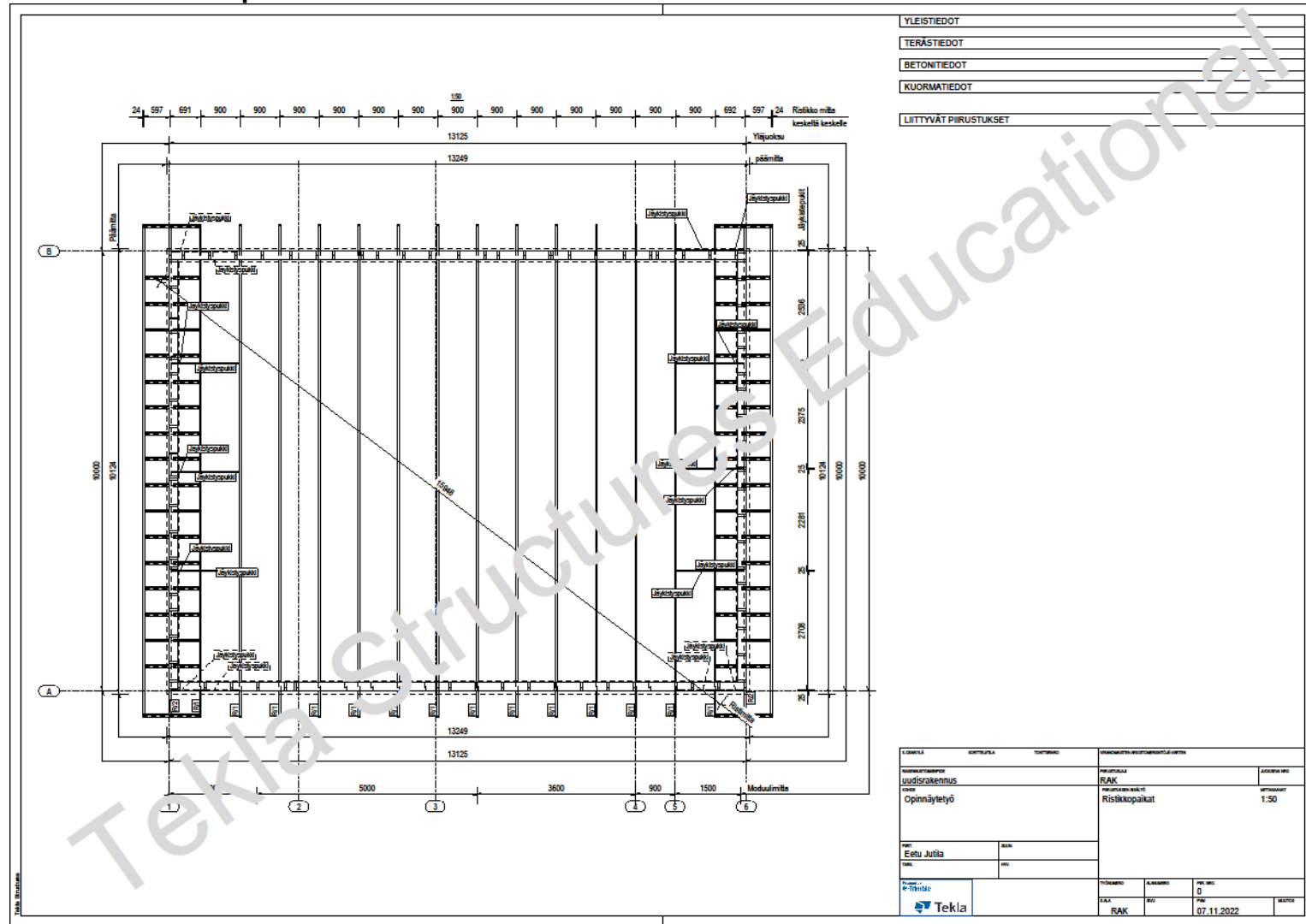




## Liite 14. Elementtikaavio



## **Liite 15. Vesikattopiirustus**



**Liite 16. Käyttöopas puuelementtipiirustusten tekoon**



Eetu Jutila

---

**Käyttöopas puuelementtipiirustuksen tekoon Tekla Structures**

Kevät 2023  
Insinööri (AMK), Rakennustekniikka



## SISÄLTÖ

1	Aloitius .....	3
1.1	Alkusanat .....	3
2	Ennen mallintamista .....	4
2.1	Puun asetukset .....	4
2.2	Numerointi ja classit lyhyesti .....	5
3	Elementtien teko .....	6
3.1	Elementtien teko hitsaus työkalulla .....	6
4	Elementtipiirustusten tekeminen .....	11
4.1	Aloitius .....	11
4.2	Kuvan löytyminen .....	12
4.3	Kuvapohjan asetukset .....	13
4.4	Mittojen vaihtaminen .....	17
4.5	Mittojen luominen käsin .....	18
4.6	Leikkauskuvan luominen .....	20
4.7	Viivojen ja merkkien muuttaminen näkymässä .....	21
4.7.1	Merkkien muokkaaminen .....	22
4.8	Nimiön ja kuvan nimen muokkaaminen .....	23
LÄHTEET	.....	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

## 1 Aloitus

### 1.1 Alkusanat

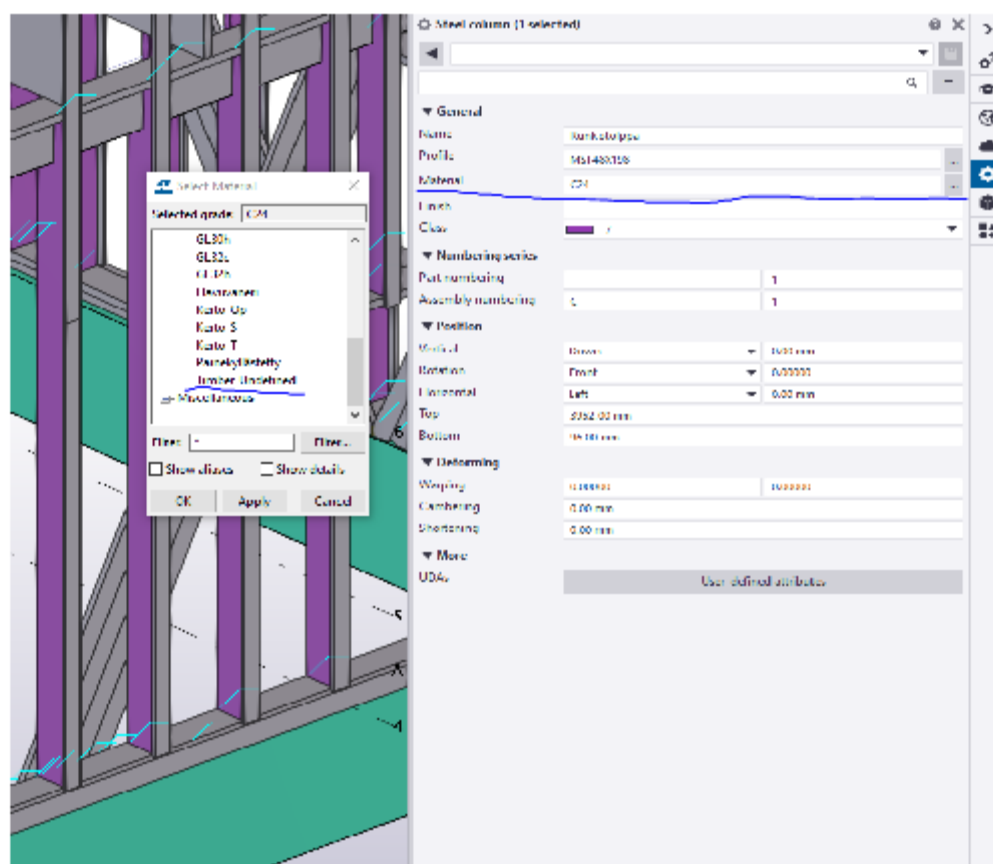
Tämä ohje sisältää rankarunkoisen puuelementtipiirustusten teon. Ohjeessa käydään läpi, miten mallista saadaan tehtyä elementti, Elementtipiirustusten teko ja piirustusten muokkaus ominaisuudet, ja lopuksi piirustusten tulostaminen.

Ohjeessa ei käydä tarkemmin läpi numerointiin ja classeihin liittyviä seikkoja. Myös mallinnukseen liittyviä asioita ei käydä tarkasti läpi.

## 2 Ennen mallintamista

### 2.1 Puun asetukset

Ennen mallinnusta kannattaa varmistua, että puumateriaalit ovat asennettuna teklassa. Tämän voi tarkistaa painamalla oikeasta laidasta properties ja sitten klikata mallissa olevaa materiaalia. Tämän jälkeen oikealle pitäisi ilmestyä valittavan mallin tiedot.



Kuva 1

Jos materiaali listassa ei ole muuta kuin Timber\_Undefined pitää materiaalit ladata teklan verkkosivuilta. Voit ladata materiaalit täältä. <https://warehouse.tekla.com/#/catalog/details/ea49d5e0-b334-4dc0-96fb-ffac79595d3e>

Ohjeet Materiaalien lataamiseen täältä. [https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2020/mod\\_catalogs\\_adding\\_new\\_material\\_grade#GUID-6A4F06AF-5C9C-47AC-BAEE-D5BE6A4A2423](https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2020/mod_catalogs_adding_new_material_grade#GUID-6A4F06AF-5C9C-47AC-BAEE-D5BE6A4A2423)

Tässä vaiheessa kannattaa myös muokata nimi ja profiili oikeaksi.

## 2.2 Numerointi ja classit lyhyesti

Ennen mallinnusta osat kannatta numeroida. Yrityksellä on yleensä omat ohjeet, miten tietyt rakennuksen osat halutaan numeroida. Sama pätee Classeihin.

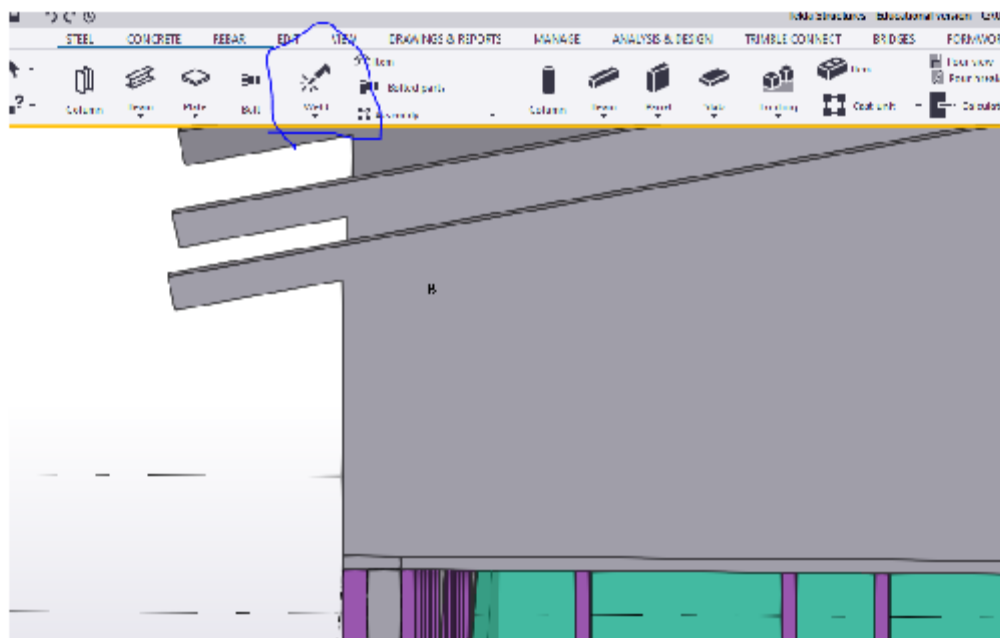
Numerointi on jaettu kahteen osaan. Part numbering ja assembly numbering. Part numbering on osan oma numerointi ja Assembly numbering on kokoonpanon numerointi. Numerointi vaikuttaa listojen tekoon ja piirustuksissa olevat materiaalien tunnuksot merkitään numeroinnin mukaan.



### 3 Elementtien teko

#### 3.1 Elementtien teko hitsaus työkalulla

Koska tekla on erikoistunut betoni ja teräsrakentamiseen pitää puuelementtien tekemisessä soveltaa weld työkalua. Jotta elementtien osat saadaan yhdeksi kokoonpanoksi pitää elementti hitsata yhteen. Ennen hitsausta pitää päättää haluaako elementtikuvan näkyvän sisäpuolelta vai ulkopuolelta. Jos näkymän haluaa ulkopuolelta pitää hitsauksen alkaa ulkopuolelta vasemmalta oikealle. Jos haluaa sisäpuolelta niin hitsaus sisäpuolelta vasemmalta oikealle. Klikkaamalla steel välilehteä löytyy Weld työkalu.



Kuva 2

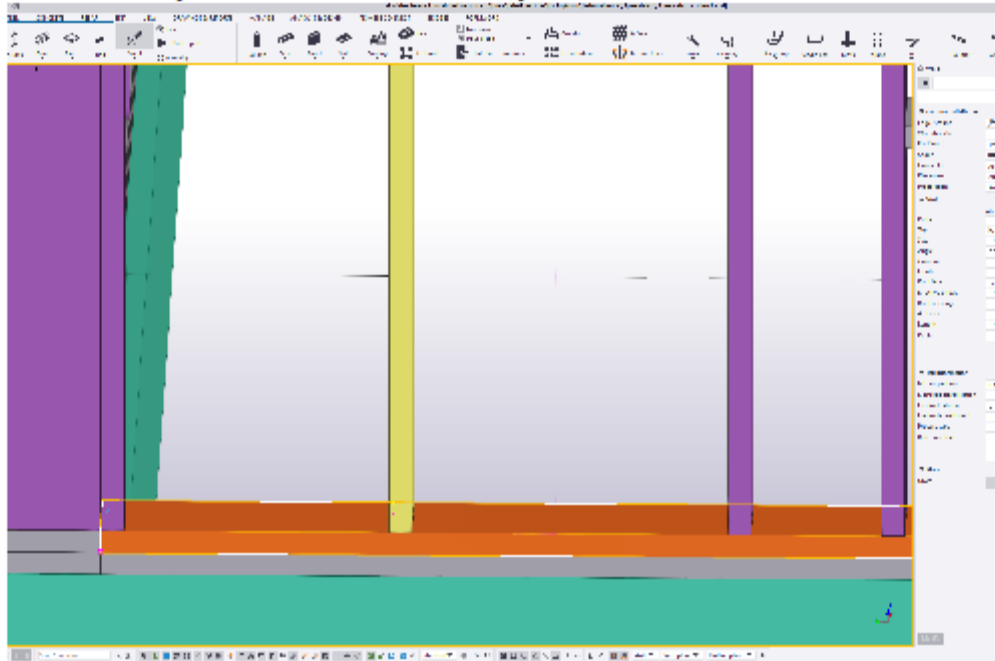
7

Ennen hitsausta varmista, että alavalikossa on oikeat valinnat päällä. Vasemmalta lähtien pitää olla päällä vähintään valittuna select parts ja keskeltä select objects in components.



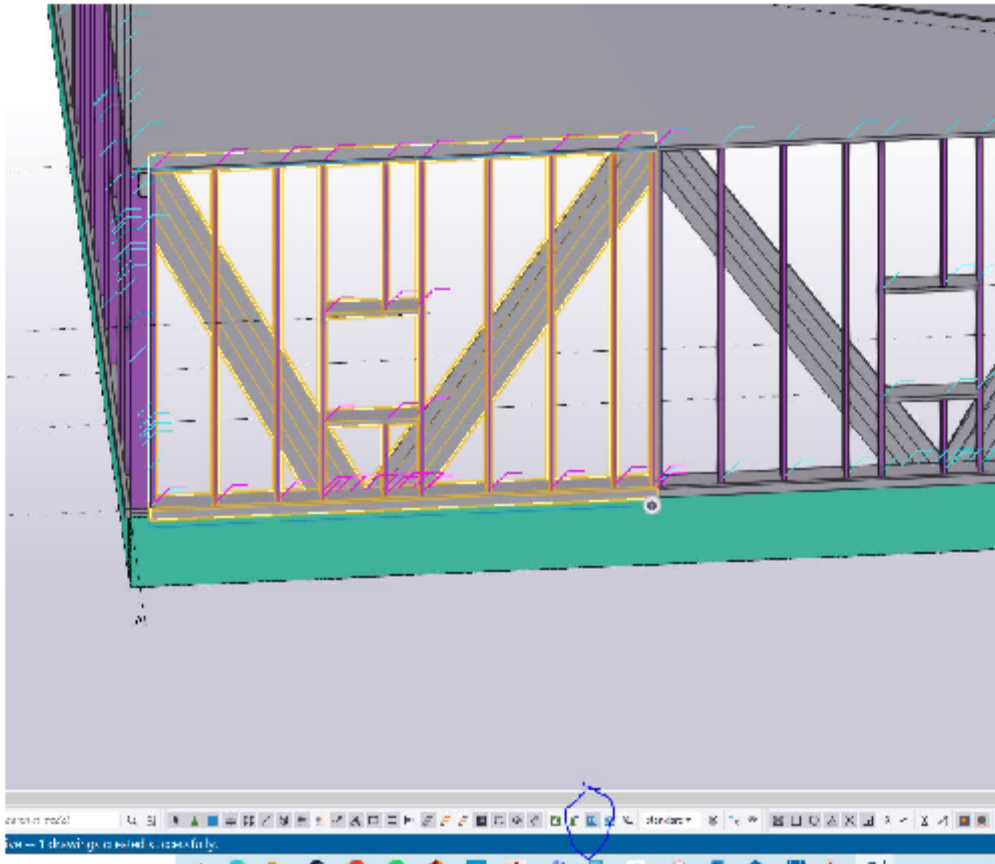
Kuva 3

Klikkaamalla weld painiketta avautuu valikko, josta valitaan create weld between parts. Klikkaamalla tätä ohjelma pyytää valitsemaan osa johon toinen osa hitsataan. Tässä tapauksessa klikataan ensin alajuoksua ja sitten runkotolppaa. Kun osa on hitsattu ohjelma ilmoittaa, että hitsaus on luotu ja malliin ilmestyy hitsaus merkki. Yläjuoksu hitsataan samalla periaatteella. Ikkuna lankut hitsataan runkotolppaan. Jos elementissä on vinotukia ne hitsataan ne alajuoksuun. Eli ensin klikataan alajuoksua sitten vinotukia.



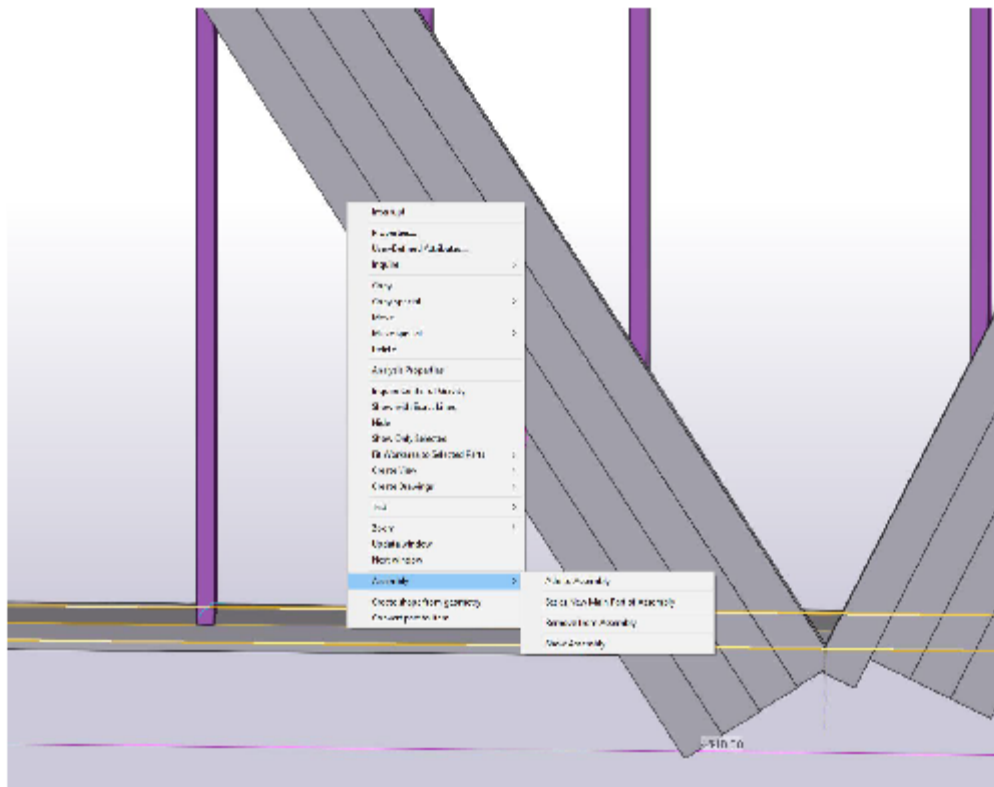
Kuva 4

Kun kaikki osat on hitsattu voit tarkistaa, että kaikki osat on hitsaantunut elementtiin valitsemalla alavalikosta select assemblies. Tämä valinta päällä klikkaamalla elementtiä tulee näkyviin kaikki elementissä olevat osat.



Kuva 5

Ennen Piirustusten tekemistä valitaan elementille pää osa. Klikkaa alajuoksua select objects in components valinta päällä ja klikkaa hiiren oikealla. valitse assembly ja sitten klikkaa set as new main part assembly. Tällä komennolla saadaan piirustus näkymään oikeaan suuntaan.

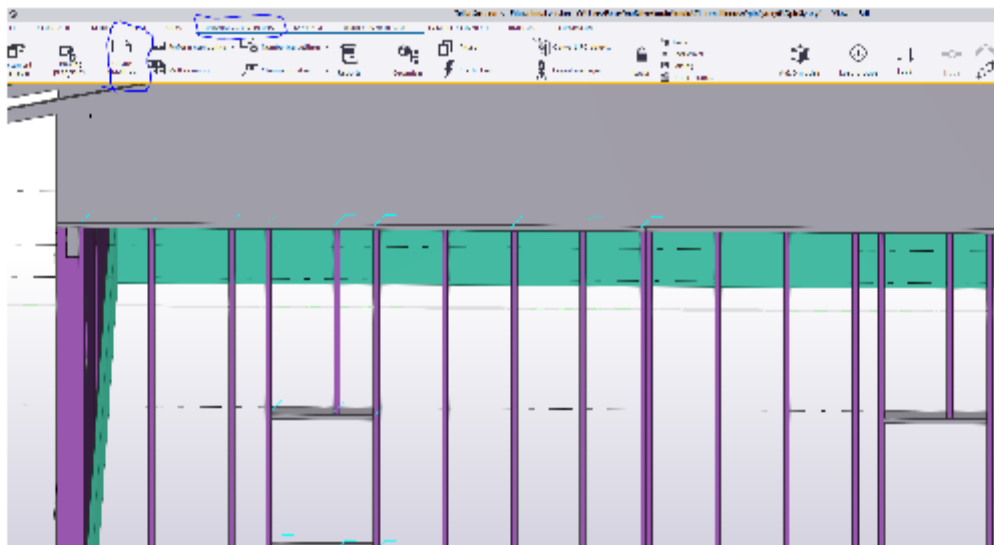


Kuva 6

## 4 Elementtipiirustusten tekeminen

### 4.1 Aloitus

Elementti piirustuksen tekeminen alkaa painamalla elementtiä select assemblies valinta päällä. Sitten menemällä drawings & reports välilehdelle ja painamalla create drawings.



Kuva 7

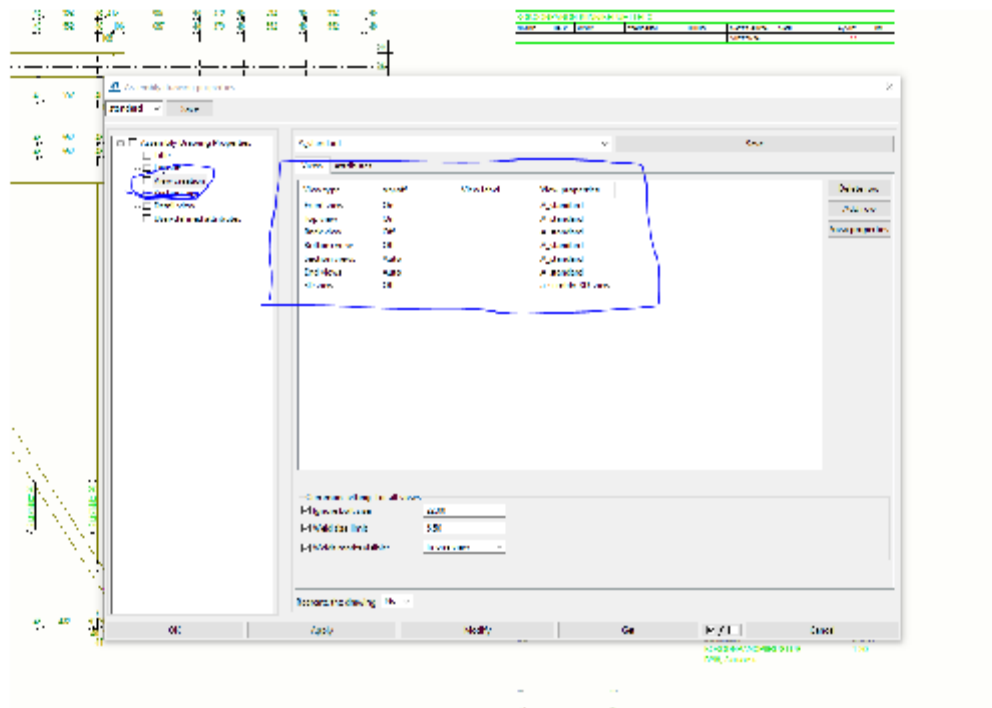
Tämän jälkeen valitse assembly drawings. Nyt ohjelman pitäisi kysyä numeroidaanko malli. Valitse perform numbering. Ohjelma kysyy tätä kuvaa tehdessä aina ensimmäisellä kerralla tai jos malliin tehdään muutoksia.

Kun elementtejä on useita kannattaa ensin tehdä vain yksi ja laittaa sen kuvapohjan asetukset kuntoon. Sen jälkeen kuvat voidaan clone komennolla aina tuoda samat asetukset jokaiseen elementtipiirustukseen. Tee siis ensimmäinen kuva huolella niin tällä vältetään se, että jokaista kuvapohjaa ei tarvitse erikseen muokata. Clone komennon käytöstä myöhemmin.



### 4.3 Kuvapohjan asetukset

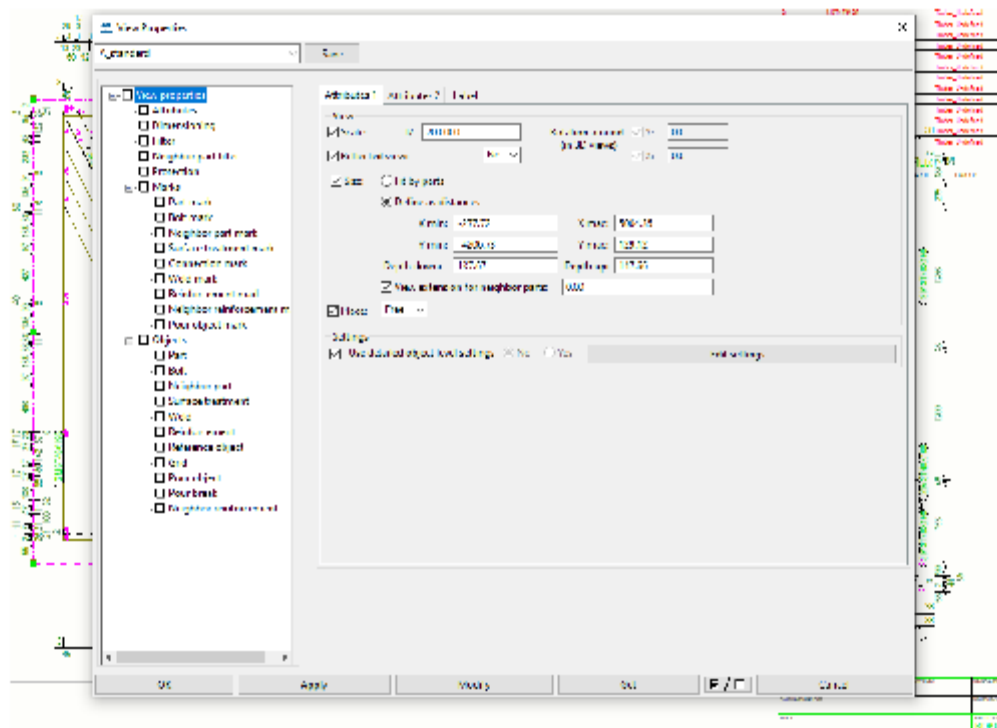
Kun kuva aukeaa saatavaa elementtien suunta olla väärin. Tämän pystyy vaihtamaan asetuksista tupla klikkaamalla taustaa. Tämän jälkeen pitäisi aueta Assembly drawing properties. Sieltä klikkaa view creation. Jos mallinnus ja hitsaus on suoritettu oikein, pitäisi top view olla oikea valinta. Jos oikeat näkymät eivät tulleet näkyviin kannattaa kokeilla muitakin vaihtoehtoja.



Kuva 9

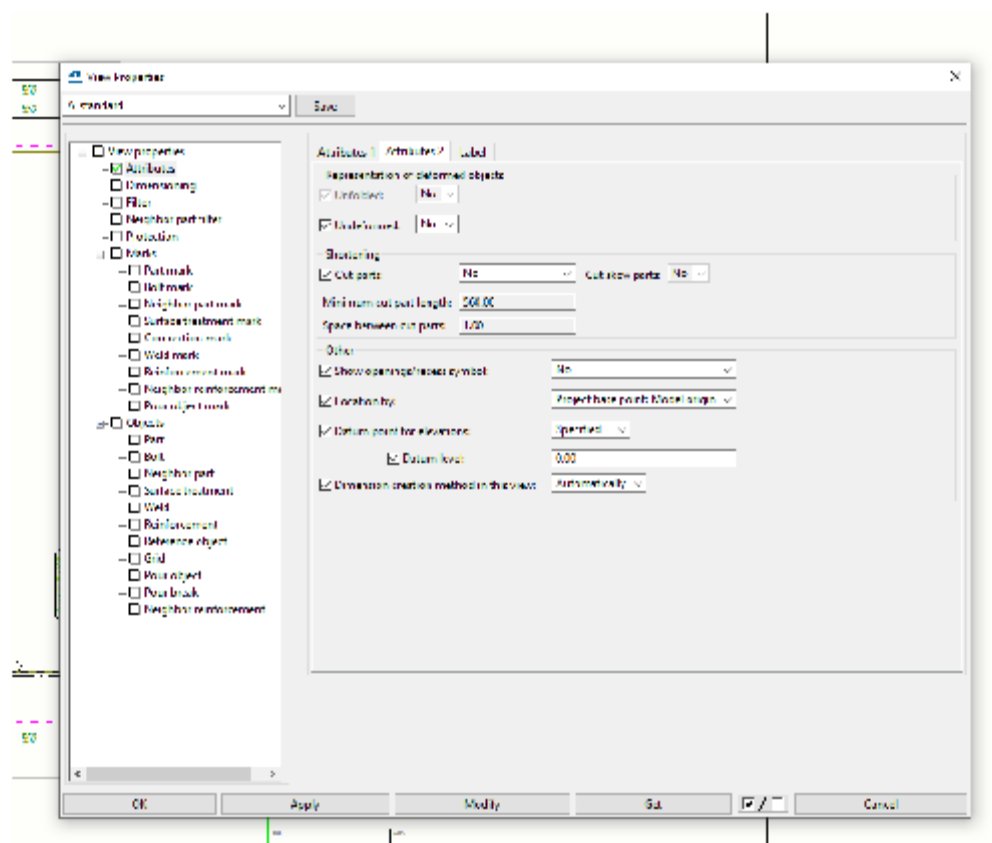


Tämän jälkeen voidaan vaihtaa itselle sopiva mittakaava. Kun hiiren laittaa elementin päälle elementin viereen ilmestyy hamaa viiva, joka ympäröi elementtiä. Tupla klikkaamalla sitä ilmestyy view properties. Tällä voi muokata mittakaavaa, mitä kuvassa haluaa esittää, mitä mittoja haluaa esittää, Millaisia merkintöjä haluaa esittää ja jne. Mittakaavan muokkaus tapahtuu attributes välilehdeltä. attributes 1 välilehdeltä voi myös muokata näkymän etäisyyttä.



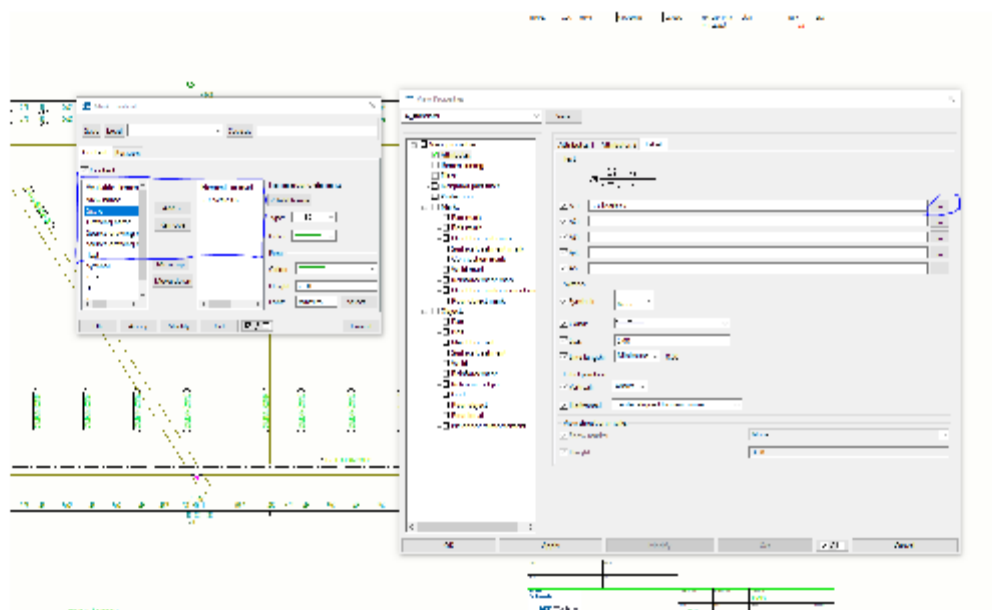
Kuva 10

Attributes 2 välilehdellä voi leikata näkymää poikki, jos kuva on liian leveä, vaikka mittakaavaa on muokattu. Alempana voi datum levelistä muokata korkoa.



Kuva 11

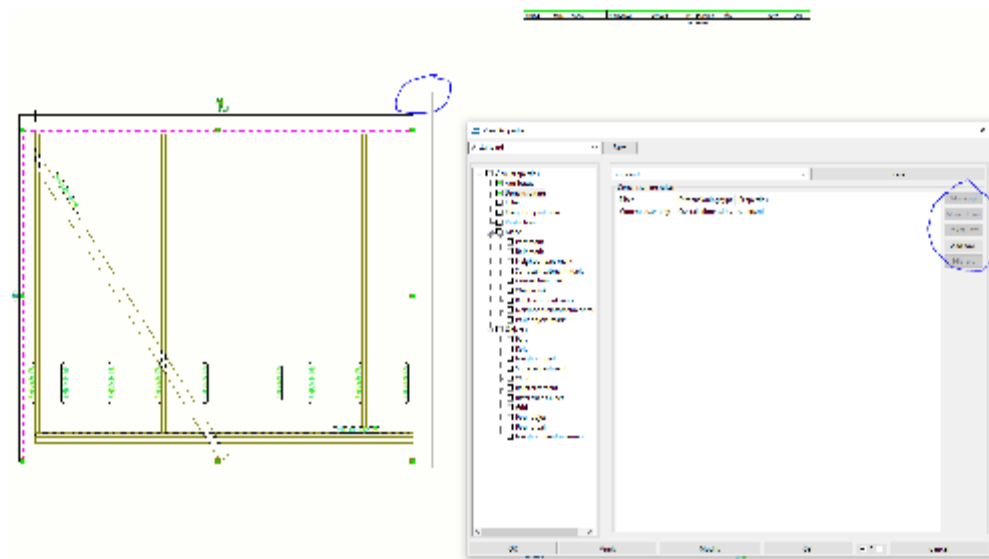
Label välilehdessä voi lisätä piirustukseen esim. mittakaavan näkyviin tai piirustuksen nimen. Elementtipiirustuksissa halutaan nähdä mikä mittakaava on kyseessä. Klikkaamalla A1 kohdalla kolmea pistettä avautuu mark contents. Sieltä valitsemalla Scale ja klikkaamalla add> saadaan mittakaava näkyviin. Poistamalla view name klikkaa sitä ja paina remove.



Kuva 12

#### 4.4 Mittojen vaihtaminen

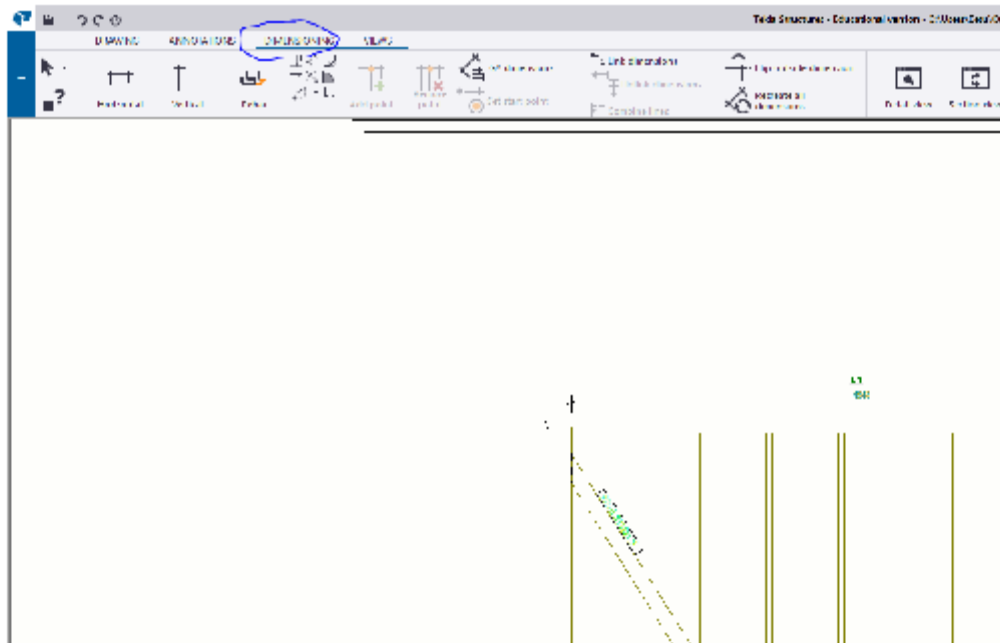
Mittojen vaihtaminen dimensioning välilehdeltä. Tällä välilehdellä voi poistaa ja lisätä erilaisia mittoja, joita ohjelmisto tekee automaattisesti. Tässä tapauksessa kannattaa jättää pelkään overall dimension, koska muut mitat yleensä menevät miten sattuu. Voit poistaa mitat klikkaamalla mitta riviä ja painamalla delete row. Jos haluat lisätä mittoja paina add row. Muista lopuksi painaa modify, jotta muutoksen tallentuu. Jos modify ei ole valistettavissa muista, että näkymä pitää piirustuksessa olla valittu niin, että harmaa viiva näkyy.



Kuva 13, muista klikata näkymää, että pystyt muokkaamaan näkymää.

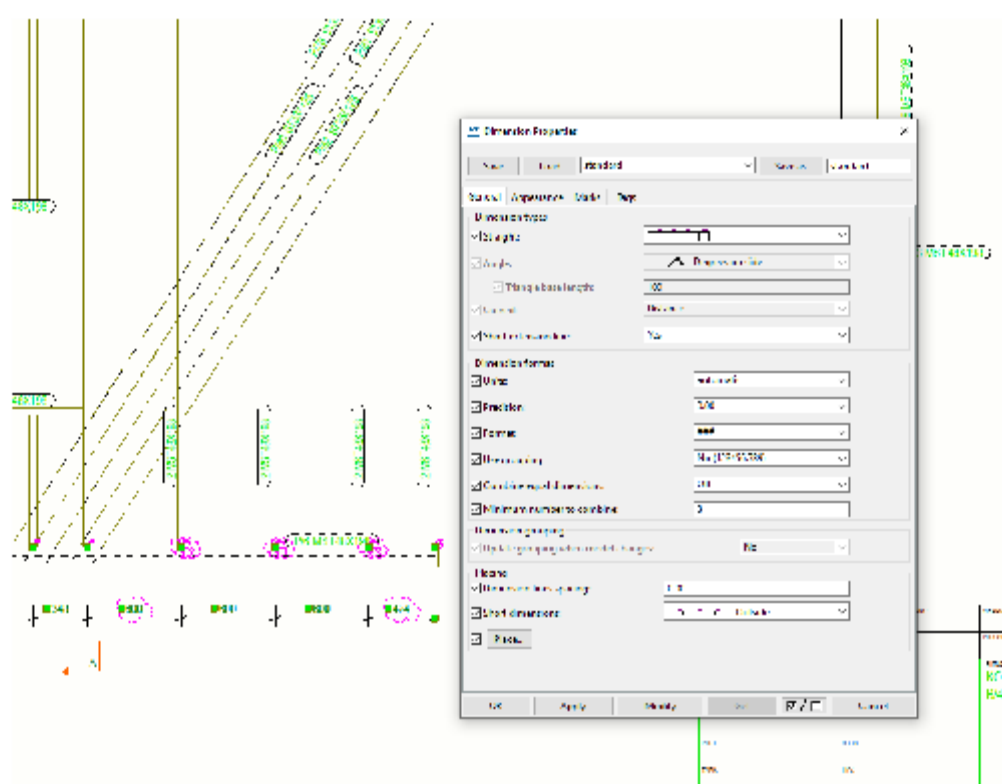
#### 4.5 Mittojen luominen käsin

Mittoja voi lisätä itse menemällä dimensioning välilehdelle. sieltä löytyy kaikenlaisia mittaus-työkaluja.



Kuva 14

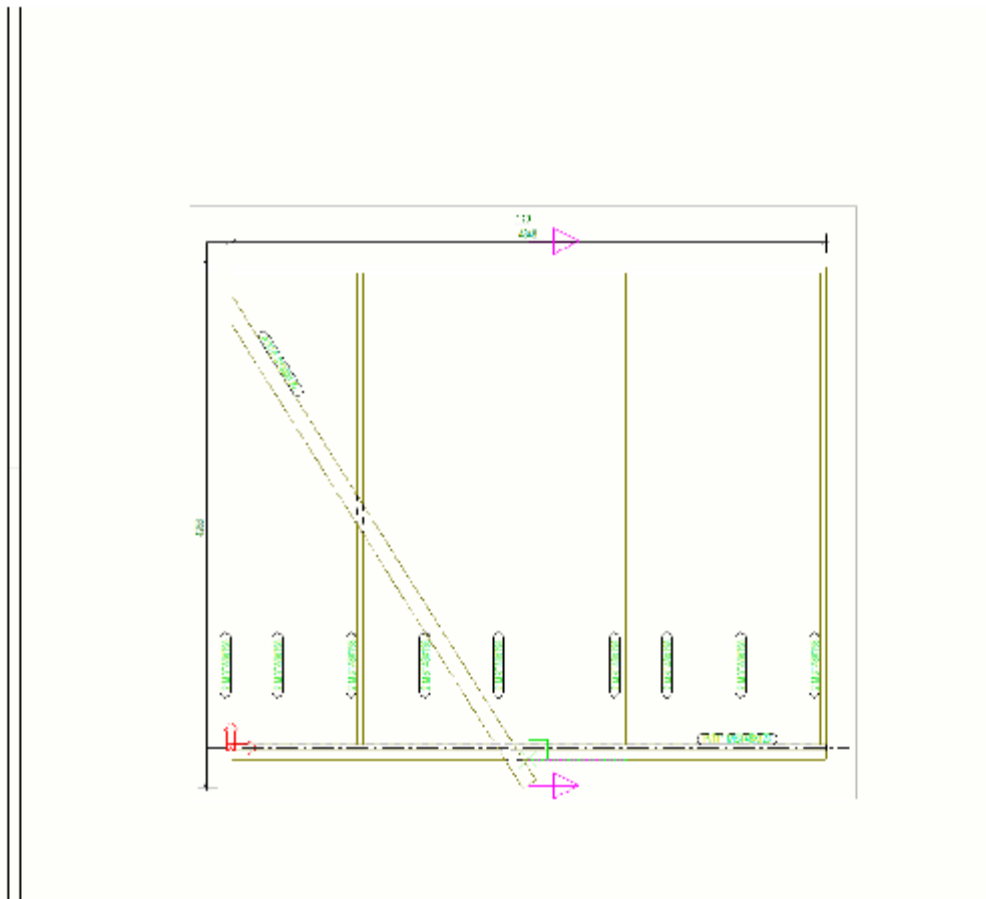
Mitoille voi lisätä tekstejä halutessaan. Tupla klikkaa mittaa ja dimension properties aukeaa. General välilehdellä voi muokata mitan näkymää ja missä yksikössä mitan haluaa. Myös yksikön tarkkuutta voi muuttaa. Appearance välilehdessä pystyy muokkaamaan mitan väriä, fonttia ja kokoa. Myös viivan väriä ja päätä voi muokata. Marks välilehdellä voi tarkentaa mitä millä lailla mitta esiintyy kuvassa. Tags välilehdellä voi haluamaansa paikkaan kirjoittaa lisätietoja. Kolmesta pisteestä voi asettaa osan omia tietoja. Apply komennolla ohjelma tallentaa muistiin mitä mittaan on kirjoitettu, kun seuraavan kerran käytät mittatyökalua samat merkinnät ilmestyvät näkyville. Jos haluat merkit pois käytöstä, poista merkinnät ja paina apply.



Kuva 15

#### 4.6 Leikkauskuvan luominen

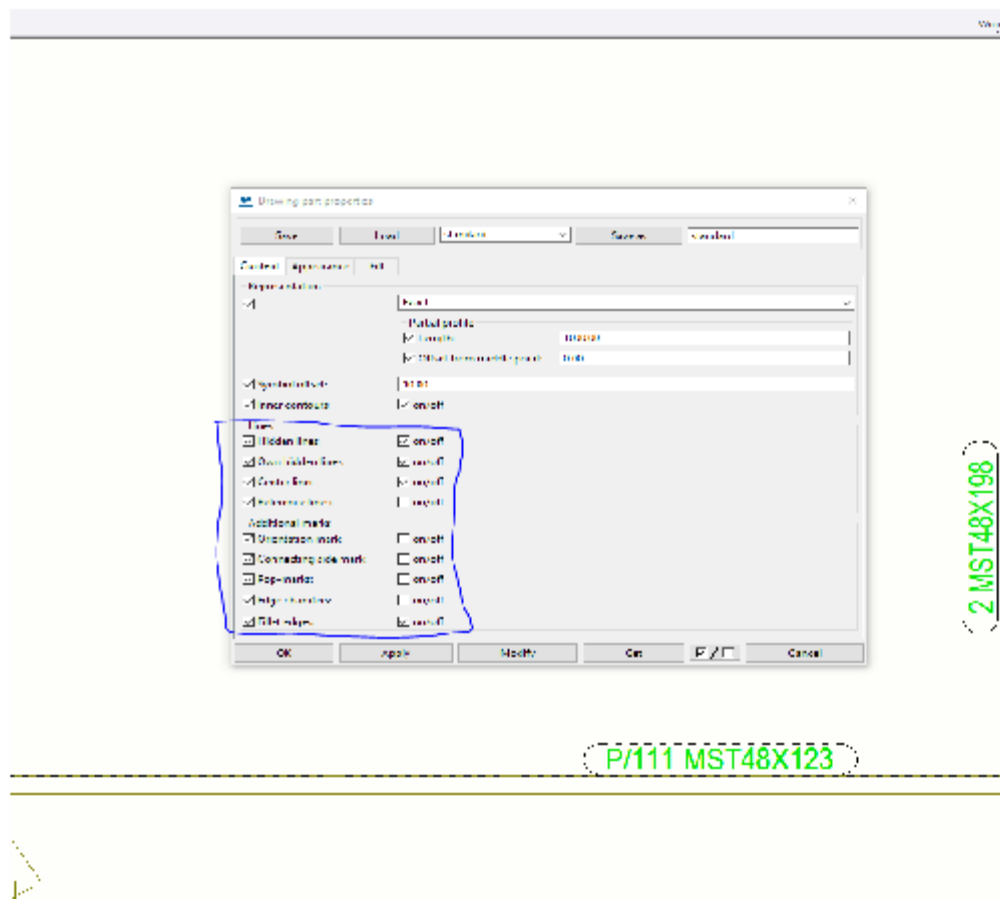
Leikkauskuvan pystyy luomaan views välilehdeltä ja valitsemalla section view. Tämän jälkeen ohjelma pyytää ensimmäistä ja toista leikkauspistettä. sen jälkeen valitaan leikkauksen suunta ja haluamasi alue. Kun nämä ovat valittu klikataan paikka mihin haluat näkymän.



Kuva 16

#### 4.7 Viivojen ja merkkien muuttaminen näkymässä

Näkymässä olevia viivoja ja merkkejä voidaan muokata tupla klikkaamalla niitä. Viivaa tupla klikkaamalla avautuu drawing part properties. Täällä pystyy lisäämään ja poistamaan keski-viivoja, pistekatkoviivoja. Appearance välilehdellä voidaan vaihtaa viivojen värejä. Fill välilehdeltä löytyy ainemerkinnät esimerkiksi puulle ja betonille.



Kuva 17, kuvassa merkitty mistä voidaan poistaa ja lisätä viivoja

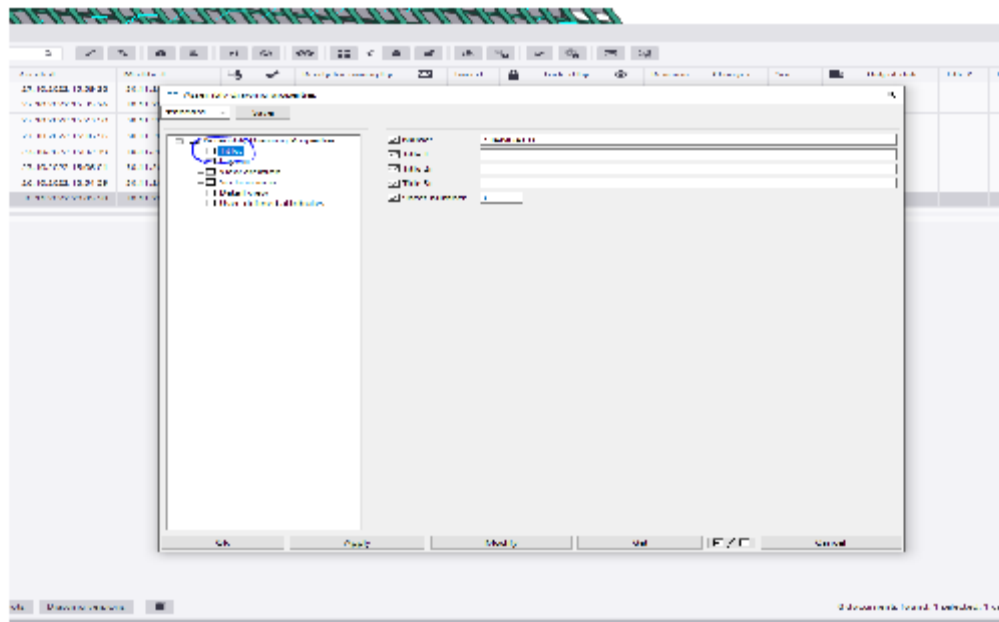




#### 4.8 Nimiön ja kuvan nimen muokkaaminen

Nimiön muokkaaminen tapahtuu document managerissa. Tässä vaiheessa pitää poistua piirustuksesta, koska muokkaus ei muuten onnistu. Muista tallentaa piirustus.

Document managerissa klikkaa hiiren oikealla kuvaa ja paina properties. Assembly drawing properties pitäisi aueta. Titles välilehdellä voi muokata kuvan nimen. Layout välilehdellä pystyy muokkaamaan piirustuksen rakennetta. Vaihtoehtoina on tekla omia layout vaihtoehtoja. Vaihtoehtoja pystyy katsomaan master drawing catalogue:sta. (Löytyy drawings & reports ja crate drawings). Myös piirustuksen paperi kokoa pystyy muokkaamaan. View creation:sta löytyy näkymät piirustukselle.

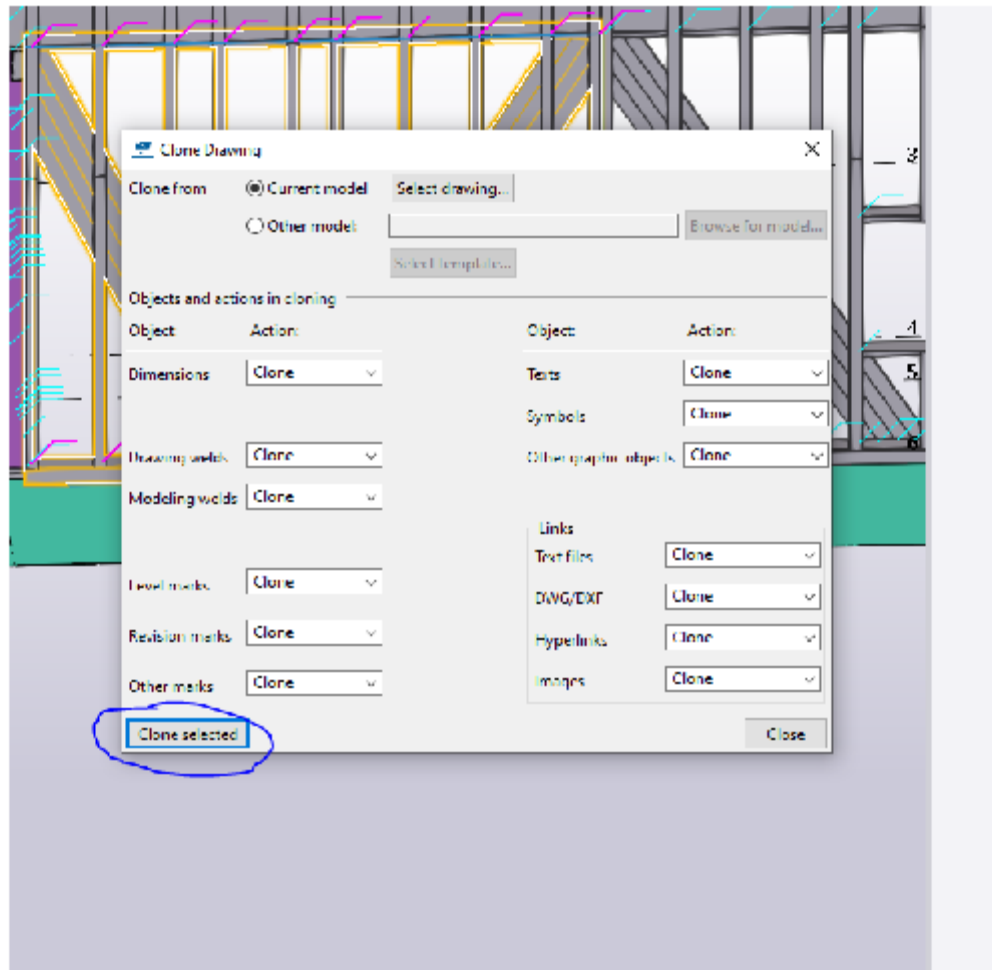


Kuva 19

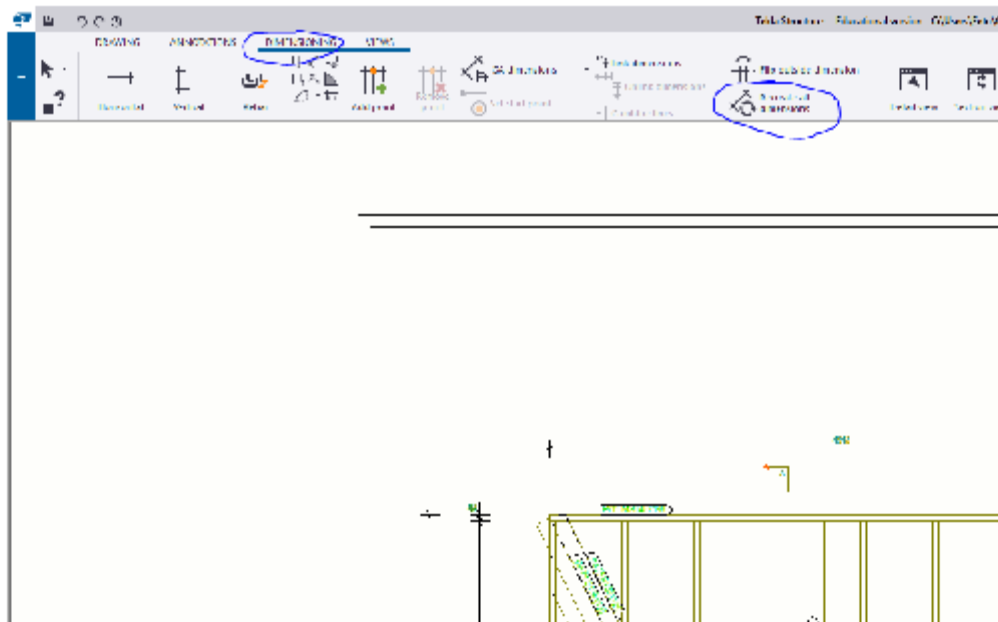




Tämän jälkeen avautuu clone drawing, jossa pystyy valitsemaan mitä kaikkea haluat kloonata seuraavaan piirustukseen. Paina clone selected ja uusi piirustus syntyy.



Kun uusi piirustus syntyy voi mitat olla väärin. Tämän voi korjata painamalla dimensioning välilehdeltä recreate all dimensions ja mitat pitäisi syntyä uudelleen.



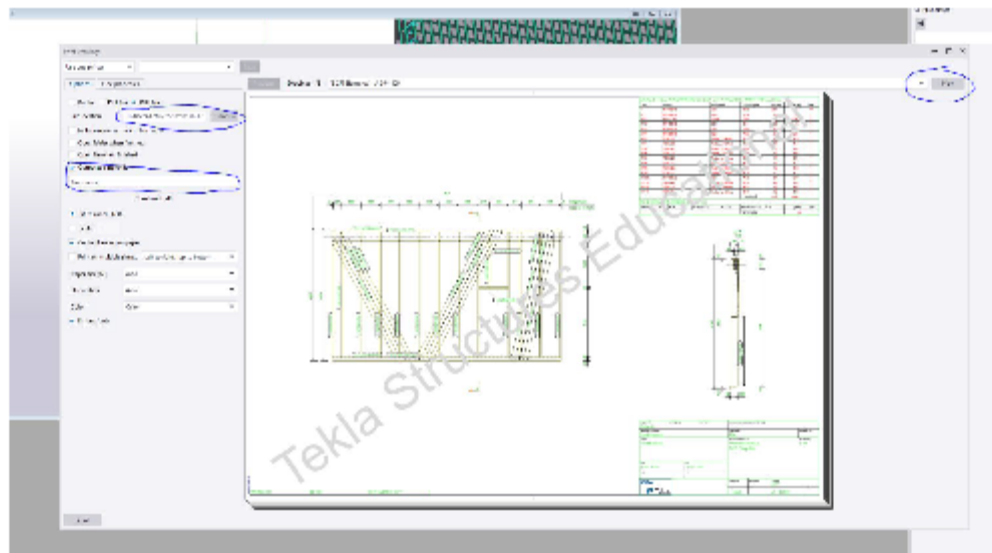
Kuva 22





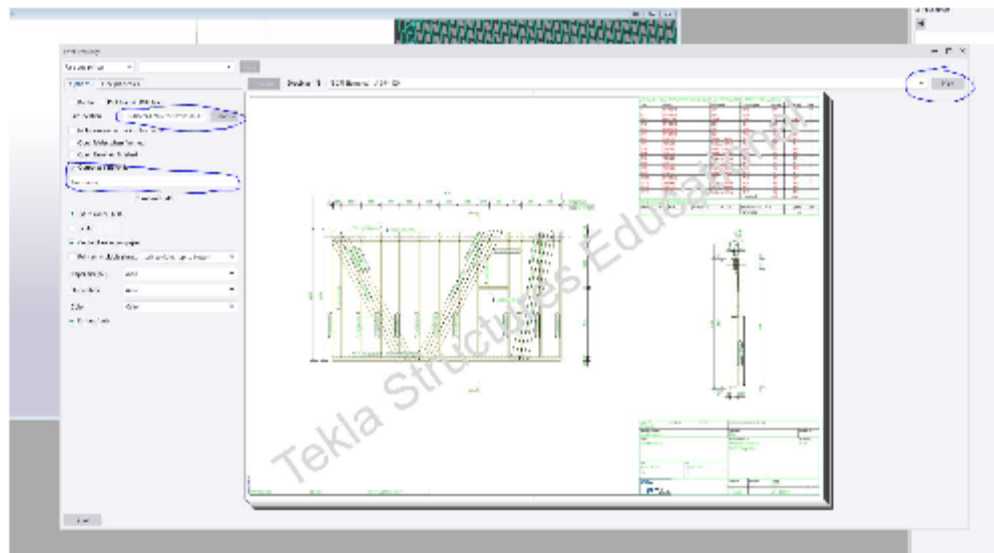


Sitten valitaan tiedostokansio. Sen jälkeen valitaan missä järjestyksessä kuvat esitetään, piirustukset ovat nyt siinä järjestyksessä missä ne ovat document managerissa. Järjestyksen näet oikeasta yläkulmasta. Muista valita output to single file. Tällä valinnalla saadaan kaikki piirustukset samaan PDF tiedostoon.



Kuva 25

Sitten valitaan tiedostokansio. Sen jälkeen valitaan missä järjestyksessä kuvat esitetään, piirustukset ovat nyt siinä järjestyksessä missä ne ovat document managerissa. Järjestyksen näet oikeasta yläkulmasta. Muista valita output to single file. Tällä valinnalla saadaan kaikki piirustukset samaan PDF tiedostoon.



Kuva 25