

# **Vesikatto- ja yläpohjarakenteiden suunnittelu ravintolarakennukseen**

Matti Heinonen

Opinnäytetyö

Kesäkuu 2020

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Tekijä(t) Heinonen, Matti	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä kesäkuu 2020
	Sivumäärä 48	Julkaisun kieli suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Vesikatto- ja yläpohjarakenteiden suunnittelu ravintolarakennukseen</b>		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Työn ohjaaja(t) Viinikainen, Marko ja Konttinen, Jukka		
Toimeksiantaja(t) WSP Finland Oy, Marko Pitkänen		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön aihe syntyi toimeksiantajan tehtävästä tuottaa rakennelaskelmat käynnissä olevaan projektiin ravintolarakennukseen Jyväskylässä.</p> <p>Aiheena opinnäytetyössä on teräs- ja puurakenteisen ravintolarakennuksen vesikaton ja yläpohjan alustavat rakennelaskelmat sekä vaihtoehtoisen rakennustavan käyttömahdollisuuksien tutkiminen. Tarkastelussa on paikalla rakennettavat kantavat yläpohjarakenteet sekä vaihtoehtoinen tapa toteuttaa kyseiset rakenteet tehdasvalmisteisilla CLT-elementeillä. Idea CLT:n käytöstä kohteen vesikattorakenteessa tuli suunnittelun alkuvaiheessa johtuen vesikaton haastavasta muodosta. Vaihtoehtoina vesikaton toteuttamiseen oli paikallarakentaminen niin sanotusti pitkistä tavarasta sekä elementtirakentaminen tehdasvalmisteisia CLT-levyjä käyttäen. CLT:n käyttö on nousussa Suomessa mm. maailmanlaajuisten ja kansallisten ilmasto-ohjelmien takia, jotka osaltaan lisää puurakentamista yleisesti.</p> <p>Työ toteutettiin tuottamalla rakennesuunnittelu ja rakennelaskelmat kirjallisia lähteitä ja suunnitteluohjeita käyttäen sekä tutkimalla elementtivaihtoehtoa aiheeseen liittyvistä luotettavista ja ajantasaisista julkaisuista.</p> <p>Tuloksena todettiin, että CLT-elementtien käyttö vesikatto- ja yläpohjarakenteessa on varteenotettava vaihtoehto sen kestävyysominaisuuksien sekä pitkälle viedyn valmiusasteen ja nopean asennuksen vuoksi, vaikka kohteessa päädyttiin paikallarakennettavaan vaihtoehtoon. Tuloksena on myös suunnitteluohjeiden pohjalta toteutetut kantavien rakenteiden rakennelaskelmat.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) vesikatto, puurakentaminen, cross laminated timber, rakennesuunnittelu		
Muut tiedot		

Author(s) Heinonen, Matti	Type of publication Bachelor's thesis	Date June 2020
	Number of pages 48	Language of publication: Finnish
		Permission for web publication: X
Title of publication <b>Structural design of restaurant roof structures</b>		
Degree programme Construct and civil engineering		
Supervisor(s) Viinikainen, Marko and Konttinen, Jukka		
Assigned by WSP Finland Oy, Marko Pitkänen		
<p>Abstract</p> <p>The topic of the thesis originates from client's need of structural plans for a restaurant project in progress in Jyväskylä.</p> <p>The topic of the study was to prepare the preliminary structural plans for the roofing structures of a steel and wood framed restaurant building and to investigate uses of an alternative construction method. The review includes the methods to construct load-bearing roof structures on site and the alternative way to construct the structures by using prefabricated CLT-elements. Already at the early stages of the design process, the challenging shape of the roof lead to the idea of using cross laminated timber elements as roof structures. The alternatives were either to build the roof on site using timber or to build the roof using prefabricated CLT elements. The use of CLT as construction material is increasing in Finland due to the global and national climate programs which contribute to increased wood construction.</p> <p>The study was implemented by producing the structural plan and the structural calculations with the help of literature and design standards and by studying publications on the element alternative.</p> <p>The results indicated that the CLT element is a usable alternative for roof construction due to its strength, advanced level of fabrication and quick mounting although the roof in this construction project was built on site. The thesis also provided construction plans for load-bearing structures that are based on the design standards.</p>		
Keywords ( <a href="#">subjects</a> ) Roof, wood construction, cross laminated timber, structural design		
Miscellaneous		

## Sisältö

1	Johdanto.....	2
1.1	Toimeksiantaja.....	2
1.2	Opinnäytetyön tausta, tehtävä ja tavoite .....	2
1.3	Aiheen rajaus .....	3
2	Rakennesuunnittelun toteuttaminen .....	4
3	Suunnitteluprosessi.....	5
3.1	Rakennesuunnittelun tehtävä .....	5
3.2	Hankesuunnittelu yleisesti .....	5
3.3	Suunnittelijoiden kelpoisuusvaatimukset .....	9
3.4	Yläpohjan suunnittelu.....	10
4	Rakenteiden mitoitus .....	11
4.1	Suunnitteluperusteet.....	11
4.2	Rajatilamitoituksen periaatteet.....	12
4.3	Kuormitukset .....	13
5	Vesikaton rakenteet paikalla rakentaen .....	16
5.1	CLT .....	19
6	Pohdinta .....	20
	Lähteet.....	22
	Liitteet .....	24

## Kuviot

Kuvio 1.	Havainnekuva kohteen rungosta. ....	4
Kuvio 2.	Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot (RIL 201-1-2017, 98.).....	14
Kuvio 3.	Lumikuorman muotokertoimet (RIL 201-1-2017, 102.).....	15
Kuvio 4.	RFEM-malli ulokepalkista. ....	18

## Taulukot

Taulukko 1.	Rakennuksen perustietoja. ....	6
Taulukko 2.	Seuraamusluokat (SFS-EN 1990:n kansallinen liite, taulukko 6a.) .....	8

# 1 Johdanto

## 1.1 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantaja on WSP Finland Oy, joka on osa maailmanlaajuisesta WSP Global Inc konsernista. WSP tarjoaa rakentamisen konsulttipalveluita laajasti eri aloilla, kuten ympäristö ja arkkitehtuuri, rakennetekniikka ja korjausrakentaminen, sillat ja taitorakenteet, kaivospalvelut, ohjelmistopalvelut, muotoilu ja valaistus, liikkuminen ja liikenne, geo- ja kalliotekniikka, laboratoriopalvelut sekä rakennuttamispalvelut.

Yhtiö on perustettu Kanadassa vuonna 1969 nimellä William Sale Partnership, jonka jälkeen yhtiö on laajentunut yritysostojen myötä maailmanlaajuisesti ja työllistää tällä hetkellä noin 49 500 asiantuntijaa yli 500 toimipisteessä. Suomessa WSP on toiminut yli 50 vuotta työllistäen tällä hetkellä noin 700 rakennusalan asiantuntijaa ympäri Suomea. (Yritysesittely WSP Finland, n.d.)

## 1.2 Opinnäytetyön tausta, tehtävä ja tavoite

Opinnäytetyön lähtökohdaksi oli toimeksiantajan käynnissä oleva projekti, johon oli tarve tuottaa rakennesuunnitelmat vesikaton ja yläpohjan osalta. Kyseessä olevan rakennuksen vesikatto on muodoltaan haastava ja monimuotoinen, joten opinnäytetyössä tutkitaan mahdollisuuksia toteuttaa vesikattorakenteet vaihtoehtoisesti tehdasvalmisteisilla CLT-levyillä.

Rakennusala kehittyy jatkuvasti ja yhtenä kehityskohteena on muuttaa rakennusteollisuutta ekologisemmaksi mm. lisäämällä puurakentamista. Suomessa työ- ja elinkeinoministeriön valtakunnallisessa puurakentamisohjelmassa tarkoituksena on vähentää rakentamisen hiilijalanjälkeä lisäämällä kotimaisen puun käyttöä rakentamisessa vuoden 2022 loppuun saakka. Puurakentamisen lisäämisellä voidaan osaltaan myös kasvattaa puutuotteiden kysyntää ja vientimahdollisuuksia sekä tuottaa yli 6000 uutta työpaikkaa Suomeen. (Karjalainen, 2020.)

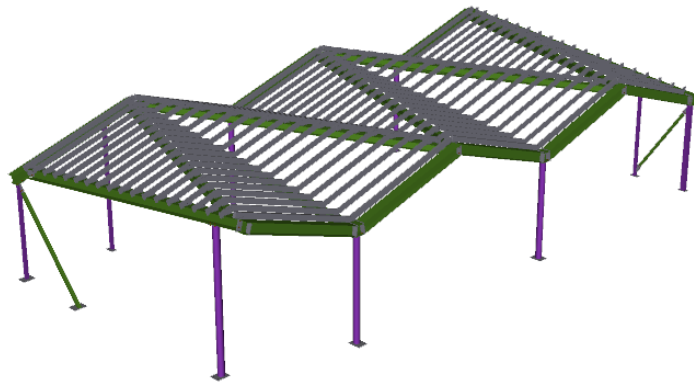
Opinnäytetyössä käsitellään suunnittelua ohjaavia asetuksia ja ohjeistuksia, joilla rakenteiden turvallisuus ja toimivuus todennetaan. Edellä mainittujen pohjalta opinnäytetyössä tuotetaan ravintolarakennuksen yläpohjan kestävyyslaskelmat ja rakennesuunnitelmat paikalla rakennettavalle vaihtoehdolle käyttäen eurokoodeja. Työssä käsiteltävät rakennesuunnitelmat ovat alustavia ja lopulliseen tuotteeseen saattaa tulla muutoksia rakenteissa.

### 1.3 Aiheen rajaus

Opinnäytetyössä käsitellään vain yläpohjan ja vesikaton kantavia teräs- ja puurakenteita sekä suunnittelua ohjaavia määräyksiä, ohjeita ja asetuksia. Työssä vertaillaan vesikaton rakenteiden toteuttamista paikallarakentaen sekä CLT-elementteinä. Lujuuslaskelmat esitetään liitteessä paikallarakennetusta vaihtoehdosta.

Hanke- ja rakennussuunnittelu käsitellään yleisesti ja ne toimivat taustatietona rakennesuunnittelulle. Työssä ei käsitellä rakentamisen kustannuksia, projektin rakennusvaihetta eikä käyttöönottoa.

## 2 Rakennesuunnittelun toteuttaminen



*Kuvio 1. Havainnekuva kohteen rungosta.*

Suunnittelu- ja tutkimuskohteena on ravintolarakennus Jyväskylässä. Rakennus on teräsrunkoinen ja vesikattorakenteiden toteuttaminen tehdään perinteiseen tapaan puusta paikalla rakentaen. Työssä tutkitaan rakennesuunnittelun lisäksi vaihtoehtoa käyttää CLT-levyjä rakenteen toteuttamiseksi. CLT-tutkimus toteutettiin kvalitatiivisena eli laadullisena tutkimuksena ja aineistonkeruumenetelmänä käytettiin kirjallisuutta, painettuja ja sähköisiä julkaisuja. Aineistoa analysoitiin sen luotettavuuden ja ajantasaisuuden perusteella. Laadullisen tutkimuksen tavoitteena on kuvata, ymmärtää ja tulkita ilmiötä. Perusteluna tutkimusotteen käytölle opinnäytetyössä on laadullisen tutkimuksen soveltuminen yksittäisen tutkimuskohteen perusteelliseen käsittelyyn. (Kananen 2017, 35.)

## 3 Suunnitteluprosessi

Rakennesuunnittelu etenee eri suunnittelijoiden ja sopimusosapuolten kanssa vuorovaikutuksessa.

Suunnittelun päätehtävät toteutusmuodoista riippumatta voidaan jakaa suunnittelijan näkökulmasta hankesuunnitteluun, ehdotussuunnitteluun, yleissuunnitteluun ja toteutussuunnitteluun. Lisäksi tilaajalle toimitetaan ylläpidon ja käytön vaatimat tiedot suunnittelijan toimesta. (RIL 229-1-2013, 18.)

### 3.1 Rakennesuunnittelun tehtävä

Päätehtävä rakennesuunnittelussa on tuottaa rakennesuunnitelmat ja muuta tarvittavaa tietoa rakennuksen tai rakenteen toteuttamiseksi, käyttämiseksi ja ylläpitämiseksi.

Hyvän rakennesuunnittelun laatu ja ominaisuudet lopputuotteessa täyttävät asetetut tavoitteet kohteen koko elinkaaren ajan teknisesti, taloudellisesti, toiminnallisesti sekä esteettisesti. Rakennesuunnittelijan rooli rakenneteknisenä asiantuntijana on tärkeä myös hankkeen riskien hallinnassa ja laadunvarmistuksessa, etenkin vaativissa hankkeissa ns. rakenteellisen turvallisuuden erityismenettelyn mukaisesti. (RIL 229-1-2013, 12.)

### 3.2 Hankesuunnittelu yleisesti

Hankkeen valmisteluvaiheessa hankkeelle asetetaan tilaajan toimesta tavoitteet läpiviennille ja suunnittelulle. (RIL 229-1-2013, 18.)

Rakennus sijaitsee Jyväskylän keskustassa kaupunkiympäristössä puistoalueella. Rakennus kokonaisuudessaan suunnitellaan betoni- ja teräsrakenteisena paikalla rakennettavana. Opinnäytetyössä tarkasteltavana oleva yläpohja rakennetaan

käyttäen teräs- ja puurakenteita paikalla rakentaen. Taulukossa 1 on rakennuksen perustietoja.

Taulukko 1. Rakennuksen perustietoja.

Käyttötarkoitus	Ravintola
Rakenteiden vaativuusluokka	Vaativa
Seuraamusluokka	CC2
Luotettavuusluokka	RC2
Paloluokka	P3
Pääasiallinen rakennusmateriaali	Betoni ja teräs
Pääasiallinen rakennustapa	Paikalla rakentaminen
Kerroslukumäärä	1 + kellarikerros
Rakennuksen kokonaiskorkeus	Lattiasta harjalle n. 8m
Bruttopinta-ala yhteensä	197 m <sup>2</sup>

### **Vaativuusluokka**

Rakennussuunnittelutehtävä kohteessa on vaativa, koska sen on täytettävä korkeat arkkitehtoniset, tekniset ja toiminnalliset vaatimukset. (A 214/2015, 4§.)

Kantavien rakenteiden suunnittelutehtävien vaativuus kohteessa kuuluu luokkaan vaativa valtioneuvoston asetuksen A 214/2015 mukaan. Rakennuksen kantavien rakenteiden on täytettävä korkeat tekniset ja toiminnalliset vaatimukset rakennuksen koon, kuormien tai muun ominaisuuden vuoksi (A 214/2015, 8§.)

Kohteessa kantavien rakenteiden jänneväli on vähintään 6 metriä ja rakenteilta edellytetään erityisominaisuuksia arkkitehtonisten ratkaisujen vuoksi, kuten

Ympäristöministeriön ohjeessa YM1/601/2015 kuvaillaan vaativa kantavien rakenteiden suunnittelutehtävä. (Ohje rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokista 2015, 7.)

### **Seuraamusluokka**

Rakennuksen seuraamusluokka on CC2, koska rakennuksen tai rakenteiden mahdollisesta vauriosta tai viasta voi aiheutua keskisuuria seuraamuksia ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia. (RIL 201-1-2017, 55.)

Eurokoodeissa seuraamukset rakenteen vaurioitumisesta otetaan suunnittelussa huomioon seuraamusluokkien kautta siten, että epäedullisten kuormien osavarmuusluvut kerrotaan standardin SFS-EN 1990 mukaisella kuormakertoimella  $K_{FI}$ . Vähäisten seuraamusten luokassa CC1 osavarmuusluku on 10% pienempi kuin keskimmaisessä luokassa CC2 ja suurten seuraamusten luokassa CC3 10% suurempi. (Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet 2016, 9.)

Taulukko 2. Seuraamusluokat (SFS-EN 1990:n kansallinen liite, taulukko 6a.)

Taulukko 6a. Seuraamusluokkien määrittely rakennuksille ja rakenteille

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	<b>Suuret</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko <sup>1)</sup> jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten - yli 8-kerroksiset <sup>2)</sup> asuin-, konttori- ja liikerakennukset - konserttisalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot - raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset. Erikoisrakenteet, kuten esimerkiksi korkeat tornit. Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet, jotka sijaitsevat siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä erityisesti hienorakeisten maalajien alueilla.
CC2	<b>Keskisuuret</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai merkittävien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristö-vahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.
CC1	<b>Vähäiset</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset <sup>2)</sup> rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä <sup>3)</sup> kuten esim. pienehköt varastot ja maatalouden tuotantorakennukset, joiden pinta-ala on enintään 300 m <sup>2</sup> tai suurin jänneväli enintään 6 metriä. Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten - matalalla olevat terassit ja alapohjat, ilman kellaritiloja - ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne - sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana.

<sup>1)</sup> pienehköt rakennusrungosta erilliset välipohjat kuuluvat kuitenkin luokkaan CC2 elleivät ne toimi koko rakennusta jäykistävänä rakenteena.

<sup>2)</sup> kellarikerrokset mukaan luettuina.

<sup>3)</sup> tilapäisenä oleskeluna pidetään päivittäistä käymistä rakennuksessa, mutta ei siellä pidempään viipymistä.

## Paloluokka

Rakennuksen paloluokituksen määrittely on yksi tärkeimpiä rakennuksen paloturvallisuuden liittyvistä asioista ja se on syytä määrittellä jo suunnittelun alkuvaiheessa. Rakennuksen paloluokka määräytyy rakennuksen ominaisuuksien mukaan. Paloluokka P3 asettaa keveimmät vaatimukset rakennukselle ja P1-luokkaa kohti mennessä vaatimukset kasvavat asteittain. P0-paloluokassa rakennuksen palotekniset ominaisuudet ovat tapauskohtaisia ja vaativat suunnittelijalta erityistä perehtyneisyyttä oletetun palonkehityksen menetelmiin.

Rakennuksen paloluokka kertoo paloturvallisuusratkaisujen tasovaatimuksista, jonka vuoksi se toimii lähtökohtana miltei jokaiselle suunnitteluratkaisulle ja suunnittelijan on tunnettava paloluokan määräytymisen periaatteet. (RIL 195-1-2018, 25.)

Rakennuksen paloluokka opinäytetyössä on P3 johtuen rakennuksen koosta, joten sen kantaville rakenteille ei aseteta erityisvaatimuksia.

### **Rakennejärjestelmän kuvaus kohteessa yleisesti**

Rakennus perustetaan kantavan maan varaan käyttäen maanvaraisia anturoita. Rakennuksen runkopilarit ovat teräsbetoni- ja teräspilareita. Välipohja koostuu ontelolaatatosta ja pintabetonista. Kantavat väliseinät ovat teräsbetonia ja ulkoseinät paikallavalettuja teräsbetoniseiniä sekä teräsrunkoisia lämpölaselementtejä. Yläpohjan runkona toimii primääri- ja sekundääriteräspalkit ja puinen kattopalkisto. Vesikatteen alusrakenteena on vanerilevy ja vedeneristyskermi.

## **3.3 Suunnittelijoiden kelpoisuusvaatimukset**

Opinäytetyön kohteen vaativassa suunnittelutehtävässä kelpoisuusvaatimuksena rakennussuunnittelijalla ja erityissuunnittelijalla on kyseiseen suunnittelutehtävään soveltuva korkeakoulututkinto, joka on rakentamisen tai tekniikan alalla suoritettu. Tehtävään riittää myös aiempi ammatillisen korkea-asteen tutkinto tai sitä vastaava tutkinto sekä kokemusta vähintään neljä vuotta tavanomaisista suunnittelutehtävistä ja kahden vuoden kokemus avustamisesta vaativissa suunnittelutehtävissä. (MRL 41/2014, 120e §.)

## 3.4 Yläpohjan suunnittelu

### **Yleiset periaatteet**

Yläpohjarakenne muodostuu kantavasta rakenteesta, ilman-/höyrinsulusta, lämmöneristyksestä, vedeneristyksestä sekä toimivasta tuuletuksesta. Rakenne on kokonaisuus, jonka suunnittelussa varmistetaan käytettyjen materiaalien ja rakenneratkaisujen yhteistoiminta.

Vesikattorakenteisiin ei saa päätyä rakennuksen sisätiloista haitallista määrää kosteutta. Rakennusaikaisen ja normaalien olosuhteiden muutosten johdosta tiivistyvän kosteuden on päästävä poistumaan vaurioita aiheuttamatta rakenteista.

Teollisesti valmistettujen kattoelementtien mitoitus voi vähäisessä määrässä poiketa vaatimuksista, mikäli rakennusfysikaalinen toiminta rakenteessa on luotettavasti perusteltu. Yleisesti rakenteen heikoin kohta on elementtien välinen sauma ja myös sen toiminta tulee selvittää eri rasiustapauksissa sekä varmistaa se työmaalla.

Vesikatto rakennetaan riittävän kaltevaksi sadevesien poisjohtamiseen. Veden tunkeutuminen eri muodoissa vesikaton alapuolisiin rakenteisiin on estettävä.

Katteet kiinnitetään siten alustaansa, ettei tuuli tai katteen muodonmuutosvoimat irroita tai vaurioita niitä. Kiinnitys mitoitetaan tuulikuormia vastaan julkaisun RIL-201 mukaan. (RIL 107-2012.)

## 4 Rakenteiden mitoitus

### 4.1 Suunnitteluperusteet

#### **Perusvaatimukset**

Rakenne tulee suunnitella siten, että se säilyttää luotettavuustasonsa koko suunnitellun käyttöikänsä ja on taloudellisesti toteutettavissa. Rakenteen tulee kestää kaikki todennäköisesti siihen kohdistuvat kuormat ja vaikutukset, sekä käyttökelpoisuus vaadittuun tarkoitukseensa.

Lisäksi rakenteelle on suunniteltava riittävä kestävyys, käyttökelpoisuus ja säilyvyys. Kestävyys tulipalotilanteessa tulee olla vaaditun ajan riittävä.

Onnettomuustilanteet rakennuksen tulee kestää siten, ettei vauriot ole alkuperäiseen syyhyn nähden suhteettoman laajat. Estämällä vaaratilanteita tai vähentämällä niiden suuruutta sekä valitsemalla paikallisia vaurioita ja vaaratilanteita kestäviä rakenneratkaisuja, vältetään vaurio.

Asianmukaisella suunnittelulla yksityiskohtineen, soveltuvien materiaalien valinnalla ja riittäväillä valvontamenetelmillä täytetään perusvaatimukset. (RIL 201-1-2017, 25.)

#### **Luotettavuuden hallinta**

Luotettavuuden hallinnassa on käytettävä seuraamusluokkamenettelyä sekä standardin SFS-EN 1990 opastavan liitteen B taulukossa B3 esitettyjen kuormakertoimien  $K_{FI}$  arvoja. Kuormakertoimia  $K_{FI}$  ei voida korvata lisätyllä laadunvalvonnalla tai muulla tavalla. (A 3/16 5§)

Luotettavuusluokka ja kuormakerroin  $K_{FI}$  määräytyy seuraamusluokan mukaan, jotka on esitetty taulukossa 2. Opinnäytetyön kohteessa luotettavuusluokka on RC2 ja kuormakerroin  $K_{FI} = 1,0$ .

## **Suunniteltu käyttöikä**

Rakenteiden ja rakennuksen suunniteltu käyttöikä on määritettävä projektikohtaisesti.

Suunniteltu käyttöikä on suunnittelussa oletettu ajanjakso, jolloin rakennetta tai sen osaa käytetään suunniteltuun tarkoitukseensa ottaen huomioon kunnossapitotoimenpiteet ja ympäristö-olosuhteita kuvaavat rasitusluokat. (A 477/2014 8§)

Opinnäytetyön kohteelle on määritetty kantavien rakenteiden suunnitelluksi käyttöiäksi 100 vuotta.

Rakenteet tulee suunnitella siten, että rakenteen toimivuus ei heikkene rakennuksen käyttöiän aikana kunnan heikentyessä. Säilyvyyden suunnittelussa otetaan huomioon odotettavissa oleva ylläpito ja ympäristöolosuhteet, jotta voidaan ryhtyä tarvittaviin suojaustoimenpiteisiin. (RIL 201-1-2017, 28.)

## **4.2 Rajatilamitoituksen periaatteet**

### **Mitoitustilanteet**

Mitoitustilanteet valitaan ottamalla huomioon rakenteen toimintaolosuhteet.

Suunnittelussa on tarkistettava kyseessä olevan rakenteen merkitykselliset murto- ja käyttörajatilat. Näistä on osoitettava, ettei missään rajatilassa kuormien vaikutuksen mitoitusarvo ylitä rakenteen kestävyden mitoitusarvoa. (RIL 201-1-2017, 29.)

### **Murtorajatilat**

Murtorajatilat liittyvät ihmisten turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen, joissakin tapauksissa myös aineen tai tavaran suojaamiseen. Rakenteen tasapainon menetys,

vaurioituminen tai murtuminen tai väsymisen aiheuttama vaurioituminen luokitellaan murtorajatiloiksi. (RIL 201-1-2017, 29.)

*Tarkasteltavia murtorajajaloja ovat:*

- *jäykän kappaleen tai sen osan tasapainon menetys*
- *liian suuri siirtymätila*
- *rakenteen tai sen osan muuttuminen mekanismiksi*
- *katkeaminen*
- *rakenteen tai sen osan stabiiliuden menetys*
- *ajasta riippuva vaurioituminen, esim. väsyminen. (RIL 201-1-2017, 29.)*

### **Käyttöraajatilat**

Käyttöraajatilat ovat rakenteen tai rakenneosien toimintaan normaalikäytössä liittyviä sekä ihmisten mukavuuteen tai rakennuskohteen ulkonäköön liittyviä.

Käyttöraajatilassa tarkastellaan edellä mainittuihin vaikuttavat mahdolliset vauriot sekä siirtymät, värähtelyt ja taipumat. Tarkastelussa tulee erottaa palautuva ja palautumaton käyttöraajatila erilleen. (RIL 201-1-2017, 30.)

## **4.3 Kuormitukset**

Kuormat luokitellaan ajallisen vaihtelun mukaan pysyviin (G), muuttuviin (Q) ja onnettomuuskuormiin (A).

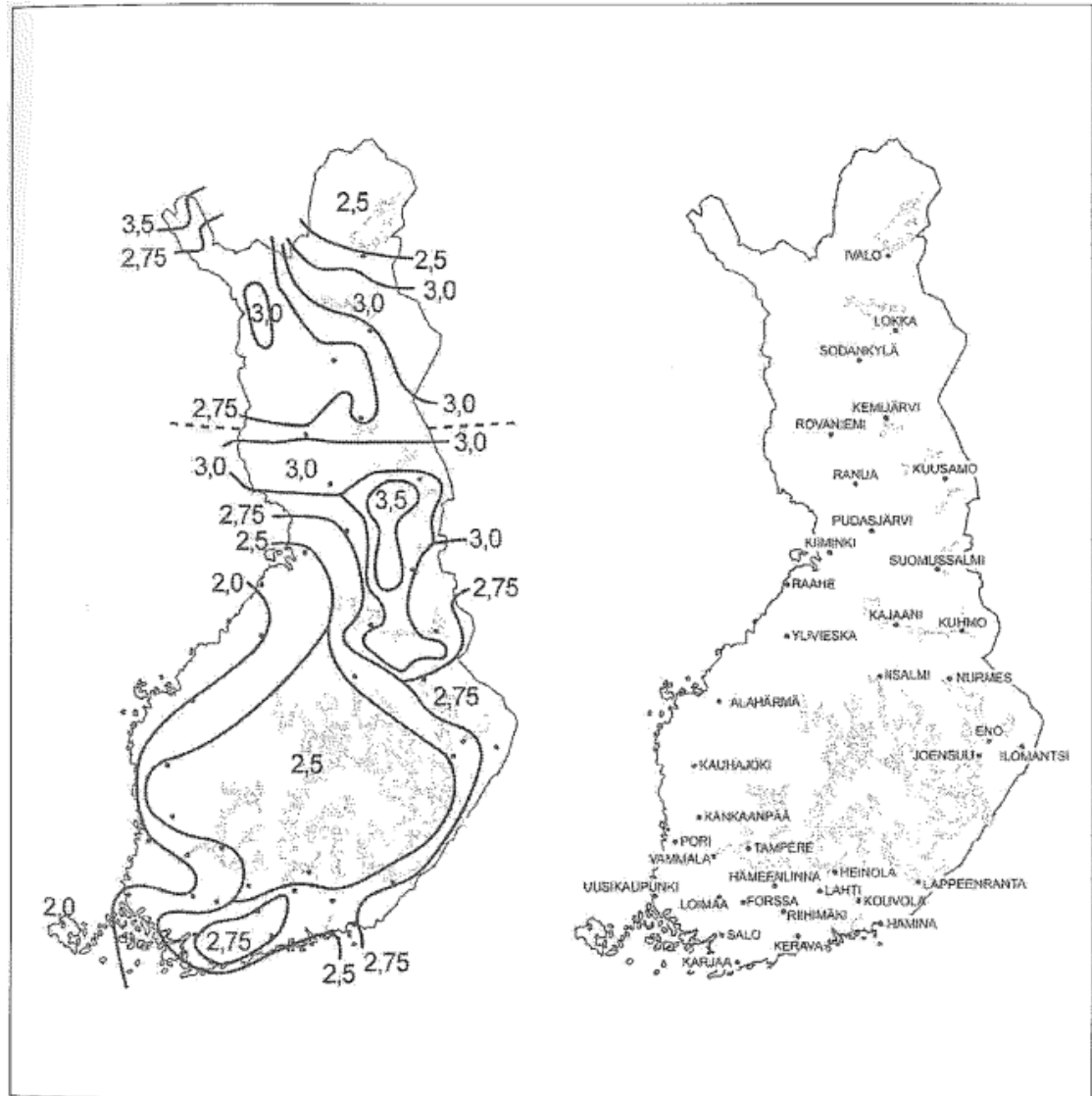
Pysyviä kuormia ovat esimerkiksi rakenteiden ja kiinteiden laitteiden oma paino ja välilliset kuormat kutistumisesta ja epätasaisesta painumisesta johtuen.

Muuttuviin kuormiin luetaan esimerkiksi hyötykuormat, tuuli- ja lumikuormat.

Onnettomuuskuormia ovat esimerkiksi räjähdykset tai ajoneuvojen törmäykset. (RIL 201-1-2017, 31.)

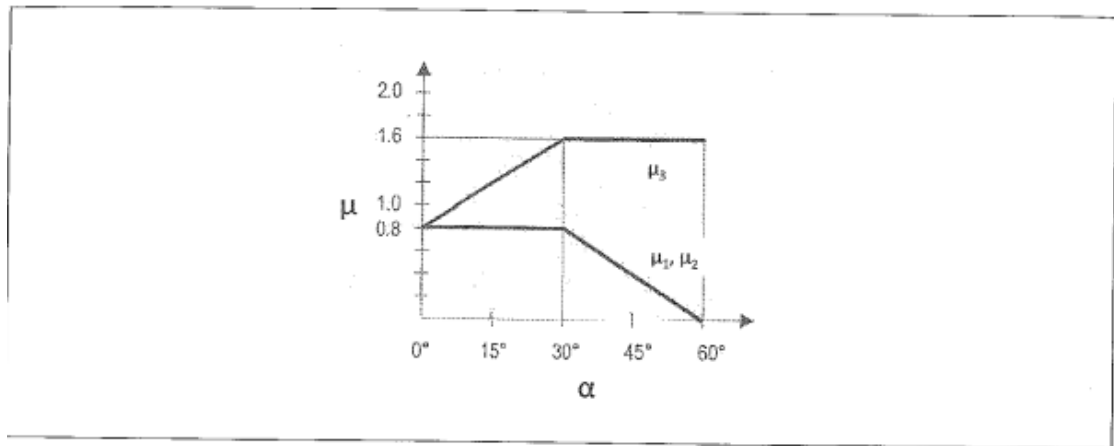
## Lumikuorma

Lumikuormille maanpinnalla on määritelty ominaisarvot  $S_k$ , kattojen ominaislumikuorma lasketaan kaavalla  $q_k = \mu_f \cdot S_k$



Kuvio 2. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot (RIL 201-1-2017, 98.)

Lumikuorma maan pinnalla Jyväskylässä  $2,5 \text{ kN/m}^2$ , joka on kerran 50 vuodessa oletettava lumikuorman arvo. 100 vuoden käyttöäille voidaan arvioida 10% korotus lumikuormaan, jolloin lumikuorma maassa on  $2,75 \text{ kN/m}^2$ .



Kuvio 3. Lumikuorman muotokertoimet (RIL 201-1-2017, 102.)

Lumikuorma katolla saadaan kaavasta  $q_{\text{lumi,k}} = \mu_1 \cdot S_k = 0,8 \times 2,75 = 2,2 \text{ kN/m}^2$ .

$\mu_1$  on lumikuorman muotokerroin ja  $s_k$  lumikuorma maassa.

### Tuulikuorma

Tuulikuormat vaihtelevat ajan myötä. Ne aiheuttavat tasaisen kuorman umpinaisten rakenteiden ulkopintoihin ja ulkopinnan huokoisuudesta johtuen välillisesti sisäpintoihin. Suoraan sisäpintaan ne voi vaikuttaa avoimissa rakenteissa. (RIL 201-1-2017, 127.)

Tuulikuormat määritetään koko rakenteeseen käyttäen voimakertoimia ( $c_f$ ) tai rakenneosaan pintapaineiden perusteella ja käyttäen painekertoimia ( $c_p$ ).

Kokonaistuulikuorma, joka vaikuttaa koko rakennukseen tai rakenteeseen, lasketaan joko voimakertoimella tai painekuormien resultanttina. (RIL 201-1-2017, 139.)

Tuulen voimakkuus vaihtelee rakennuksen ympärillä olevan maaston rosoisuuden mukaan, jotka Eurokoodi luokittelee viiteen eri maastoluokkaan 0-IV. Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo  $q_{p0}(z)$  määritellään maastoluokan ja rakennuksen korkeuden mukaan.

## **Ympäristön vaikutukset**

Kun suunnittelukriteereinä ovat mekaaninen kestävyys ja käyttökelpoisuus, tulee puun kosteuden vaikutus rakenneosien lujuus- ja jäykkyysominaisuuksiin ottaa huomioon. Puun kosteusvaihtelut aiheuttavat syysuuntaa vastaan kohtisuoraa kutistumista ja laajenemista. Puu on vaarassa haljeta, mikäli kutistuminen puun kuivuessa on estetty. Nopeat kosteusvaihtelut aiheuttavat puuhun jännitystilaa, jolloin puuhun voi syntyä halkeamia. Kosteusjännitykseen yhdistynyt samansuuntainen ulkoinen kuormitus tai leikkausjännitys voi aiheuttaa halkeamia puuhun hyvin pienellä kuorman arvolla. (RIL 205-1-207, 32.)

## **5 Vesikaton rakenteet paikalla rakentaen**

Yläpohjan kantavan rakenteen pääkannattimena toimii ulkoseinällä kulkeva HEA300-profiilin teräspalkki. Sekundääräkannattimena on HEA220 -profiilin teräspalkit, jotka ovat katon harjoilla ja jiirien pohjilla luoden ristokkomaisen rakenteen yläpohjaan primääripalkkien kanssa. Rakenne eristetään sekundääripalkkien välistä sekä pohjasta PIR-eriste-elementeillä. Vesikaton alusrakenteena on ristiin asennetun puupalkiston päälle asennettava vesikatteen aluslevy ja vesikatteenä on konesaumattu rivipeltikate aluskatteineen.

### **Puurakenteiden käyttöluokka**

Puurakenteiden käyttöluokka yläpohjarakenteessa on käyttöluokka 2, koska puiset kantavat rakenteet on katetussa ja tuuletetussa tilassa sekä alta ja sivuilta hyvin kastumiselta suojattu. (RIL 205-1-2017, 33)

Puurakenteet ovat rakenteessa lämmöneristeen ulkopuolella tuuletetussa ja vedeltä suojatussa tilassa, jolloin käytetään käyttöluokkaa 2.

## **Vesikattopalkisto ja vesikatteen alusrakenne**

Kattopalkkeina on tuuletuksen varmistamiseksi ristiin asennettavat C24 lujuusluokan sahatavarapalkit. Vesikaton palkisto mitoitetaan 1-aukkoisina suurimmalla yhden palkin jännevälillä 3600mm, dimensioltaan 48mm x 198mm sekä k500-jaolla.

Tuuletuksiltaan korokepuuna käytetään 48mm x 73mm sahatavaraa.

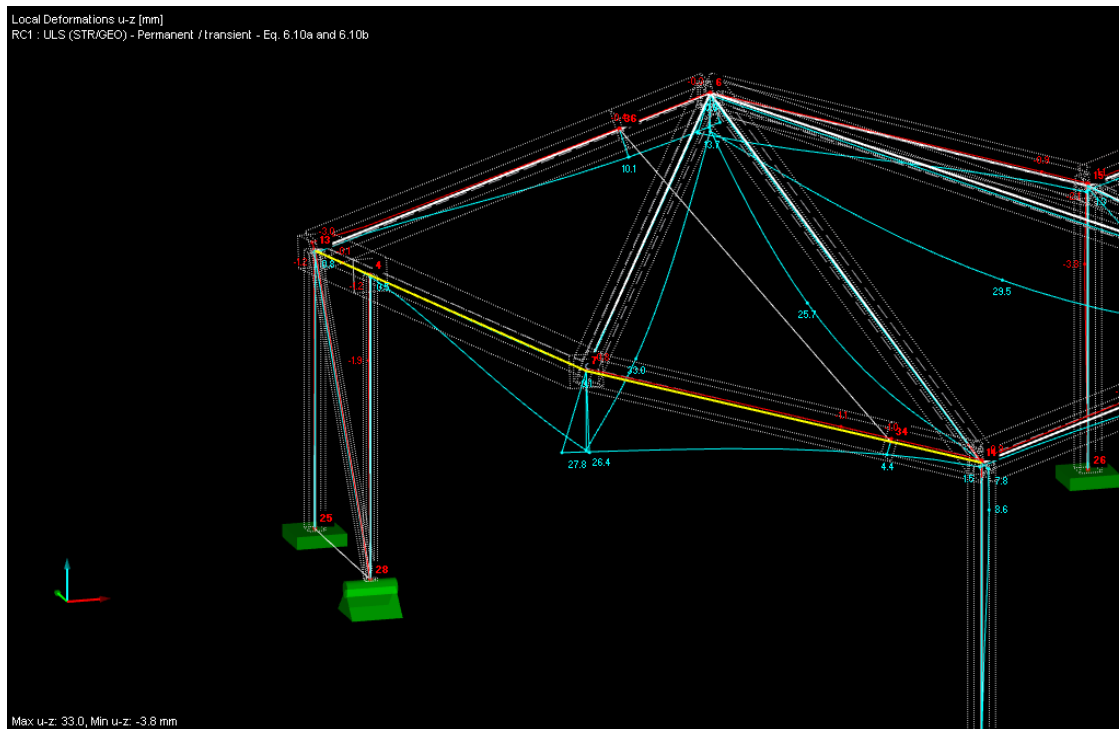
Kattopalkkien kuormat muodostuu lumi- ja ripustuskuormasta sekä pysyvästä puurakenteen omasta painosta tasaisina kuormina. Liitteissä 4 ja 6 esitetään vesikaton puurakenteiden mitoitus.

Vesikatteen alusrakenteeksi valikoitui käyttötarkoitukseen soveltuva vanerilevy, alustavasti kohteessa käytetään 18mm Kerto-Kate -levyä. Levytyksellä saadaan rakennetta jäykistettyä sekä läpivientien ja pellitysten kiinnitystä helpommaksi. Kiinnityksessä huomioidaan käyttöluokka 2 ja mekaanisten kiinnikkeiden tulee olla kuumasinkittyjä. CLT-rakenteessa itse levy toimii vesikatteen alusrakenteena ja kantavana rakenteena.

## **Primääripalkki**

Kattorakenteen pääkannattimena on HEA300 -profiilin teräspalkki. Palkkilinja kulkee ulkoseinälinjalla rakennuksen pitemmillä sivuilla. Palkkia kuormittaa muuttuvana kuormana lumi- ja ripustuskuormat sekä yläpohjan puurakenteet tasaisena kuormana. Sekundääripalkkien liitosten siirtämät kuormat lasketaan suoraan pilarille.

Kuviossa 4 on esitetty mitoittava primääripalkki statiikkaohjelman mallia käyttäen sekä liitteessä 8 palkin mitoitus.



Kuvio 4. RFEM-malli ulokepalkista.

## Sekundääripalkki

Kattorakenteen sekundäärisenä kannattimena toimii HEA220 -profiilin teräspalkit. Palkit yhdistää pääkannattimet ristikkomaisena rakenteena muodostaen katon harjat ja jiirit.

Palkkia kuormittaa yläpohjan puurakenne tasaisena kuormana sekä lumikuorma. Lumikuorma muodostuu epätasaisena johtuen katon muodosta, mutta laskelmissa on otettu huomioon kinostunut lumikuorma koko palkille. Palkin mitoitus liitteessä 7.

## 5.1 CLT

CLT-levyt valmistetaan liimaamalla lujuusluokiteltua sahatavaraa useaan kerrokseen ristikkäin, jolloin tuotteen muodonmuutos ja kosteuseläminen saadaan poikittaisilla puun syillä minimoitua. Levy liimataan vähintään kolmesta ja yleisimmin enintään seitsemästä kerroksesta. Yleensä kerrokset ovat saman vahvuisia koko poikkileikkauksessa, mutta joskus sisemmät kerrokset voi olla eripaksuisia. (The CLT Handbook, 2019, 37.)

Levyjen työstö tehdään kuivissa oloissa tehtaalla, jolloin CLT-rakentaminen on kokonaan ns. kuivaa rakentamista. Tämä nopeuttaa rakentamista huomattavasti, eikä rakentamisesta aiheudu myöskään muille rakenteille rakennusaikaista kosteuskuormaa. CLT toimii rakenteiden höyrynsulkuna tiiveytensä ansiosta, jolloin erillistä höyrynsulkumuovia ei tarvita. (CLT-suunnittelun ohje, 2019, 2.)

Levyt työstetään koneellisesti tehtaalla, jossa käytettävät mittatiedot voidaan siirtää työstökeskukseen tietomallista, jonka vuoksi erillisiä valmistuspiirustuksia ei aina vaadita. Suunniteltaessa on kuitenkin huomioitava tehtaan työstökeskuksen reunaehdot. (RT 21-11289, 6.)

Ennen tulevia, CLT:n sisältäviä eurokoodeja, suunnittelijalla on käytössä periaatteessa kaksi eri tapaa lujuuslaskennassa. Suunnittelija voi käyttää laskennassa valmistajien ilmoittamia kestävyiksiä tai poikkileikkauksen ominaisuuksia. (The CLT Handbook, 2019, 30.)

CLT:n kiinnittämisessä käytetään yleisimmin itseporautuvia puuruuveja, teräslevyjä sekä ankkurinauloja ja -ruuveja. Markkinoilla on laaja valikoima eripituisia puuruuveja ja teräslevyjä, joilla voidaan toteuttaa voimaa siirtäviä liitoksia. Kuormituksen suunta CLT:n kiinnitysten suunnittelussa on oleellista erisuuntaisten puunsyiden vuoksi. (The CLT Handbook, 2019, 72.)

CLT:n palomitoitus ei sisälly kansalliseen mitoitukseen, mutta siinä sovelletaan EN 1995-1 mukaista tehollisen poikkileikkauksen menetelmää. CLT-levyn hiiltyminen on yksidimensionaalista tasomaisen rakenteen johdosta (RIL 205-2-2019, 22.) CLT-rakenteille laaditussa ruotsalaisessa suunnitteluohjeessa The CLT Handbook

käytetään mitoituskaavoja perustuen mahdollisimman laajasti eurooppalaisiin standardeihin ja eurokoodeihin. Mikäli edellä mainittujen pohjalta ei voida käyttää laskentakaavoja, käytetään tutkimuksen ja käytännöstä saatujen kokemusten kautta syntyneitä mitoitusmenettelyjä. (Puuinfo, 2019.) Liitteessä 5 esitetään CLT-levyn mitoitus.

### **Rakenteiden vertailu**

Paikalla rakentaessa rakennusmateriaalit ovat nopealla toimituksella puutavaraliikkeestä saatavilla CLT-levyihin verraten, sahatavara on kevyttä työstää ja käsitellä, eikä vaadi erityisiä nostotöitä. CLT-levyt voidaan toimittaa mittatarkasti työstettynä työmaalle ja niiden asentamisessa voidaan käyttää tavallisia kiinnikkeitä kuten paikalla rakentaessakin (The CLT Handbook, 2019, 72.) Lisäksi CLT-levyä käyttäen voidaan vähentää työvaiheita, kuten höyrynsulun asentaminen, sillä se on itsessään riittävän tiivis (CLT-suunnittelun ohje, 2019, 2.)

Karkeutettuja työmenekkejä verraten CLT-elementit asennettaisiin yhden työvuoron aikana paikalleen, kun paikalla rakentaessa yhden työvuoron aikana saataisiin kahden työntekijän työryhmällä 50m<sup>2</sup> aikaiseksi. (Ratu 0423, Ratu 0436.) Tämän kokoisessa kohteessa se ei tee merkittävää eroa, mutta sisätilat saadaan nopeammin säältä suojaan.

## **6 Pohdinta**

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli selvittää CLT:n käyttömahdollisuuksia vesikattorakenteessa vaihtoehtona paikalla rakennetulle vesikatolle sekä tuottaa alustavat rakennelaskelmat paikalla rakennetulle vesikatolle. Tavoitteita lähdettiin toteuttamaan kirjallisuuskatsauksella CLT:n valmistajien julkaisuista, valmistajien teknisistä ohjeista sekä suunnitteluohjeista. Rakennesuunnitteluun haettiin suunnitteluohjeita ja suunnittelua ohjaavia ja määrääviä lakeja sekä asetuksia. Rakenteiden suunnittelu alkoi rakennuksen teräsrungon hahmotuttua lopulliseen

muotoonsa tietomallissa arkkitehtisuunnitelmien pohjalta, jonka jälkeen vesikaton puurakenteet soviteltiin runkoon. Rakennelaskelmat lähdettiin toteuttamaan suunnitteluohjeiden perusteella paikalla rakennettavalle vesikatolle, CLT-levylle käytettiin Crosslamin suunnitteluohjetta.

Työssä käytetty aineisto oli ajantasaista ja luotettavista lähteistä kerättyä sisältäen myös kansainvälisiä lähteitä. CLT:n kohdalla tiedonhankinnassa ja aineiston analysoinnissa joutui suodattamaan paljon eri valmistajien markkinointimateriaalia, mutta tarjolla oli myös luotettavia suunnitteluohjeita. Aineiston analysoinnissa tärkeintä oli lähteiden validius. Työn edetessä aiheen rajaus osoittautui haasteelliseksi ja työn kokonaisuus oli vaikea resursoida aikataulullisesti työmäärän kasvaessa.

Opinnäytetyön tulokset vastasivat rakenteiden kantavuuden osalta alkutilanteessa asetettuja tavoitteita. Kantaville rakenteille saatiin kuormitukset ja palkkikoot mitoitettua, mutta rakennelaskelmille budjetoitu aikataulu osoittautui arvioitua haastavammaksi, jonka vuoksi liitosmitoituksiin ei tässä työssä ole paneuduttu. Resurssien onnistuneella optimoinnilla rakennesuunnitelmat olisivat täydentyneet merkittävästi.

Työn tuloksena saatiin CLT:n käytölle perusteluja työssä tarkasteltavana olevaan kohteeseen. CLT-elementteinä toteutus olisi työmaalle nopeampaa, mutta vaatisi erityisempää suunnittelua rakenteille. Pitää muistaa, että suuri vaikutus rakennusvaihtoehdoissa on myös kustannukset, mutta tässä työssä niitä ei selvitetty.

Työn tuloksista rakennelaskelmia ei voida ottaa käytäntöön sellaisinaan, koska opinnäytetyön tekijältä puuttuu riittävä pätevyys vaativan rakennesuunnittelutehtävän toteuttamiseen. Laskelmat ovat ylipäättään alustavat tässä vaiheessa. Lisäksi opinnäytetyön julkaisuun mennessä laskelmille ei ole suoritettu ulkopuolista tarkistusta, joten niiden luotettavuutta ei voida varmistaa.

## Lähteet

A 3/16. Ympäristöministeriön asetus rakenteiden suunnitteluperusteita koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1990. Viitattu 13.4.2020.  
<https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/700001/42808>

A 214/2015. Valtioneuvoston asetus rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokkien määräytymisestä. Viitattu 5.4.2020.  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150214>

A 477/2014. Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista. Viitattu 13.4.2020.  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140477>

CLT-rakenteiden suunnitteluohje. 2019. Tiedote Puuinfon verkkosivuilta. Viitattu 5.5.2020. <https://www.puuinfo.fi/tiedote/clt-rakenteiden-suunnitteluohje>

CLT-suunnittelun ohje. 2019. Crosslam. <https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/clt-suunnittelun-ohje.pdf>

Kananen, J. 2017. Laadullinen tutkimus pro graduna ja opinnäytetyönä. Suomen Yliopistopaino.

Karjalainen, M. 2020. Puurakentamisen asema ja mahdollisuudet Suomessa. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakentaminen/puurakentamisen-asema-ja-mahdollisuudet-suomessa>

Kerto-kate, luja ja jäykkä kattojen kantava aluslevy. 2015. Metsä-Woodin tuote-esite. <https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Kerto-Kate-esite.pdf>

L 132/1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki. Viitattu 16.4.2020.  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

Ratu 0423. 2014. Rakennustieto Oy. RT Tietoväylä. Kortistot. Puurunkorakentaminen, vesikattorakenteet. Viitattu 10.5.2020.

Ratu 0436. 2014. Rakennustieto Oy. RT Tietoväylä. Kortistot. Puuelementtirakentaminen, väli- ja yläpohjaelementit. Viitattu 10.5.2020.

RIL 107-2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohje. 2012. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.

RIL 195-1-2018. Rakenteellinen paloturvallisuus. 2018. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.

RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. 2017. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.

RIL 205-1-2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. 2017. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.

RIL 205-2-2019. Puurakenteiden palomitoitus eurokoodi EN 1995-1-2. 2019. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.

RIL 229-1-2013. Rakennesuunnittelun asiakirjaohje. Tekstiosa. 2013. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.

RT 21-11289. 2017. Rakennustieto Oy. RT Tietoväylä. Kortistot. Puutavara jatkojalosteet. Viitattu 30.4.2020.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2016. Rakenteiden lujuus ja vakaus, Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet.

The CLT Handbook, CLT structures – facts and planning. 2019. Tukholma: Swedish wood.

Yritysesittely. N.d. WSP Finland Oy. Päivitetty 20.12.2019. Viitattu 15.4.2020

# Liitteet

Liite 1. Rakennelaskelmien selostus

## Laskentamenetelmät

Mitoitus suoritetaan käsinlaskentana sekä joissain tapauksissa statiikkaohjelmaa hyödyntäen. Puurakenteiden laskelmissa esitetyt kaavaviittaukset ovat Puurakenteiden suunnitteluohjeesta RIL 205-1-2017, teräsrakenteiden laskelmien kaavaviittaukset ovat Ruukin Hitsatut profiilit EN 1993 -käsikirjasta. Materiaalien kestävyysominaisuudet ja osavarmuuskertoimet ovat Eurokoodi 5 ja 3 -suunnittelustandardeista ja niiden Suomen kansallisista liitteistä.

## Normit ja kuormitukset

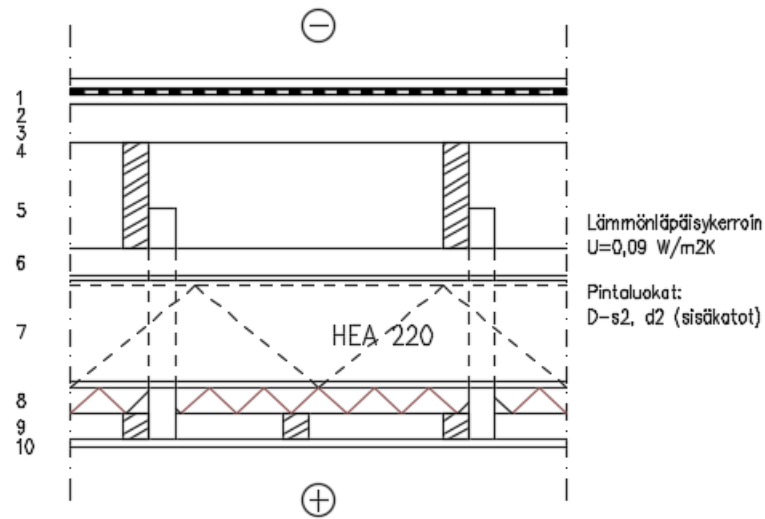
Määräykset ja ohjeet	
Puurakenteet	Eurocode 5
Soveltamisohje	RIL 205-1-2017 (kaavaviitteet)
Palonkestovaatimus	Osastoivat rakenteet EI30
Teräsrakenteet	Eurocode 3
Soveltamisohje	Ruukki Hitsatut profiilit EN 1993 -käsikirja (kaavaviitteet)
Kuormitukset	
Paikallarakennettu yläpohja	1,0 kN/m <sup>2</sup>
CLT-rakenteinen yläpohja	1,3 kN/m <sup>2</sup>
Lumikuorma maan pinnalla	2,75 kN/m <sup>2</sup>
Vesikaton hyötykuorma	1,6 kN/m <sup>2</sup>

**Materiaalien lujuusluokat yleensä**

Puupalkit	Sahatavara C24
Teräspalkit	S355

## Liite 2. Yläpohjarakenne

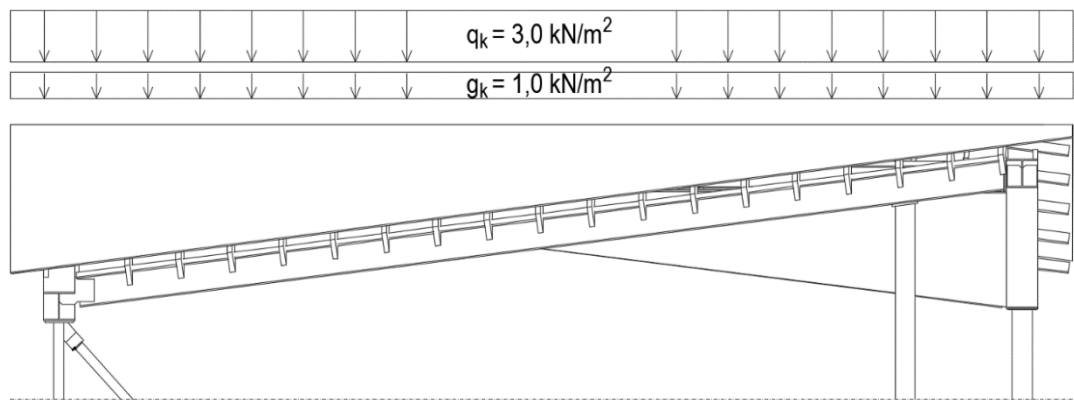
1:10



- |        |   |
|--------|---|
| 1      | Konesaumattu rivipeltikate, muovipinnoitettu teräspelti 0,6 mm.   |
| 2      | Aluskate, pintasirotteeton polyesterirunkoinen eristyskermi AKK1. Esim. TarraPolar.   |
| 18 mm  | 3 Vesikatteen aluslevy, esim. Wisa-Kate 18mm.   |
| 73 mm  | 4 Sahatavara mitallistettu 48x73 mm k900.   |
| 198 mm | 5 Sahatavara mitallistettu C24 48x198 mm k500.  |
| 48 mm  | 6 Sahatavara mitallistettu 48x198 mm, kiinnitys HEA220 palkkiin.  |
| 190 mm | 7 Kantava teräsrunko HEA220, runkoväleissä polyuretaanieriste esim. FF-PIR ALK 190 mm, $\lambda_{\text{design}}=0,022 \text{ W/mK}$ .   |
| 50 mm  | 8 Teräspalkin HEA220 alapintaan polyuretaanieriste esim. FF-PIR ALK 50 mm, $\lambda_{\text{design}}=0,022 \text{ W/mK}$ , saumat teipataan alumiiniteipillä, levyjen kiinnitystä varten asennetaan apurunko kts. rakennesuunnitelmat. |
| 48 mm  | 9 Koolaus 48x48 mm k300.  |
| 10     | Sisäkaton puupaneeli arkkitehtisuunnitelmien mukaan.  |

## Liite 3. Kuormituskaavio

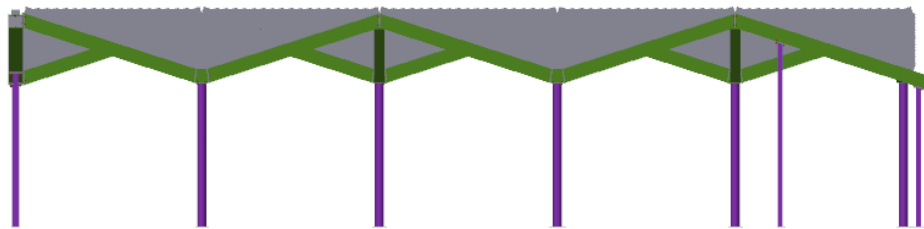
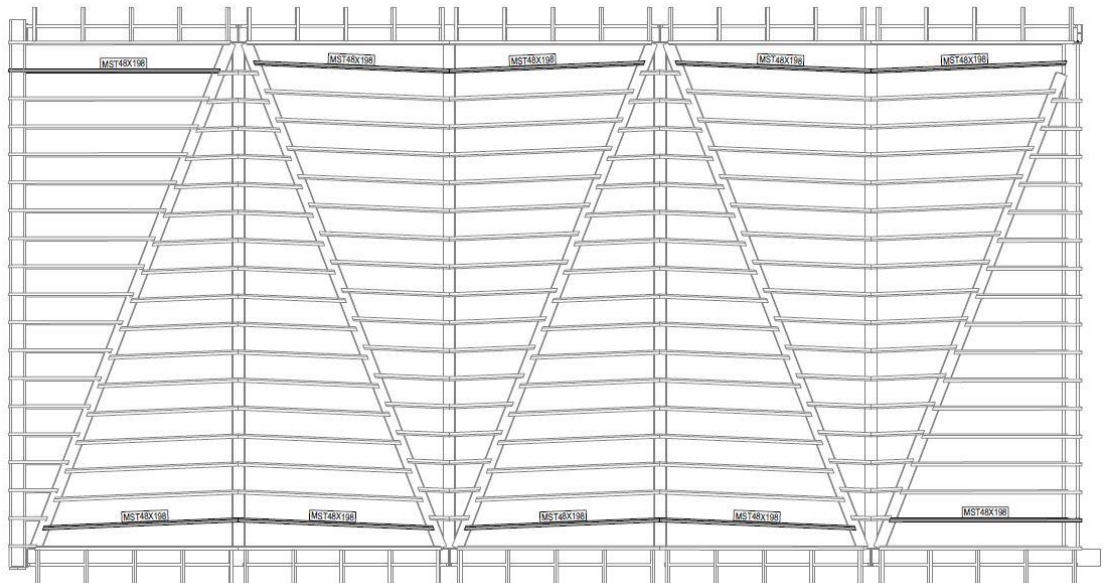
Yläpohjan kuormat koostuvat yläpohjan omapainosta ja lumikuormasta. Rakennus sijaitsee Jyväskylässä, joten lumikuorman ominaisarvo maassa on  $s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$ , tähän lisätään 10% 100 vuoden käyttöiälle, jolloin  $s_k = 2,75 \text{ kN/m}^2$ . Katon muotokerroin on yleensä  $\mu_1 = 0,8$ , mutta jiirien kohdalla kinostuma aiheuttaa muotokertoimeksi  $\mu_3(\alpha_1 + \alpha_2)/2 = 1,06$ , jolloin katolla olevan lumikuormaa ominaisarvo on  $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$ .



## Liite 4. Vesikaton puupalkiston rakennelaskelmat

Sahatavara 48x198 C24

Keskipitkä aikaluokka



### Kuormat

Omapaino:

$$g_k = 0,5\text{m} \cdot 1,0 \text{ kN/m}^2 = 0,5 \text{ kN/m}$$

Lumikuorma:

$$q_k = 0,5\text{m} \cdot 3,0 \text{ kN/m}^2 = 1,5 \text{ kN/m}$$

Hyötykuorma:

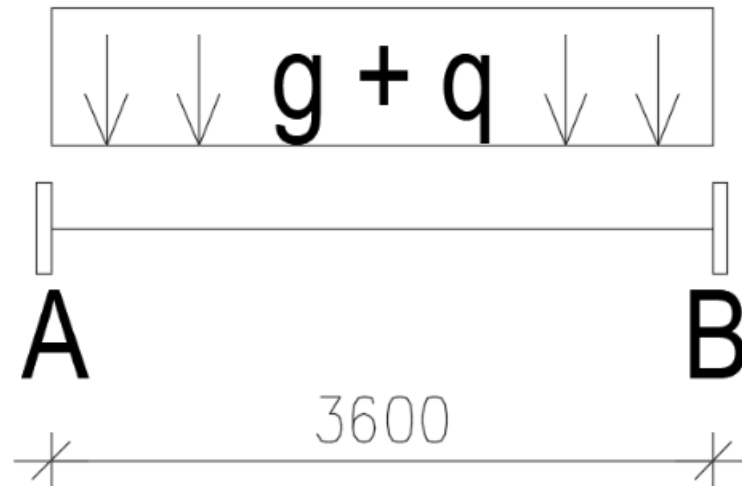
$$q_k = 0,5\text{m} \cdot 1,6 \text{ kN/m}^2 = 0,8 \text{ kN/m}$$

Kuormitusyhdistelmä:

$$p_d = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \quad (2.1.1S)$$

$$= 1,0 \cdot (1,15 \cdot 0,5 + 1,5 \cdot (1,5 + 0,8)) = 4,0 \text{ kN/m}$$

### Rasitukset



Taivutusmomentti:

$$M_d = qL^2 / 24 = 4,0 \text{ kN/m} \cdot (3,6\text{m})^2 / 24 = 2,2\text{kNm}$$

Leikkausvoima:

$$V_d = qL / 2 = 4,0 \text{ kN/m} \cdot 3,6\text{m} / 2 = 7,2 \text{ kN}$$

### Sisäiset jännitykset

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d} = 6 \cdot M_d / (b \cdot h^2) = 6 \cdot 2,2 \cdot 10^6 \text{ Nmm} / (48\text{mm} \cdot (198\text{mm})^2) = 7,0 \text{ N/mm}^2$$

Leikkausjännitys:

$$\tau_d = 3/2 \cdot V_d / (b_{ef} \cdot h) = 3/2 \cdot 7\,200 \text{ N} / (48\text{mm} \cdot 198\text{mm}) = 1,14 \text{ N/mm}^2$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 1,0 \cdot 48\text{mm} = 48\text{mm} \quad (6.13a)$$

Poikittainen puristus:

$$\sigma_{c,90,d} = N_d / (b \cdot h) = 7\,200 \text{ N} / (48\text{mm} \cdot 198\text{mm}) = 0,76 \text{ N/mm}^2$$

### Kestävyydet

$$k_{mod} = 0,8 \quad (\text{taul. 3.1})$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad (\text{taul. 2.12-FI})$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = 0,8 \cdot 24 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 4,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \cdot 4,0 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 2,46 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = 0,8 \cdot 2,5 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 11\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 7\,400 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{taul. 3.3S})$$

### Mitoitusehdot

Taivutus:

$$k_m \cdot \sigma_{m,d} / f_{m,d} \quad (6.11)$$

$$= 0,7 \cdot 7,0 \text{ N/mm}^2 / 14,77 \text{ N/mm}^2 = 0,47$$

Käyttöaste 47%

$$k_m = 0,7$$

Leikkaus:

$$\tau_d / f_{v,d} = 1,14 \text{ N/mm}^2 / 2,46 \text{ N/mm}^2 = 0,46 \quad \text{Käyttöaste 46\%}$$

Kiepahdus:

$$\sigma_{m,crit} = c \cdot b^2 / (h \cdot l_{ef}) \cdot E_{0,05} \quad (6.31.1S)$$

$$= 0,78 \cdot (48\text{mm})^2 / (198\text{mm} \cdot 1\,296\text{mm}) \cdot 7\,400\text{N/mm}^2 = 51,8 \text{ N/mm}^2$$

$$l_{ef} = a + 2 \cdot h = 900\text{mm} + 2 \cdot 198\text{mm} = 1\,296\text{mm}$$

a = kiepahdustuentäväli

h = palkin korkeus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{24 \text{ N/mm}^2 / 51,8 \text{ N/mm}^2} = 0,7 \quad (6.34)$$

$$k_{crit} = 1,0, \text{ kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\sigma_{m,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) \quad (6.33)$$

$$7,0 \text{ N/mm}^2 / (1,0 \cdot 14,77 \text{ N/mm}^2) = 0,47 \quad \text{Käyttöaste 47\%}$$

Poikittainen puristus:

$$k_{c,\perp} = l_{c,90,ef} / l \cdot k_{c,90} = 159\text{mm} / 48\text{mm} \cdot 1,25 = 2,0 \quad (6.4S)$$

$$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d}) \quad (6.3)$$

$$0,76 \text{ N/mm}^2 / (2,0 \cdot 1,54 \text{ N/mm}^2) = 0,25 \quad \text{Käyttöaste 25\%}$$

## Taipuma

Jäyhyysmomentti:

$$I_y = b \cdot h^3 / 12 = 48\text{mm} \cdot (198\text{mm})^3 / 12 = 31 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma, pysyvät kuormat:

$$w_{\text{inst.G}} = 1/384 \cdot g_k \cdot L^4 / (100 \cdot E_{0,\text{mean}} \cdot I_y)$$

$$= 1/384 \cdot 0,5 \text{ N/mm} \cdot (3\,600\text{mm})^4 / (100 \cdot 11\,000 \text{ N/mm}^2 \cdot 34 \cdot 10^6 \text{ mm}^4) = 0,6 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma, muuttuvat kuormat:

$$w_{\text{inst.Q}} = 1/384 \cdot q_k \cdot L^4 / (100 \cdot E_{0,\text{mean}} \cdot I_y)$$

$$= 1/384 \cdot (1,5 \text{ N/mm} \cdot (3\,600\text{mm})^4 / (100 \cdot 11\,000 \text{ N/mm}^2 \cdot 34 \cdot 10^6 \text{ mm}^4) = 1,9 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma:

$$w_{\text{inst}} = w_{\text{inst.G}} + w_{\text{inst.Q}} = 0,6\text{mm} + 1,9\text{mm} = 2,5 \text{ mm} \quad (2.2)$$

Lopputaipuma:

$$k_{\text{def}} = 0,8$$

$$w_{\text{net.fin}} = (1 + k_{\text{def}}) \cdot w_{\text{inst.G}} + (1 + 0,3k_{\text{def}}) \cdot w_{\text{inst.Qlumi}} + (0,7 + 0,3 k_{\text{def}}) \cdot w_{\text{inst.Qhyöty}} \quad (7.2)$$

$$= (1 + 0,8) \cdot 0,6\text{mm} + (1 + 0,3 \cdot 0,8) \cdot 1,9\text{mm} + (0,7 + 0,3 \cdot 0,8) \cdot 1\text{mm} = 3,5\text{mm}$$

Mitoitusehto:

$$w_{\text{net.fin}} \leq L / 200 \quad (\text{taul. 7.2-FI})$$

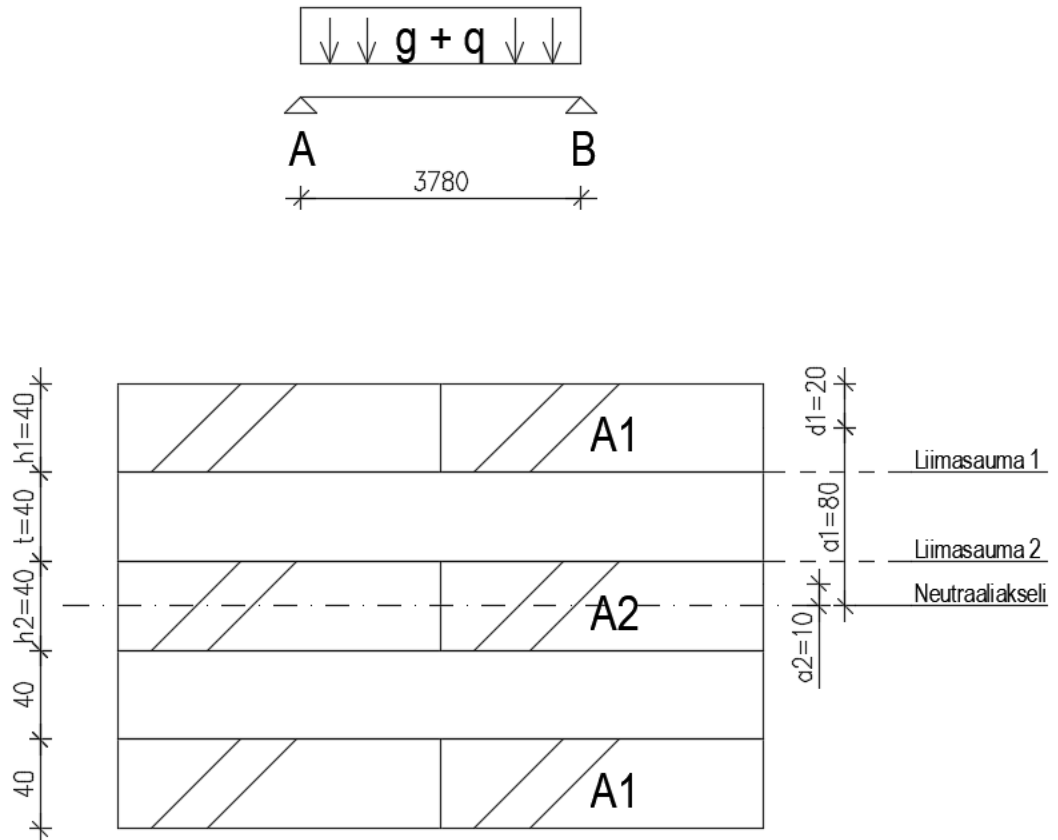
$$= 3\,600\text{mm} / 200 = 18\text{mm} > 3,5\text{mm}$$

Käyttöaste 19%

## Liite 5. CLT-levyn rakennelaskelmat

CrossLam -mitoitusohjeen mukaan

C5-200-40 C24

**Kuormat**

Omapaino:

 $g_k = 1,3 \text{ kN/m}^2$  (CrossLam Kuhmo CLT C5-200-40)

Lumikuorma:

 $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$ **Rasitukset**

Taivutusmomentti:

$$M_{y,d} = qL^2 / 8$$

$$= ((1,15 \cdot 1,3 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 \text{ m} + 1,5 \cdot 3,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 \text{ m} + 1,5 \cdot 1,6 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 \text{ m}) \cdot (3,78 \text{ m})^2) / 8 = 15 \text{ kNm}$$

Leikkausvoima:

$$V_d = qL / 2 = (1,15 \cdot 1,3 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 \text{ m} + 1,5 \cdot 3,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 \text{ m} + 1,5 \cdot 1,6 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 3,78 \text{ m}) / 2 = 15,9 \text{ kN}$$

Tehollinen jäyhyysmomentti:

$$E_{0,\text{mean}} = 11\,500 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT - kimmomoduuli})$$

$$G_{R,\text{mean}} = 65 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT - liukumoduuli})$$

$$L = 3\,780 \text{ mm}$$

$$t = 40 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm} \quad (\text{tarkasteltavan poikkileikkauksen leveys})$$

$$h_1 = h_2 = 40 \text{ mm}$$

$$a_1 = 80 \text{ mm}$$

$$a_2 = 20 \text{ mm}$$

$$d_1 = 20 \text{ mm}$$

$$A_1 = b \cdot h_1 = 1\,000 \text{ mm} \cdot 40 \text{ mm} = 40\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = b \cdot h_2 = 1\,000 \text{ mm} \cdot 40 \text{ mm} = 40\,000 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_1 = 1 / [1 + (\pi^2 \cdot E_{0,\text{mean}} \cdot A_1) / L^2] \cdot (t / G_{R,\text{mean}} \cdot b)$$

$$= 1 / [1 + (\pi^2 \cdot 11\,500 \text{ N/mm}^2 \cdot 40\,000 \text{ mm}^2) / (3\,780 \text{ mm})^2] \cdot (40 \text{ mm} / 65 \text{ N/mm}^2 \cdot 40 \text{ mm})] = 0,836447$$

$$I_{y,1} = b \cdot h_1^3 / 12 + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2$$

$$= 1000 \text{ mm} \cdot (40 \text{ mm})^3 / 12 + 0,836447 \cdot 40\,000 \text{ mm}^2 \cdot (80 \text{ mm})^2 = 219\,463\,765 \text{ mm}^4$$

$$I_{y,2} = b \cdot h_2^3 / 12 = 1000 \text{ mm} \cdot (40 \text{ mm})^3 / 12 = 5\,333\,333 \text{ mm}^4$$

$$I_{ef,L} = 2 \cdot I_{y,1} + I_{y,2} = 2 \cdot 219\,463\,765 \text{ mm}^4 + 5\,333\,333 \text{ mm}^4 = 444\,260\,863,7 \text{ mm}^4$$

Tehollinen taivutusvastus:

$$W_{ef,L} = I_{ef,L} / (\gamma_1 \cdot a_1 + d_1) = 444\,260\,863,7 \text{ mm}^4 / (219\,463\,765 \text{ mm}^4 \cdot 80 \text{ mm} + 20 \text{ mm}) = 5\,111\,396 \text{ mm}^3$$

Teholliset staattiset momentit:

$$S_{ef,1} = A_1 \cdot \gamma_1 \cdot a_1 = 40\,000 \text{ mm}^2 \cdot 0,836447 \cdot 80 \text{ mm} = 2\,656\,000 \text{ mm}^3$$

$$S_{ef,2} = A_1 \cdot \gamma_1 \cdot a_1 + A_2 / 2 \cdot a_2$$

$$= 40\,000 \text{ mm}^2 \cdot 0,836447 \cdot 80 \text{ mm} + 40\,000 \text{ mm}^2 / 2 \cdot 20 \text{ mm} = 2\,856\,000 \text{ mm}^3$$

Taivutuskestävyys:

$$k_{mod} = 0,8$$

$$\gamma_M = 1,25 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT - osavarmuusluku})$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{sys} = \min(1 + 0,025n ; 1,2) \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT - kuormanjakoluku})$$

$n = 7$ , vierekkäisten lamellien määrä tarkasteltavassa poikkileikkauksessa

$$k_{sys} = 1,175$$

$$f_{m,d} = k_{mod} / \gamma_M \cdot f_{m,k} \cdot k_{sys}$$

$$= 0,8 / 1,25 \cdot 24 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,175 = 18,43 \text{ N/mm}^2 > 2,94 \text{ N/mm}^2 \quad \underline{\text{Käyttöaste: 16\%}}$$

Leikkauskestävyys liimasaumassa 1 ja 2:

$$\tau_d = (V_d \cdot S_{ef,1}) / (I_{ef,L} \cdot b)$$

$$= (15\,900 \text{ N} \cdot 2\,656\,000 \text{ mm}^3) / (444\,260\,863,7 \text{ mm}^4 \cdot 1\,000 \text{ mm}) = 0,09 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{R,d,0} = k_{mod} / \gamma_M \cdot f_{R,k,0}$$

$$= 0,8 / 1,25 \cdot 0,95 \text{ N/mm}^2 = 0,61 \text{ N/mm}^2 > 0,10 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 16%

Leikkauskestävyys neutraaliakselilla:

$$f_{v,k} = 4,0 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{lamellin leikkauslujuus})$$

$$\tau_d = (V_d \cdot S_{ef,2}) / (I_{ef,L} \cdot b)$$

$$= (15\,900 \text{ N} \cdot 2\,856\,000 \text{ mm}^3) / (444\,260\,863,7 \text{ mm}^4 \cdot 1\,000 \text{ mm}) = 0,10 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} / \gamma_M \cdot f_{v,k}$$

$$= 0,8 / 1,25 \cdot 4,0 \text{ N/mm}^2 = 2,56 \text{ N/mm}^2 > 0,10 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 4%

Taipuma:

$$\Psi_2 = 0,2 \quad (s_k < 2,75 \text{ kN/m}^2)$$

$$k_{def} = 0,8$$

$$w_{inst,G} = (5/384) \cdot (g_k \cdot L^4) / (E_{0,mean} \cdot I_{ef,L})$$

$$= (5/384) \cdot (1,3 \text{ N/mm}^2 \cdot (3\,780 \text{ mm})^4) / (11\,500 \text{ N/mm}^2 \cdot 444\,260\,863,7 \text{ mm}^4) = 0,7 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q} = (5/384) \cdot (q_k \cdot L^4) / (E_{0,mean} \cdot I_{ef,L})$$

$$= (5/384) \cdot (3,0 \text{ N/mm}^2 \cdot (3\,780 \text{ mm})^4) / (11\,500 \text{ N/mm}^2 \cdot 444\,260\,863,7 \text{ mm}^4) = 1,6 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q} = (5/384) \cdot (q_k \cdot L^4) / (E_{0,mean} \cdot I_{ef,L})$$

$$= (5/384) \cdot (1,6 \text{ N/mm}^2 \cdot (3\,780 \text{ mm})^4) / (11\,500 \text{ N/mm}^2 \cdot 444\,260\,863,7 \text{ mm}^4) = 0,8 \text{ mm}$$

$$\sum w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 0,7 \text{ mm} + 1,6 \text{ mm} + 0,8 \text{ mm}$$

$$= 3,1 \text{ mm} < L/400 = 9,5 \text{ mm}$$

Käyttöaste: 33%

$$w_{fin} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) + (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,Q}$$

$$= 0,7 \text{ mm} \cdot (1 + 0,8) + (1 + 0,2 \cdot 0,8) \cdot 1,6 \text{ mm} + (1 + 0,2 \cdot 0,8) \cdot 0,8 \text{ mm}$$

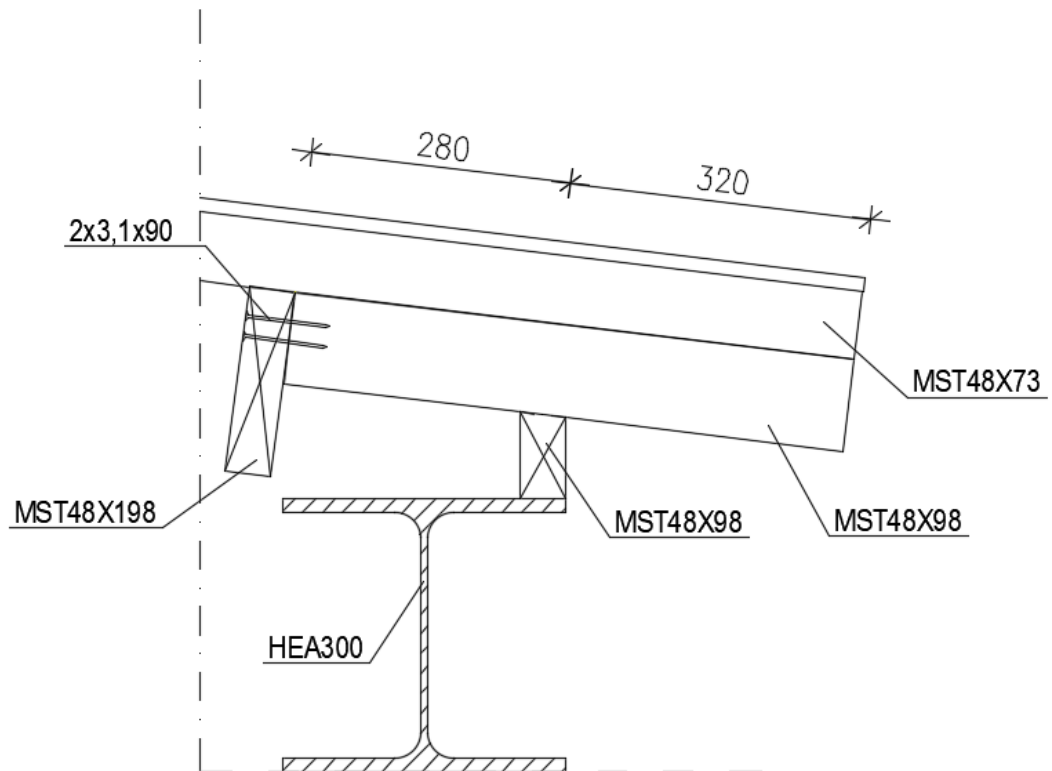
$$= 3,9 \text{ mm} < L/300 = 12,6 \text{ mm}$$

Käyttöaste: 31%

## Liite 6. Räystäsvasojen rakennelaskelmat

Sahatavara 48x98 C24

Keskipitkä aikaluokka

**Kuormat**

Omapaino:

$$g_k = 0,9\text{m} \cdot 1,0 \text{ kN/m}^2 = 0,9 \text{ kN/m}$$

Lumikuorma:

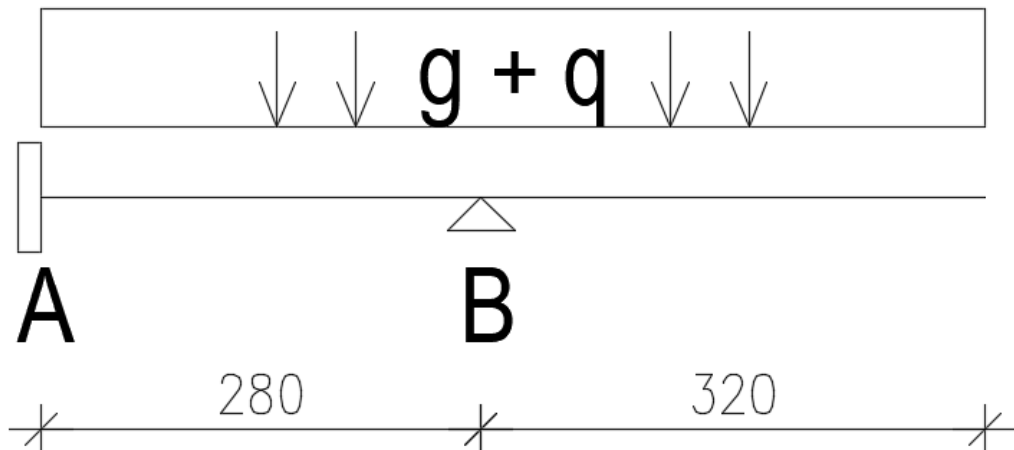
$$q_k = 0,9\text{m} \cdot 3,0 \text{ kN/m}^2 = 2,7 \text{ kN/m}$$

Kuormitusyhdistelmä:

$$p_d = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \quad (2.1.1S)$$

$$= 1,0 \cdot (1,15 \cdot 0,9 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 2,7 \text{ kN/m}) = 5 \text{ kN/m}$$

## Rasitukset



Taivutusmomentti:

$$M_{\text{kenttä}} = (q / 8L^2) \cdot (L^2 - a^2)$$

$$= (5,0 \text{ kN/m} / 8 \cdot (0,32\text{m})^2) \cdot ((0,28\text{m})^2 - (0,32\text{m})^2) = 0,005 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{kenttä}} = (-qa^2) / 2 = (-5 \text{ kN/m} \cdot (0,32\text{m})^2) / 2 = -0,26 \text{ kNm}$$

Tukireaktiot:

$$A = q / 2L \cdot (L^2 - a^2) = -0,21 \text{ kN}$$

$$B = q / 2L \cdot (L+a)^2 = 3,21 \text{ kN}$$

Leikkausvoima:

$$V_d = 3,21 \text{ kN} / 2 = 1,6 \text{ kN}$$

## Jännitykset

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d} = 6 \cdot M_d / (b \cdot h^2) = 6 \cdot 0,26 \cdot 10^6 \text{ Nmm} / (48\text{mm} \cdot (98\text{mm})^2) = 3,38 \text{ N/mm}^2$$

Leikkausjännitys:

$$\tau_d = 3/2 \cdot V_d / (b_{ef} \cdot h) = 3/2 \cdot 1\,600 \text{ N} / (48\text{mm} \cdot 98\text{mm}) = 0,51 \text{ N/mm}^2$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 1,0 \cdot 48\text{mm} = 48\text{mm} \quad (6.13a)$$

### Kestävyydet

$$k_{mod} = 0,8 \quad (\text{taul. 3.1})$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad (\text{taul. 2.12-FI})$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = 0,8 \cdot 24 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 4,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \cdot 4,0 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 2,46 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 7\,400 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{taul. 3.3S})$$

### Mitoitusehdot

Taivutus:

$$k_m \cdot \sigma_{m,d} / f_{m,d} \quad (6.11)$$

$$= 0,7 \cdot 3,38 \text{ N/mm}^2 / 14,77 \text{ N/mm}^2 = 0,16 \quad \underline{\text{Käyttöaste 16\%}}$$

$$k_m = 0,7$$

Leikkaus:

$$\tau_d / f_{v,d} \quad (6.13)$$

$$= 0,51 \text{ N/mm}^2 / 2,46 \text{ N/mm}^2 = 0,21 \quad \underline{\text{Käyttöaste 21\%}}$$

Kiepahdus:

$$\sigma_{m,crit} = c \cdot b^2 / (h \cdot l_{ef}) \cdot E_{0,05} \quad (6.31.1S)$$

$$= 0,78 \cdot (48\text{mm})^2 / (98\text{mm} \cdot 600\text{mm}) \cdot 7\,400\text{N/mm}^2 = 226 \text{ N/mm}^2$$

$$l_{ef} = 600 \text{ mm}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{24 \text{ N/mm}^2 / 226 \text{ N/mm}^2} = 0,33 \quad (6.30)$$

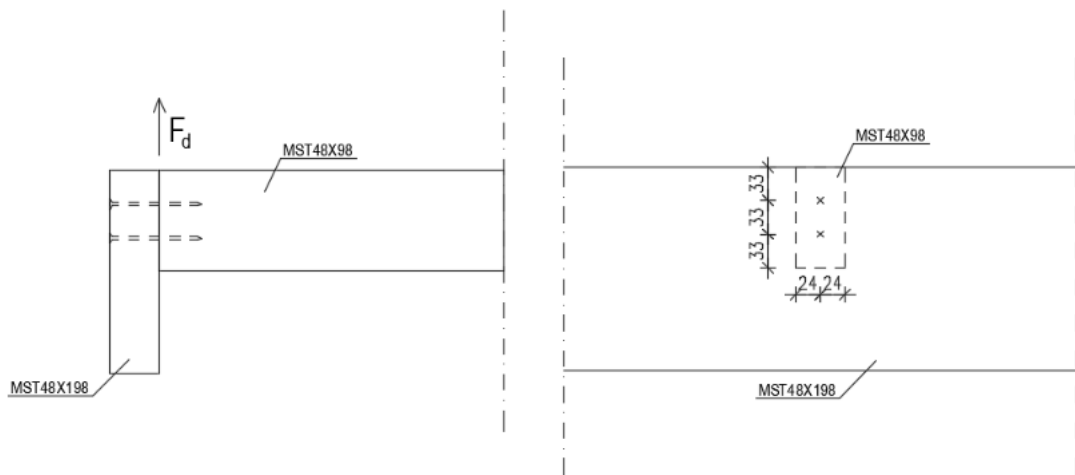
$$k_{\text{crit}} = 1,0, \text{ kun } \lambda_{\text{rel.m}} \leq 0,75 \quad (6.34)$$

$$\sigma_{\text{m,d}} / (k_{\text{crit}} \cdot f_{\text{m,d}}) \quad (6.33)$$

$$3,38 \text{ N/mm}^2 / (1,0 \cdot 14,77 \text{ N/mm}^2) = 0,23$$

Käyttöaste 23%

### Liitos



$$F_d = 0,21 \text{ kN}$$

Räystäsvasat kiinnitetään kattovasan kylkeen konenauloilla kattovasan läpi.

Konenaulat kooltaan 3,1x90, leikkausvoimakkestävyys RIL 205-1-2017 taulukon 8.1S mukaan. Liitoksessa otettava huomioon puun päätyliitos, jonka mitoitusarvona käytetään kolmasosaa normaalin naulaliitoksen mitoituskestävyydestä.

$$R_d = 560 \text{ N} / 3 = 186,7 \text{ N}$$

mitoitusehto 2 naulalla:

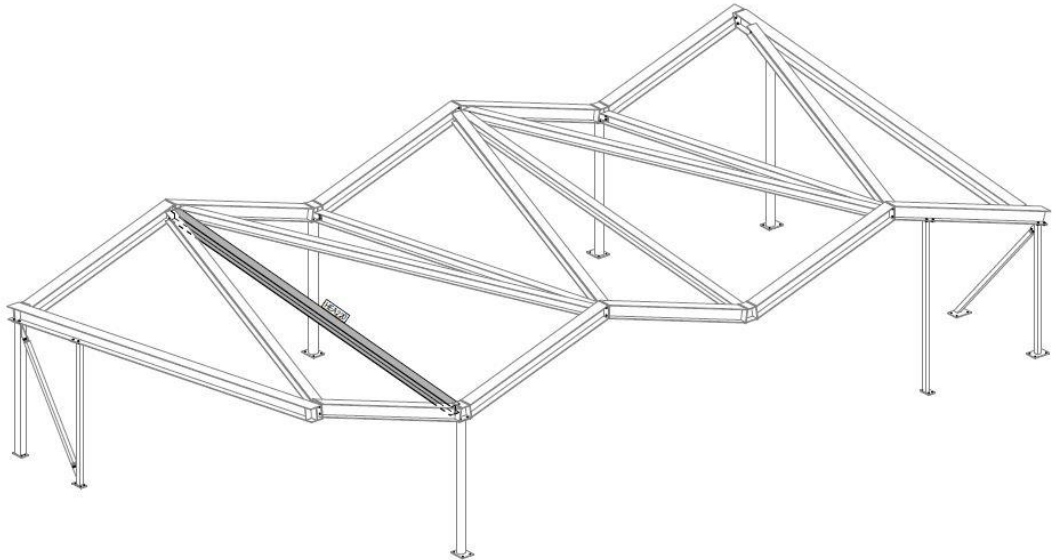
$$F_d / (2 \cdot R_d) = 210 \text{ N} / (2 \cdot 186,7 \text{ N}) = 0,56$$

Käyttöaste 56%

## Liite 7. Sekundääripalkin rakennelaskelmat

HEA220 S355

Poikkileikkausluokka 2

**Kuormat**

Omapaino:

$$g_k = 0,5 \text{ kN/m} + 3,8\text{m} \cdot 1 \text{ kN/m}^2 = 4,3 \text{ kN/m}$$

Lumikuorma:

$$q_{k1} = 3,8\text{m} \cdot 3,0 \text{ kN/m}^2 = 11,4 \text{ kN/m}$$

Ripustus:

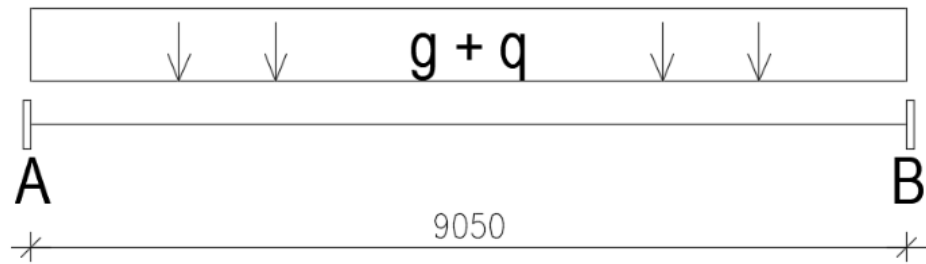
$$q_{k2} = 3,8\text{m} \cdot 1,6 \text{ kN/m}^2 = 6,1 \text{ kN/m}$$

Kuormitusyhdistelmä:

$$p_d = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \quad (2.1.1S)$$

$$= 1,0 \cdot (1,15 \cdot 4,3 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 11,4 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 6,1 \text{ kN/m}) = 31,2 \text{ kN/m}$$

## Rasitukset



Taivutusmomentti:

$$M_d = qL^2 / 24 = 31,2 \text{ kN/m} \cdot (9,05\text{m})^2 / 24 = 106,5 \text{ kNm}$$

Leikkausvoima:

$$V_d = qL / 2 = 31,2 \text{ kN/m} \cdot 9,05\text{m} / 2 = 141,2 \text{ kN}$$

## Kestävyydet

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

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

$$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$G = 81\,000 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuskestävyys:

$$M_{c,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} \quad (2.46)$$

$$= (568\,460 \text{ mm}^3 \cdot 355 \text{ N/mm}^2) / 1,0 = 201,8 \text{ kNm}$$

Leikkauslommahdus

$$h_w / t_w > 72 (\epsilon / \eta)$$

$$188/7 = 26,86 < 72 \cdot (0,81/1,2) = 48,6 \rightarrow \text{leikkauslommahdus ok.}$$

Kiepahdus:

$$M_{b,Rd} = W_{pl,y} \cdot (\chi_{LT} f_y / \gamma_{M1}) \quad (2.85)$$

$$= 568,4 \cdot 10^3 \cdot (1,0 \cdot 355 \text{ N/mm}^2 / 1,0) = 201,8 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,0 \quad (2.86a)$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left[ \sqrt{\left( \frac{k}{k_\omega} \right)^2 \cdot \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right] \quad (2.89)$$

$$= 24\,213\,796\,239 \text{ Nmm}$$

muunnettu hoikkuus

$$\lambda_{LT} = \sqrt{(W_y f_y / M_{cr})} \quad (2.88)$$

$$= \sqrt{(568,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \cdot 355 \text{ N/mm}^2 / 24\,213\,796\,239 \text{ Nmm})} = 0,09$$

→  $\lambda_{LT} < 0,2$ , kiepahduskestävyys ok.

Leikkauskestävyys:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} \quad (2.101)$$

$$= 2067 \text{ mm}^2 / (355 \text{ N/mm}^2 / \sqrt{3}) / 1,0 = 423,7 \text{ kN}$$

**Mitoitusehdot**

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd} \quad (2.45)$$

$$106,5 \text{ kNm} / 201,8 \text{ kNm} = 0,53 \quad \underline{\text{Käyttöaste 53\%}}$$

$$M_{Ed} \leq M_{b,Rd} \quad (2.84)$$

$$106,5 \text{ kNm} / 201,8 \text{ kNm} = 0,53 \quad \underline{\text{Käyttöaste 53\%}}$$

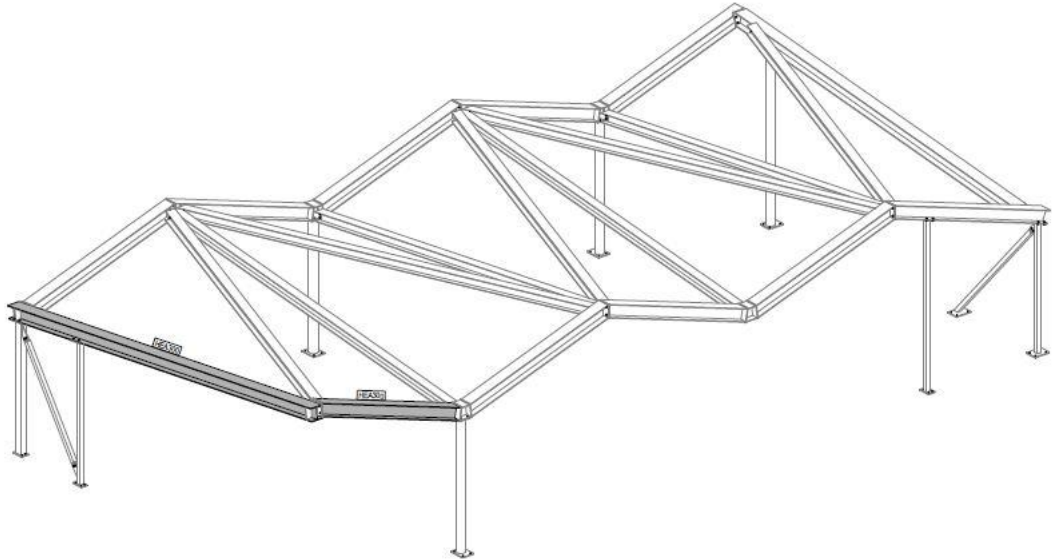
$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd} \quad (2.100)$$

$$141,2 \text{ kN} / 423,7 \text{ kN} = 0,33 \quad \underline{\text{Käyttöaste 33\%}}$$

## Liite 8. Primääripalkin rakennelaskelmat

HEA300 S355

Poikkileikkausluokka 3

**Kuormat**

Omapaino:

$$g_k = 0,9 \text{ kN/m} + 1,9\text{m} \cdot 1 \text{ kN/m}^2 = 2,8 \text{ kN/m}$$

Lumikuorma:

$$q_{k1} = 1,9\text{m} \cdot 3,0 \text{ kN/m}^2 = 5,7 \text{ kN/m}$$

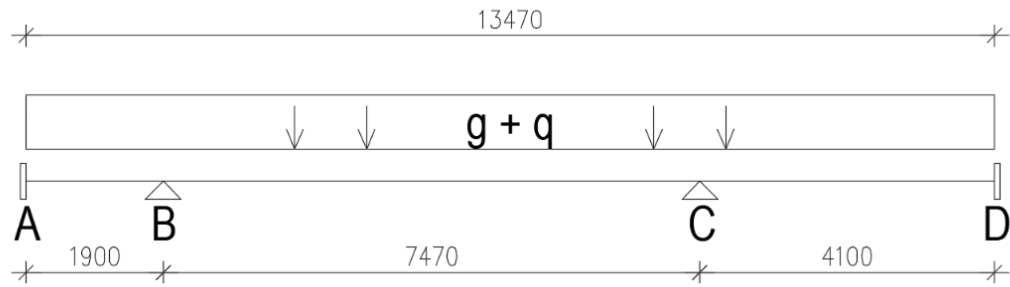
Ripustus:

$$q_{k2} = 1,9\text{m} \cdot 1,6 \text{ kN/m}^2 = 3,0 \text{ kN/m}$$

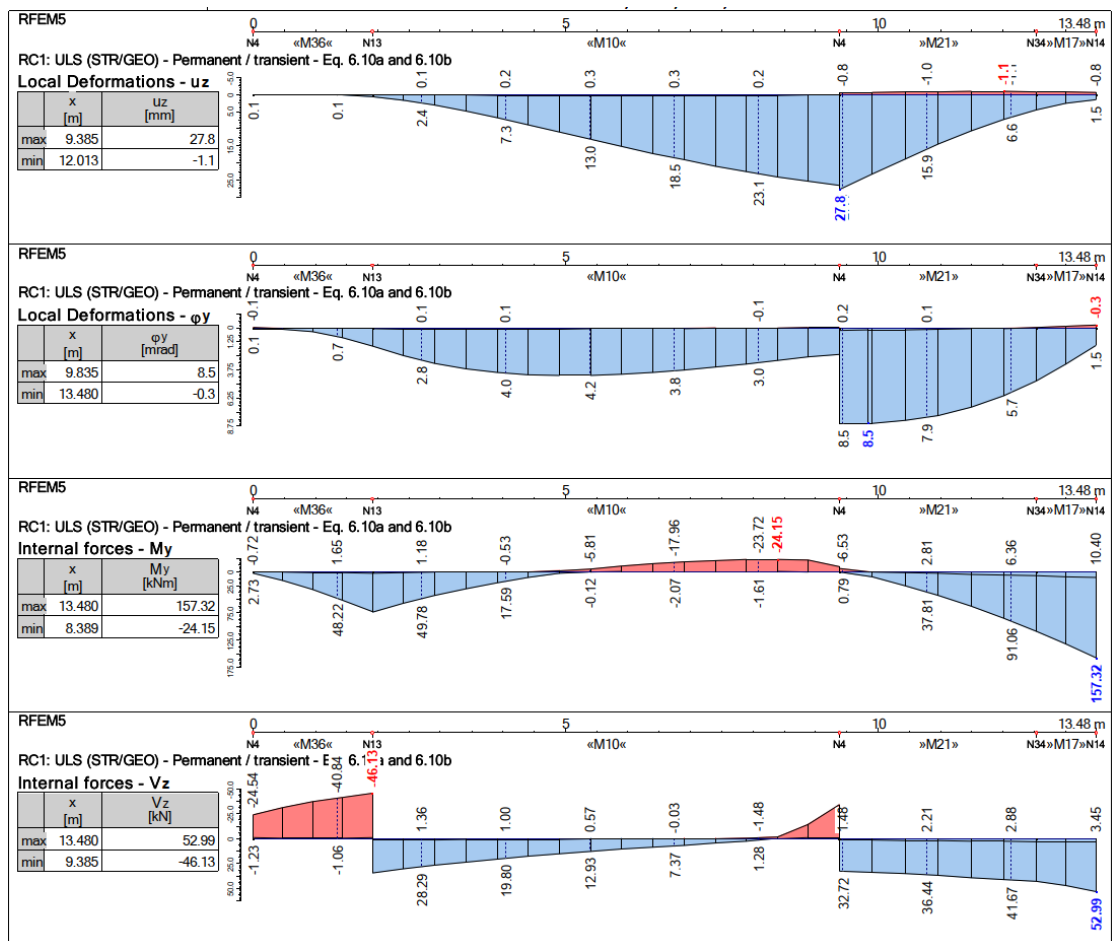
Kuormitusyhdistelmä:

$$p_d = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \quad (2.1.1S)$$

$$= 1,0 \cdot (1,15 \cdot 2,8 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 5,7 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 3,0 \text{ kN/m}) = 16,3 \text{ kN/m}$$



Rasitukset statiikkaohjelmasta



Kestävyydet

taivutus:

$$M_{c,Rd} = (W_{pl,z} \cdot f_y) / \gamma_{M0} \tag{2.46}$$

$$= (1,38 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \cdot 355 \text{ N/mm}^2) / 1,0 = 490 \text{ kNm}$$

Leikkaukestävyys:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} \quad (2.101)$$

$$= 3 \, 728 \, \text{mm}^2 / (355 \, \text{N/mm}^2 / \sqrt{3}) / 1,0 = 764,1 \, \text{kN}$$

Leikkauslommahdus

$$h_w / t_w > 72 (\epsilon / \eta)$$

$$262/8,5 = 30,8 < 72 \cdot (0,81/1,2) = 48,6 \rightarrow \text{leikkauslommahdus ok.}$$

Kiepahdus

$$M_{b,Rd} = W_{el,y} \cdot (\chi_{LT} f_y / \gamma_{M1}) \quad (2.85)$$

$$= 1,26 \cdot 10^6 \cdot (1,0 \cdot 355 \, \text{N/mm}^2 / 1,0) = 447,3 \, \text{kNm}$$

$$\chi_{LT} = 1,0 \quad (2.86a)$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left[ \sqrt{\left( \frac{k}{k_\omega} \right)^2 \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right] \quad (2.89)$$

$$= 205 \, 642 \, 025 \, 930 \, \text{Nmm}$$

muunnettu hoikkuus

$$\lambda_{LT} = \sqrt{(W_{el,y} f_y / M_{cr})} \quad (2.88)$$

$$= \sqrt{(1,26 \cdot 10^6 \, \text{mm}^3 \cdot 355 \, \text{N/mm}^2 / 205 \, 642 \, 025 \, 930 \, \text{Nmm})} = 0,05$$

$\rightarrow \lambda_{LT} < 0,2$ , kiepahduskestävyys ok.

$$M_{b,Rd} = W_{el,y} \cdot (\chi_{LT} f_y / \gamma_{M1}) = 447,3 \, \text{kNm}$$

### Mitoitusehdot

Taivutus

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd} \quad (2.45)$$

$$157,3 \, \text{kNm} / 490 \, \text{kNm} = 0,32$$

Käyttöaste 32%

Kiepahdus

$$M_{Ed} \leq M_{b,Rd} \quad (2.84)$$

$$157,3 \text{ kNm} / 447,3 \text{ kNm} = 0,35$$

Käyttöaste 35%

Leikkaus

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd} \quad (2.100)$$

$$53 \text{ kN} / 764,1 \text{ kN} = 0,07$$

Käyttöaste 7%

Taipuma  $L/300$

$$27,8 \text{ mm} < 9370 \text{ mm} / 300 = 32,4 \text{ mm}$$

Käyttöaste 86%