

Alexi Jokihaara

## HALLIRAKENNUKSEN LUONNOS

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2016



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

## HALLIRAKENNUKSEN LUONNOS

Jokihaara, Aleks  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Elokuu 2016  
Ohjaaja: Sandberg, Rauno  
Sivumäärä: 34  
Liitteitä: 11

Asiasanat: Rakennesuunnittelu, rakentaminen, laskelmat, palkki-pilari

---

Opinnäytetyön tehtävänä oli suunnitella luonnoskuvat liimapuurakenteiselle hallille. Tilaajan tarpeena oli saada sopivat tilat yrityksen toimintaan tulevaisuudessa. Halli haluttiin suunnitella palkki-pilari järjestelmällä. Tilaajana on rakennusyritys ja hallin suunnittelu yritettiin toteuttaa niin että suurimman osan rakentamisesta pystyisi tekemään itse.

Työ oli todella haastava. Pelkästään hallin rakenteiden suunnittelu ja rakenneteknisesti oikein toteutettu rakennus olivat todella työläitä toteuttaa. Kokemattomalle suunnittelijalle työssä oli valtavasti opettelemista.

Työn tuloksena valmistuivat lämpöarvot täyttävät rakenteet halliin, jotka täyttävät rakenteiden vaatimat kuormat. Lisäksi valmistuivat pohja-, julkisivu- ja leikkauskuvat.

## SKETCH OF HALL BUILDING

Jokihaara, Aleksi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Construction engineering

August 2016

Supervisor: Sandberg, Rauno

Number of pages: 34

Appendices: 11

Keywords: Designing, construction, estimates, beam-and-stanchion system

---

The purpose of this thesis was to design a sketch pictures from glued laminated timber hall. The subscriber's need was to get suitable premises for a company in the future. Hall wanted to design a beam-and-stanchion system. The client is Construction Company and hall tried to carry out the design so that the building would be able to do most of the company itself.

The work was challenging. Only design of the hall structures was really tedious to implement. Inexperienced designer the work was to learn a huge amount.

Result of work complete to hall structures that meet required loads, and thermal transmittance values of the structures. In addition, completed plan, sectional drawing and elevations drawing.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TYÖN TAVOITTEET .....	7
2.1	Tarpeet .....	7
2.2	Rakennustekninen suunnitelma .....	7
2.3	Rakennesuunnittelu.....	7
2.4	Pääkannattaja .....	8
2.5	Rungon mitoituksen periaatteita .....	8
2.6	Kuormitukset.....	8
2.7	Palkin ja pilarin liitos .....	9
2.8	Pilarien ja perustusten liitos .....	10
2.9	Rungo jäykistäminen .....	10
3	RAKENNELASKELMAT.....	10
3.1	Rakenteellinen järjestelmä.....	10
3.1.1	Mastopilarin laskenta.....	11
3.1.2	Tuulipilarin laskenta.....	11
3.1.3	Nurkkapilarin laskenta.....	11
3.1.4	Harjapalkin laskenta .....	12
3.1.5	Päätypalkin laskenta .....	12
4	HALLIN SUUNNITTELU .....	12
4.1	Tilasuunnittelu .....	13
4.2	Rakenneosat .....	13
4.2.1	Perustukset	13
4.2.2	Alapohjarakenne.....	14
4.2.3	Ulkoseinärakenne .....	15
4.2.4	Yläpohjarakenne.....	16
4.2.5	Ikkunat ja ovet	17
4.2.6	Väliseinärakenne .....	18
4.2.7	Energiaselvitys .....	18
4.3	Lämmöneristys.....	18
4.3.1	Lämmönläpäisevyyskertoimet.....	19
4.4	Maanvastaiset rakenteet.....	27
5	PALOMÄÄRÄYKSET .....	30
5.1	Paloluokka.....	30
5.2	Suojaustaso .....	31

5.3 Palo-osastointi.....	32
6 YHTEENVETO .....	32
LÄHTEET.....	34
LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön käsittelee hallin luonnoskuvien prosessia ja rakennuksen mahdollista rakentamista tulevaisuudessa. Rakentamisen on oltava nykypäivänä kustannustehokasta ja kiinteistön käytön kannattavaa. Rakennuksen on oltava sellainen että käytöstä ei muodostu suuria kustannuksia. Rakennuksesta on myös tehtävä mahdollisimman pitkäikäinen. Rakennuksen on oltava myös mahdollisimman hyvin muunneltavissa ja laajennettavissa. Rakennuksen tarve syntyy silloin kun tilan tarve syntyy. Rakennuksessa on huomioitava myös nykyiset lait ja säädökset.

Opinnäytetyö tehdään yritykselle joka on perustettu vuonna 2000 ja nimeltään Noormarkun laaturakentajat oy. Olen yrityksessä osakkaana ja yritystä on kasvatettu merkittävästi muutaman viimevuoden aikana. Yrityksen kasvu on johtanut siihen että tilat joissa yritys toimii ovat käyneet liian ahtaiksi.

Halli on tarkoitus toteuttaa myöhemmin tulevaisuudessa ja hahmotella sille tehokkaat ja järkevät tilat. Halli on puurakenteinen ja kantava runko toteutetaan palkki pilari järjestelmällä. Tavoitteena on luoda halli jossa on hyvät tilat yrityksen tarpeisiin sekä mahdollisia tiloja vuokrausmielessä. Yrityksellä on saneeraus ja rakennus puoli joka tarvitsee tiloja työkaluille ja erilaisia varastotiloja työmateriaaleille. Yrityksen toinen osa on koulutuspuoli, joka antaa ammattipätevyyskoulutuksia ja muun muassa tuli- ja työturvallisuuskorttikoulutuksia. Yritys joutuu tällä vuokraamaan tiloja ulkopuolisilta käyttäjiltä ja halliin tulisi koulutus sekä sosiaalitilat koulutus tarpeisiin. Kolmas haara on myymälä joka on nimeltään Tilespoint pori, myymälä on pääosin laattamyymälä, mutta myymme myös muita lattiapintoja ja materiaaleja. Hallilta vaaditaan siis myös tilaa varastotuotteille, joita voimme ottaa varastoon ja toimittaa nopeammin ja kustannustehokkaammin asiakkaille.

## 2 TYÖN TAVOITTEET

### 2.1 Tarpeet

Hallia lähdettiin luonnostamaan yrityksen tarpeiden mukaan. Tarpeiden kartoittamisen jälkeen hallirakennuksen kooksi saatiin 40x16 m<sup>2</sup>. Hallin vasempaan päättyyn tulee koulutustilat, jotka ovat kooltaan 12x10 m<sup>2</sup>. Koulutus tiloissa on mahdollista kouluttaa kooltaan maksimissaan noin kolmenkymmenen hengen ryhmä. koulutustilojen taakse tulee sosiaalitulat joissa sijaitsee WC, keittiö ja taukotilat. Keskellä hallia on yrityksen varasto ja hallitilaa 14x16m<sup>2</sup>. Hallin toiseen päättyyn tulee kaksi erillistä tilaa kooltaan 7x16m<sup>2</sup>.

### 2.2 Rakennustekninen suunnitelma

Rakennus päätettiin toteuttaa puurakenteisena. Syynä puurunkoisen rakennuksen toteutukseen oli kustannustehokkuus, koska yritys voi omalla työllään pienentää rakennuskustannuksia. Runko toteutetaan pilaripalkki menetelmällä, jossa pilarit jäykistävät rakennuksen. Pilarien päälle tulevat harjapalkit kantavat hallin katon ja ovat hallin pääkannattajat. Pilarit tulevat halliin 7m välein. Pilarien väliin tulee puusta rakennetut kantamattomat eristetyt puuseinät.

### 2.3 Rakennesuunnittelu

Rakennesuunnittelun tarkoituksena on luoda rakennukselle toimiva rakennejärjestelmä arkkitehtisuunnitelmien pohjalta. Puurakenteet suunnitellaan siten, että standardissa EN 1990:2002 ja sitä koskevat perusvaatimukset täyttyvät. Puurakenteiden kuormat ja niiden yhdistelmät määritetään Eurokoodi 1:n ja sen kansallisen liitteen mukaan.

## 2.4 Pääkannattaja

Hallin pääkannattimena on liimapuurakenteinen harjapalkki, joka tukeutuu pilareihin. Harjapalkin yläreuna on tuettu kiepahdusta vastaa kattopalkeilla. Harjapalkit pinnoitetaan säänkestävällä suoja-aineella. Harjapalkin mitoitusluokka on pysyvässä ja keskipitkässä aikaluokassa.

## 2.5 Rungon mitoituksen periaatteita

Mitoittaessa pääkannattajia, otetaan huomioon kattorakenteen mahdollinen jatkuvuus. Kattorakenteen ollessa 2-aukkoinen on pääkannattajan kuormituksen lisäys elementin keskituella 20–25% ja 3-aukkoisella pienempi, noin 5-10 % kattokannattajan jäykkyydestä johtuen. Kiepahduksenvastainen tuenta tarkistetaan aina erikseen. Palonkesto aika määrittää poikittaistuelle vähimmäispalonkestoajan. Pääkannattajana käytettäessä palkkia, on mitoituksessa tarkistettava vähintään puristusjäännitys, taipuma, leikkausvoima ja tuella tukipaine. Pilarin kohdalla on tarkistettava pystykuormien ja momentin yhteisvaikutus. Kun mitoitetaan pilaria tuulikuormalle, voidaan olettaa kattokannattajan välittävän noin puolet suojan puoleiselle pilarille. Pilarin ja pääkannattajan liitoksessa tarkistetaan tukipaine. (Puuhallin rakenteet 2009 [viittaus 18.4.2010])

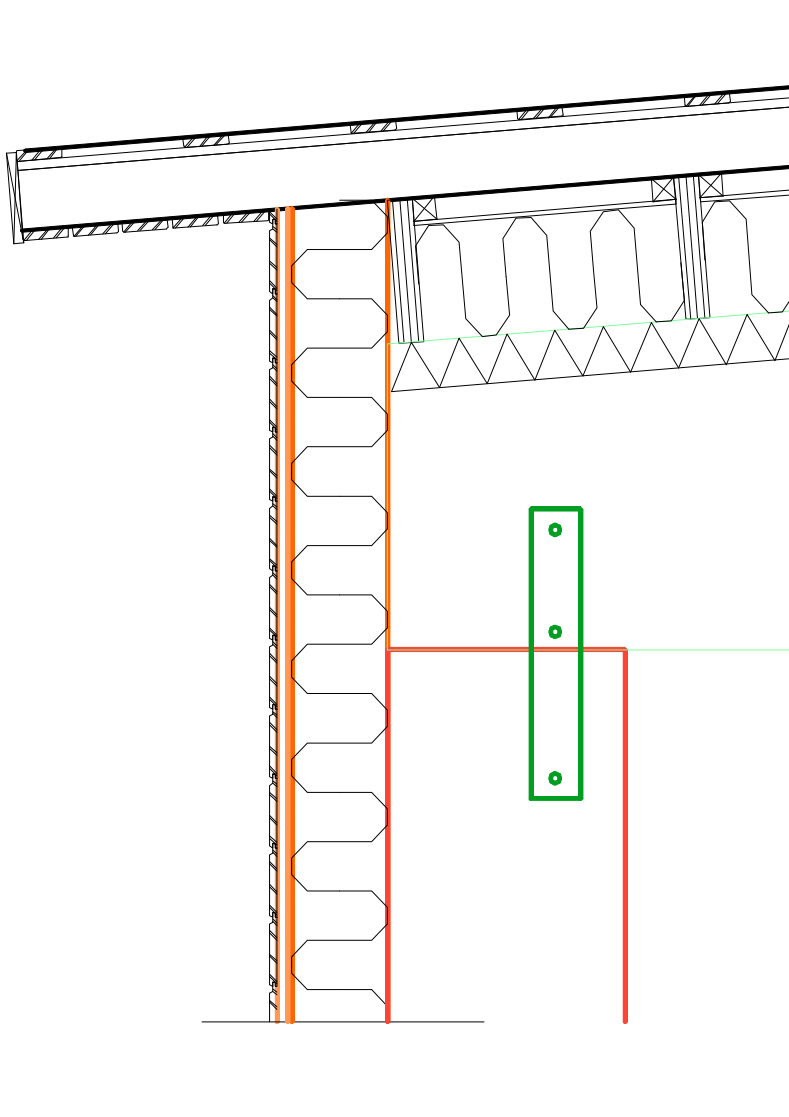
## 2.6 Kuormitukset

Rungon mitoituksessa on otettava huomioon rakenteen omapaino, pystysuuntainen lumikuorma, muut ripustuskuormat sekä vaakasuuntainen tuulikuorma. Katon omapaino koostuu pääkannattajasta (n 0,1 kN/m<sup>2</sup>). Valaistus- ja ilmastointilinjat ja johdinlinjat muodostavat ripustuskuorman (n 0,1 kN/m<sup>2</sup>). Lisäksi paikkakunta vaikuttaa lumikuormaan, joka voi olla 2,0 – 3,5 kN/m<sup>2</sup>. Rakennuksen maastoluokka ja korkeus puolestaan muodostavat tuulikuorman. Puiselle hallirakennukselle paineen ominaisarvot ovat normaalisti 0,5 – 0,7. (Puuhallin rakenteet 2009 [viittaus 18.4.2010])



## 2.7 Palkin ja pilarin liitos

Pilarin ja palkin liitos toteutetaan nivel liitoksena, joka siirtää vaaka- ja pystyvoimia. Liitokseen tulee molemmin puolin lattateräkset, jotka kiinnitetään läpipulteilla sekä pilariin että palkkiin. Pultteja varten tehtävät reijät palkkiin tehdään soikeina jotta palkin kosteus eläminen saadaan toteutettua.



Kuva 1. Pilarin ja palkin liitos

## 2.8 Pilarien ja perustusten liitos

Pilareina käytetään mastopilareita ottamaan rakennuksen tuulikuormitukset vastaan. Tämä tarkoittaa että pilarin ja perustusten välinen liitos siirtää tuulikuorman suunnassa myös momenttikuormia. Tuulikuormitusten suhteen jäykkä liitos voidaan toteuttaa pilarikengällä. Pilarin päähän sahataan sen molemmin puolin kaksi kahdeksan millimetrin levyistä uraa pilarikengän vaarnalevyille. Kun kengät on asennettu, porataan tappivaarnoille reiät samanaikaisesti sekä pilarin että vaarnalevyjen läpi. Tämän jälkeen asennetaan vaarnatapit. Sahaus urat täytyy täyttää puusoiroilla. Kun pilari nostetaan paikoilleen, asennetaan muttereilla perustuksen pilareihin valettuihin kierretankoihin. Asennuksen jälkeen perustuksen ja pilarin väliin suoritetaan jälkivalu. Pilarin ja valun väliin on asennettava huopakaista estämään kosteuden nousua pilariin. (Puupilarikengät 2000 [viittaus 4.5.2010])

## 2.9 Rungon jäykistäminen

Rakennus tulee jäykistää joka suunnalta tuulikuormaa vastaan. Lyhyen sivun suunnassa mastopilarit toimivat jäykisteenä. Mastopilarit kiinnitetään alapäästään jäykästi, joten ne johtavat tuulikuorman perustuksille.

Rakennuksen pitkäsivun jäykistykseen on pilareiden väliin sijoitettavat puiset tai metalliset tuuliristikot. Tuuliristikko voidaan sijoittaa mihin tahansa pilarin väliin rakennuksen sivulla, kunhan niiden välimatkat eivät kasva liian suureksi.

# 3 RAKENNELASKELMAT

## 3.1 Rakenteellinen järjestelmä

Rakennuksen rungon muodostaa liimapuusta tehty palkki-pilari järjestelmä. Pilarit ovat alapäästään kiinteästi asennettuja ja yläpäästään vapaana. Kattorakenne muodostuu harjapalkeista ja niihin kiinnirakennettavista niskoista. Rakennuskohteen halli

jäykistetään rungon poikittaisuunnassa mastopilareilla ja rungon pituussuunnassa mastopilarien ja pääkannattimien väliin sijoitettavilla jäykisteristikoilla. Tuulikuorma välitetään mastopilareille vaaksuuntaisilla ulkoseinäelementeillä. Päätyseinät tuetaan tuulipilareilla perustuksiin ja kattorakenteet välityksellä jäykisteristikoihin. (Puuinfo Oy. 2008. Sovelluslaskelmat.)

Perustamistapa	Maanvaraiset pilarianturat
Alapohja	Paikalla valettu teräsbetoni
Antura	Teräsbetoni
Sokkeli	Ei kantava elementti, lämpöeristetty
Ulkoseinät	Paikalla rakennettu, lämpöeristetty
Yläpohja	Paikalla rakennettu, lämpöeristetty
Väliseinät	Paikalla rakennettu

### 3.1.1 Mastopilarin laskenta

Runkokaaviossa on laadittu siten, että muut pilarit ovat k7000 välillä ja viimeinen väli on noin 4000mm. Mastopilarin koon kannalta määräävä tekijä on harjapalkin leveys. Kooksi määriteltiin 190 x 495 mm. Materiaalina liimapuu GL 32c. Määrääväksi kuormitustapaukseksi mitoituksen kannalta muodostui lumi.

### 3.1.2 Tuulipilarin laskenta

Tuulipilaria laskettaessa on tiedossa, että tuuli on määräävä kuorma, tällöin saadaan kuormitus täydeltä tuulelta ja yhdistelykertoimen kautta lumelta. Tuulipilarin leveyden määrää taivutusjännitys jonka käyttöaste nousi 97%.

### 3.1.3 Nurkkapilarin laskenta

Nurkkapilarin koon määrää puristuksen ja taivutusjännityksen yhteisvaikutus joka antaa käyttöasteeksi 77 %. Myöskään pilarin kiepahduksen jännitysheitoja ei tarvitse tarkistaa, koska  $K_{crit}$  lukemaksi saatiin 1.

### 3.1.4 Harjapalkin laskenta

Hallin poikittain kantavat liimapuukuranteiset harjapalkit ovat osa kantavaa kattorakennetta. Tämän vuoksi on laskettava palkin koko, jonka kautta yläpohjasta tulevat kuormat siirretään hallin seinille tuleville pilareille. Palkin materiaalina käytetään liimapuu GL32c:tä. Taivutusjännityksen kannalta määräävämmäksi kuormitustapaukseksi muodostui lumikuorma. Taivutusjännityksen mitoitus ehdolle mitoittava poikkileikkaus sijaitsee mm:n etäisyydellä jännevälin päästä. Tärkeimmäksi mitoitustekijäksi harjapalkin kannalta tuli taipumaraja jonka käyttöaste on 79%.

### 3.1.5 Päätypalkin laskenta

Laskennassa käytettiin oletuksena, että päätypalkin kuormitus on puolet mastopilarien välisestä etäisyydestä. Määrääväksi kuormitusyhdistelmäksi valittiin omapaino ja lumi. Taivutuslujuuden mitoitus ehdon käyttöasteeksi tuli 91 %, joka on myös palkin mitoitus ehto. Kiepahduksen jännitystarkastelu voidaan jättää tekemättä, koska palkin  $K_{crit}$  arvoksi tuli 1.

## 4 HALLIN SUUNNITTELU

Rakennuksessa on toimistotilat, koulutustilat, sosiaalitalat, varastotilat ja rakennustilat. Rakennuksen ulkovuoreksi on valittu ulkovuorilauta 20x140, ulkovuorilauta on väriltään harmaa. Räystä sekä pielilaudat ovat väriltään mustat ja rakennuksen katto on harjakattoinen classic peltikatto joka on väriltään harmaa. Lattiamateriaalina on teräsbetonilaatta joka hallitiloissa pinnoitetaan epoksimaalilla ja sosiaali- ja koulutus tiloihin laitetaan uivat vinyylilattiat. Wc tilaan tehdään lainmukaiset vesieristykset ja lattia ja seinät pinnoitetaan kaakeleilla. Kaikki seinät vuorataan kipsilevyllä. Kaikki hallin sisällä olevat seinät ovat kevytrakenteisia ja eristettyjä. Sekä seinät jotka vaativat palo-osastoinnin ovat tehty niin että ne täyttävät osastoinnin määritelmät. Suunnittelussa on otettava huomioon myös valaistus ja tilantuntu, sekä pinnat ja niiden materiaalit.

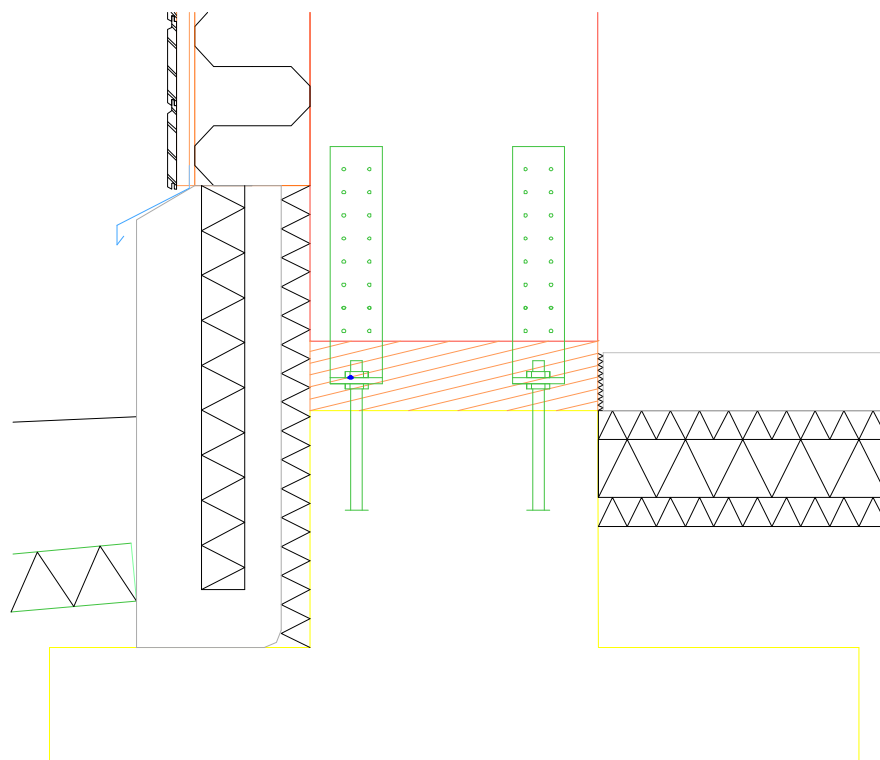
## 4.1 Tilasuunnittelu

Hallirakennus on monikäyttöinen rakennus ja sen elinaikana sitä voidaan käyttää monin eri käyttötarkoituksin joten sen helppo muunneltavuus on olennainen asia suunnittelussa. Rakennuksen malliksi valittiin suorakaidemalli koska sen muokattavuus ja laajentaminen ovat helppoja toteuttaa ja rakenteeksi palkkipilari rakenne joka antaa lisää mahdollisuuksia sisätilojen muokattavuuksille. Rakennuksen sosiaali-, koulutus-, toimisto- ja hallitilat on mitoitettava suunniteltavien henkilömäärien ja vaatimuksien mukaan.

## 4.2 Rakenneosat

### 4.2.1 Perustukset

Pohjatutkimuksissa määritellään rakennuksen perustamistapa sekä tarkastellaan routasuojauksen ja salaojituksen tarvetta. Perustukset suunnittelee rakenteiden pääsuunnittelija. Lähtökohdaksi suunnittelulle tarvitaan lupasarja, mitoitettu pohjapiirros sekä pohjatutkimus. Tämän rakennuksen perustaminen tehdään paikallaan valetuilla pilarianturoilla ja sokkelielementit nostetaan pilarianturoiden väliin. Pilarin kiinnittämiseen vaaditut teräsosat (peruspultit, kiinnityslevyt tai lattateräkset) sekä liitoksen vaatima lisäraudoitus (haat, pystylenkit) asennetaan peruspilariin. Peruspilari mitoitetaan käytännössä asennusterästen tilantarpeen mukaan sekä pysty- että vaakasuunnassa. Rakennuksen routasuojaukseksi tulee 100mm polystyreeni levyä ja se sijoitetaan vähintään 1:10 asteen kulmaan rakennuksesta ulospäin 1200mm leveydelle. Rakennus sijaitsee vyöhykkeellä 1 ja routasuojaukseksi laitetaan 100 mm. Sadevedet aiheuttavat rakennukseen kosteus ongelmia jos niistä ei huolehdi, sen takia vedet ohjataan sadevesiviemäriin, pintamaa ohjataan pois rakennuksesta. Mahdolliset rakennuksen reunoilla olevat vedet ohjataan salaojiin ja nostetaan sokkeli vähintään 300 mm maanpinnan yläpuolelle.



Kuva 2. Perustusluonnos

#### 4.2.2 Alapohjarakenne

Alapohjassa on tärkeää estää kosteuden kapilaarinen nousu rakenteisiin, sekä kosteuden ja pakkasen pääsy maaperään joka aiheuttaa maaperän routimista ja perustusten epätasaista liikkumista. Maaperän kantavuus on aina huomioitava siten että se kestää rakennuksen kuormat ja sen mukaan valittava oikeanlainen perustamistapa.

Lämmönläpäisykerroin  $U=0,16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

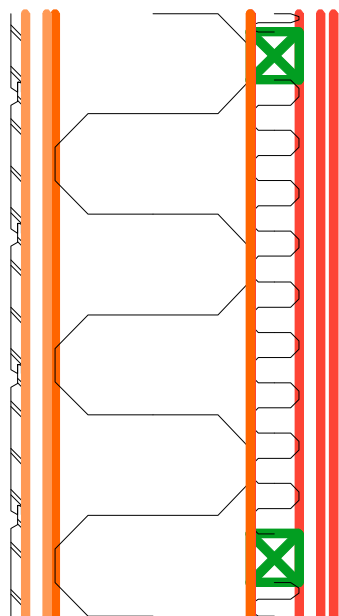
Alapohjarakenteena käytetään 100mm vahvuista teräsbetonilaattaa sekä ESP lämmöneristettä 50+50+100 mm. Lämmöneriste asennetaan limittäin estämään viivaisten ilmarakojen muodostumista. Lämmöneristeen alla on hyvin tiivistetty sora, jota on vähintään 300 mm sekä suodatinkangas.

### 4.2.3 Ulkoseinärakenne

Lämmönläpäisykerroin  $U=0,17 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

Ulkovuori ottaa rakennuksen ulkoseinän säärasitukset vastaan, joten on tärkeää tehdä ulkovuori materiaalista joka kestää sen. Kyseisen rakennuksen ulkovuori on puuverhoiltu, joten on huomioitava ulkovuoren tuulettuminen. Seinärakenteet ulkopuolen tuuletusvälin on oltava riittävän iso kuivaamaan julkisivurakenteen aiheuttama kosteus. Tuuletusvälin jälkeen tuulensuojalevy estää konvektion rakennuksen eristeisiin ja päästää vesihöyryä läpi. Höyrinsulkumuovi on vietävä mahdollisimman lähelle rakennuksen sisäpintaa, ettei sisäpuolen kosteus pääse tiivistymään seinän eristeisiin. Rakennus paineistetaan ilmanvaihdon avulla alipaineiseksi jotta kostea ilma ei myöskään pyri sisältä ulospäin. Julkisivumateriaalin valinnassa on huomioitava julkisivun sään kestävyys. Mahdollisia jatkoksia on vältettävä, kun asennetaan julkisivua. kun jatkoksia kuitenkin syntyy, Olisivat jatkokset maalattava.

Ulkoseinän on täytettävä Suomen rakennusmääräyskokoelman C4 ehdot lämmönläpäisevyydestä. Kohteen ulkoseinä toteutetaan seuraavasti: ulkoverhouslauta 20x140, koolaus 48x48, tuulensuojalevy 9mm, k600 + 200 villa, koolaus 48x48 + villa 50mm, höyrinsulkumuovi, 22x100 lauta, kipsilevy 13mm.



Kuva 3. Ulkoseinä

#### 4.2.4 Yläpohjarakenne

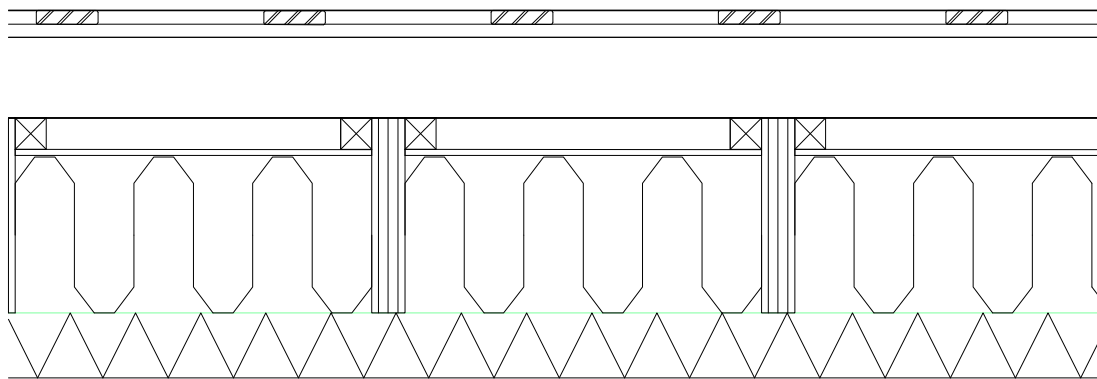
Yläpohjarakenteen tärkein tehtävä on suojata rakennusta luonnonvoimilta, eli pitää rakennus kuivana, kantaa sille tulevat kuormat ja muut säärasitukset. Yläpohjan rakenteeseen kuuluu myös räystäs joka suojaa rakennuksen seiniä säärasituksilta. Yläpohja koostuu kerroksista joista ylin on vesikate joka ottaa suurimmat säärasitukset vastaan ja ohjaa sadevedet ja lumet pois rakennuksesta. Seuraava rakenne on vesikateen pohjarakenne johon kuuluu aluskate joka varmistaa katon vedenpitävyyden. Vesikattorakenteiden alla on tuuletustila ja sen alapuolella sijaitsee kantavat rakenteet sekä lämmön eristys. Kantavien rakenteiden väliin on asennettu tuulensuojalevy, jota vasten pehmeä lämmöneriste asennetaan. Viimeisenä on katon sisäpuolen verhous. Myös vesikaton läpiviennit johdetaan tiiviisti läpi rakenteiden.

Yläpohjan rakennekerrokset:

	Peltikate
5 mm	Vaimennuskaista
22*100 mm	Ruodelauta
20*45 mm	Tuuletusrima
	Aluskate
123*48 mm	Koolaus
9 mm	Tuulensuojalevy
300*51 mm	Kantava rakenne
240 mm	Pehmeä lämmöneriste
100 mm	Lisä eristys
13 mm	Kipsilevy

Paloluokka REI 60 sekä lämmönläpäisykerroin  $U=0,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .





Kuva 4. Yläpohja rakenne hallissa.

Hallin yläpohjan rakenne on siis toteutettu peltikatteella, jonka ruodetavarana käytetään 22x100 sahatavaraa K350 jaolla, kiinnitysrimat 20x45 jako K900, aluskate, jonka alapuolella on tuuletusväli 123mm ja sen alapuolella kantavat kertopuupalkit K600 jaolla. Kertopuupalkiston väliin yläpintaan asennetaan tuulensuojalevy ja sen alapuolella on 240mm pehmeä lämmöneriste. Kantavan rakenteen alle asennetaan vielä lisälämmöneriste 100mm uretaanilevystä.

#### 4.2.5 Ikkunat ja ovet

On toimivuuden kannalta järkevää että rakennuksen kulkuaukot ovat riittävän isoja ja ne on suunniteltu rakennuksen tarpeiden mukaan. Tavaraa on helppo tuoda sisään ja sitä on helppo liikutella ja tuotteiden ehjänä säilyminen liikuteltaessa on olennaista. Ovien lämmöneristävyys on myös otettava huomioon ovien tilauksia tehdessä. Ovienaukkojen liikkuvuus on myös oltava esteetöntä ja sujuvaa. Ajoluiskilla on otettava huomioon maaperän mahdollinen routiminen.

Nosto-ovet ovat tyypillisimmät ovet uusissa hallirakennuksissa. Nosto-ovella on vähäinen tilantarve ja se auetessaan ei vie lainkaan tilaa oviaukon koosta pois. Jokaiseen tilaan rakennuksessa on kulku 10x21 ovella. Rakennuksessa on ovia ja ikkunoita seuraavasti

- Ikkuna 10x6 6 kpl

- Ikkuna 14x10 2 kpl
- Ulko-ovi 21x10 5kpl
- Väliovi 9x10 5kpl
- Nosto-ovi 4 kpl

Rakennuksen nosto-ovet valitaan valkoisina rakennukseen ja jokainen nosto-ovi varustetaan moottorilla helpottamaan ovien käyttöä.

#### 4.2.6 Väliseinärakenne

Osastoivat väliseinät on tehtävä 60 minuutin paloluokkaan eli EI 30. Osastoiva runko toteutetaan 48x123 mitallistetulla puutavaralla ja molemmin puolin asennetaan 2kpl kipsilevyjä. Lämmöneristeenä käytetään 120mm pehmeää lämmöneristettä. Muut väliseinät tehdään 66x38 kertopuusta ja 50 mm lämmöneristeellä. Levytetään molemmin puolin 13 mm kipsilevyllä, täten saavutetaan EI 30 paloluokka

#### 4.2.7 Energiaselvitys

Kun rakennukselle haetaan rakennuslupaa, on rakennukselle tehtävä energiaselvitys, joka liitetään rakennuslupaun. Rakennuksen on oltava riittävän energiatehokas, mikä selviää energiatodistuksesta, jotta rakennus saa rakennusluvan.

### 4.3 Lämmöneristys

Lasketaan rakenteelle U-arvo, joka kertoo rakenteen lämmöneristävyyskyvyn. U-arvo kertoo lämpövirrantiheyden läpi rakenteen. Mitä pienempi on rakenteen U-arvo sitä parempi on lämmöneristävyyskyky. Eristeen täytyy sopia rakenteeseen ja sen on säilytettävä muotonsa koko rakenteen eliniän ajan. Eristettä ei myöskään saa painaa ohuemmaksi. Kun eriste asennetaan, siihen ei saa jäädä aukkoja eikä reikiä ja saumat

eivät jäisi samoihin kohtiin eristeessä. Eriste ei saa vaurioitua eikä kastua ja eriste asennetaan aina valmiiseen runkoon siten että se on välittömästi asennuksen jälkeen suojassa. Tuulensuojalevyn ja eristeen väliin ei saa jäädä rakoja.

Taulukko1. Sallitut U-arvot C4 mukaan. (Suomen RakMK D3 2003, 7).

	Lämpimän tilan U-arvo W/m <sup>2</sup> K	Puolilämpimän tilan U- arvo W/m <sup>2</sup> K
Seinä	0,17	0,26
Hirsiseinä (seinän vähimmäispaksuus 180 mm)	0,40	0,60
Yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09	0,14
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja (tuuletusaukkojen määrä vähintään 8 promillea pohjan pinta-alasta)	0,17	0,26
Maata vastaan oleva rakennusosa	0,16	0,24
Ikkuna, kattoikkuna, ovi	1,0	1,4

#### 4.3.1 Lämmönläpäisevyyskertoimet

Rakennusmääräyskokoelman C4 antaa jokaiselle rakennukselle määräykset U-arvon lämmönläpäisevyyskertoimista. Rakennuksen U-arvo lasketaan seuraavasti. (Suomen RakMK C4 2003, 5.)

$$U = 1 / R_t \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}$$

KAAVA 1

$R_t$  = kokonaislämmönvastus [(m<sup>2</sup> K)/W]

U= lämmönläpäisevyyskerroin [W/(m<sup>2</sup> K)]

Rakennusosan kokonaislämmönvastus  $R_t$  lasketaan seuraavasti käyttäen kaavaa 2:

$$RT = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_m + R_g + R_b + R_{q1} + R_{q2} \dots + R_{qn} + R_{se} \quad \text{KAAVA 2}$$

$$R_1 = d_1/\lambda_1, R_2 = d_2/\lambda_2, \dots R_m = d_m/\lambda_m$$

$d_1, d_2 \dots d_m$	ainekerroksen 1,2... m paksuus
$\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_m$	ainekerroksen... m 1,2 lämmönjohtavuuden suunnittelu- arvo esim. normaalin lämmönjohtavuus
$R_g$	rakennusosassa olevan ilmakerroksen lämmönvastus
$R_b$	maan lämmönvastus
$R_{q1} + R_{q2} \dots + R_{qn}$	ohuen ainekerroksen 1, 2,.. n lämmönvastus
$R_{si} + R_{se}$	sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen summa

Taulukosta 1 katsotaan sisä- ja ulkopuolisten lämmönvastuksien arvot. Arvot ovat erilaiset sen mukaan onko laskettavan rakenteen läpi johtuva ilmavirta suoraan, ylös vai alaspäin. Toisin sanoen onko rakenne yläpohja- alapohja- vai seinärakenne. Taulukosta 2 saadaan rakennuksen rakenteina käytettyjen materiaalien lämmönjohtavuusarvot eli  $\lambda_n$  arvo. Kaikki rakennusaineet, joilla on CE merkintä on määritetty omat lämmönjohtavuuden arvot.  $\lambda_n$  arvona voidaan käyttää tyyppihyväksyntäpäätöksissä esitettyjä arvoja tai muulla tavalla saatuja ja hyväksytyjä suunnittelu arvoja. Rakennusaineen lämmönjohtavuusarvo on 10° lämpötilassa rakennusaineelle. (Suomen RakMK C4 2003 C4, 8)

Taulukko 2. Sisä- ja ulkopuolinen pintavastus  $R_{si}$  ja  $R_{se}$  (Suomen RakMK C4 2003 C4, 16).

Lämpövirran suunta	$R_{si} \left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$	$R_{se} \left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$
Vaakasuora	0,13	0,04
Ylöspäin	0,10	0,04
Alaspäin	0,17	0,04

Taulukko 3. Aineiden lämmönjohtavuusarvot. (Suomen RakMK C4 2003 10–15).

Aine, tarvike	$\lambda_n$ normaalin lämmönjohtavuus $\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$
Betoni	1,7

ESP	0,041
Kipsilevy	0,23
Pehmeä lämmöneriste	0,036
Tuulensuojalevy	0,055
Puu	0,12

Rakenteella on usein monia rakennekerroksia. Kun U-arvoa lasketaan, kokonaislämmönvastukselle lasketaan yläkiiarvo  $R_T^{\wedge}$  ja alalikiarvo  $R_T^{\text{``}}$ . Tällöin kokonaislämmönvastus  $R_T$  saadaan laskettua ala- ja yläkiiarvon keskiarvona.  $R_T$  lasketaan kaavalla 1.

$$R_t = \frac{R_T^{\wedge} + R_T^{\text{``}}}{2} \quad \text{KAAVA 3}$$

$R_T^{\wedge}$  rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo ( $\text{m}^2 \text{ K/W}$ )

$R_T^{\text{``}}$  rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo ( $\text{m}^2 \text{ K/W}$ ) (Suomen RakMK C4 luonnos 2012, 7.)

Kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo lasketaan siten, että rakenne ositetaan lämpövirransuuntaisiin lohkoihin. Kokonaislämpövastuksen yläkiiarvon laskentakaava 4 on:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{Tn}} \quad \text{KAAVA 4}$$

$R_t$  Rakenteen kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo ( $\text{m}^2 \text{ K/W}$ )

$f_a, f_{ab}, \dots, f_{an}$  lohkojen a, b, ..., n osuudet rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta

$R_{Ta}, R_{Tb}, R_{Tn}$  lohkojen a, b, ..., n kokonaislämmönvastukset ( $\text{m}^2 \text{ K/W}$ ) (Suomen RakMK C4 luonnos 2012, 8.)

Alalikiarvo  $R_T^{\text{``}}$  lasketaan viereisten lämmönvastusten yhdistämisen jälkeen kaavalla 5:

$$R_T^{\text{``}} = R_{si} + (R_1^{\text{``}} + R_2^{\text{``}} + \dots + R_j^{\text{``}} + R_1 + R_2 + \dots + R_k) + R_{se} \quad \text{KAAVA 5}$$

$R_T^{\text{``}}$  rakenteen kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo

	$[(m^2 K)/W]$
$R_{si}$	sisäpuolen pintavastus $[(m^2 K)/W]$
$R_{se}$	ulkopuolen pintavastus $[(m^2 K)/W]$
$(R_1'', R_2'', \dots, R_k'')$	rakenteen kerroksissa a, b, ..., j olevien viereisten lohkojen yhdistetyt lämmönvastukset $[(m^2 K)/W]$
$R_1, R_2, \dots, R_k$	rakenteen tasa-aineisista ja tasapaksuista ainekerroksista muodostuvien kerrosten 1, 2, ..., k lämmönvastukset $[(m^2 K)/W]$ (Suomen RakMK C4 luonnos 2012, 8.)

Korjattu  $U_c$  lämmönläpäisykerroin saadaan kun lämmönläpäisykerroimeen lisätään korjaustermi. Korjatun termin laskenta kaava 6 on seuraava:

$$U_c = U + \Delta U \quad \text{KAAVA 6}$$

$U_c$	rakennusosan korjattu lämmönläpäisykerroin $[W/(m^2 K)]$
$U$	rakennusosan lämmönläpäisykerroin $[(m^2 K)/W]$
$\Delta U$	lämmönläpäisykerroimen korjaustermi $[(m^2 K)/W]$ (Suomen RakMK C4 luonnos 2012, 10.)

Kylmäsillat on otettava myös huomioon kun lasketaan rakennuksen U-arvoja. Laskennassa otetaan huomioon myös rakenteessa olevat siteet, kannakset ja tuki- sekä runkorakenteet, jotka sijaitsevat rakennuksen vaipan alueella. Kyseiset asiat vaipassa johtavat paremmin lämpöä ja aiheuttavat näin lämpöhäviöitä vaipan alueella. Korjaustermin laskentakaava 7 on seuraava:

$$\Delta U = \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r + \Delta U_\psi \quad \text{KAAVA 7}$$

$\Delta U_f$	mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä $[(m^2 K)/W]$ , kaava 8 tai 9
$\Delta U_g$	ilmaraoista johtuva korjaustekijä $[W/(m^2 K)]$ , kaava 11
$\Delta U_r$	käännytyistä katoista johtuva korjaustekijä $[W/(m^2 K)]$ , kaava 12

$\Delta U_{\psi}$  viivamaisista kylmäsilloista (esim. teräskiinnike joka menee vaipan läpi) aiheutuva korjaustekijä [(m<sup>2</sup> K)/W],  
kaava 14 (Suomen RakMK C4 luonnos 2012, 10.)

Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä lasketaan joko kaavalla 8 tai 9:

$$\Delta U_f = \frac{\alpha \lambda_f A_f n_f}{d_0} \left( \frac{R_{f0}}{R_{Th}} \right)^2 \quad \text{KAAVA 8}$$

$\Delta U_f$  mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä  
[W/(m<sup>2</sup> K)]

$\alpha$  kerroin, kaava 13

$A_f$  yhden kiinnikkeen poikkipinta-ala [W/(m K)]

$n_f$  kiinnikkeiden lukumäärä m<sup>2</sup> kohden

$d_0$  sen lämmöneristekerroksen kokonaispaksuus, johon kiinnike on asennettu 1/ m<sup>2</sup>

$R_{f0}$  sen lämmöneristekerroksen lämmönvastus ilman kylmäsiltojen vaikutusta, jonka kiinnike läpäisee, kaava 10  
[(m<sup>2</sup> K)/W]

$R_{Th}$  tarkasteltavan rakennusosan kokonaislämmönvastus ilman korjaustekijöiden ja kylmäsiltojen vaikutusta  
[(m<sup>2</sup> K)/W] (Suomen RakMK C4 luonnos 2012, 10.)

Kaavassa 8 ollut kerroin  $\alpha$  lasketaan kaavan 13 mukaan:

$$\alpha = 0,8 \frac{d_{f0}}{\lambda_0} \quad \text{KAAVA 13}$$

$d_{f0}$  pituus, jonka kiinnikkeen huomattavasti ympäröivää lämmöneristettä paremmin lämpöä johtava osa kulkee tarkasteltavan lämmöneristekerroksen sisällä kohtisuoraan eristeen paksuuden suuntaisesti

$\lambda_0$  lämmöneristekerroksen lämmönjohtavuus jonka kiinnike läpäisee [W/(m K)] (Suomen RakMK C4 luonnos 2012, 11.)

Mekaanisten kiinnikkeiden ja muiden pistemäisten säännöllisten kylmäsiltojen aiheuttama lämmönläpäisykerroimen lisäys lasketaan kaavalla 9:

$$\Delta U_f = \sum X_j \frac{n_j}{A} \quad \text{KAAVA 9}$$

$\Delta U_f$	mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä [W/(m <sup>2</sup> K)]
$X_j$	rakennusosassa olevien keskenään samanlaisten pistemäisten kylmäsiltojen aiheuttama pistemäinen lisäkonduktanssi (W/K)
$n_j$	samanlaisten pistemäisten kylmäsiltojen lukumäärä rakennusosassa
$A$	rakennusosan pinta-ala (m <sup>2</sup> ) (Suomen RakMK C4 luonnos 2012, 11.)

Kaavassa 8 laskettu arvo  $R_{f0}$  lasketaan kaavalla 10

$$R_{f0} = \frac{d_{f0}}{\lambda_0} \quad \text{KAAVA 10}$$

$d_{f0}$	pituus, jonka kiinnikkeen ympäröivää lämmöneristettä paremmin lämpöä johtava osa kulkee tarkasteltavan lämmöneristekerroksen sisällä kohtisuoraan eristeen paksuuden suuntaisesti (m)
$\lambda_0$	lämmöneristekerroksen lämmönjohtavuus, jonka läpi kiinnike kulkee [W/(m K)]

Kaavalla 11 lasketaan ilmarakoja ja asennuksen aikana muodostuneiden ilmarakojen aiheuttamaa lisäystä rakenteessa:

$$\Delta U_g = \Delta U \left( \frac{R_1}{R_{Th}} \right)^2 \quad \text{KAAVA 11}$$



$\Delta U_g$	ilmaraoista johtuva korjaustekijä [W/(m <sup>2</sup> K)]
$\Delta U''$	ilmaraoista johtuva korjauskerroin [W/(m <sup>2</sup> K)], Taulukko 5
$R_1$	ilmarakoja sisältävän lämmöneristekerroksen lämmönvastus ilman kylmäsiltojen vaikutusta [(m <sup>2</sup> K)/W]
$R_{Th}$	tarkasteltavan rakenteen kokonaislämmönvastus ilman korjaustekijöiden ja kylmäsiltojen vaikutusta [(m <sup>2</sup> K)/W] (Suomen RakMK C4 luonnos 2012, 11.)

Korjauskerroin  $\Delta U''$  voidaan ottaa taulukosta 4, jos tarkempaa tietoa ei ole saatavilla. (Suomen RakMK C4 luonnos 2003, 14)

Taso	Ilmaraon selitys	$\Delta U''$ (W/m <sup>2</sup> K)
0	Lämmöneristeessä ei ole ilmarakoja tai ne ovat niin vähäisiä etteivät vaikuta lämmönläpäisykertoimeen	0,00
1	Lämmöneristeessä on ilmarakoja jotka eivät kuitenkaan aiheuta kiertokulkua kylmän ja lämpimänpuolen välillä	0,01
2	Lämmöneristeessä on ilmarakoja jotka aiheuttavat kiertokulkua kylmän ja lämpimän alueen välillä	0,04

Käännetty kattorakenne toteutetaan niin että lämmöneristys on toteutettu kokonaan vesieristeen päälle. Käännettyjen kattojen korjaustekijä lasketaan kaavalla 12.

$$\Delta U_r = p f x \left(\frac{R_1}{R_{Th}}\right)^2 \quad \text{KAAVA 12}$$

$\Delta U_r$	Käännettyjen kattojen korjaustekijä [W/(m <sup>2</sup> K)]
p	lämmityskauden keskiarvollinen sademäärä 0,5mm/vrk, jos tarkempaa tietoa ei ole saatavilla (mm/vrk)
f	vedeneristeen ja lämmöneristeen väliin kulkeutuva sadeveden määrä vuorokauden keskiarvosta
x	kerroin, jolla kuvataan sadeveden kulkeutumista vedeneristeen ja lämmöneristeen väliin aiheutuvaa lämpöhäviötä [W vrk/(m <sup>2</sup> K mm)]

$R_1$	vedeneristeen yläpuolella olevan eristeen lämpökerroin ilman kylmäsiltojen huomioimista.
$R_{Th}$	rakenteen kokonaislämmönvastus, ilman korjaustekijöiden ja kylmäsiltojen vaikutusta. (Suomen RakMK C4 luonnos 2012, 12.)

Viivamaisten säännöllisten kylmäsiltojen aiheuttama lämmönläpäisykerroimen lisäys lasketaan kaavalla 13

$$\Delta U_{\psi} = \Sigma \psi_k \frac{l_k}{A} \quad \text{KAAVA 14}$$

$\Delta U_{\psi}$	viivamaisten ja säännöllisten kylmäsiltojen aiheuttama lämmönläpäisykerroimen lisäys [W/(m <sup>2</sup> K)]
$\psi_k$	Rakenteessa olevien keskenään samanlaisten viivamaisten kylmäsiltojen viivamainen lisäkonduktanssi [W/(m <sup>2</sup> K)]
$l_k$	viivamaisten kylmäsiltojen yhteispituus (m)
$A$	rakennusosan pinta-ala

Luonnollista konvektiota ei saa tapahtua liiassa määrin lämmöneristekerroksissa.

Luonnollinen konvektio voidaan laskea lämmöneristekerroksista kaavalla 15.

Raja-arvot on esitetty taulukossa 6.

$$Ra_m = k \frac{d \kappa \eta \Delta T}{\lambda_u} \quad \text{KAAVA 15}$$

$Ra_m$	muunnettu Rayleighin luku
$d$	lämmöneristeen paksuus (m)
$\kappa$	lämmöneristeen ilmanläpäisevyys [m <sup>3</sup> /(m s Pa)]
$\eta$	ilman dynaaminen viskositeetti 10 °C lämpötilassa (0,0175*10 <sup>-3</sup> Pa s)
$\Delta T$	lämmöneristekerroksen sisä- ja ulkopinnan välinen lämpötilaero (K)
$\lambda_u$	lämmöneristeen lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo [W/(m K)]

k kerroin, jonka arvo on [ $3 \cdot 10^6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ s}^3 \text{ K}^2)$ ]

$R_{a_m}$  raja-arvot on esitetty alla olevassa taulukossa 5

Rakennusosa	Lämpövirran suunta	$R_{a_m}$
Ulkoseinä	Vaakasuuntaan	2,5
Yläpohja	Ylöspäin, lämmöneristeen yläpinta avoin	15
	Ylöspäin, lämmöneristeen yläpinnassa tuulensuoja	30

#### 4.4 Maanvastaiset rakenteet

Maanvastaiset rakenteet tulisi olla lämpö- ja kosteusteknisesti toimivia niin että saavutetaan haluttu eristystaso eikä kosteus, routiminen ja pintojen kylmyys aiheuta haittaa rakenteelle. Rakenteiden sisäpinnoissa ei lämpötila saa myöskään laskea liian alhaiseksi viihtyisyyden takia. Kylmäsiltoja ei saa muodostua rakenteiden liittymiin. Jos rakennuksen perustamissyvyys jää routasyvyyden yläpuolelle käytetään routaeristystä. Maanvastaisen rakenteen lämmönläpäisykerroin voidaan laskea yksinkertaisesti kertomalla seinärakenteen U-arvo kertoimella 0,9. Laskennallisesti tarkemman tuloksen saa seuraavien kaavojen 16 - 22 perusteella

$$U_f = \frac{\lambda_s}{0,475B' + d_t} + \frac{2\psi_{ge}}{B'} \quad \text{KAAVA 16}$$

$U_f$	maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin [W/(m <sup>2</sup> K)]
$\lambda_s$	maan lämmönjohtavuus [W/(m K)]
$B'$	suhteellinen lattiamitta (m), kaava 17
$d_t$	maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus (m), kaava 18
$\psi_{ge}$	lattiarakenteen reuna-alueella olevan vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen tai perusmuurin pystysuuntaisen lämmöneristykseen huomioon ottava viivamainen lisäkonduktanssi [W/(m K)]

Karakteristinen mitta eli lattiarakenteen lattiamitta saadaan kaavan 17 avulla:

$$B' = \frac{A}{0,5P} \quad \text{KAAVA 17}$$

$B'$	suhteellinen lattiamitta (m)
$A$	lattiarakenteen pinta-ala (m <sup>2</sup> )
$P$	lattiarakenteen piiri (m)

Maanvastaisen rakenneosan ekvivalentti paksuus lasketaan kaavasta 19:

$$d_t = w + \lambda_s(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad \text{KAAVA 18}$$

$d_t$	maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus (m)
$w$	seinän paksuus lattiarakenteen kohdalla (m)
$\lambda_s$	maan lämmönjohtavuus [W/(m K)]
$R_{si}$	sisäpuolen pintavastus [W/(m <sup>2</sup> K)]
$R_{se}$	maan pinnan pintavastus ulkona (m <sup>2</sup> K/W)

Lisäkonduktanssi  $\psi_{ge}$  lasketaan vaaka- ja reuna-alueen lämmöneristeelle. Arvoista valitaan itseisarvoltaan suurempi luku ja käytetään sitä laskuissa. Reuna-alueen lisäkonduktanssi lasketaan kaavan 19 mukaisesti:

$$\psi_{geh} = -\frac{\lambda_s}{\pi} \ln\left[\frac{D_h}{d_t} + 1 - \ln\left(\frac{D_h}{d_t + d_h} + 1\right)\right] \quad \text{KAAVA 19}$$

$\psi_{geh}$	lattiarakenteen reuna-alueella olevan vaakasuuntaisen lisälämmöneristyksen huomioon ottava viivamainen lisäkonduktanssi [W/(m K)]
$\lambda_s$	maan lämmönjohtavuus [W/(m K)]
$d_t$	maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus (m)
$D_h$	lattiarakenteen reuna-alueella olevan vaakasuuntaisen lisälämmöneristyksen leveys (m)
$d_h$	lattiarakenteen reuna-alueella olevan vaakasuuntaisen lisälämmöneristyksen ekvivalentti lisäpaksuus (m)

Reuna-alueen vaakasuuntainen lisävahvuus lasketaan kaavalla 20:

$$d'_h = \lambda_s(R_{nh} - \frac{d_{mh}}{\lambda_s}) \quad \text{KAAVA 20}$$

$d'_h$	lattiarakenteen reuna-alueella olevan vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen ekvivalentti lisäpaksuus (m)
$\lambda_s$	maan lämmönjohtavuus [W/(m K)]
$R_{nh}$	lattiarakenteen reuna-alueella olevan lämmöneristeen lämmönvastus (m <sup>2</sup> K/W)
$d_{mh}$	lattiarakenteen reuna-alueella olevan lämmöneristeen paksuus (m)

Pystysuuntaisen lämmöneristykseen huomioitava lisäkonduktanssi lasketaan kaavasta 21:

$$\psi_{geh} = -\frac{\lambda_s}{\pi} \ln\left[\frac{D_{hv}}{d_t} + 1 - \ln\left(\frac{D_v}{d_t + d_v} + 1\right)\right] \quad \text{KAAVA 21}$$

$\psi_{gev}$	lattiarakenteen reuna-alueella olevan vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen huomioon ottava viivamainen lisäkonduktanssi [W/(m K)]
$\lambda_s$	maan lämmönjohtavuus [W/(m K)]
$d_t$	maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus (m)
$D_v$	lattiarakenteen reuna-alueella olevan vaakasuuntaisen lisälämmöneristykseen leveys (m)
$d_v$	lattiarakenteen reuna-alueella olevan vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen ekvivalentti lisäpaksuus (m), kaava 22

Alapohjarakenteen reuna-alueilla olevan vaakasuuntaisen lämmöneristeen lisäpaksuus saadaan seuraavasti kaavasta 22:

$$d'_v = \lambda_s(R_{nh} - \frac{d_{nv}}{\lambda_s}) \quad \text{KAAVA 22}$$

$d'_v$	lattiarakenteen reuna-alueella olevan pystysuuntaisen lisälämmöneristeen ekvivalentti lisäpaksuus (m)
$\lambda_s$	maan lämmönjohtavuus [W/(m K)]
$R_{nv}$	perusmuurin lämmönvastus (m <sup>2</sup> K/W)
$d_{nh}$	perusmuurin paksuus (m)

#### Hallin U-arvojen tulokset

US	0,17 W/(m <sup>2</sup> *K)
YP	0,09 W/(m <sup>2</sup> *K)
AP	0,14 W/(m <sup>2</sup> *K)
IKK ja ovet	1,0 W/(m <sup>2</sup> *K)

Suunnitellut rakenteet täyttävät nykyiset lämpimälle rakennukselle asetetut U-arvot.

## 5 PALOMÄÄRÄYKSET

### 5.1 Paloluokka

Rakennukset jaetaan kolmeen paloluokkaan P1, P2 ja P3. Taulukossa 6 esitellään määräykset joiden mukaan rakennus jaotellaan paloluokkaan. Paloluokan määrittymisen vaikuttaa rakennuksen korkeus, kerrosala, ja kerrosluku. P1 luokka on palonkestoltaan tehokkain ja siihen kuuluu rakennukset jotka kestävät paloa pääsääntöisesti sortumatta. P1 luokan rakennukselle ei ole määritelty henkilömäärää eikä kokoa. P2 luokan rakennukselle on määritelty pintaosien palonkestoa sekä rakennuksen kokoa ja henkilömäärää. P3 luokan rakennuksissa kantaville rakennuksille ei aseteta vaatimuksia. Rakennuksen paloturvallisuutta parannetaan henkilömäärän pienentämällä ja rakennuksen kokoa rajoittamalla. Rakennuksen paloluokasta voidaan poiketa, jos todetaan että rakennuksen palokuormat eivät ole suuria tai rakennukseen on asennettu automatisoituja sammutusjärjestelmiä. Kyseisen rakennuksen paloluokka on P3. (SRakMk E1. 2002., SRakMk E2. 2005.)

Taulukko 7. Rakennuksen kokoa koskevat rajoitukset (Suomen RakMK E1 2011,5).

RAKENNUKSEN KOKOA KOSKEVAT RAJOITUKSET			
Rakennuksen ominaisuus	Rakennuksen paloluokka		
	P1	P2	P3
<b>KERROSLUKU</b>			
- yleensä	ei rajoitusta	enintään 2	enintään 2
- asuinrakennus, työpaikkarakennus	ei rajoitusta	enintään 8	enintään 2
- tuotanto- tai varastorakennus, autosuoja	ei rajoitusta	enintään 2	enintään 1
<b>KORKEUS</b>			
- yleensä	ei rajoitusta	enintään 9 m	enintään 9 m
- asuinrakennus, työpaikkarakennus 3 - 4 krs.	ei rajoitusta	enintään 14	ei sallittu
- asuinrakennus, työpaikkarakennus 5 - 8 krs.	ei rajoitusta	enintään 26	ei sallittu
- yksikerroksinen tuotanto- tai varastorakennus	ei rajoitusta	ei rajoitusta	enintään 14 m
<b>KERROSALA</b>			
kerrosala yleensä			
- yksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	enintään 2400 m <sup>2</sup>
- kaksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	enintään 1600 m <sup>2</sup>
- yli kaksikerroksinen	ei rajoitusta	enintään 12 000 m <sup>2</sup>	ei sallittu
kerrosala tuotanto- ja varastorakennuksissa sekä autosuojissa			
- yksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	ei rajoitusta
- kaksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	ei sallittu

## 5.2 Suojaustaso

Tuotanto- ja varastotilat varustetaan aina pelastus- ja sammutustyötä helpottavilla laitteilla valitun suojaustason mukaisesti. Suojaustason kertoo rakennuksen palo-

luokka, suurin osastokoko, savunpoisto, ja kantavien ja osastoivien rakennusosien paloluokkavaatimuksiin. Pelastusviranomaisten kanssa neuvotellaan yksityiskohdista. Suojaustaso 1 vaatii tavallisen alkusammutuskaluston, kuten jauhesammuttimen. Suojaustaso 2 toteutetaan automatisoidulla hätäkeskukseen ilmoittavalla paloilmotimella sekä suojatason 1 mukaisella alkusammutuskalustolla. Suojaustaso 3 vaatii täysin automaattisen sammutuslaitteiston, kuten sprinkleri järjestelmän sekä alkusammutus kaluston.

### 5.3 Palo-osastointi

Rakennus palo-osastoidaan siten että palo voidaan rajata tietylle alueelle. Osastointi toteutetaan joillakin kolmesta tavasta, joita ovat kerros-, pinta-ala tai käyttötapaosastointina. Ovet ja ikkunat ovat vähintään puolet seinän palonkestävyysajasta (Suomen RakMK E1 2011, 3-4, 19–20). Rakennus osastoidaan siten että koulutus, sosiaali- ja toimistotilat muodostavat oman osastoinnin. Näistä edellä mainituista tiloista kulku hallin varasto-/teollisuustiloihin on toteutettava palo-ovilla. Palo-ovilla on palonkesto REI 15. Hallin varasto-/teollisuustiloihin on tehtävä palo-osastointi niin moneen seinään kuin halli lohkotaan.

## 6 YHTEENVETO

Hallin luonnosten suunnittelu, niiden mitoittaminen ja laskeminen oli todella haasteellista. Opinnäytetyön aikana on tullut jatkuvasti lisää asioita joita on tarvinnut tehdä ja välillä saanut tuntea että projekti ei lopu koskaan. Lopputulokseen olen kuitenkin hyvin tyytyväinen ja olen mielestäni saanut kaiken tarvittavan sisällytettyä opinnäytetyöhön. Helpottava asia opinnäytetyötä tehdessä on ollut että yritys jolle opinnäytetyö on suunniteltu, on osittain omani ja toimin tavallaan itse sen tilaajana. Projektia tehdessä opein hyvin paljon lisää rakenteiden mitoituksesta ja ymmärsin monia asioita joita tiesin mutta mihin en ollut koskaan perehtynyt. Näin ollen voin sanoa opinnäytetyön olleen myös hyvin opettavainen projekti.



Iso haaste minkä loin suunnitellessani rakennusta oli miten sen voisi rakentaa palkki pilari järjestelmällä ja tehdä ulkokuoren itse ympärille ilman elementtejä, pois lukien sokkelielementit jotka tilataan valmiina. En halua väittää ettei elementeillä rakentaminen olisi huonompi tapa rakentaa halli. Mutta halusin vain miettiä miten sen voisi toteuttaa paikalla rakennettuna. Kuvat piirsin AutoCAD:llä ja laskut naputtelin Mathcad:iin katsoen mallia puu-infon sivuilta ja siellä olevista kirjoista. Myös tunnilla käydyistä materiaaleista ja harjoituksista oli valtavasti apua.

Halli on luonnos vaiheessa eikä sille ole vielä sijoitus paikkaa, joten en ole laskenut rakennukselle perustuksia johtuen siitä että en tiedä vielä millaiseen maaperään halli tullaan rakentamaan. Hallin on oletettu tällä hetkellä olevan maanvarainen ja sille on piirretty pilari anturat.

## LÄHTEET

Eurokoodi EN 1995-1-1. 2. korj.painos. Helsinki: Suomen rakennusinsinööriliitto RIL.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 135-136 §

Suomen Rak.MK C4 2010 Rakennusten lämmöneristys. Määräykset ja ohjeet 2010. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto

Puuinfo Oy. 2008. Sovelluslaskelmat. Viitattu 15.2.2010.  
<http://www.puuinfo.fi/kirjasto/ec5-sovelluslaskelmat-hallirakennus>

Suomen RakMK E1 Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2011. Helsinki: Ympäristöministeriö, asunto ja rakennusosasto

Suomen RakMk E2, 2005. Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2011. Helsinki: Ympäristöministeriö, asunto ja rakennusosasto.

Carling, O. 2003.Liimapuu käsikirja. Helsinki: Wood Focus

Puupilarikengät. 2000. Esite. Peikko Group. Viitattu 4.5.2010.  
<http://www.peikko.fi/Default.aspx?id=420775>

Puurakenteiden suunnitteluohje. 2008. Puurakenteiden suunnitteluohje

Puuhallin rakenteet. 2009. Esisuunnittelu ja valintaperusteet. Viitattu 6.5.2010

## Harjapalin laskenta

LIITE 1

Hallin pääkannattimena on liimapuurakenteinen harjapalkki, joka tukeutuu mastopilareihin. Harjapalkin yläreuna on tuettu kiepahdusta vastaan katon vaakaniskoilla. Harjapalkit käsitellään säänkestävällä aineella.

Harjapalkki tulee mitoittaa pysyvässä ja keskipitkässä aikaluokassa.

### Katolla olevan lumikuorman ominaisarvo

Lumikuorma maalla  $S_k := 2.0$  kN/m<sup>2</sup>

Muotokerroin  $\mu_i := 0.8$

Lumikuorma  $q_k := \mu_i \cdot S_k$   $q_k = 1.6$  kN/m<sup>2</sup>

Jänneväli  $L_0 := 14600$  mm

### Palkin koko

Harjan korkeus  $h_{\text{harja}} := 1285$  mm

Päädyn korkeus  $x_1 := \frac{L_0}{16}$   $x_1 = 456.25$  mm

$H_1 := h_{\text{harja}} - x_1$   $H_1 = 828.75$  mm

Palkki pituus  $L_p := 15.6$  m

Redusoitu palkin korkeus  $x_2 := \frac{\left(\frac{L_0}{2} \cdot H_1\right)}{h_{\text{harja}}}$   $x_2 = 4.708 \times 10^3$  mm

$a_r := \frac{x_2}{16}$   $a_r = 294.255$

$H_{\text{ap}} := a_r + H_1$   $H_{\text{ap}} = 1.123 \times 10^3$  mm

Palkin leveys  $b := 190$  mm

Tuen pituus  $l_a := 495$  mm

Ka. palkin omapaino	$g_{k3} := (b \cdot H_{ap}) \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 5$	$g_{k3} = 1.067$	kN/m
Katon omapaino	$g_{k1} := 0.4$		kN/m <sup>2</sup>
Ripustuskuorma	$g_{k2} := 0.1$		kN/m <sup>2</sup>

#### Liimapuu GL32c

Taivutus	$f_{mk} := 32$	N/mm <sup>2</sup>
Leikkaus	$f_{vk} := 3.2$	N/mm <sup>2</sup>
Puristus syysuuntaan	$f_{c0k} := 26.5$	N/mm <sup>2</sup>
Puristus syysuuntaa vastaan	$f_{c90k} := 3.0$	N/mm <sup>2</sup>
Veto syysuuntaa vastaan	$f_{t90k} := 0.45$	N/mm <sup>2</sup>
Kimmomoduuli	$E_{0.05} := 11100$	N/mm <sup>2</sup>
Kimmomoduuli	$E_{0.mean} := 13700$	N/mm <sup>2</sup>
Liukumoduuli	$G_{mean} := 780$	N/mm <sup>2</sup>
Materiaalin osavarmuusluku	$\gamma_M := 1.2$	

#### Kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa

Pysyvä aikaluokka	KY1=	$1,35 K_{FI} G_{Kj}$
Muuttuvat kuormat	KY2=	$1,15 K_{FI} G_{Kj} + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} + 1,5 K_{FI} \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$
Pääkannattimien jako	kk :=	7 m

#### Yläpohjan omapaino käyttörajatilassa

$P_{kG} := (g_{k1} + g_{k2}) \cdot kk + g_{k3}$	$P_{kG} = 4.567$	kN/m
---	------------------	------

### Lumikuorma käyttörajatilassa

$$P_{kQ} := q_k \cdot k_k \quad P_{kQ} = 11.2 \quad \text{kN/m}$$

### Yläpohjan omapaino + lumikuorma murtorajatilassa

$$P_d = 1,15 K_{FI} P_{k,G} + 1,5 K_{FI} P_{k,Q}$$

$$P_d := 1,15 \cdot P_{k,G} + 1,5 \cdot P_{k,Q} \quad P_d = 22.052 \quad \text{kN/m}$$

### Taivutuskestävyys mitoittavassa poikkileikkauksessa kohdassa X

$$x := \frac{H_1 \cdot L_p \cdot 1000}{H_{ap} \cdot 2} - \frac{l_a}{2} \quad x = 5.509 \times 10^3 \quad \text{mm}$$

Tässä tapauksessa mitoittava poikkileikkaus sijaitsee etäisyydellä x jännevälin päästä

$$\text{Kattokulma} \quad \phi := \frac{1}{13}$$

$$h_x := \frac{x}{13} + H_1 \quad h_x = 1.252 \times 10^3$$

$$M_d := \frac{P_d \cdot (L_0 \cdot 10^{-3})^2}{8} \quad M_d = 587.572 \quad \text{kNm}$$

### Tukivoima

$$A_1 := \frac{P_d \cdot L_p}{2} \quad A_1 = 172.005 \quad \text{kN}$$

### Taivutuslujuus

$$k_{\text{mod}} := 0.8$$

$$f_{\text{md}} := \frac{f_{\text{mk}} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \quad f_{\text{md}} = 21.333 \quad \text{N/mm}^2$$

k.ma - kerroin

$$f_{vd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{vk}}{\gamma_M} \quad f_{vd} = 2.133$$

$$f_{c90d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c90k}}{\gamma_M} \quad f_{c90d} = 2 \quad \text{N/mm}^2$$

$$K_{ma} := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\phi \cdot \frac{f_{md}}{1.5 \cdot f_{vd}}\right)^2 + \left[\left(\phi\right)^2 \cdot \frac{f_{md}}{f_{c90d}}\right]^2}} \quad K_{ma} = 0.888$$

**Taivutusmomentti mitoittavassa poikkileikkauksessa**

$$M_{xd} := A_1 \cdot (x \cdot 10^{-3}) - P_d \cdot \frac{(x \cdot 10^{-3})^2}{2} \quad M_{xd} = 612.932 \quad \text{kNm}$$

**Taivutusjännitys mitoittavassa poikkileikkausluokassa**

$$W := \frac{(h_x^2 \cdot b)}{6} \quad W = 4.968 \times 10^7 \quad \text{mm}^3$$

$$\sigma_{mxd} := \frac{M_{xd} \cdot 10^6}{W} \quad \sigma_{mxd} = 12.338 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\text{tot} := \begin{cases} \text{"}\sigma_{mxd} \text{ sopiva"} & \text{if } \sigma_{mxd} \leq K_{ma} \cdot f_{md} \\ \text{"Tarkasteltava"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{tot} = \text{"}\sigma_{mxd} \text{ sopiva"}$$

$$\text{Käyttöaste}_1 := \frac{\sigma_{mxd}}{K_{ma} \cdot f_{md}} \cdot 100 \quad \text{Käyttöaste}_1 = 65.1 \quad \%$$

## Taivutus kestävyys harjalla

$$M_d = 587.572 \quad \text{kNm}$$

$$W_{hm} := b \cdot \frac{H_{ap}^2}{6} \quad W_{hm} = 3.994 \times 10^7 \quad \text{mm}^3$$

$$k_1 := 1 + 1.4 \cdot \phi + 5.5 \cdot \phi^2 \quad k_1 = 1.14$$

$$\sigma_{md} := k_1 \cdot \frac{M_d \cdot 10^6}{W_{hm}} \quad \sigma_{md} = 16.776 \quad \text{N/mm}^2$$

K.r kerroin harjapalkille

$$k_r := 1$$

$$\text{tot1} := \begin{cases} \text{"}\sigma_{md} \text{ sopiva"} & \text{if } \sigma_{md} \leq k_r \cdot f_{md} \\ \text{"Tarkasteltava"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{tot1} = \text{"}\sigma_{md} \text{ sopiva"}$$

$$\text{käyttöaste}_2 := \frac{\sigma_{md}}{k_r \cdot f_{md}} \cdot 100 \quad \text{käyttöaste}_2 = 78.638 \quad \%$$

## Poikittainen vetokestävyys harjalla

Kun liimapuupalkki on käsitelty kosteuden siirtymistä estävällä pinnoitteella, voidaan taivutusmomentin aiheuttama vetojännitys harjalla laskea kaavasta

$$f_{t90d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t90k}}{\gamma} \quad f_{t90d} = 0.624 \quad \text{N/mm}^2$$

Vain k5 viisi mukana laskussa  $k_5 := 0.2$

$$k_p := k_5 \cdot \phi \quad k_p = 0.015$$

$$\sigma_{t90d} := k_p \cdot \frac{M_d \cdot 10^6}{W_{hm}} \quad \sigma_{t90d} = 0.226 \quad \text{N/mm}^2$$

$$k_{dis} := 1.4 \quad V_0 := 0.01 \quad \text{m}^3 \quad \text{NORM. 6.52}$$

$$V := (H_{ap} \cdot H_{ap} \cdot b) \cdot 10^{-9} \quad V = 0.24 \quad \text{m}^3$$

$$k_{vol} := \left( \frac{V_0}{V} \right)^{0.2} \quad k_{vol} = 0.53$$

### Mitoitusehto

$$\text{tot3} := \begin{cases} \text{"}\sigma_{t90d} \text{ sopiva"} & \text{if } \sigma_{t90d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t90d} \\ \text{"Tarkasteltava"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{tot3} = \text{"}\sigma_{t90d} \text{ sopiva"}$$

$$\text{Käyttöaste}_3 := \frac{\sigma_{t90d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t90d}} \cdot 100 \quad \text{Käyttöaste}_3 = 48.932 \quad \%$$

### Leikkausvoimakestävyys

LYH S.25

Tasaisen kuorman aiheuttama leikkausvoima tuella A

Tasaisen kuorman aiheuttamaa leikkausvoimaa voidaan pienentää seuraavasti

$$V_d := A_1 - P_d \cdot \left[ (l_a + H_1) \cdot 10^{-3} \right] \quad V_d = 142.814$$

$$\phi_1 := \frac{1}{\phi} \quad \phi_1 = 13$$

$$\text{Mitoittava poikkileikkaus} \quad h_m := H_1 + \frac{H_1 + l_a}{\phi_1} \quad h_m = 930.577 \quad \text{mm}$$



## Leikkausjännitys

$$\tau_d := 1.5 \cdot \frac{V_d \cdot 10^3}{h_m \cdot b} \quad \tau_d = 1.212 \quad \text{N/mm}^2$$

## Mitoitusehto

$$\text{tot4} := \begin{cases} \text{"}\tau_d \text{ sopiva" if } \tau_d \leq f_{vd} \\ \text{"Tarkasteltava" otherwise} \end{cases} \quad \text{tot4} = \text{"}\tau_d \text{ sopiva"}$$

$$\text{Käyttöaste}_4 := \frac{\tau_d}{f_{vd}} \cdot 100 \quad \text{Käyttöaste}_4 = 56.793 \quad \%$$

## Palkin puristusjännitys

$$\sigma_{c90d} := \frac{A_1 \cdot 10^3}{I_a \cdot b} \quad \sigma_{c90d} = 1.829 \quad \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$l_{c90d} := l_a + 30 \quad l_{c90d} = 525 \quad \text{mm}$$

$$k_{c90} := 1.5$$

$$k_{c180} := \frac{l_{c90d}}{l_a} \cdot k_{c90} \quad k_{c180} = 1.591$$

$$\text{tot5} := \begin{cases} \text{"}\sigma_{c90d} \text{ sopiva" if } \sigma_{c90d} \leq k_{c180} \cdot f_{c90d} \\ \text{"Tarkasteltava" otherwise} \end{cases} \quad \text{tot5} = \text{"}\sigma_{c90d} \text{ sopiva"}$$

$$\text{käyttöaste}_5 := \frac{\sigma_{c90d}}{k_{c180} \cdot f_{c90d}} \cdot 100 \quad \text{käyttöaste}_5 = 57.479 \quad \%$$

## Taipuma

Redusoidaan palkki symmetriseksi jolloin palkin taipuma määritetään yksiaukkoisen palkin kaavalla käyttämällä redusoidun palkin korkeutta.

$$I_y := \frac{b \cdot H_{ap}^3}{12} \quad I_y = 2.242 \times 10^{10} \quad \text{mm}^4$$

## Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$W_{instG} := \frac{5 \cdot P_{kG} \cdot L_0^4}{384 \cdot I_y \cdot E_{0,mean}} \quad W_{instG} = 8.795 \quad \text{mm}$$

## Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$W_{instQ} := \frac{5 \cdot P_{kQ} \cdot L_0^4}{384 \cdot I_y \cdot E_{0,mean}} \quad W_{instQ} = 21.569 \quad \text{mm}$$

## Kokonaistaipuma

$$k_{det} := 0.6$$

LYH. S.17

$$\psi_{2,1} := 0.2$$

$$W_{netG} := (1 + k_{det}) \cdot W_{instG} \quad W_{netG} = 14.072 \quad \text{mm}$$

$$W_{netQ} := (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{det}) \cdot W_{instQ} \quad W_{netQ} = 24.157 \quad \text{mm}$$

$$W_{fin} := W_{netG} + W_{netQ} \quad W_{fin} = 38.229 \quad \text{mm}$$

## Mitoitusehto

Taipumaraja

$$\text{tot6} := \left( \begin{array}{l} \text{"W.fin sopiva"} \quad \text{if } W_{\text{fin}} \leq \frac{L_0}{200} \\ \text{"Tarkasteltava"} \quad \text{otherwise} \end{array} \right) \quad \text{tot6} = \text{"W.fin sopiva"}$$

$$\text{Käyttöaste}_6 := \frac{W_{\text{fin}}}{\frac{L_0}{200}} \cdot 100 \quad \text{Käyttöaste}_6 = 52.369 \quad \%$$

## Lopputaipuma

esikorotus  $W_c := 20$  mm

$$W_{\text{fin.net}} := W_{\text{fin}} - W_c \quad W_{\text{fin.net}} = 18.229$$

## Ehto lopputaipumalle

Taipumaraja

$$\text{tot7} := \left( \begin{array}{l} \text{"W.fin.net sopiva"} \quad \text{if } W_{\text{fin.net}} \leq \frac{L_0}{300} \\ \text{"Tarkastettava"} \quad \text{otherwise} \end{array} \right) \quad \text{tot7} = \text{"W.fin.net sopiva"}$$

$$\text{Käyttöaste}_7 := \frac{W_{\text{fin.net}}}{\frac{L_0}{300}} \cdot 100 \quad \text{Käyttöaste}_7 = 37.457 \quad \%$$

## Kiepahduskestävyys

Kiepahdustarkastelussa käytetään palkin korkeutena redusoitua palkkia

$$\sigma_{\text{mxd}} = 12.338 \quad \text{N/mm}^2$$

Kiepahdustuentäväli  $a := 900$  mm

$$l_{ef} := a + 2 \cdot H_{ap} \qquad l_{ef} = 3.146 \times 10^3 \quad \text{mm}$$

### Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$c_1 := 0.71 \qquad \text{Liimapuulle}$$

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c_1 \cdot b^2}{H_{ap} \cdot l_{ef}} \cdot E^{0.05} \qquad \sigma_{m.crit} = 80.528 \quad \text{N/mm}^2$$

### Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{mk}}{\sigma_{m.crit}}} \qquad \lambda_{rel.m} = 0.63$$

$$k_{crit} := 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel.m} \qquad k_{crit} = 1.087$$

Pilari ei ole kiepahdusherkkä koska  $k_{crit}$  arvo on 1. Näin ollen kiepahdus voidaan jättää tarkastamatta

### Mitoitusehto

$$\text{tot8} := \begin{cases} \text{"}\sigma_{mxd} \text{ sopiva"} & \text{if } \sigma_{mxd} \leq k_{crit} \cdot f_{md} \\ \text{"Tarkastettava"} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \text{tot8} = \text{"}\sigma_{mxd} \text{ sopiva"}$$

$$\text{Käyttöaste} := \frac{\sigma_{mxd}}{k_{crit} \cdot f_{md}} \cdot 100 \qquad \text{Käyttöaste} = 53.196 \quad \%$$

### Yhdistetty poikittainen vetokestävyys ja leikkauskestävyys harjalla

$$\text{Puolikas lumikuorma} \qquad P_{0.5.d} := P_{kG} \cdot 0.5 \cdot 1.5 \qquad P_{0.5.d} = 3.425 \quad \text{kN/m}$$

$$V_{0.5.d} := \frac{P_{0.5.d} \cdot L_0 \cdot 10^{-3}}{8} \qquad V_{0.5.d} = 6.251 \quad \text{kN}$$

$$\tau_{0.5.d} := \frac{L_0 \cdot 1.5}{h_m \cdot b} \qquad \tau_{0.5.d} = 0.124 \quad \text{N/mm}$$

$$M_{0.5} := M_{xd} - P_{0.5.d} \cdot \frac{V_{0.5.d}^2}{16} \qquad M_{0.5} = 604.567 \quad \text{kNm}$$

$$\sigma_{t90d.0.5} := \frac{(k_p \cdot M_{0.5} \cdot 10^6)}{b \cdot h_m^2} \quad \sigma_{t90d.0.5} = 0.057 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{tot9} := \begin{cases} \text{"YPVK sopiva"} & \text{if } \frac{\tau_{0.5.d}}{f_{vd}} + \frac{\sigma_{t90d}}{k_{vol} \cdot k_{dis} \cdot f_{t90d}} \leq 1 \\ \text{"Tarkasteltava"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{tot9} = \text{"YPVK sopiva"}$$

$$\text{Käyttöaste}_9 := \left( \frac{\tau_{0.5.d}}{f_{vd}} + \frac{\sigma_{t90d}}{k_{vol} \cdot k_{dis} \cdot f_{t90d}} \right) \cdot 100 \quad \text{Käyttöaste}_9 = 54.738 \quad \%$$



## Mastopilarin laskenta

LIITE 2

Liimapuu GL32c

Taivutus	$f_{mk} := 32$	N/mm <sup>2</sup>
Leikkaus	$f_{vk} := 3.2$	N/mm <sup>2</sup>
Puristus syysuuntaan	$f_{c0k} := 26.5$	N/mm <sup>2</sup>
Puristus syysuuntaa vastaan	$f_{c90k} := 3.0$	N/mm <sup>2</sup>
Veto syysuuntaa vastaan	$f_{t90k} := 0.45$	N/mm <sup>2</sup>
Kimmomoduuli	$E_{0.05} := 11100$	N/mm <sup>2</sup>
Kimmomoduuli	$E_{0.mean} := 13700$	N/mm <sup>2</sup>
Liukumoduuli	$G_{mean} := 780$	N/mm <sup>2</sup>
Materiaalin osavarmuusluku	$\gamma_M := 1.2$	

### Yläpohjan kuormat

Yläpohja	$g_{k1} := 0.4$	kN/m <sup>2</sup>
Ripustus	$g_{k2} := 0.1$	kN/m <sup>2</sup>
Harjapalkki	$g_{k3} := 0.9$	kN/m <sup>2</sup>
Tuuli	$q_{k1} := 0.47$	kN/m <sup>2</sup>
Lumi	$q_{k2} := 1.6$	kN/m <sup>2</sup>

### Yhdistelykertoimet

$$\psi_{01} := 0.6 \quad \psi_{02} := 0.7 \quad \psi_{03} := 1.0$$

### Tarkistetaan pysyvässä, keskipitkässä ja hetkellisessä aikaluokassa

Pysyvä aikaluokka	$1,35 K_{FI} G_{Kj}$
Muuttuvat kuormat	$1,15 K_{FI} G_{Kj} + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} + 1,5 K_{FI} \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$
KY1 := 1.35	$K_{FI} G_{Kj}$
KY2 := 1.15 + 1.5	$K_{FI} G_{Kj} + K_{FI} Q_{k,1}$
KY3 := 1.15 + 1.5 + 1.5	$K_{FI} G_{Kj} + K_{FI} Q_{k,1} + K_{FI} \sum \psi_{0,2} Q_{k,2}$
KY4 := 1.15 + 1.5 + 1.5	$K_{FI} G_{Kj} + K_{FI} Q_{k,2} + K_{FI} \sum \psi_{0,1} Q_{k,1}$

### Tarkistetaan hetkellisessä aikaluokassa

#### Kuormat ja rasitukset

mastopilarien k-jako	$S := 7.0$	m
rakennuksen leveys	$B := 16.0$	m
rakennuksen korkeus	$h_b := 7.2$	m
Pilarin korkeus	$L_c := 5.35$	m
rakennekerroin	$C_s := 1.0$	
voimakerroin sivuseinää vastaan	$C_f := 1.3$	

#### Seinän tuulikuorma käyttörajatilassa

$$q_{wk} := C_s \cdot C_f \cdot q_{k1} \cdot S \quad q_{wk} = 4.277 \quad \text{kN/m}$$

#### Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta käyttörajatilassa

$$F_{wk} := q_{wk} \cdot (h_b - L_c) \quad F_{wk} = 7.912 \quad \text{kN}$$



### KY3

#### Seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q_{wd} := 1.5 \cdot C_s \cdot C_f \cdot q_{k1} \cdot S \qquad q_{wd} = 6.415 \qquad \text{kN/m}$$

#### Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta murtorajatilassa

$$F_{wd} := q_{wd} \cdot (h_b - L_c) \qquad F_{wd} = 11.869 \qquad \text{kN/m}$$

#### Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$N_d := \left[ 1.15 \cdot (q_{k1} + q_{k2}) + 1.5 \cdot \psi_{02} \cdot q_{k2} \right] \cdot S \cdot \frac{B}{2} + 1.15 \cdot g_{k3} \cdot \frac{B}{2}$$

$$N_d = 235.668 \qquad \text{kN}$$

#### Pilarin taivutusmomentti murtorajatilassa

$$\text{Tasainen kuorma} \qquad M_{d1} := \frac{5 \cdot q_{wd} \cdot L_c^2}{16} \qquad M_{d1} = 57.384 \qquad \text{kNm}$$

$$\text{Pistekuorma} \qquad M_{d2} := \frac{F_{wd} \cdot L_c}{2} \qquad M_{d2} = 31.749 \qquad \text{kNm}$$

$$M_d := M_{d1} + M_{d2} \qquad M_d = 89.132 \qquad \text{kNm}$$

### Pilarin leikkausvoima murtorajatilassa

$$V_d := \frac{4 \cdot q_{wd} \cdot L_c}{5} + \frac{F_{wd}}{2} \quad V_d = 33.393 \quad \text{kN}$$

### Pilarin mitat

Leveys	$b := 190$	mm
Korkeus	$h := 495$	mm
Poikkileikkauksen pinta-ala	$A := b \cdot h$	$A = 9.405 \times 10^4$ mm <sup>2</sup>

Max. normaalivoima

$$N_d = 235.668 \quad \text{kN}$$

### Hoikkuusluku

$$L_{cz} := 2.5 \cdot L_c \quad L_{cz} = 13.375 \quad \text{m}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} \quad I_y = 1.92 \times 10^9 \quad \text{mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad i_y = 142.894 \quad \text{mm}$$

$$\lambda_y := \frac{L_{cz} \cdot 1000}{i_y} \quad \lambda_y = 93.601$$

### Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{\text{rely}} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} \quad \lambda_{\text{rely}} = 1.456$$

K<sub>y</sub>-kerroin

$\beta_c := 0.01$  alku käyrydestä riippuva kerroin liimapuulle

$$K_y := 0.5 \cdot \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rely}} - 0.3) + \lambda_{\text{rely}}^2 \right] \quad K_y = 1.565$$

### Nurjahduskerroin

$$K_{cy} := \frac{1}{K_y + \sqrt{K_y^2 - \lambda_{\text{rely}}^2}} \quad K_{cy} = 0.467$$

### Puristusjäännitys

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_d \cdot 1000}{b \cdot h} \quad \sigma_{c0d} = 2.506 \quad \text{N/mm}^2$$

### Puristuslujuus

$$K_{\text{mod}} := 1.1$$

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k} \cdot K_{\text{mod}}}{\gamma_M} \quad f_{c0d} = 24.292 \quad \text{N/mm}^2$$

### Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 89.132$$

### Taivutusjännitys

$$\sigma_{\text{myd}} := \frac{6 \cdot M_d \cdot 10^6}{b \cdot h^2} \quad \sigma_{\text{myd}} = 11.487 \quad \text{N/mm}^2$$

### Taivutuslujuus

$$f_{\text{md}} := \frac{f_{\text{mk}} \cdot K_{\text{mod}}}{\gamma_M} \quad f_{\text{md}} = 29.333 \quad \text{N/mm}^2$$

### Puristus ja taivutusjännityksen yhteisvaikutus

$$\text{Käyttöaste1} := \frac{\sigma_{\text{c0d}} + \sigma_{\text{myd}}}{K_{\text{cy}} \cdot f_{\text{c0d}} + f_{\text{md}}} \cdot 100 \quad \text{Käyttöaste1} = 34.399 \quad \%$$

$$\text{tot} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } 1 \geq \frac{\sigma_{\text{c0d}} + \sigma_{\text{myd}}}{K_{\text{cy}} \cdot f_{\text{c0d}} + f_{\text{md}}} \\ \text{"Tarkasteltava"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{tot} = \text{"OK"}$$

KY4

$$1,15K_{\text{FI}}G_{\text{Kj}} + 1,5K_{\text{FI}}Q_{\text{k},2} + 1,5K_{\text{FI}}\Sigma\psi_{0,1}Q_{\text{k},1}$$

### Seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q_{\text{wd2}} := 1.5 \cdot \psi_{01} \cdot C_s \cdot C_f \cdot q_{\text{k1}} \cdot S \quad q_{\text{wd2}} = 3.849 \quad \text{kN/m}$$

### Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta murtorajatilassa

$$F_{wd2} := q_{wd2} \cdot (h_b - L_c) \quad F_{wd2} = 7.121 \quad \text{kN/m}$$

### Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$N_{d2} := \left[ 1.15 \cdot (q_{k1} + q_{k2}) + 1.5 \cdot q_{k2} \right] \cdot S \cdot \frac{B}{2} + 1.15 \cdot g_{k3} \cdot \frac{B}{2}$$

$$N_{d2} = 275.988 \quad \text{kN}$$

### Pilarin taivutusmomentti murtorajatilassa

$$\text{Tasainen kuorma} \quad M_{d12} := \frac{5 \cdot q_{wd2} \cdot L_c^2}{16} \quad M_{d12} = 34.43 \quad \text{kNm}$$

$$\text{Pistekuorma} \quad M_{d22} := \frac{F_{wd2} \cdot L_c}{2} \quad M_{d22} = 19.049 \quad \text{kNm}$$

$$M_{d,2} := M_{d12} + M_{d22} \quad M_{d,2} = 53.479 \quad \text{kNm}$$

### Pilarin leikkausvoima murtorajatilassa

$$V_{d2} := \frac{4 \cdot q_{wd2} \cdot L_c}{5} + \frac{F_{wd2}}{2} \quad V_{d2} = 20.036 \quad \text{kN}$$

### Puristusjäännitys

$$\sigma_{c0d2} := \frac{N_{d2} \cdot 1000}{b \cdot h} \quad \sigma_{c0d2} = 2.934 \quad \text{N/mm}^2$$

### Maksimi taivutusmomentti

$$M_{d,2} = 53.479$$

### Taivutusjännitys

$$\sigma_{\text{myd}2} := \frac{6 \cdot M_{d,2} \cdot 10^6}{b \cdot h^2} \quad \sigma_{\text{myd}2} = 6.892 \quad \text{N/mm}^2$$

### Puristus ja taivutusjännityksen yhteisvaikutus

$$\text{tot2} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } 1 \geq \frac{\sigma_{c0d2} + \sigma_{\text{myd}2}}{K_{cy} \cdot f_{c0d} + f_{md}} \\ \text{"Tarkastettava"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{tot2}) = \text{"OK"} \quad \%$$

$$\text{Käyttöaste2} := \frac{\sigma_{c0d2} + \sigma_{\text{myd}2}}{K_{cy} \cdot f_{c0d} + f_{md}} \cdot 100 \quad \text{Käyttöaste2} = 24.157$$

### Kiepahduskestävyys

Ulkoseinärakenne estää pilaria nurjahtamasta sen heikoimmassa suunnassa. Seinärakenne ei kuitenkaan estä pilarin sisäreunaa kiepahtamasta koska seinärakenne on taivutetun rakenteen "vetopuolella".

### Taivutusjännitys

$$\text{Max. taivutusmomentti} \quad M_d = 89.132 \quad \text{kNm}$$

$$\sigma_{\text{myd}} = 11.487 \quad \text{N/mm}^2$$

Kiepahdustuentaväli

$$\text{Pilarin pituus} \quad L_c \cdot 1000 = 5.35 \times 10^3 \quad \text{mm}$$

### Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaiselle kuormalle

$$l_{ef} := 0.5 \cdot L_c \cdot 1000 \qquad l_{ef} = 2.675 \times 10^3 \qquad \text{mm}$$

Kuorma sijaitsee vedtyllä reunalla, joten tehollista jänneväliä voidaan pienentää mitan 1/2 h verran

$$l_{ef1} := l_{ef} - 0.5 \cdot h \qquad l_{ef1} = 2.428 \times 10^3 \qquad \text{mm}$$

### Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli pistekuormille

$$l_{ef2} := 0.8 \cdot L_c \cdot 1000 \qquad l_{ef2} = 4.28 \times 10^3 \qquad \text{mm}$$

### Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaisellekuormalle ja pistekuormille

$$M_{d1} = 57.384 \qquad \text{kNm} \qquad \text{Tasaisen kuorman aiheuttama momentti}$$

$$M_{d2} = 31.749 \qquad \text{kNm} \qquad \text{Pistekuorman aiheuttama momentti}$$

$$l_{efy} := \frac{M_{d1} \cdot l_{ef1} + M_{d2} \cdot l_{ef2}}{M_{d1} + M_{d2}} \qquad l_{efy} = 3.087 \times 10^3 \qquad \text{mm}$$

### Suorakaidepilarin kriittinen taivutusjännitys

$$c_\delta := 0.71 \qquad \text{Liimapuulle}$$

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c_\delta \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} \qquad \sigma_{m.crit} = 214.862 \qquad \text{N/mm}^2$$

### Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{relm} := \sqrt{\frac{f_{mk}}{\sigma_{m.crit}}} \qquad \lambda_{relm} = 0.386$$

k.crit-kerroin

$$k_{\text{crit}} := \begin{cases} 1 & \text{if } \lambda_{\text{reIm}} \leq 0.75 \\ (1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{\text{reIm}}) & \text{if } 0.75 < \lambda_{\text{reIm}} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{\text{reIm}}^2} & \text{if } 1.4 < \lambda_{\text{reIm}} \end{cases} \quad k_{\text{crit}} = 1$$

Pilari ei ole kiepahdus herkkä koska K.crit arvo on 1. Näin ollen kiepahduksen jännitys voidaan jättää tarkastamatta

### Leikkausvoima kestävyys

$$V_d = 33.393 \quad \text{kN}$$

### Leikkausvoima tuella

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d \cdot 1000}{b \cdot h} \quad \tau_d = 0.533 \quad \text{N/mm}^2$$

### Leikkauslujuus

$$K_{\text{mod}} = 1.1$$

$$f_{\text{vd}} := \frac{f_{\text{vk}} \cdot K_{\text{mod}}}{\gamma_M} \quad f_{\text{vd}} = 2.933 \quad \text{N/mm}^2$$

### Mitoitusehto leikkauskestävyydelle

$$\text{tot}_1 := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } \tau_d \leq f_{\text{vd}} \\ \text{"Tarkastettava"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{tot}_1 = \text{"OK"}$$

$$\text{käyttöaste} := \frac{\tau_d}{f_{\text{vd}}} \cdot 100 \quad \text{käyttöaste} = 18.156 \quad \%$$





## Nurkkapilarin laskenta

LIITE 3

Tuettu heikomman suunnan nurjahdusta vastaan levytyksellä

### Yläpohjan kuormat

Yläpohja	$g_{k1} := 0.4$	kN/m <sup>2</sup>
Ripustus	$g_{k2} := 0.1$	kN/m <sup>2</sup>
Harjapalkki	$g_{k3} := 0.9$	kN/m <sup>2</sup>
Tuuli	$q_{k1} := 0.47$	kN/m <sup>2</sup>
Lumi	$q_{k2} := 1.6$	kN/m <sup>2</sup>

### Yhdistelykertoimet

$$\psi_{01} := 0.6 \qquad \psi_{02} := 0.7 \qquad \psi_{03} := 1.0$$

$$K_{FI} := 1.0$$

### Mitoitetaan pysyvässä, keskipitkässä ja hetkellisessä aikaluokassa

Pysyvä aikaluokka	$1,35 K_{FI} G_{Kj}$
Muuttuvat kuormat	$1,15 K_{FI} G_{Kj} + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} + 1,5 K_{FI} \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$
KY1 := 1.35	$K_{FI} G_{Kj}$
KY2 := 1.15 + 1.5	$K_{FI} G_{Kj} + K_{FI} Q_{k,1}$
KY3 := 1.15 + 1.5 + 1.5	$K_{FI} G_{Kj} + K_{FI} Q_{k,2} + K_{FI} \sum \psi_{0,2} Q_{k,1}$
KY4 := 1.15 + 1.5 + 1.5	$K_{FI} G_{Kj} + K_{FI} Q_{k,1} + K_{FI} \sum \psi_{0,1} Q_{k,2}$

### Tarkistetaan hetkellisessä aikaluokassa

### Kuormat ja rasiukset

mastopilarien k-jako	$S := 7.0$	m
rakennuksen leveys	$B := 16.0$	m
rakennuksen korkeus	$h_b := 7.2$	m
Pilarin korkeus	$L_c := 5.45$	m
rakennekerroin	$C_s := 1.0$	
voimakerroin sivuseinää vastaan	$C_f := 1.3$	

### Seinän tuulikuorma käyttörajatilassa

$$q_{wk} := C_s \cdot C_f \cdot q_{k1} \cdot \frac{S}{2} \quad q_{wk} = 2.139 \quad \text{kN/m}$$

### Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta käyttörajatilassa

$$F_{wk} := q_{wk} \cdot (h_b - L_c) \quad F_{wk} = 3.742 \quad \text{kN}$$

### KY3

### Seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q_{wd} := 1.5 \cdot C_s \cdot C_f \cdot q_{k1} \cdot \frac{S}{2} \quad q_{wd} = 3.208 \quad \text{kN/m}$$

### Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta murtorajatilassa

$$F_{wd} := q_{wd} \cdot (h_b - L_c) \quad F_{wd} = 5.614 \quad \text{kN/m}$$

### Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$N_d := \left[ 1.15 \cdot (q_{k1} + q_{k2}) + 1.5 \cdot \psi_{02} \cdot q_{k1} \right] \cdot \frac{S}{2} \cdot \frac{B}{8} + 1.15 \cdot g_{k3} \cdot \frac{B}{8}$$

$$N_d = 22.188 \quad \text{kN}$$

### Pilarin taivutusmomentti murtorajatilassa

$$\text{Tasainen kuorma} \quad M_{d1} := \frac{5 \cdot q_{wd} \cdot L_c^2}{16} \quad M_{d1} = 29.774 \quad \text{kNm}$$

$$\text{Pistekuorma} \quad M_{d2} := \frac{F_{wd} \cdot L_c}{2} \quad M_{d2} = 15.297 \quad \text{kNm}$$

$$M_d := M_{d1} + M_{d2} \quad M_d = 45.071 \quad \text{kNm}$$

### Pilarin leikkausvoima murtorajatilassa

$$V_d := \frac{4 \cdot q_{wd} \cdot L_c}{5} + \frac{F_{wd}}{2} \quad V_d = 16.793 \quad \text{kN}$$

### Pilarin mitat

$$\text{Leveys} \quad b := 90 \quad \text{mm}$$

$$\text{Korkeus} \quad h := 315 \quad \text{mm}$$

$$\text{Poikkileikkauksen pinta-ala} \quad A := b \cdot h \quad A = 2.835 \times 10^4 \quad \text{mm}^2$$

### Puristusjännitys

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_d \cdot 1000}{b \cdot h} \quad \sigma_{c0d} = 0.783 \quad \text{N/mm}^2$$

### Taivutusjännitys

$$\sigma_{myd} := \frac{6 \cdot M_d \cdot 10^6}{b \cdot h^2} \quad \sigma_{myd} = 30.282 \quad \text{N/mm}^2$$

### Hoikkuusluku

$$L_{cz} := 2.5 \cdot L_c \quad L_{cz} = 13.625 \quad \text{m}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} \quad I_y = 2.344 \times 10^8 \quad \text{mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad i_y = 90.933 \quad \text{mm}$$

$$\lambda_y := \frac{L_{cz} \cdot 1000}{i_y} \quad \lambda_y = 149.836$$

$$\text{Puristus syysuuntaan} \quad f_{c0k} := 26.5 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\text{Kimmomoduuli} \quad E_{0.05} := 11100 \quad \text{N/mm}^2$$

### Puristuslujuus

$$\gamma_M := 1$$

$$K_{\text{mod}} := 1.1$$

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k} \cdot K_{\text{mod}}}{\gamma_M} \quad f_{c0d} = 29.15 \quad \text{N/mm}^2$$

### Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{\text{rely}} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} \quad \lambda_{\text{rely}} = 2.33$$

K<sub>y</sub>-kerroin

$$\beta_c := 0.01 \quad \text{alku käyrydestä riippuva kerroin liimapuulle}$$

$$K_y := 0.5 \cdot \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rely}} - 0.3) + \lambda_{\text{rely}}^2 \right] \quad K_y = 3.226$$

### Nurjahduskerroin

$$K_{cy} := \frac{1}{K_y + \sqrt{K_y^2 - \lambda_{\text{rely}}^2}} \quad K_{cy} = 0.183$$

## Taivutuslujuus

Taivutus  $f_{mk} := 32$  N/mm<sup>2</sup>

$$f_{md} := \frac{f_{mk} \cdot K_{mod}}{\gamma_M} \quad f_{md} = 35.2 \quad \text{N/mm}^2$$

## Puristus ja taivutusjännityksen yhteisvaikutus

$$\text{Käyttöaste1} := \frac{\sigma_{c0d} + \sigma_{myd}}{K_{cy} \cdot f_{c0d} + f_{md}} \cdot 100 \quad \text{Käyttöaste1} = 76.622 \quad \%$$

$$\text{tot} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } 1 \geq \frac{\sigma_{c0d} + \sigma_{myd}}{K_{cy} \cdot f_{c0d} + f_{md}} \\ \text{"Tarkasteltava"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{tot} = \text{"OK"}$$

## Kiepahduskestävyys

### Taivutusjännitys

Max. taivutusmomentti  $M_d = 45.071$  kNm

$$\sigma_{myd} = 30.282 \quad \text{N/mm}^2$$

Kiepahdustuentaväli

Pilarin pituus  $L_c \cdot 1000 = 5.45 \times 10^3$  mm

### Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaiselle kuormalle

$$l_{ef} := 0.5 \cdot L_c \cdot 1000 \quad l_{ef} = 2.725 \times 10^3 \quad \text{mm}$$

Kuorma sijaitsee vedtyllä reunalla, joten tehollista jänneväliä voidaan pienentää mitan 1/2 h verran

$$l_{ef1} := l_{ef} - 0.5 \cdot h \quad l_{ef1} = 2.567 \times 10^3 \quad \text{mm}$$

### Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli pistekuormille

$$l_{ef2} := 0.8 \cdot L_c \cdot 1000 \quad l_{ef2} = 4.36 \times 10^3 \quad \text{mm}$$

### Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaisellekuormalle ja pistekuormille

$$M_{d1} = 29.774 \quad \text{kNm} \quad \text{Tasaisen kuorman aiheuttama momentti}$$

$$M_{d2} = 15.297 \quad \text{kNm} \quad \text{Pistekuorman aiheuttama momentti}$$

$$l_{efy} := \frac{M_{d1} \cdot l_{ef1} + M_{d2} \cdot l_{ef2}}{M_{d1} + M_{d2}} \quad l_{efy} = 3.176 \times 10^3 \quad \text{mm}$$

### Suorakaidepilarin kriittinen taivutusjäännitys

$$c_\delta := 0.71 \quad \text{Liimapuulle}$$

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c_\delta \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} \quad \sigma_{m.crit} = 74.369 \quad \text{N/mm}^2$$

### Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{relm} := \sqrt{\frac{f_{mk}}{\sigma_{m.crit}}} \quad \lambda_{relm} = 0.656$$

k.crit-kerroin

$$k_{crit} := \begin{cases} 1 & \text{if } \lambda_{relm} \leq 0.75 \\ (1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{relm}) & \text{if } 0.75 < \lambda_{relm} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{relm}^2} & \text{if } 1.4 < \lambda_{relm} \end{cases} \quad k_{crit} = 1$$

Pilari ei ole kiepahdus herkkä koska K.crit arvo on 1. Näin ollen kiepahduksen jännitys voidaan jättää tarkastamatta

### Leikkausvoima kestävyys

$$V_d = 16.793 \quad \text{kN}$$

### Leikkausvoima tuella

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d \cdot 1000}{b \cdot h} \quad \tau_d = 0.888 \quad \text{N/mm}^2$$

### Leikkauslujuus

$$\text{Leikkaus} \quad f_{vk} := 3.2 \quad \text{N/mm}^2$$

$$K_{\text{mod}} = 1.1$$

$$f_{vd} := \frac{f_{vk} \cdot K_{\text{mod}}}{\gamma_M} \quad f_{vd} = 3.52 \quad \text{N/mm}^2$$

### Mitoitusehto leikkauskestävyydelle

$$\text{tot}_1 := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } \tau_d \leq f_{vd} \\ \text{"Tarkastettava"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{tot}_1 = \text{"OK"}$$

$$\text{käyttöaste} := \frac{\tau_d}{f_{vd}} \cdot 100 \quad \text{käyttöaste} = 25.241 \quad \%$$



## Tuulipilarin laskenta

LIITE 4

Liimapuurakentaisia mastopilareita

Tuulipilarin yläpää on nivellisesti ja alapää jäykästi tuettu

Tuettu heikomman suunnan nurjahdustavastaan levyillä.

### Yläpohjan kuormat

Yläpohja	$g_{k1} := 0.4$	kN/m <sup>2</sup>
Ripustus	$g_{k2} := 0.1$	kN/m <sup>2</sup>
Harjapalkki	$g_{k3} := 0.9$	kN/m <sup>2</sup>
Tuuli	$q_{k1} := 0.47$	kN/m <sup>2</sup>
Lumi	$q_{k2} := 1.6$	kN/m <sup>2</sup>

Yhdistelykertoimet

$$\psi_{02} := 0.7$$

$$K_{FI} := 1.0$$

### Mitoitetaan hetkellisessä aikaluokassa, tuuli määrävä kuorma

$$\text{Muuttuvat kuormat} \quad 1,15 K_{FI} G_{Kj} + 1,5 K_{FI} Q_{k,2} + 1,5 K_{FI} \sum \psi_{0,2} Q_{k,1}$$

### Kuormat ja rasitukset

mastopilarien k-jako	$S := 7.0$	m
Kuormitusleveys	$B := 3.5$	m
Pilarin korkeus	$L_c := 5.1$	m
rakennekerroin	$C_s := 1.0$	
voimakerroin sivuseinää vastaan	$C_f := 0.9$	

### Seinän tuulikuorma käyttörajatilassa

$$q_{wk} := C_s \cdot C_f \cdot q_{k1} \cdot B \qquad q_{wk} = 1.48 \qquad \text{kN/m}$$

### Seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q_{wd} := 1.5 \cdot q_{wk} \qquad q_{wd} = 2.221 \qquad \text{kN/m}$$

### Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$N_d := \left[ 1.15 \cdot (q_{k1} + q_{k2}) + 1.5 \cdot \psi_{02} \cdot q_{k1} \right] \cdot \frac{S}{2} \cdot B + 1.15 \cdot g_{k3} \cdot B$$

$$N_d = 38.829 \qquad \text{kN}$$

### Pilarin taivutusmomentti tuulikuormasta murtorajatilassa pilarin juuressa

$$M_d := \frac{9 \cdot q_{wd} \cdot L_c^2}{128} \qquad M_d = 4.061 \qquad \text{kNm}$$

### Pilarin taivutusmomentti kuorman epäkeskisyydestä murtorajatilassa pilarin juuressa

$$e := 0.05 \qquad \text{m}$$

$$M_{d1} := N_d \cdot e \qquad M_{d1} = 1.941 \qquad \text{kNm}$$

### Pilarin leikkausvoima tuulikuormasta murtorajatilassa

$$V_d := \frac{5 \cdot q_{wd} \cdot L_c}{8} \qquad V_d = 7.079 \qquad \text{kN}$$

### Pilarin leikkausvoima tuulikuormasta murtorajatilassa

$$V_{d1} := \frac{N_d \cdot e \cdot \frac{N_d \cdot e}{2}}{L_c} \quad V_{d1} = 0.37 \quad \text{kN}$$

### Pilarin mitat

Leveys	$b := 90$		mm
Korkeus	$h := 90$		mm
Poikkileikkauksen pinta-ala	$A := b \cdot h$	$A = 8.1 \times 10^3$	mm <sup>2</sup>

### Nurjahduskestävyys (z-suuntaan)

Max. normaalivoima

$$N_d = 38.829 \quad \text{kN}$$

### Hoikkuusluku

$$L_{cz} := 0.85 \cdot L_c \quad L_{cz} = 4.335 \quad \text{m}$$
$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} \quad I_y = 5.468 \times 10^6 \quad \text{mm}^4$$
$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad i_y = 25.981 \quad \text{mm}$$
$$\lambda_y := \frac{L_{cz} \cdot 1000}{i_y} \quad \lambda_y = 166.854$$

### Muunnettu hoikkuusluku

Puristus syysuuntaan  $f_{c0k} := 26.5$  N/mm<sup>2</sup>

Kimmomoduuli  $E_{0.05} := 11100$  N/mm<sup>2</sup>

$$\lambda_{\text{rely}} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} \quad \lambda_{\text{rely}} = 2.595$$

K<sub>y</sub>-kerroin

$\beta_c := 0.01$  alku käyrydestä riippuva kerroin liimapuulle

$$K_y := 0.5 \cdot \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rely}} - 0.3) + \lambda_{\text{rely}}^2 \right] \quad K_y = 3.879$$

Nurjahduskerroin

$$K_{cy} := \frac{1}{K_y + \sqrt{K_y^2 - \lambda_{\text{rely}}^2}} \quad K_{cy} = 0.148$$

Puristusjäännitys

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_d \cdot 1000}{b \cdot h} \quad \sigma_{c0d} = 4.794 \quad \text{N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$\gamma_M := 1$$

$$K_{\text{mod}} := 1.1$$

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k} \cdot K_{\text{mod}}}{\gamma_M} \quad f_{c0d} = 29.15 \quad \text{N/mm}^2$$

### Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 4.061 \quad \text{kNm}$$

### Taivutusjännitys

$$\sigma_{\text{myd}} := \frac{6 \cdot M_d \cdot 10^6}{b \cdot h^2} \quad \sigma_{\text{myd}} = 33.427 \quad \text{N/mm}^2$$

### Taivutuslujuus

$$\begin{aligned} \text{Taivutus} & \quad f_{\text{mk}} := 32 \quad \text{N/mm}^2 \\ f_{\text{md}} & := \frac{f_{\text{mk}} \cdot K_{\text{mod}}}{\gamma_M} \quad f_{\text{md}} = 35.2 \quad \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

### Mitoitusehto

$$\text{Käyttöaste1} := \frac{\sigma_{\text{c0d}} + \sigma_{\text{myd}}}{K_{\text{cy}} \cdot f_{\text{c0d}} + f_{\text{md}}} \cdot 100 \quad \text{Käyttöaste1} = 96.733 \quad \%$$

$$\text{tot} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } 1 \geq \frac{\sigma_{\text{c0d}} + \sigma_{\text{myd}}}{K_{\text{cy}} \cdot f_{\text{c0d}} + f_{\text{md}}} \\ \text{"Tarkasteltava"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{tot} = \text{"OK"}$$

### Kiepahduskestävyys

Max. taivutusmomentti  $M_d = 4.061$  kNm

Taivutusjännitys  $\sigma_{myd} = 33.427$  N/mm<sup>2</sup>

### Kiepahdustuentäväli

Pilarin pituus  $L_c \cdot 1000 = 5.1 \times 10^3$  mm

### Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli

$l_{ef} := 1.0 \cdot L_c \cdot 1000$   $l_{ef} = 5.1 \times 10^3$  mm

Kuorma sijaitsee vedetyllä reunalla, joten tehollista jänneväliä tulee suurentaa mitan 2 h verran

$l_{ef1} := l_{ef} + 2 \cdot h$   $l_{ef1} = 5.28 \times 10^3$  mm

### Suorakaidepilarin kriittinen taivutusjännitys

$c_\delta := 0.71$  Liimapuulle

$\sigma_{m.crit} := \frac{c_\delta \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05}$   $\sigma_{m.crit} = 139.076$  N/mm<sup>2</sup>

### Suhteellinen hoikkuus

$\lambda_{relm} := \sqrt{\frac{f_{mk}}{\sigma_{m.crit}}}$   $\lambda_{relm} = 0.48$

k.crit-kerroin

$$k_{\text{crit}} := \begin{cases} 1 & \text{if } \lambda_{\text{relm}} \leq 0.75 \\ (1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{\text{relm}}) & \text{if } 0.75 < \lambda_{\text{relm}} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{\text{relm}}^2} & \text{if } 1.4 < \lambda_{\text{relm}} \end{cases} \quad k_{\text{crit}} = 1$$

Pilari ei ole kiepahdus herkkä koska K.crit arvo on 1. Näin ollen kiepahduksen jännitys voidaan jättää tarkastamatta

### Leikkausvoima kestävyys

$$V_d = 7.079 \quad \text{kN}$$

### Leikkausvoima tuella

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d \cdot 1000}{b \cdot h} \quad \tau_d = 1.311 \quad \text{N/mm}^2$$

### Leikkauslujuus

$$\text{Leikkaus} \quad f_{\text{vk}} := 3.2 \quad \text{N/mm}^2$$

$$K_{\text{mod}} = 1.1$$

$$f_{\text{vd}} := \frac{f_{\text{vk}} \cdot K_{\text{mod}}}{\gamma_M} \quad f_{\text{vd}} = 3.52 \quad \text{N/mm}^2$$

### Mitoitusehto leikkauskestävyydelle

$$\text{tot}_1 := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } \tau_d \leq f_{\text{vd}} \\ \text{"Tarkasteltava"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{tot}_1 = \text{"OK"}$$

$$\text{käyttöaste} := \frac{\tau_d}{f_{\text{vd}}} \cdot 100 \quad \text{käyttöaste} = 37.24 \quad \%$$

## Taipuma

### Pilarin jäyhyysmomentti

$$I_y = 5.468 \times 10^6$$

### Hetkellinen taipuma

Kimmomoduuli	$E_{0,\text{mean}} := 13700$	N/mm <sup>2</sup>
$W_{\text{ins.Q}} := \frac{q_{\text{wk}} \cdot (L_c \cdot 1000)^4}{185 \cdot E_{0,\text{mean}} \cdot I_y}$	$W_{\text{ins.Q}} = 72.278$	mm

### Mitoitusehto taipumalle

$$\text{tot}_2 := \left( \begin{array}{l} \text{"W.net.fin on OK"} \quad \text{if } \frac{L_c \cdot 1000}{300} > W_{\text{ins.Q}} \\ \text{"Tarkasteltava"} \quad \text{otherwise} \end{array} \right) \quad \text{tot}_2 = \text{"Tarkasteltava"}$$

$$\text{käyttöaste2} := \frac{W_{\text{ins.Q}}}{\frac{L_c \cdot 1000}{300}} \cdot 100 \quad \text{käyttöaste2} = 425.167 \quad \%$$



## Päätypalkin laskenta

LIITE 5

Päätypalkin yläreuna on tuettu kiepahdusta vastaan katon vaakaniskoilla.

Harjapalkki tulee mitoittaa pysyvässä ja keskipitkässä aikaluokassa.

### Katolla olevan lumikuorman ominaisarvo

Lumikuorma maalla  $S_k := 2.0$  kN/m<sup>2</sup>

Muotokerroin  $\mu_i := 0.8$

Lumikuorma  $q_k := \mu_i \cdot S_k$   $q_k = 1.6$  kN/m<sup>2</sup>

Jänneväli  $L_0 := 14600$  mm

### Palkin koko

Harjan korkeus  $h_{\text{harja}} := 610$  mm

Palkki pituus  $L_p := 15.6$  m

Palkin korkeus  $H_{\text{ap}} := 315$  mm

Palkin leveys  $b := 90$  mm

Tuen pituus  $l_a := 315$  mm

Ka. palkin omapaino	$g_{k3} := (b \cdot H_{ap}) \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 5$	$g_{k3} = 0.142$	kN/m
Katon omapaino	$g_{k1} := 0.4$		kN/m <sup>2</sup>
Ripustuskuorma	$g_{k2} := 0.1$		kN/m <sup>2</sup>

#### Liimapuu GL32c

Taivutus	$f_{mk} := 32$	N/mm <sup>2</sup>
Leikkaus	$f_{vk} := 3.2$	N/mm <sup>2</sup>
Puristus syysuuntaan	$f_{c0k} := 26.5$	N/mm <sup>2</sup>
Puristus syysuuntaa vastaan	$f_{c90k} := 3.0$	N/mm <sup>2</sup>
Veto syysuuntaa vastaan	$f_{t90k} := 0.45$	N/mm <sup>2</sup>
Kimmomoduuli	$E_{0.05} := 11100$	N/mm <sup>2</sup>
Kimmomoduuli	$E_{0.mean} := 13700$	N/mm <sup>2</sup>
Liukumoduuli	$G_{mean} := 780$	N/mm <sup>2</sup>
Materiaalin osavarmuusluku	$\gamma_M := 1.2$	

#### Kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa

Pysyvä aikaluokka	KY1=	$1,35 K_{Fl} G_{Kj}$
Muuttuvat kuormat	KY2=	$1,15 K_{Fl} G_{Kj} + 1,5 K_{Fl} Q_{k,1}$
Pääkannattimien jako	kk :=	7 m

#### Yläpohjan omapaino käyttörajatilassa

$$P_{kG} := (g_{k1} + g_{k2}) \cdot \frac{kk}{2} + g_{k3} \quad P_{kG} = 1.892 \quad \text{kN/m}$$

### Lumikuorma käyttörajatilassa

$$P_{kQ} := q_k \cdot \frac{kk}{2} \quad P_{kQ} = 5.6 \quad \text{kN/m}$$

### Yläpohjan omapaino + lumikuorma murtorajatilassa

$$P_d = 1,15 K_{FI} P_{k,G} + 1,5 K_{FI} P_{k,Q}$$

$$P_d := 1.15 \cdot P_{kG} + 1.5 \cdot P_{kQ} \quad P_d = 10.576 \quad \text{kN/m}$$

### Taivutus kestävyys

#### Palkin max. tukimomentti

$$\text{Päätypilarien k-jako} \quad kk_1 := 4.323 \quad \text{m}$$

$$M_d := \frac{P_d \cdot kk_1^2}{8} \quad M_d = 24.705 \quad \text{kNm}$$

#### Palkin max. tukireaktio

$$B_d := \frac{5}{8} \cdot P_d \cdot kk_1 \quad B_d = 28.574 \quad \text{kN}$$

#### Palkin max. leikkausvoima

$$V_d := \frac{B_d}{2} \quad V_d = 14.287 \quad \text{kN}$$

### Taivutusjännitys

$$\sigma_{md} := \frac{6 \cdot M_d \cdot 10^6}{b \cdot H_{ap}^2} \quad \sigma_{md} = 16.599 \quad \text{N/mm}^2$$

$$k_{mod} := 0.8$$

$$f_{md} := \frac{f_{mk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \quad f_{md} = 21.333 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\text{tot1} := \begin{cases} \text{"}\sigma_{\text{md}} \text{ sopiva" } & \text{if } \sigma_{\text{md}} \leq f_{\text{md}} \\ \text{"Tarkasteltava" } & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{tot1} = \text{"}\sigma_{\text{md}} \text{ sopiva"}$$

$$\text{käyttöaste}_2 := \frac{\sigma_{\text{md}}}{f_{\text{md}}} \cdot 100 \quad \text{käyttöaste}_2 = 77.806 \quad \%$$

### Kiepahduskestävyys

Kiepahdustarkastelussa käytetään palkin korkeutena redusoitua palkkia

$$\text{Kiepahdustuentäväli} \quad a := 600 \quad \text{mm}$$

$$l_{\text{ef}} := a + 2 \cdot H_{\text{ap}} \quad l_{\text{ef}} = 1.23 \times 10^3 \quad \text{mm}$$

### Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$c_1 := 0.71 \quad \text{Liimapuulle}$$

$$\sigma_{\text{m.crit}} := \frac{c_1 \cdot b^2}{H_{\text{ap}} \cdot l_{\text{ef}}} \cdot E^{0.05} \quad \sigma_{\text{m.crit}} = 164.76 \quad \text{N/mm}^2$$

### Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{\text{rel.m}} := \sqrt{\frac{f_{\text{mk}}}{\sigma_{\text{m.crit}}}} \quad \lambda_{\text{rel.m}} = 0.441$$

$$k_{\text{crit}} := 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{\text{rel.m}} \quad k_{\text{crit}} = 1.229$$

Pilari ei ole kiepahdusherkkä koska  $K_{\text{crit}}$  arvo on 1. Näin ollen kiepahdus voidaan jättää tarkastamatta

$$\tau_d := 1.5 \cdot \frac{V_d \cdot 10^3}{H_{ap} \cdot b} \quad \tau_d = 0.756 \quad \text{N/mm}^2$$

### Leikkauslujuus

$$f_{vd} := \frac{f_{vk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \quad f_{vd} = 2.133 \quad \text{N/mm}^2$$

### Mitoitusehto leikkauskestävyydelle

$$\text{tot4} := \begin{cases} \text{"}\tau_d \text{ sopiva"} & \text{if } \tau_d \leq f_{vd} \\ \text{"Tarkasteltava"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{tot4} = \text{"}\tau_d \text{ sopiva"}$$

$$\text{Käyttöaste}_4 := \frac{\tau_d}{f_{vd}} \cdot 100 \quad \text{Käyttöaste}_4 = 35.434 \quad \%$$

### Palkin puristusjännitys

$$f_{c90d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c90k}}{\gamma_M} \quad f_{c90d} = 2 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\text{Pääty Pilarin leveys} \quad l := 90 \quad \text{mm}$$

$$\sigma_{c90d} := \frac{B_d \cdot 10^3}{l \cdot b} \quad \sigma_{c90d} = 3.528 \quad \frac{\text{N/mm}}{2}$$

### Ehto kaavan valintaan

$$\text{tot6} := \begin{cases} \text{"l.1 sopiva"} & \text{if } k k_1 \cdot 10^3 > 2 \cdot H_{ap} \\ \text{"Tarkasteltava"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{tot6} = \text{"l.1 sopiva"}$$

$$k_{c90} := \left( 2.38 - \frac{1}{250} \right) \cdot \left( 1 + \frac{2 \cdot H_{ap}}{12 \cdot l} \right) \quad k_{c90} = 3.198$$

$$\text{tot5} := \begin{cases} \text{"}\sigma_{c90d} \text{ sopiva"} & \text{if } \sigma_{c90d} \leq k_{c90} \cdot f_{c90d} \\ \text{"Tarkasteltava"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{tot5} = \text{"}\sigma_{c90d} \text{ sopiva"}$$

$$\text{käyttöaste}_5 := \frac{\sigma_{c90d}}{k_{c90} \cdot f_{c90d}} \cdot 100 \quad \text{käyttöaste}_5 = 55.148 \quad \%$$

## Taipuma

Redusoidaan palkki symmetriseksi jolloin palkin taipuma määritetään yksiaukkoisen palkin kaavalla käyttämällä redusoidun palkin korkeutta.

$$I_y := \frac{b \cdot H_{ap}^3}{12} \qquad I_y = 2.344 \times 10^8 \quad \text{mm}^4$$

## Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$W_{instG} := \frac{1 \cdot P_{kG} \cdot (kk_1 \cdot 10^3)^4}{192 \cdot I_y \cdot E_{0,mean}} \qquad W_{instG} = 1.071 \quad \text{mm}$$

## Hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista

$$W_{instQ} := \frac{1 \cdot P_{kQ} \cdot (kk_1 \cdot 10^3)^4}{192 \cdot I_y \cdot E_{0,mean}} \qquad W_{instQ} = 3.172 \quad \text{mm}$$

## Kokonaistaipuma

$$k_{det} := 0.6$$

LYH. S.17

$$\psi_{2,1} := 0.2$$

$$W_{netG} := (1 + k_{det}) \cdot W_{instG} \qquad W_{netG} = 1.714 \quad \text{mm}$$

$$W_{netQ} := (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{det}) \cdot W_{instQ} \qquad W_{netQ} = 3.552 \quad \text{mm}$$

$$W_{fin} := W_{netG} + W_{netQ} \qquad W_{fin} = 5.267 \quad \text{mm}$$

## Mitoitusehto

Taipumaraja

$$\text{tot10} := \left( \begin{array}{l} \text{"W.fin sopiva"} \quad \text{if } W_{\text{fin}} \leq \frac{kk_1 \cdot 10^3}{300} \\ \text{"Tarkasteltava"} \quad \text{otherwise} \end{array} \right) \quad \text{tot10} = \text{"W.fin sopiva"}$$

$$\text{Käyttöaste}_6 := \frac{W_{\text{fin}}}{\frac{kk_1 \cdot 10^3}{300}} \cdot 100 \quad \text{Käyttöaste}_6 = 36.55 \quad \%$$





**Tuulikuorman määrittäminen**

Tuulennopeuspaineen määrittämiseen vaikuttaa rakennuksen korkeus maanpinnasta sekä maastoluokka, eli paikka missä rakennus sijaitsee. Rakennuksen sijaintia ei ole vielä valittu joten valitsen rakennuksen maastoluokaksi luokan 2.

Tuulikuormien määrittäminen voimakerroinmenetelmällä (tuuli kohtisuoraan sivuseinään)

Nopeuspaine	$q_p := 0.56$	kN/m <sup>2</sup>
Rakennekerroin	$C_s C_d := 1.0$	
Päädyn korkeus	$h := 5.45$	m
Rakennuksen leveys	$d := 40$	m
Rakennuksen syvyys	$b := 16$	m
Tehollinen hoikkuus	$\lambda := \frac{2 \cdot h}{d}$	$\lambda = 0.273$
	Sivusuhte := $\frac{b}{d}$	Sivusuhte = 0.4
Voimakerroin	$c_f := 1.3$	

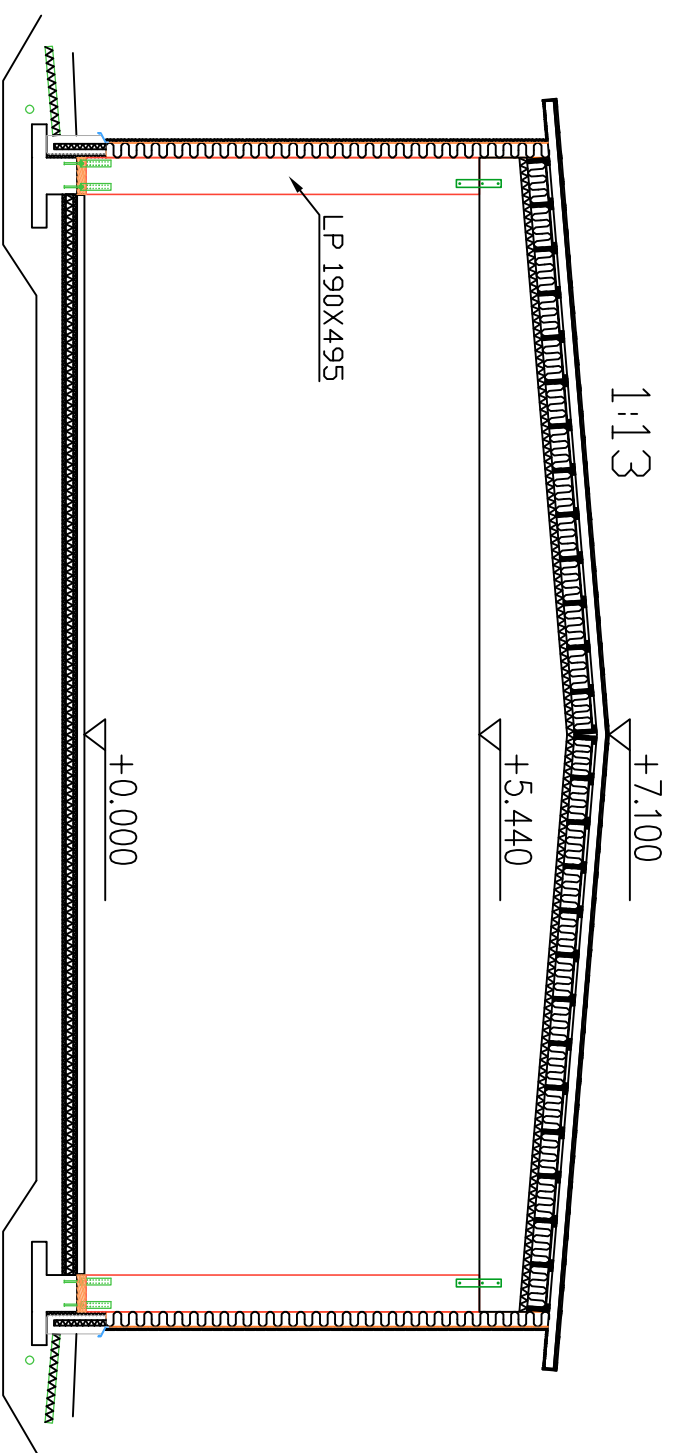
Kokonaistuulikuorman ominaisarvo sivuseinää vastaan neliökuormana

	$q_{wk} := C_s C_d \cdot c_f \cdot q_p$	$q_{wk} = 0.728$	kN/m <sup>2</sup>
Tehollinen hoikkuus	$\lambda_1 := \frac{2 \cdot h}{b}$	$\lambda_1 = 0.681$	
	Sivusuhte <sub>1</sub> := $\frac{d}{b}$	Sivusuhte <sub>1</sub> = 2.5	
Voimakerroin	$C_{f2} := 0.9$		

Kokonaistuulikuorman ominaisarvo päätyseinää vastaan neliökuormana

$$q_{wk2} := C_s C_d \cdot C_{f2} \cdot q_p \quad q_{wk2} = 0.504 \quad \text{kN/m}^2$$



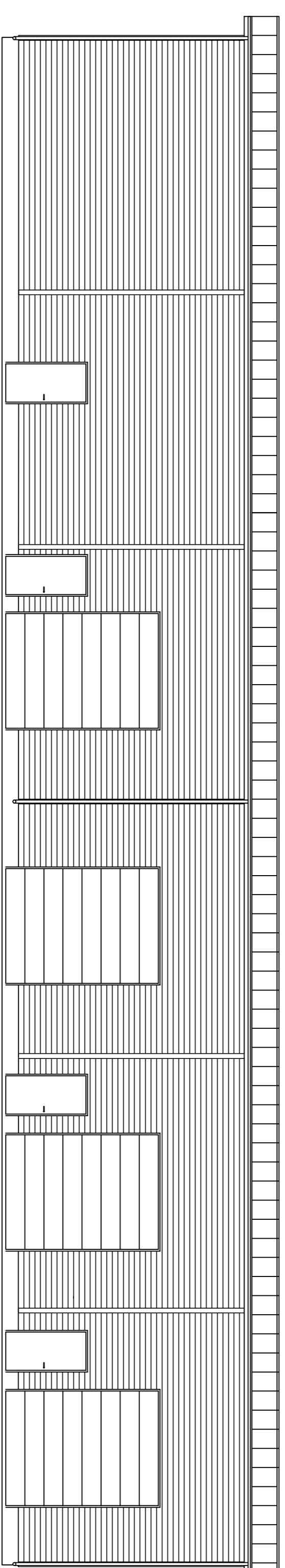
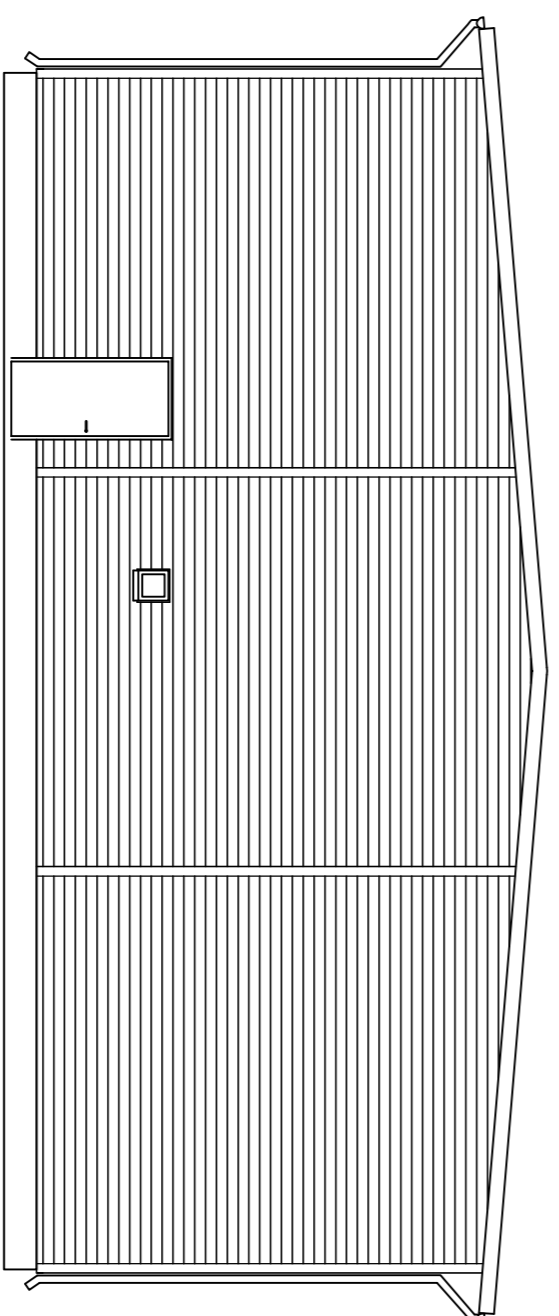
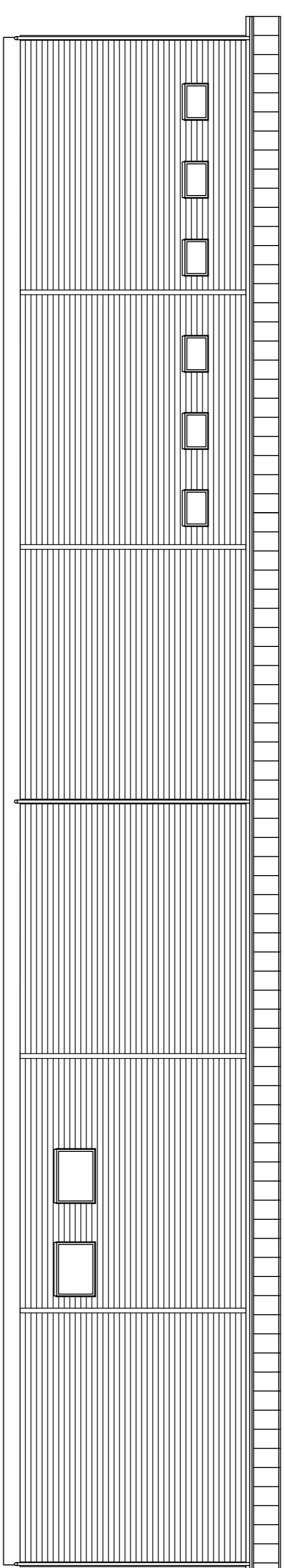
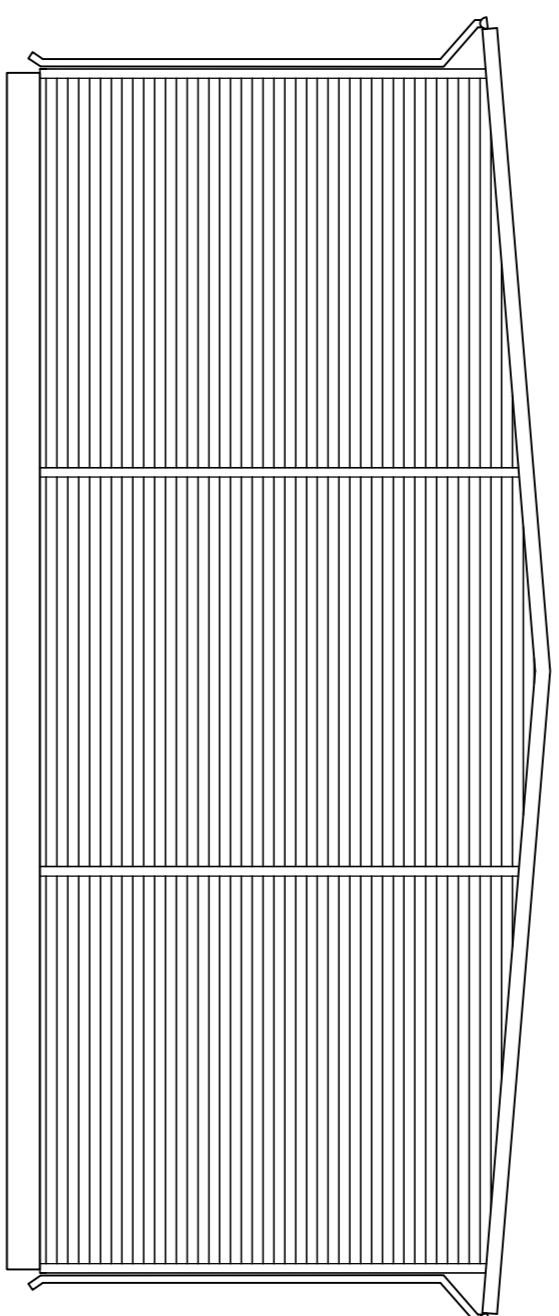


US  
 Kipsilevy 13 mm  
 Pestykkökalus 22 X 100  
 Ilmansulku  
 Vaakakalvus 48X48 + 50 mm  
 Villa  
 Runko 198X48 + 200 villa  
 Puulehensä ja 9 mm  
 Pystykalvus 25x100  
 Vaakapaneeloinniti

YP  
 Kipsilevy 13 mm  
 Ilmansulku  
 Kalvus 98X48+eriste spu 100mm  
 eristys 250 mm  
 Kipsilevy 9 mm  
 kalvus 123X48  
 aluskate  
 Ilmarako 20 mm  
 Ruoteet 100X22  
 Vesikate

AP  
 Teräsbetonilaatta 100 mm  
 ESP 200 mm  
 Tdy.tema  
 Routimaton maa-aines  
 Suodattikangas  
 Perusmaa

K.OSA	KORTTELI/TILA	TONNIT/RN0	RAKENNUSLUVAN TUNNUS
RAKENNUSLOMENNPIDE UUDISRAKENNUS			PIIRUSTUSLAI RAKENNEPIIRUSTUS
RAKENNUSKOHTIEN NIMI JA OSOITE Palkkipilari halli			PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ LEIKKAUS
			SUUNNALLA RAK
			PÄIVÄYS 11.08.2016
			TYÖ No
			PIIR.No
			MUUTOS
			JUOKS.No 1
			MITTAKAAVAT 1:100
			YHT.HENK. AJo



KOKO	KORTELI/ALA	TONTTI/RIISI	RAKENNUSTYÖN TUNNUS	JÄRJESTYS
RAKENNUSTOIMIKO			RAKENNUSTYÖN TUNNUS	1
UUDISRAKENNUS			RAKENNUSTYÖN TUNNUS	MITTAAMATI
RAKENNUKSEN NIMI JA OSAT			JULKISUUTI	1:50

SIIRIKKA	TÖN	PIIRUS	MUUTUS
RAK			
PAIVIS	MITTAA		
11.08.2016	ALO		

Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
X	1	1 / 2
	Päiväys	
	28.heinä	AJO
Rakennuskohde	Sisältö	
Varastohalli	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

## RAKENTEEN TIEDOT

Info

TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen ulkoseinä (lämpövirran suunta vaakasuoraan) ▼

### RAKENNEKERROKSET

Sisäpinta

- |   |                                      |            |
|---|--------------------------------------|------------|
| 1 | Kipsilevy ▼                          |            |
|   | Kerroksen paksuus [d]                | 13,0 mm    |
|   | Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ]        | 0,250 W/mK |
| 2 | Ilman- ja höyrynsulku ▼              |            |
| 3 | Lämmöneriste (sisältää koolauksen) ▼ |            |
|   | Kerroksen paksuus [d]                | 250,0 mm   |
|   | Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ]        | 0,033 W/mK |
|   | Koolaussuunta (p / v)                | v          |
| 4 | Kipsilevy ▼                          |            |
|   | Kerroksen paksuus [d]                | 9,0 mm     |
|   | Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ]        | 0,250 W/mK |
| 5 | Ei rakennekerrosta ▼                 |            |
| 6 | Ei rakennekerrosta ▼                 |            |
| 7 | Ei rakennekerrosta ▼                 |            |
| 8 | Ei rakennekerrosta ▼                 |            |

Ulkopinta

### ILMARAKOJEN TIEDOT

- |                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| Ulkopuolen tuuletusrako   | Hyvin tuulettuva ▼ |
| Ilmarakojen korjaustekijä | Korjaustaso 1 ▼    |

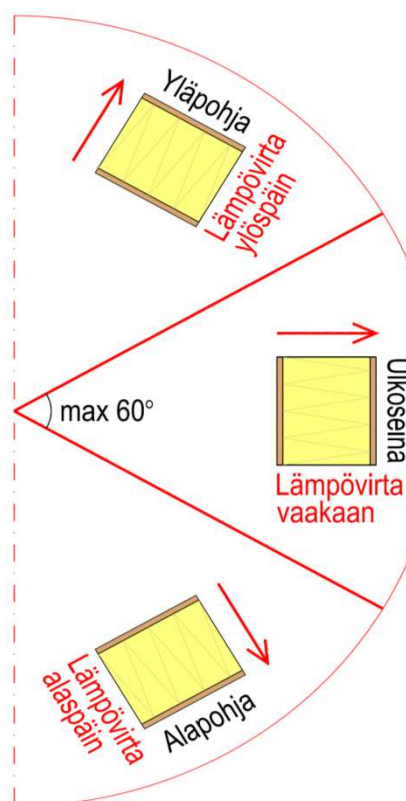
### METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT

- |                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| Muuraussiteiden tyyppi | Ei muuraussiteitä ▼ |
|------------------------|---------------------|

### KOOLAUKSEN TIEDOT

- |   |            |
|---|------------|
| Koolauspuun leveys [b]                    | 48 mm ▼    |
| Koolauspuun lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ] | 0,120 W/mK |
| Vaakakoolauksen k-jako [s]                | 600 mm     |

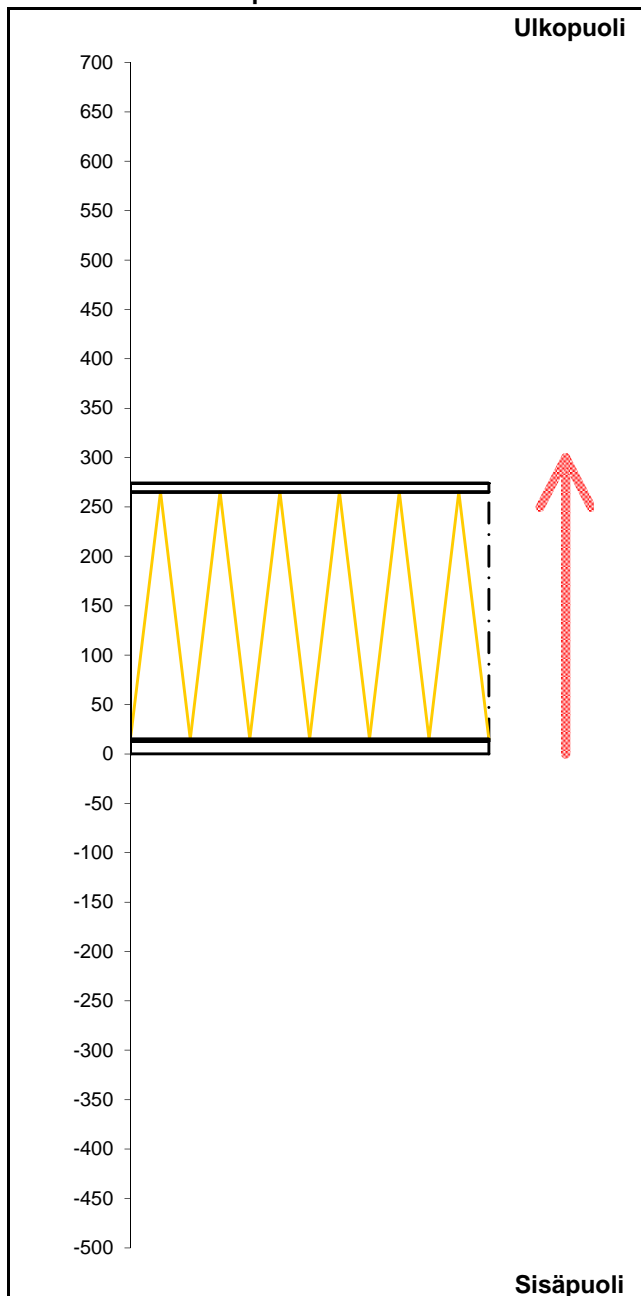
### RAKENNE / LÄMPÖVIRTA



Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu	
X	1	2 / 2	
	Päiväys		
42579	AJO		
Rakennuskohde	Sisältö		
Varastohalli	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)		

Puurakenteinen ulkoseinä	d [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	b [mm]	s [mm]
Sisäpinta			0,1300		
1 Kipsilevy	13	0,250	0,0520		
2 Ilman- ja höyrynsulku	0,2	0,330	0,0006		
3 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	250	0,033	6,2563	48	600
4 Kipsilevy	9	0,250	0,0360		
Ulkopinta			0,1300		

Rakenteen kokonaispaksuus 272 mm



#### MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI

Ei muuraussiteitä

#### OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOSUUDET

$f_a$	0,920	Eriste
$f_b$	0,000	Pystykoolaus
$f_c$	0,080	Vaakakoolaus
$f_d$	0,000	Koolausristeys

#### OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNVASTUKSET

$R_a$	7,924	m <sup>2</sup> K/W
$R_b$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
$R_c$	2,432	m <sup>2</sup> K/W
$R_d$	0,000	m <sup>2</sup> K/W

#### U-ARVO

$R'_T$	6,712	m <sup>2</sup> K/W
$R''_T$	6,605	m <sup>2</sup> K/W
U	0,150	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U''$	0,010	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_g$	0,009	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_f$	0,000	W/m <sup>2</sup> K

#### ULKOSEINÄN U-ARVO

$$U_c = 0,1593 \text{ W/m}^2\text{K}$$

#### VIRHEILMOITUKSET

.

Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
X	X	1 / 2
	Päiväys	
	28.heinä	Ajo
Rakennuskohde	Sisältö	
Varastohalli	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

## RAKENTEEN TIEDOT

Info

TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen yläpohja (lämpövirran suunta ylöspäin) ▼

### RAKENNEKERROKSET

Sisäpinta

- Kipsilevy ▼

Kerroksen paksuus [d]	13,0 mm
Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ]	0,250 W/mK
- Lämmöneriste ▼

Kerroksen paksuus [d]	100,0 mm
Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ]	0,022 W/mK
- Lämmöneriste ▼

Kerroksen paksuus [d]	240,0 mm
Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ]	0,033 W/mK
- Kipsilevy ▼

Kerroksen paksuus [d]	9,0 mm
Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ]	0,250 W/mK
- Ei rakennekerrosta ▼
- Ei rakennekerrosta ▼
- Ei rakennekerrosta ▼
- Ei rakennekerrosta ▼

Ulkopinta

### ILMARAKOJEN TIEDOT

- Ulkopuolen tuuletusrako Hyvin tuulettuva ▼
- Ilmarakojen korjaustekijä Korjaustaso 1 ▼

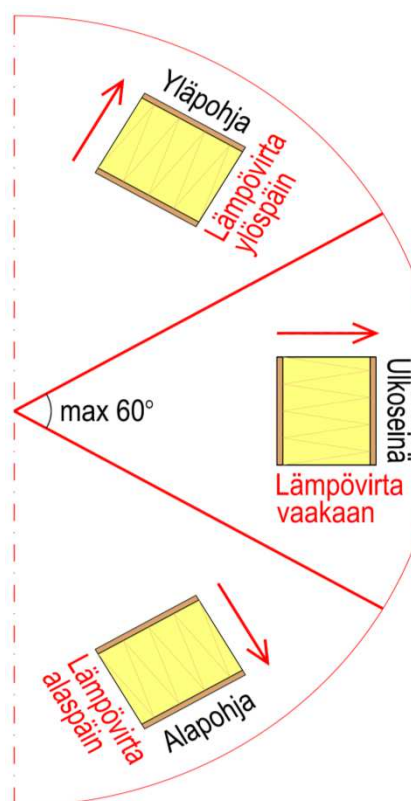
### METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT

- Muuraussiteiden tyyppi Ei muuraussiteitä ▼

### KOOLAUKSEN TIEDOT

- Koolauspään leveys [b] Ei koolausta ▼

### RAKENNE / LÄMPÖVIRTA



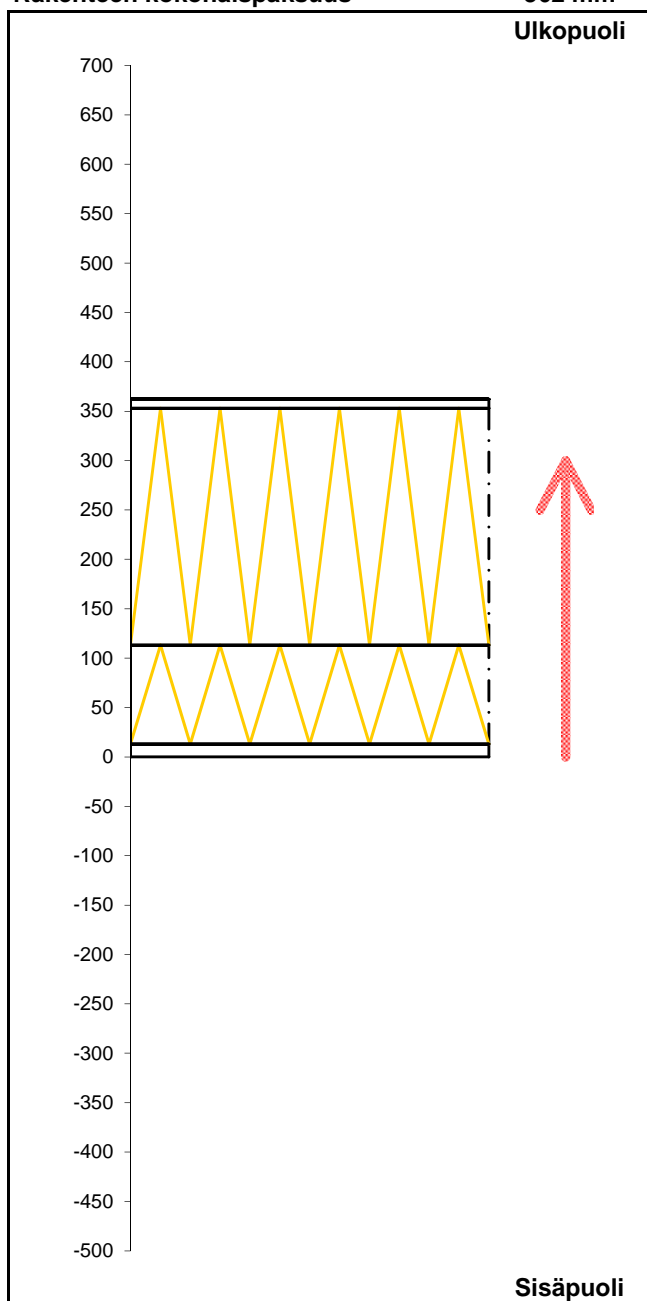
Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
X	X	2 / 2
	Päiväys	
	42579	Ajo
Rakennuskohde	Sisältö	
Varastohalli	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

**Puurakenteinen yläpohja**

	d [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Sisäpinta			0,1000
1 Kipsilevy	13	0,250	0,0520
2 Lämmöneriste	100	0,022	4,5455
3 Lämmöneriste	240	0,033	7,2727
4 Kipsilevy	9	0,250	0,0360
Ulkopinta			0,1000

**Rakenteen kokonaispaksuus**

362 mm

**MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI**

Ei muuraussiteitä

**OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOSUUDET**

$f_a$	1,000	Eriste
$f_b$	0,000	Pystykoolaus
$f_c$	0,000	Vaakakoolaus
$f_d$	0,000	Koolausristeys

**OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNVASTUKSET**

$R_a$	12,106	m <sup>2</sup> K/W
$R_b$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
$R_c$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
$R_d$	0,000	m <sup>2</sup> K/W

**U-ARVO**

$R'_T$	12,106	m <sup>2</sup> K/W
$R''_T$	12,106	m <sup>2</sup> K/W
U	0,083	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U''$	0,010	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_g$	0,010	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_f$	0,000	W/m <sup>2</sup> K

**YLÄPOHJAN U-ARVO**

$$U_c = 0,0921 \text{ W/m}^2\text{K}$$

**VIRHEILMOITUKSET**



Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
X	X	1 / 2
	Päiväys	
	X	X
Rakennuskohde	Sisältö	
X	U-arvon määrittäminen (EN ISO 13370)	

## RAKENTEEN TIEDOT

Info

Perusmaan tyyppi	Hiekka tai sora	▼
Alapohjan tyyppi	Maanpäällinen alapohja	▼
Reunan lisäeristys	Pystyeriste	▼
Kellarin seinätyyppi	Ei kellaria	▼

## REUNAN PYSTYERISTEEN TIEDOT

Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ]	0,037 W/mK
Paksuus [d]	100 mm
Korkeus [D]	400 mm

Alapohjan pinta-ala [A]	120,0 m <sup>2</sup>
Alapohjan ympärysmitta [P]	46,0 m
Perusmuurin paksuus [w]	150 mm

## RAKENNEKERROKSET

Sisäpinta

1	Betonilaatta	▼
	Kerroksen paksuus [d]	100,0 mm
	Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ]	2,500 W/mK
2	Polystyreeni (EPS)	▼
	Kerroksen paksuus [d]	200,0 mm
	Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ]	0,037 W/mK
3	Ei rakennekerrosta	▼
4	Ei rakennekerrosta	▼
5	Ei rakennekerrosta	▼
6	Ei rakennekerrosta	▼

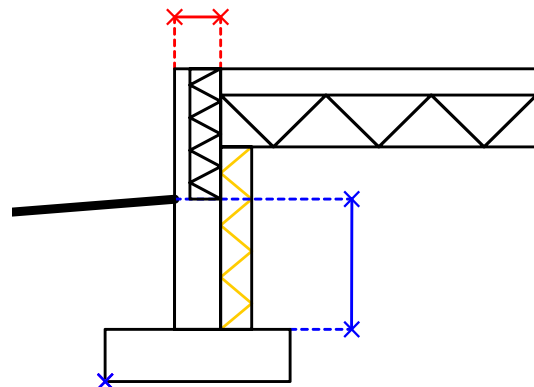
Ulkopinta

## LAATAN REUNAN RAKENNE

### Mittaviivojen selitykset

$x \rightarrow x$  = perusmuurin paksuus [w]

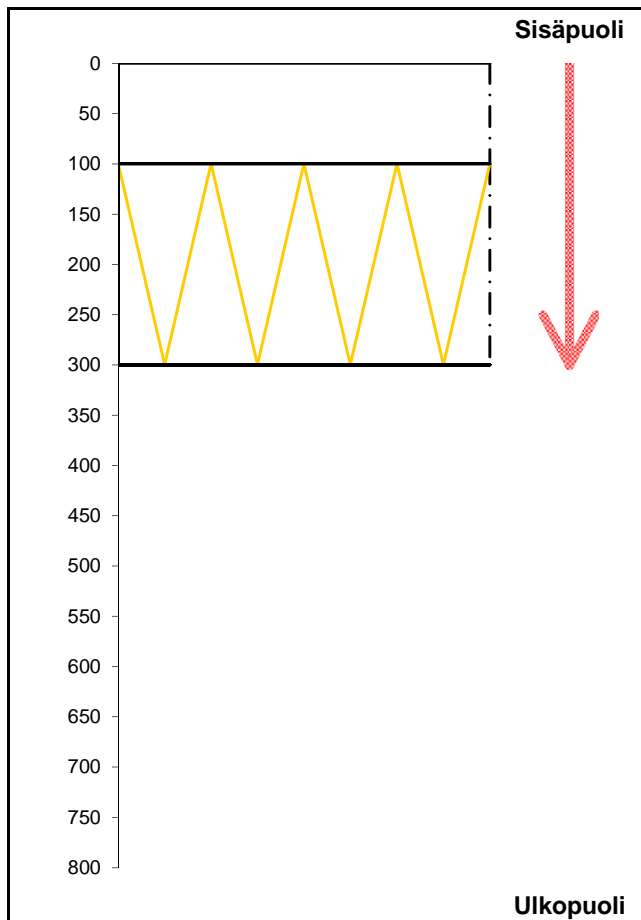
$x \rightarrow x$  = pystyeristeen korkeus [D]



Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
X	X	2 / 2
	Päiväys	
X	X	X
Rakennuskohde	Sisältö	
X	U-arvon määrittäminen (EN ISO 13370)	

**ALAPOHJA**

	d [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Sisäpinta			0,17
1 Betonilaatta	100	2,500	0,04
2 Polystyreeni (EPS)	200	0,037	5,41
Ulkopinta			0,04

**SUHTEELLINEN LATTIAMITTA**

A	120,0	m <sup>2</sup>
P	46,0	m
B'	5,217	m

**LATTIAN EKVIVALENTTI PAKSUUS**

w	0,150	m
d <sub>t</sub>	11,461	m
$\lambda_{\text{perusmaa}}$	2,000	W/mK
R <sub>si</sub>	0,170	m <sup>2</sup> K/W
R <sub>se</sub>	0,040	m <sup>2</sup> K/W
R <sub>f</sub>	5,445	m <sup>2</sup> K/W
R <sub>g</sub>	1,192	m <sup>2</sup> K/W

**SEINÄN EKVIVALENTTI PAKSUUS**

z	-	m
d <sub>w</sub>	-	m
R <sub>w</sub>	-	m <sup>2</sup> K/W

**U-ARVO**

$\Psi_{g,e}$	-0,01	
U <sub>0</sub>	0,14	W/m <sup>2</sup> K
U <sub>bf</sub>	-	W/m <sup>2</sup> K
U <sub>bw</sub>	-	W/m <sup>2</sup> K

**ALAPOHJAN U-ARVO**

$$U_c = 0,1394 \text{ W/m}^2\text{K}$$

**VIRHEILMOITUKSET**

•  
•