



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# TEOLLISUUSHALLIN LAAJENNUS

Lupa- ja urakkalaskentakuvien sekä kustannusarvion  
laatiminen

TEKIJÄ: Anssi Kuosmanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Anssi Kuosmanen			
Työn nimi Teollisuushallin laajennus, lupa- ja urakkalaskentakuvien sekä kustannusarvion laatiminen			
Päiväys	23.5.2016	Sivumäärä/Liitteet	23/35
Ohjaaja(t) tuntiopettaja Teppo Houtsonen, pt-tuntiopettaja Matti Ylikärppä			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savon Rakennuspelti Ky			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella teollisuushallin laajennus. Suunnittelu sisälsi rakennussuunnittelua, rakennesuunnittelua, sekä kustannuslaskentaa. Laajennuksesta oli tarkoitus tuottaa rakennuslupakuvat, urakkalaskentakuvat sekä laatia kustannusarvio. Tilaajalle tuotetun kuvien ja kustannusarvion pohjalta, laajennus olisi tarkoitus toteuttaa parin vuoden sisällä.</p> <p>Työn tilaajana toimi Savon Rakennuspelti Ky. Suunniteltava laajennus koskee yrityksen toimitiloja, jotka sijaitsevat Siilinjärvellä. Rakennus- ja rakennesuunnittelukuvat toteutettiin AutoCAD -ohjelmalla. Kantavien rakenteiden mitoitukset tehtiin Eurokoodien mukaisesti. Laskennat toteutettiin Microsoft Excel -ohjelman avulla. Lisäksi työssä vertailtiin taipuman arvoja statiikka-ohjelman ja käsinlaskujen välillä. Kustannusarvion laatimisessa noudatettiin Rakennusosien kustannuksia 2015 -kirjan arvoja. Kustannusarvion laskeminen toteutettiin Microsoft Excel-ohjelman hyödyntäen.</p> <p>Työn tuloksena saatiin rakennusluvan hakemiseen vaadittavat lupakuvat. Urakkalaskentakuvien avulla tilaaja voi halutessaan kilpailuttaa rakennushankkeen. Taipuman vertailussa tulokseksi saatiin, että käsinlasketut arvot ovat yhtenevät statiikka-ohjelmasta saatuihin arvoihin. Lisäksi urakkalaskentakuvia on helppo tarkentaa rakenneliitosten osalta, jolloin tilaaja saa rakennustyöhön tarvittavat detaljikuvat. Laajennuksen kustannusarvion avulla tilaaja saa käsityksen rakennushankkeen budjetista. Opinnäytetyö kokonaisuudessaan antaa hyvät lähtötiedot tilaajalle hankkeen käynnistämistä ja toteuttamista varten.</p>			
Avainsanat Laajennus, lupakuvat, urakkalaskentakuvat, kustannusarvio, teollisuushalli, rakentaminen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Anssi Kuosmanen			
Title of Thesis Industrial Hall Expansion, Construction Permit Drawings, Contract Calculation Drawings and Cost Estimation			
Date	23 May, 2016	Pages/Appendices	23/35
Supervisor(s) Mr. Teppo Houtsonen, Part-Time Teacher and Mr. Matti Ylikärppä, Part-Time Teacher			
Client Organisation /Partners Savon Rakennuspelti Ky			
<p><b>Abstract</b></p> <p>The purpose of this thesis was to create a plan for the industrial hall expansion. The plannings included the architectural design, structural design and budget calculation. The purpose was to create construction permit drawings, contract calculation drawings and an estimate cost of the expansion. With these plannings the customer will build the expansion during next two years.</p> <p>The customer of this thesis was Savon Rakennuspelti. The target of the expansion is the company's industrial hall located in Siilinjärvi. The drawings were created by the AutoCAD program and structural planning was created by Microsoft Excel in accordance with Eurocodes. In addition, the planning included comparing the bending flexures. The comparing was made between the handmade calculation and statics program calculation. The cost estimation was made by Microsoft Excel and it based on the book Rakennusosien kustannuksia 2015.</p> <p>The result of this thesis was construction permit drawings for the customer's construction permit application. With the contract calculation drawings the customer can tender for the building project. The result of the bending flexure comparing was congruous. Furthermore, the customer can easily define the contract calculation drawings to the working drawings. With the cost estimation the customer gets the idea of the budget of the expansion project. This thesis will give the customer a good initial data of the expansion building project.</p>			
<p><b>Keywords</b> Expansion, construction permit drawings, contract calculation drawings, cost estimation</p>			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Työn taustat ja tavoitteet.....	5
1.2	Opinnäytetyön tilaaja .....	5
2	OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖTIEDOT .....	6
2.1	Laajennus.....	6
2.2	Teollisuushalli .....	6
3	LAAJENNUKSEN RAKENNUSSUUNNITTELU.....	7
3.1	Luonnossuunnittelu .....	7
3.2	Muutokset .....	7
3.3	Rakennuslupakuvat .....	8
4	LAAJENNUKSEN RAKENNESUUNNITTELU.....	14
4.1	Rakennetyypit.....	14
4.1.1	Perustus .....	14
4.1.2	Runko.....	15
4.1.3	Yläpohja .....	16
4.2	Rakenteiden jäykistys .....	16
5	TAIPUMAN TARKASTELO .....	17
5.1	Kattokannattajan taipuma.....	17
5.2	Kannatinpalkin taipuma .....	19
5.3	Tulosten tarkastelu.....	20
6	LAAJENNUKSEN KUSTANNUSARVIO .....	21
7	YHTEENVETO .....	22
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	23

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Työn taustat ja tavoitteet

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella tilaajalle laajennusosa olemassa olevaan teollisuushalliin. Laajennusosan avulla on tarkoitus saada lisää varasto- ja toimitilaa kasvavan yrityksen käyttöön. Tilaajan tavoitteena on toteuttaa toimitilojensa laajennus parin vuoden sisällä.

Suunnittelu sisältää alustavien rakennuslupakuvien laatimisen. Rakennuslupakuviin kuuluu asemapiirustus, pohjapiirustus, julkisivupiirustukset, sekä leikkauspiirustus. Rakennuslupakuvat tuotetaan *AutoCAD* -ohjelmalla. Kohteesta laaditaan myös urakkalaskentaan tarvittavat kuvat, sekä mitoitetaan kantavat rakenteet. Urakkalaskentakuvat tuotetaan *AutoCAD* -ohjelmalla ja kantavien rakenteiden mitoitukset lasketaan *Microsoft Excel* -ohjelmaa hyödyntäen. Laajennusosan kustannusarvio laaditaan *Rakennustieto Oy:n* julkaiseman *Rakennusosien kustannuksia 2015* -kirjan avulla. Kustannusarvio tuotetaan *Microsoft Excel* -ohjelmalla taulukkomuotoon.

Opinnäytetyön tuloksena saadaan tilaajan toiveiden ja tarpeiden mukainen suunnitelma laajennusosasta. Tuloksena saatujen piirustusten ja kustannusarvion pohjalta tilaajan on helppo lähteä viemään hanketta eteenpäin.

### 1.2 Opinnäytetyön tilaaja

Opinnäytetyön tilaaja on *Savon Rakennuspelti Ky*, joka on Siilinjärvellä sijaitseva rakennusalan yritys. *Savon Rakennuspelti Ky:n* palveluihin kuuluu maanrakentaminen, saneeraukset ja uudisrakentaminen. Lisäksi yritys tarjoaa ammattitaitoista katto- ja peltityötä, mukaan lukien erikoispeltisepäntyöt. Yritys palvelee Pohjois-Savon alueella ja tarjoaa palvelujaan niin pientalo kuin julkisenrakentamisen puolellekin.

## 2 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖTIEDOT

Oppinnäytetyön lähtötietoina on tilaajan aikomus rakennuttaa Siilinjärven Kasurilassa sijaitsevaan teollisuushalliin laajennus. Laajennuksen avulla tilaaja haluaa lisää varasto- ja toimitilaa yrityksen käyttöön.

### 2.1 Laajennus

Tilaajan toiveena on, että laajennuksen koko olisi noin 60 neliometriä ja se olisi ulkonäöllisesti yhtenevä olemassa olevan hallin kanssa. Laajennus on tarkoitus rakentaa hallin vasemmalle puolelle (kuva 1). Laajennus on tarkoitus rakentaa parin vuoden sisällä. Rakentaminen tapahtuu yrityksen omanatyönä, joten kustannuslaskennan osioon ei tarvitse huomioida urakoitsijan katetta. Lähtötietojen pohjalta on tarkoitus laatia laajennuksen rakennuslupakuvat, mitoittaa ja suunnitella kantavat rakenteet, sekä laatia kustannusarvio.

### 2.2 Teollisuushalli

Tontilla sijaitseva teollisuushalli on pinta-alaltaan noin 255 neliometriä. Hallin runkorakenteena toimii pilarianturoiden päälle pystytetyt teräskehät. Hallin yhteydessä on matalampi rakennuksenosa, jossa sijaitsee toimisto ja nykyiset varastotilat. Matalamman rakennusosan runkorakenteena on harkkosokkeliperustus ja puurunko. Hallin katemateriaalina on konesaumattu peltikate. Hallin julkisivumateriaalina on ulkoverhouspaneeli ja sokkelipinnat on rapattu. Laajennuksen tulee olla ulkonäöllisesti yhtenevä edelle mainittujen tietojen kanssa. Tarkasti rajatut ulkonäkö- ja käyttövaatimukset rajasivat oppinnäytetyön rakennussuunnittelun osuuden pieneksi.



KUVA 1. Luonnoskuva hallista (Kuosmanen, 2016)

### 3 LAAJENNUKSEN RAKENNUSSUUNNITTELU

Lähtötietojen pohjalta laajennuksen julkisivumateriaalit oli tarkoin rajattu, sekä laajennuksen tilojen käyttötarkoituksin oli selvillä. Rakennussuunnittelun osuudeksi jäi suunnitella laajennuksen julkisivujen aukotus ja laajennusosan mitat.

#### 3.1 Luonnossuunnittelu

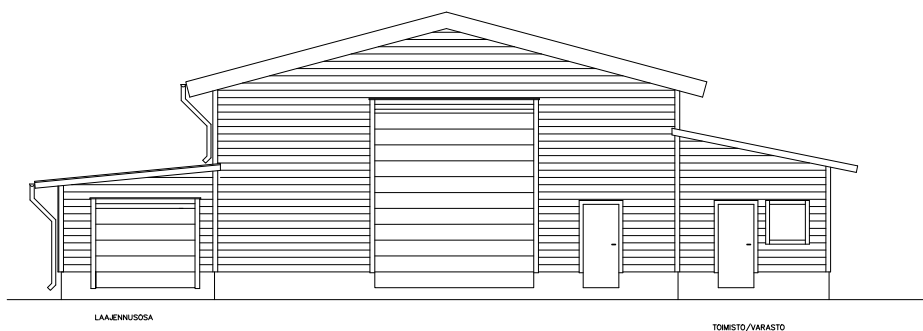
Suunnittelu alkoi palaverilla tilaajan kanssa. Palaverissa sovimme laajennuksen sijoittumisen tontille, sekä laajennuksen käyttövaatimukset. Laajennus tulisi sijoittumaan olemassa olevan hallin vasemmalle puolella, jolloin hallin massoittelu näyttäisi yhtenäiseltä (kuva 1 ja kuva 2). Palaverissa kävi ilmi, että hallin vasemmalla seinustalla on ikkunarivistö, joka tulisi olemaan rajoittava tekijä laajennuksen suunnittelussa. Tilaaja ei halunnut purkaa ikkunoita, vaan halusin säilyttää luonnonvalon hallirakennuksessa, joten ikkunoiden alareunan korkeus tulisi määräämän laajennusosan kattokorkeuden. Palaverissa tilaaja myös toivoi, että laajennusosaan tulisi nosto-ovi. Kulkuyhteys hallin sisäpuolelta laajennukseen päätettiin toteuttaa hallin seinään puhkaistavalla aukolla. Tontilla sijaitsee myös asuinrakennus, jonka etäisyys laajennuksesta tulisi ottaa suunnittelussa huomioon.

Laajennuksen luonnoskuvat päätin toteuttaa *AutoCAD* -ohjelmalla. Aloitin piirtämällä olemassa olevan hallirakennuksen julkisivukuvat vanhojen paperikuvien pohjalta. Merkitsin luonnokseen hallin korkoasemat, sekä ikkunan alareunan korkeuden lattiapinnasta. Ikkunan alareunankorko oli 3,44 metriä. Ikkunan alareunankorosta johtuen laajennuksen yläpohjaa ei pystyisi järkevästi toteuttamaan NR-ristikoilla, joten alkuperäistä suunnitelmaa jouduttaisiin muokkaamaan. Piirsin myös tontin asemapiirustuksen *AutoCAD* -ohjelmalla, vanhojen paperikuvien pohjalta. Asemapiirustukseen luonnostelin laajennuksen, hallin vasemmalle puolelle. Laajennuksen pituudeksi muodostui 16,55 metriä ja leveydeksi 4 metriä. Leveys määräytyi asemapiirustuksen ja tontilla tehtyjen mittauksen perusteella. Tällä leveydellä laajennusosan ja asuinrakennuksen väliin jäi hieman yli 8 metriä (kuva 3). *”Rakennusten välisen etäisyyden tulee olla seilainen, että palo ei leviä helposti naapurirakennuksiin ja aluepalon vaara jää vähäiseksi. Jos rakennusten välinen etäisyys on alle 8 metriä, tulee rakenteellisin tai muin keinoin huolehtia palon leviämisen rajoittamisesta”* (RakMK E1 2011, 26). Joten laajennuksen ulkoseiniä ei tarvitse palo-osastoida.

#### 3.2 Muutokset

NR-ristikko-yläpohjasta luovuttiin ja yläpohjarakenne päätettiin toteuttaa käyttämällä kattokannattajilla, jolloin rakenteesta tulisi matalampi. Samalla määräytyi myös vesikatonkaltevuus (1:10), joka on pienin mahdollinen kaltevuus, jonka voi toteuttaa konesaumattuun peltikatteeseen. *”Konesaumattun peltikaton kaltevuuksilla 1:7...1:10 käytetään kiinteälle alustalle asennettavaa AKK1- tai AKK2-käyttöluokan aluskermiä. Konesaumattulla peltikatolla tarkoitetaan kattoa, jonka kaikki saumat on saumattu tiivistysaineella käsitellyllä kaksinkertaisella saumalla”* (RT 85-11163, 3). Muutosten ansiosta laajennusosan huonekorkeus tulisi olemaan yli 2,2 metriä, joka on huonekorkeuden alaraja.

Laajennukseen päätettiin tehdä myös vino sisäkatto, jolloin huonekorkeuden keskikorkeudeksi saatiin yli 2,4 metriä.



KUVA 2. Luonnoskuva hallista laajennuksen jälkeen (Kuosmanen, 2016)

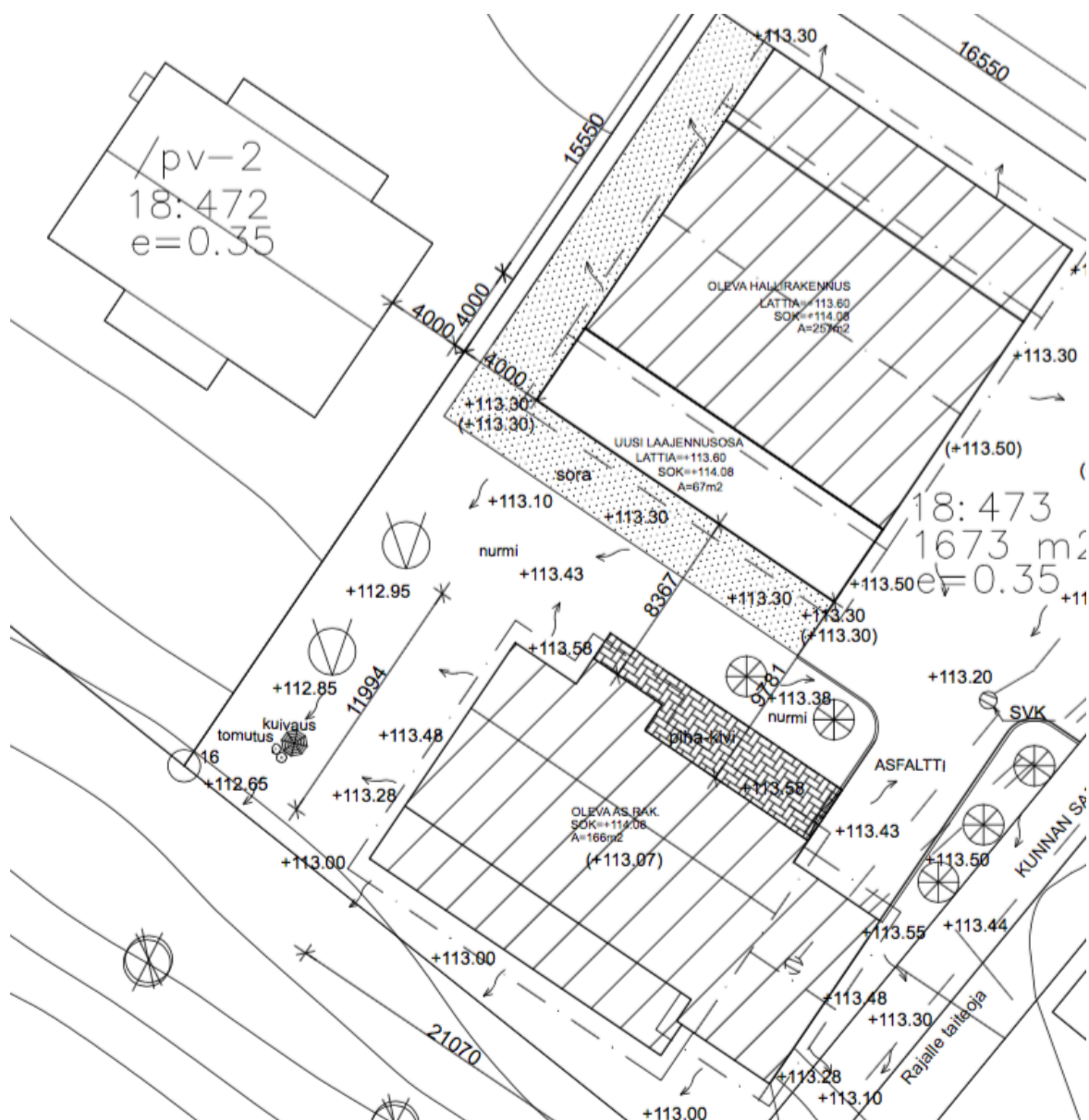
### 3.3 Rakennuslupakuvat

Luonnossuunnittelun jälkeen luonnoskuvia tarkennettiin vastaamaan rakennuslupakuvien tarkkuutta. Lisäksi piirrettiin puutuvat lupakuvat. Rakennuslupakuvat piirrettiin Kuopion alueellisen rakennusvalvonnan ja Pohjois-Savon pelastuslaitoksen laatiman *pientalo-ohje 2015* perusteella. Siilinjärven kunnan rakennusvalvonta edellyttää käyttämään tätä ohjetta. Pientalo-ohje löytyy internetistä, osoitteesta [www.siilinjarvi.fi](http://www.siilinjarvi.fi).

Rakennuslupakuvista piirrettiin asemapiirustus (liite 1), pohjapiirustus ja leikkaus (liite 2), julkisivupiirustukset (liite 3) ja ulkoseinäleikkaus (liite 4). Lisäksi ylä- ja alapohjasta, sekä ulko- ja väliseinästä piirrettiin detaljikuviä, joihin merkittiin rakennekerrokset ja U-arvot. Kuvat tuotettiin alusta loppuun *AutoCAD* -ohjelmalla.

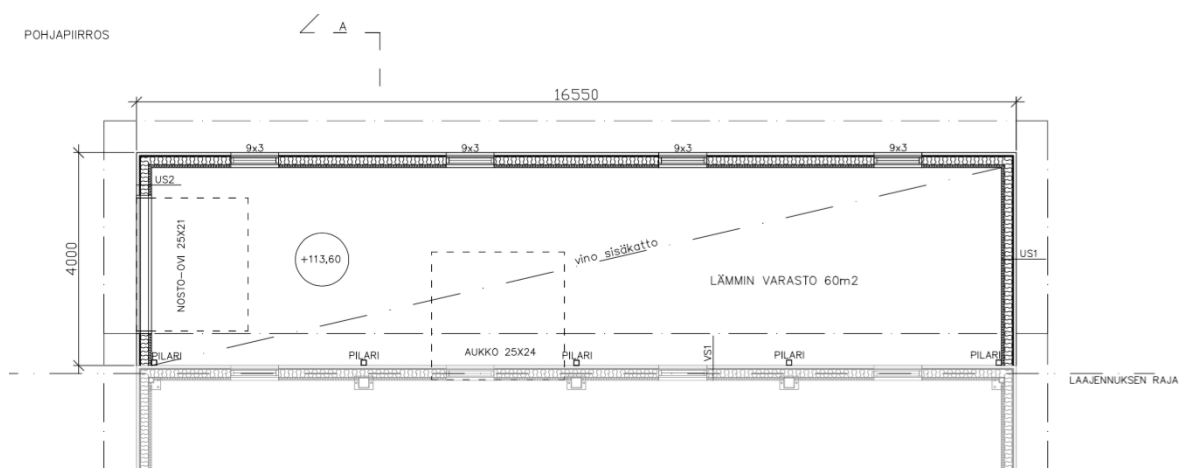


Alla on esitetty otteita rakennuslupakuvista. Laajennusosan sijoittuminen tontille, sekä laajennuksen etäisyys tontin muista rakennuksista (kuva 3). Lopulliset rakennuslupakuvat ovat liitteenä opinnäytetyön lopussa.



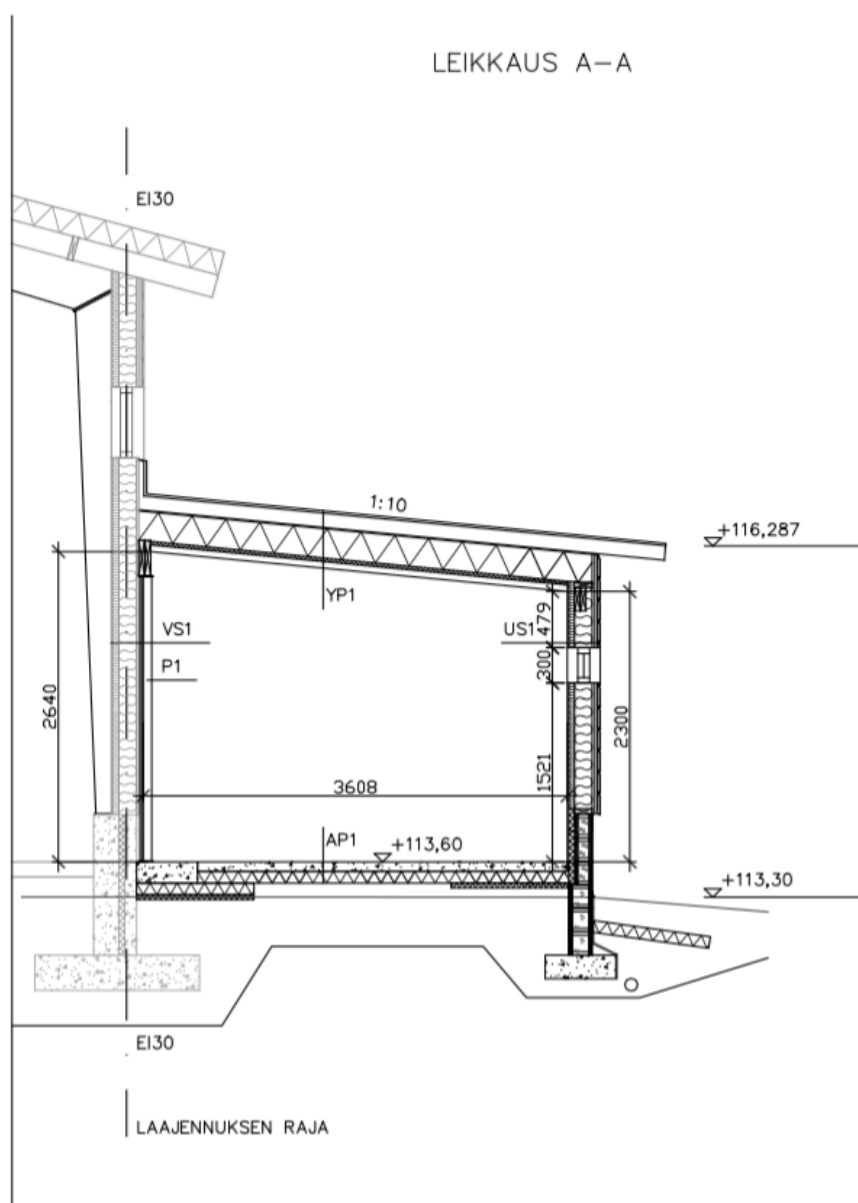
KUVA 3. Ote pohjapiirustuksesta (Kuosmanen, 2016)

Pohjapiirroksessa (kuva 4) näkyy rakennuksen ulkomitat, sekä nosto-oven ja ikkunoiden paikat. Hallin seinään puhkaistava aukko on merkitty kuvaan katkoviivalla. Olemassa oleva hallinseinä on esitetty kuvassa harmaana. Hallin seinään tehtävät muutokset on esitelty rakennesuunnittelun osuudessa.



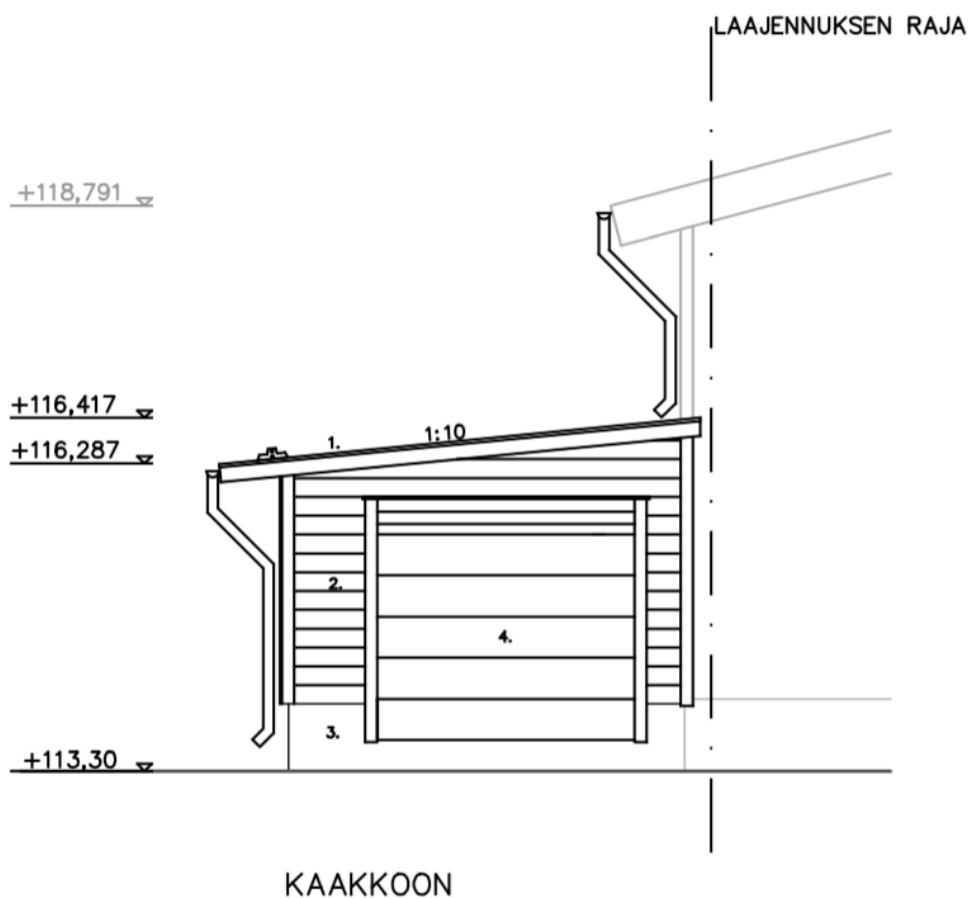
KUVA 4. Laajennuksen pohjapiirros (Kuosmanen, 2016)

Leikkauskuvassa on esitetty laajennuksen sisämitat, korkoasemat ja rakennetyypit. Laajennusosa on piirretty kuvaan mustalla ja olemassa oleva hallin osio harmaalla.

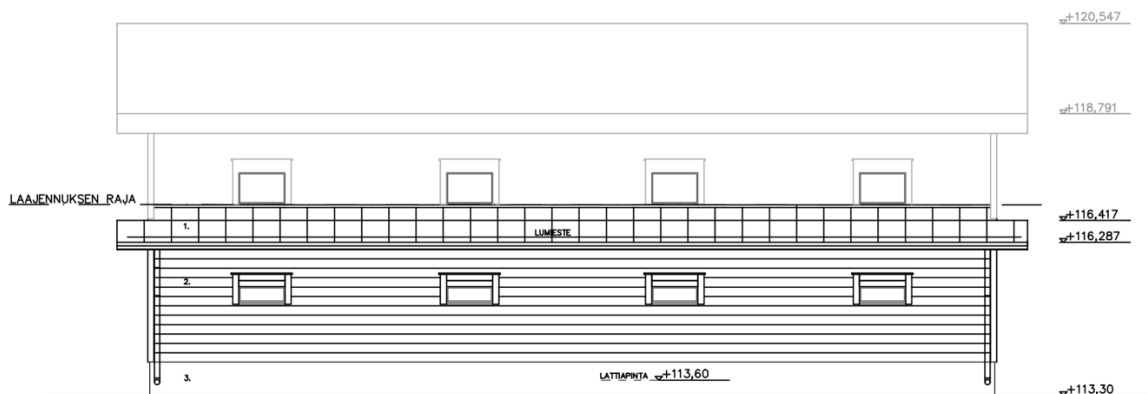


KUVA 5. Leikkauskuva laajennuksesta (Kuosmanen, 2016)

Rakennuslupakuviin kuuluvista julkisivukuvista, ensimmäisenä on esitetty nosto-oven puoleinen julkisivukuva (kuva 6) ja loput kuvat vastapäivään numeroituina. Luoteeseen päin aukeavassa julkisivukuvassa (kuva7) on esitetty ikkunoiden paikat. Ikkunat ovat samassa linjassa olemassa olevan hallin ikkunoiden kanssa.

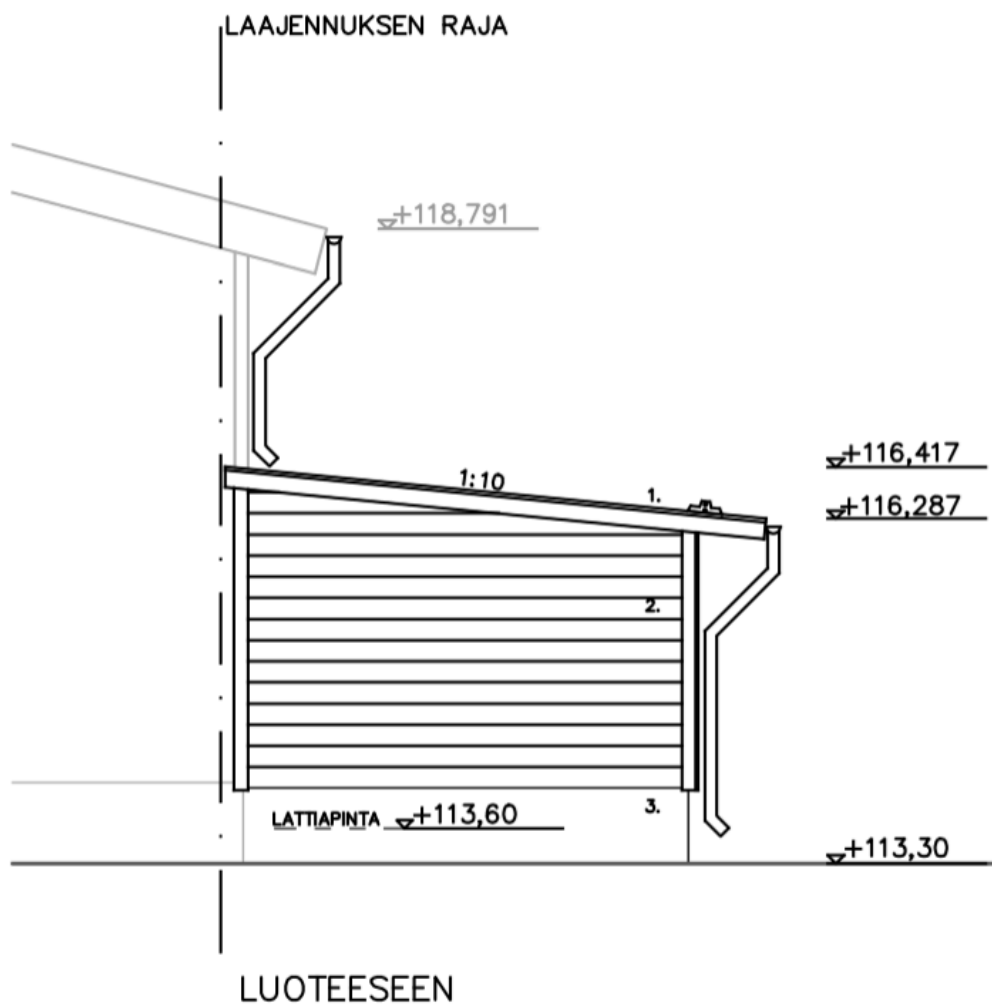


KUVA 6. Julkisivukuva kaakkoon (Kuosmanen, 2016)



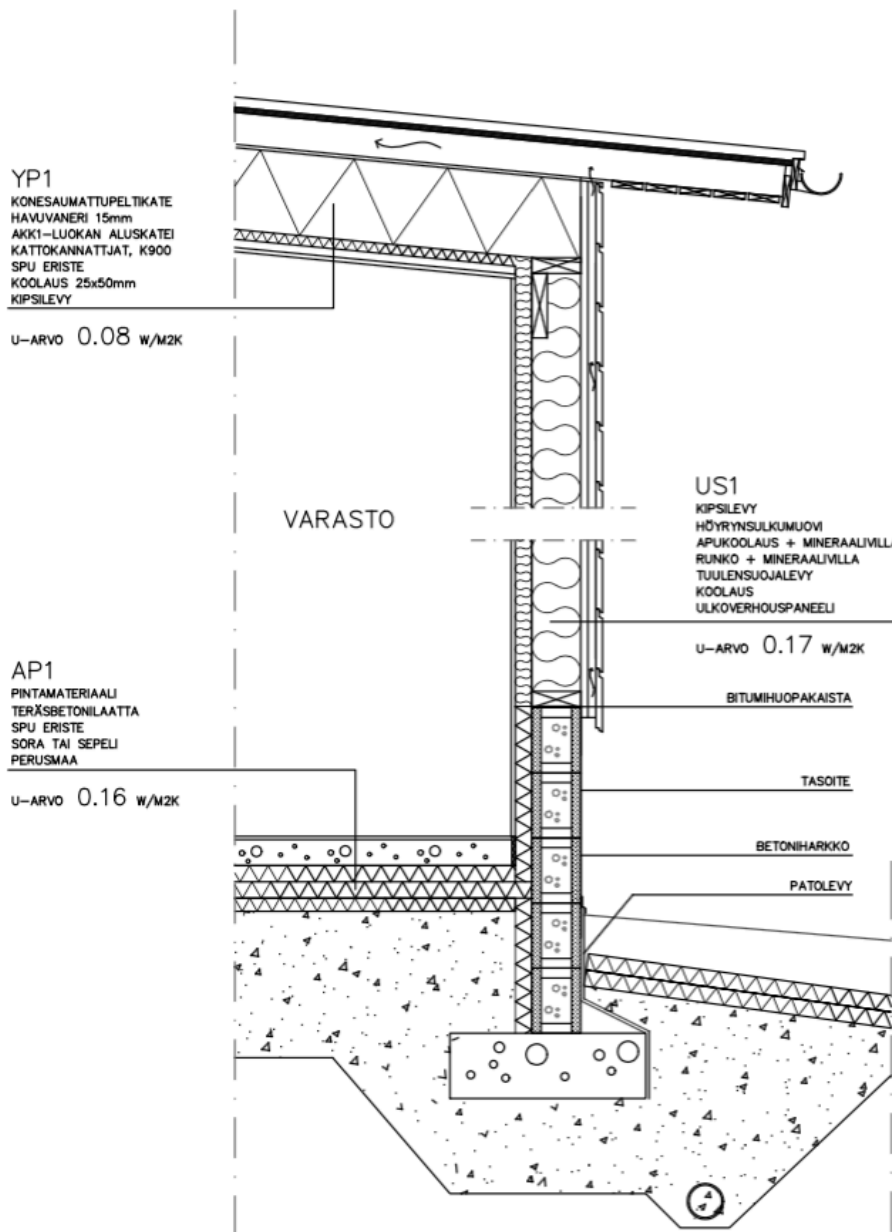
LOUNAASEEN

Kuva 7. Julkisivukuva lounaaseen (Kuosmanen, 2016)



Kuva 8. Julkisivukuva luoteeseen (Kuosmanen, 2016)

Ulkoseinäleikkauksessa (kuva 9) on esitetty rakennetyypit sijainteineen ja ainekerroksineen. Lisäksi rakennetyyppeihin on merkitty rakenteiden U-arvot. Kuvassa näkyy myös laajennusosan perustamistapa.



KUVA 9. Ulkoseinäleikkaus (Kuosmanen, 2016)

## 4 LAAJENNUKSEN RAKENNESUUNNITTELU

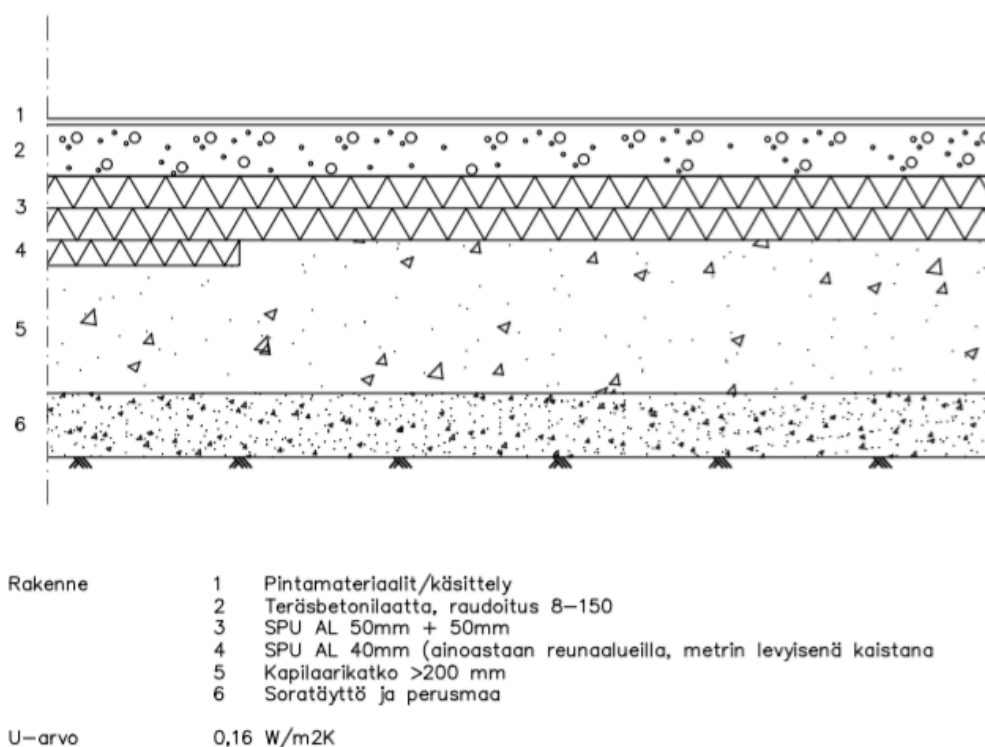
Rakennesuunnittelua varten määritettiin kantaville rakenteille tulevat kuormat vesikatolta ja yläpohjasta. Kuormat koostuvat rakenteiden omapainosta ja lumikuormasta. Kuormien laskemisen jälkeen mitoitettiin kattokannattajat, kannatuspalkit, runko, sekä hallin seinustalle tulevat pilarit.

Puurakenteet mitoitettiin Eurokoodin mukaisten Puuinfon laskentaesimerkkien mukaisesti. Laskennat tehtiin *Microsoft Excel* -ohjelmaan. Hallin puoleiselle seinälle tulevat teräspilarit mitoitettiin eurokoodien mukaisesti. Laskelmat ja urakkalaskenta kuvat ovat liitteenä opinnäytetyön lopussa.

### 4.1 Rakennetyypit

#### 4.1.1 Perustus

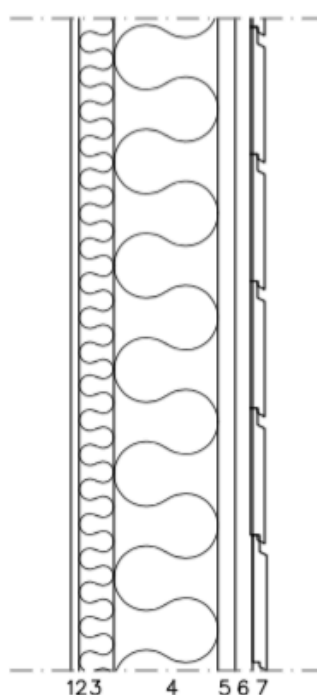
Tontilla sijaitsevan asuinrakennuksen rakentamisen yhteydessä tontille on tehty pohjatutkimus. Pohjatutkimuksen perusteella tontille rakennettavat perustukset voidaan tehdä maanvaraisesti. Laajennusosan perustamistavaksi valittiin maanvarainen antura, jonka päälle muurataan kuusi harkkokerrosta 150 mm paksuja harkkoja. Harkkoiksi valittiin kustannustehokkaat kevytsoraharkot. Suunnitelmissa harkot jouduttiin kuitenkin myöhemmin muuttamaan valubetoni harkkoiksi, jotta laajennuksen pitkänsivun seinälle saatiin parempi jäykkyys. Alapohjaksi laajennukseen valittiin 80 mm paksu maanvarainen teräsbetoni-laatta. Alapohjan eristäminen toteutetaan 100 mm vahvuisella SPU-eristelevyllä. Teräspilareiden perustaksi maanvaraiseen laattaan valetaan laattavahvennuksat. (kuva 10.)



KUVA 10. Alapohja (Kuosmanen, 2016)

## 4.1.2 Runko

Kantaviksi seiniksi valittiin 50 mm x 150 mm:n kokoinen puurunko ja runkotolppa jaoksi valittiin 600 mm. Harkkosokkelirakenne ulottuu 400 mm lattiapinnan yläpuolelle, jolloin laajennusosan sokkelikorkeudesta tulee yhtenäisen näköinen hallin sokkelikorkeuden kanssa. Puurungon ja harkkosokkelin väliin asennetaan bitumihuopakaista, jolla estetään kapilaarinen kosteuden nousu seinärakenteeseen. Ulkoseinän lämmöneristeenä toimii 150 mm paksu mineraalivilla, joka asennetaan runkotolppien väliin. Lisäksi ulkoseinä lisäeristetään sisäpuolelta 50 mm mineraalivillalla. (kuva 11) Ulkoseinän höyrönsulku liitetään yhteen yläpohjan höyrönsulun kanssa. Alapohjan ja ulkoseinän liittymässä höyrönsulku liitetään sokkelin EPS-eristeeseen. Hallin seinän puoleisena kantavana runkona toimii viisi kappaletta teräspilareita (RHS, mitat: 100mm x 100 mm x 3mm).



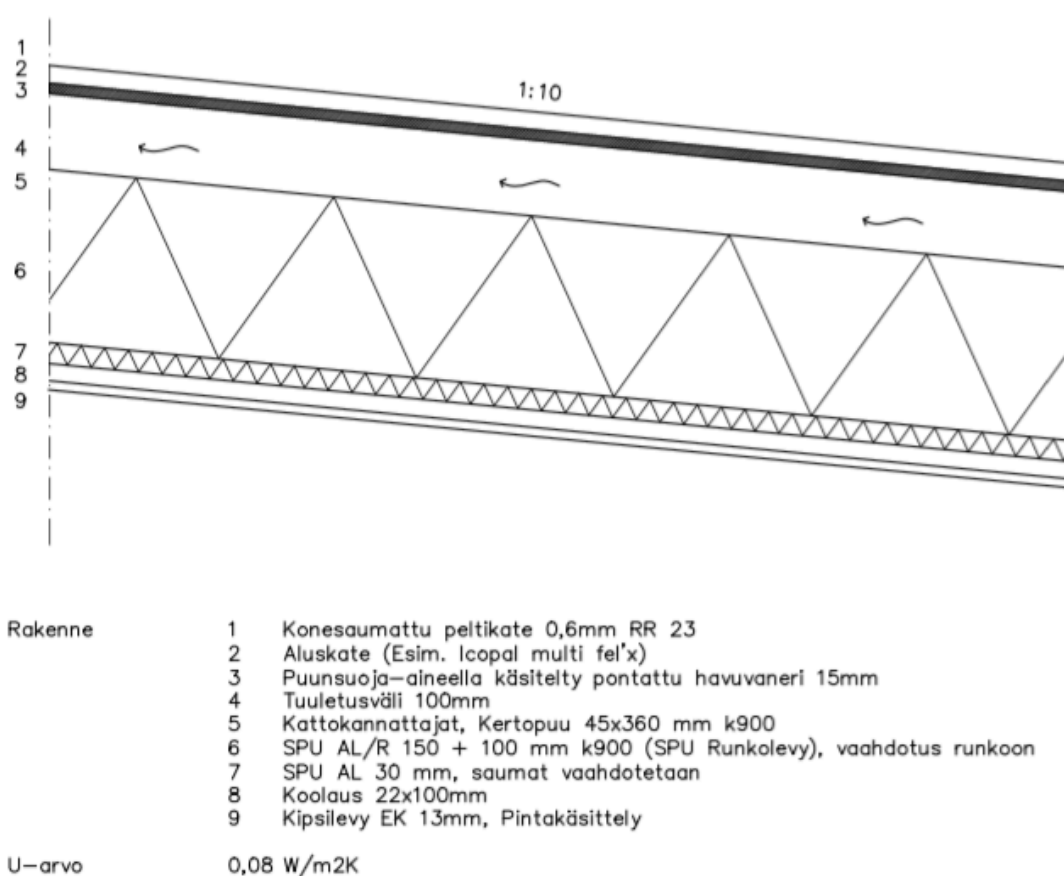
Rakenne	1	Kipsilevy 13mm, Pintamateriaalit/käsittely
	2	Höyrönsulkumuovi
	3	Mineraalivilla 50mm
	4	Puurunko + mineraalivilla 150mm
	5	Tuulensuojalevy 25mm
	6	Tuuletusrako 25mm
	7	Ulkoeräpaneeli, UYW 28x190mm

U-arvo 0,17 W/m<sup>2</sup>K

KUVA 11. Ulkoseinän rakenne (Kuosmanen, 2016)

### 4.1.3 Yläpohja

Yläpohjan kantavaksirakenteeksi valittiin kertopuupalkit (kerto-S 45 mm x 360 mm, k 900), jotka toimivat kattokannattajina. Yläpohja lämmöneristetään Polyuretaani levyillä (100 mm + 150 mm), jotka asennetaan kattokannattajien väliin. Lisälämmöneristeenä ja samalla höyrynsulkuna toimii kattokannattajien alapuolella asennettava yhtenäinen polyuretaanilevy 30 mm. Yläpohjan tuuletus tapahtuu eristepinnan yläpuolella jäävästä tuuletusraosta (110 mm). (kuva 12) Yläpohjan kannatinpalkkeina hallin seinän puolella on kaksi kappaletta kertopuupalkkeja (2kpl, kerto-S 45 mm x 360 mm). Ulkoseinän puolella kannatinpalkkina on runkotolppiin upotettu kannatinpalkki (sahatavara 48 mm x 198 mm). Ikkuna-aukkojen kohdalla kannatinpalkkeja on kaksi kappaletta rinnakkain (2kpl, sahatavara 48 mm x 198 mm).



KUVA 12. Yläpohjan rakenne (Kuosmanen, 2016)

### 4.2 Rakenteiden jäykistys

Laajennusosan rakenteiden jäykistys toteutetaan levyjäykistyksellä. Ulkoseinien jäykisteenä toimii sisäpuolinen kipsilevytys. Poikkeuksena nosto-oven seinä, jonka jäykisteenä toimii tuulensuojavanneri. Yläpohjan jäykistys toteutetaan vesikatteen alustana toimivalla havuvanerilla. Lisäksi yläpohjalle lisäjäykkyyttä antaa sisäkattoon tuleva kipsilevytys.



## 5 TAIPUMAN TARKASTELU

Opinnäytetyön tutkivana osuutena tarkasteltiin kattokannattajien- ja kannatinpalkin taipumaa. Tarkastelu tehtiin käsinlaskuista ja *Frame Analysis* -ohjelmasta saatujen taipuma arvojen välillä.

### 5.1 Kattokannattajan taipuma

Taipumat laskettiin Puuinfon esimerkkilaskujen mukaisesti. Ohessa käsinlaskettu taipuma kattokannattajapalkille (kuva 13) ja *Frame Analysis*-ohjelmasta saadut taipuman arvot (kuva 14)

#### KUORMAT

Yläpohjan omapaino,	$g_k =$	0,5 kN/m <sup>2</sup>
Lumikuorma,	$q_k =$	3,8 kN/m <sup>2</sup>

#### LÄHTÖTIEDOT

Palkin jänneväli,	$L =$	4000 mm
Palkkijako,	$s =$	900 mm
Palkin korkeus,	$h =$	360 mm
Palkin leveys,	$b =$	45 mm
Kimmomooduli,	$E_{mean} =$	13800 N/mm <sup>2</sup>
Virumaluku	$k_{def} =$	0,8

#### METRIKUORMAT, KRT

Pysyväkuorma	$G_k = g_k \cdot s = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,9 \text{ m} =$	0,45 kN/m
Hyötykuorma	$Q_k = q_k \cdot s = 3,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,9 \text{ m} =$	3,44 kN/m

#### TAIPUMA

##### Palkin jäyhyysmomentti

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{45 \text{ mm} \cdot (360 \text{ mm})^3}{12} = 174960000 \text{ mm}^4$$

##### Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$W_{inst,G} = \frac{5 \cdot G_k \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 0,45 \text{ kN/m} \cdot (4000 \text{ mm})^4}{384 \cdot 13800 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,75 \cdot 10^8 \text{ mm}^4} = 0,62 \text{ mm}$$

##### Hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista

$$W_{inst,Q} = \frac{5 \cdot Q_k \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 3,44 \text{ kN/m} \cdot (4000 \text{ mm})^4}{384 \cdot 13800 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,75 \cdot 10^8 \text{ mm}^4} = 4,75 \text{ mm}$$

##### Lopputaipuma

$$w_{fin} = ((1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G} + (1 + 0,2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,Q}) = ((1 + 0,8) \cdot 0,62 \text{ mm} + (1 + 0,2 \cdot 0,8) \cdot 4,75 \text{ mm}) = 6,63 \text{ mm}$$

##### Taipumaraja

$$\frac{L}{300} = \frac{4000 \text{ mm}}{300} = 13,33 \text{ mm}$$

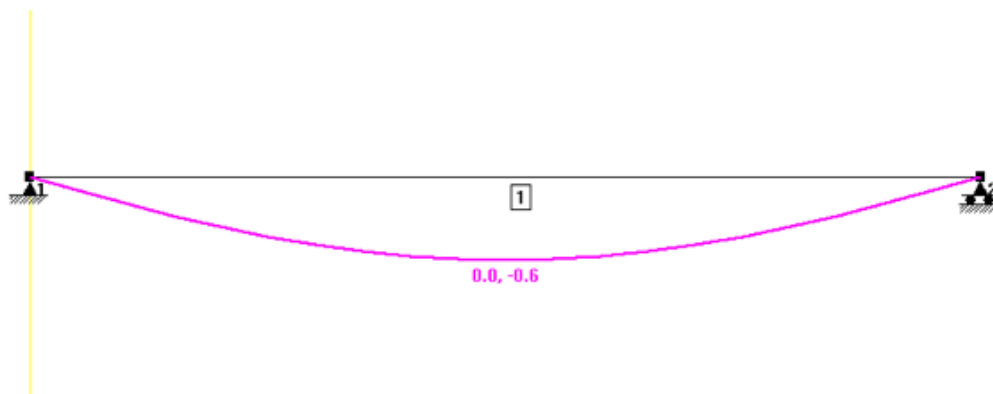
##### Mitoitusehto

$$w_{fin} \leq \frac{L}{300} \rightarrow 6,63 \text{ mm} \leq 13,33 \text{ mm}$$

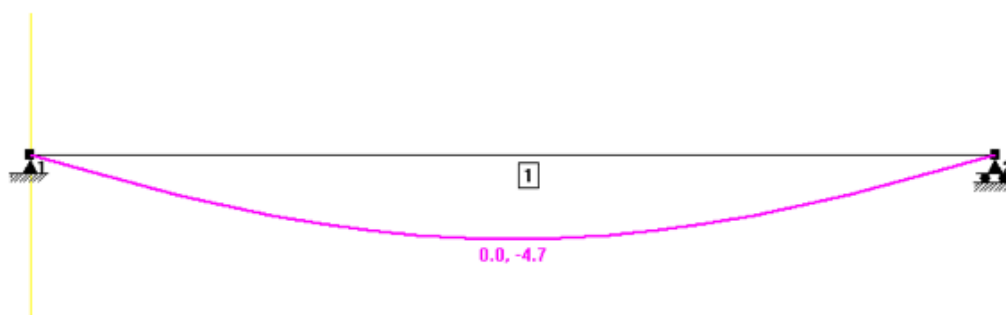
Käyttöaste 50%, OK!

KUVA 13. Kattokannattajan taipuma käsinlaskemalla (Kuosmanen, 2016)

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista, (KRT)



Hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista, (KRT)



KUVA 14. Kattokannattajan taipuma laskettuna *Frame Analysis*-ohjelmalla (Kuosmanen, 2016)

## 5.2 Kannatinpalkin taipuma

Samalla tavalla laskettiin myös kannatinpalkin taipuma. Ohessa käsinlaskettu taipuma kattokannattaja palkille (kuva 15) ja *Frame Analysis*-ohjelmasta saadut taipuman arvot (kuva 16)

**KUORMAT, käyttörajatilassa**

Yläpohjan omapaino,	$g_k =$	0,5 kN/m <sup>2</sup>
Lumikuorma,	$q_k =$	3,8 kN/m <sup>2</sup>

**LÄHTÖTIEDOT**

Palkin jänneväli,	$L =$	4215 mm	
Palkin korkeus,	$h =$	360 mm	(2kpl, kerto-S 45 mm x 360 mm)
Kuormitusalan leveys,	$s =$	2 m	
Palkin leveys,	$b =$	90 mm	
Kimmomooduli,	$E_{mean} =$	13800 N/mm <sup>2</sup>	
Virumaluku	$k_{def} =$	0,6	

**METRIKUORMAT, KRT**

Pysyväkuorma	$G_k = g_k \cdot s = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2 \text{ m} =$	1,00 kN/m
Hyötykuorma	$Q_k = q_k \cdot s = 3,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 2 \text{ m} =$	7,65 kN/m

**TAIPUMA****Palkin jäyhyysmomentti**

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{45 \text{ mm} \cdot (360 \text{ mm})^3}{12} = 349920000 \text{ mm}^4$$

**Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista**

$$W_{inst,G} = \frac{5 \cdot G_k \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 1,00 \text{ kN/m} \cdot (4215 \text{ mm})^4}{384 \cdot 13800 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,75 \cdot 10^8 \text{ mm}^4} = 0,85 \text{ mm}$$

**Hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista**

$$W_{inst,Q} = \frac{5 \cdot Q_k \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 7,65 \text{ kN/m} \cdot (4215 \text{ mm})^4}{384 \cdot 13800 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,75 \cdot 10^8 \text{ mm}^4} = 6,51 \text{ mm}$$

**Lopputaipuma**

$$w_{fin} = ((1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G} + (1 + 0,2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,Q}) = ((1 + 0,8) \cdot 0,85 \text{ mm} + (1 + 0,2 \cdot 0,8) \cdot 6,51 \text{ mm}) = 8,66 \text{ mm}$$

**Taipumaraja**

$$\frac{L}{300} = \frac{4215 \text{ mm}}{300} = 14,05 \text{ mm}$$

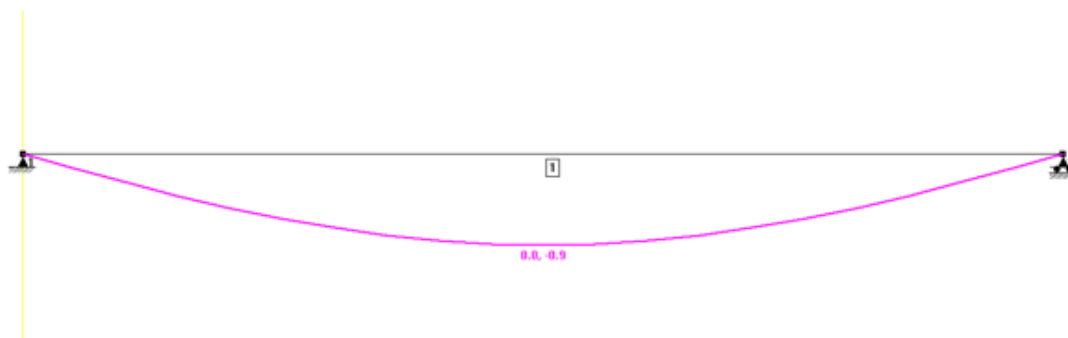
**Mitoitusehto**

$$w_{fin} \leq \frac{L}{300} \rightarrow 8,66 \text{ mm} \leq 14,05 \text{ mm}$$

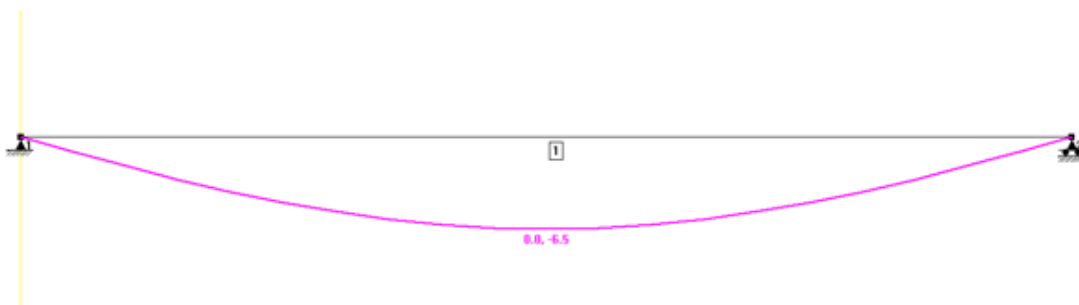
Käyttöaste 62%, OK!

KUVA 15. Kannatinpalkin taipuma käsinlaskemalla (Kuosmanen, 2016)

### Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista, (KRT)



### Hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista, (KRT)



KUVA 16. Kannatinpakin taipuma laskettuna *Frame Analysis*-ohjelmalla (Kuosmanen, 2016)

## 5.3 Tulosten tarkastelu

Tulokset on kerätty alla olevaan taulukkoon (taulukko 1). Taulukosta nähdään, että käsinlasketut arvot ovat lähes identtiset *Frame Analysis*-ohjelmasta saatujen arvojen kanssa. Pienet heitot arvojen välillä ovat todennäköisesti peräisin pyöristys eroista.

TAULUKKO 1. Taipumanvertailu taulukko (Kuosmanen, 2016)

Tulokset	Laskentaohjelma:	
	Käsinlaskenta	Frame Analysis
<b>KATTOKANNATTAJA:</b>		
<b>Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista</b>	0,62 mm	0,6 mm
<b>Hetkellinen taipuma muuttuvosta kuormista</b>	4,75 mm	4,7 mm
<b>KANNATINPALKKI:</b>		
<b>Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista</b>	0,85 mm	0,9 mm
<b>Hetkellinen taipuma muuttuvosta kuormista</b>	6,51 mm	6,5 mm

## 6 LAAJENNUKSEN KUSTANNUSARVIO

Kustannusarvion pohjana toimii urakkalaskentakuvat. Kustannusarvio päätettiin toteuttaa *Rakennustieto Oy:n* julkaiseman *Rakennusosien kustannuksia 2015* -kirjan pohjalta. Laajennusosan kustannusarviossa, kustannukset jakautuivat alla olevan taulukon mukaisesti (Taulukko 1). Kustannusarvio litteroitiin Talo 2000 -hankenimikkeistöjärjestelmän mukaisesti. Kustannusarvio ei sisällä LVIS-töitä. Lisäksi kustannusarviossa ei otettu huomioon rakennusliikkeen katetta, koska laajennusosan rakennustyöt on tarkoitus suorittaa tilaajan omanatyönä. Lopullinen kustannusarvio on liitteenä opinnäytetyön lopussa.

TAULUKKO 2. Laajennusosan kustannusjakauma (Kuosmanen, 2016)

KUSTANNUSJAKAUMA	Alv 0%	Alv 24%	€/brm <sup>2</sup>
Materiaalikustannukset	32 262,79 €	40 005,86 €	667 €
Työkustannukset	23 410,13 €	29 028,56 €	484 €
Kokonaiskustannukset	55 672,92 €	69 034,42€	1 150 €

## 7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella teollisuushallin laajennus. Työn tarkoitus oli tuottaa laajennuksesta rakennuslupa- ja urakkalaskenta kuvat, sekä laatia kustannusarvio suunnitelmien pohjalta. Tilaajan suunnitelmissa on toteuttaa laajennuksen rakentaminen parin vuoden sisällä. Rakentaminen on tarkoitus toteuttaa tässä opinnäytetyössä tuotettujen suunnitelmien pohjalta. Opinnäytetyön tekeminen oli haastavaa, mutta samalla antoisaa ja opettavaista. Pidin erityisesti opinnäytetyön monipuolisuudesta. Opinnäytetyö tarjosi sopivasti haasteita kaikilla osa-alueilla ja opin paljon uutta muun muassa rakennuslupaprosessista.

Opinnäytetyössä käsiteltiin laajennusosan rakennussuunnittelun eteneminen luonnoksista lupakuviksi, Kantavien rakenteiden suunnittelu mitoituksesta urakkalaskenta kuviin, sekä kustannusarvion luominen omien suunnitelmien pohjalta. Lisäksi rakennesuunnittelun yhteydessä vertailtiin palkkien taipuman arvoja käsinlaskujen ja *Frame Analysis*-ohjelman välillä. Vertailun tulokset olivat yhdenmukaiset. Opinnäytetyön kuvien tuottaminen tapahtui *AutoCAD*-ohjelmalla. Rakenteiden mitoitus, sekä kustannuslaskenta toteutettiin *Microsoft Excel*-ohjelmaa hyödyntäen. Työn tuloksena saatiin asianmukaiset lupa- ja urakkalaskenta kuvat, sekä kustannusarvio laajennuksesta.

Työlle asetetut tavoitteen toteutuivat ja tilaajalle toimitettavat tuotokset ovat käyttökelpoisia. Työn tuotoksien avulla tilaajan voi lähteä viemään rakennushanketta eteenpäin.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

KUOPION ALUEELLINEN RAKENNUSVALVONTA JA POHJOIS-SAVON PELASTUSLAITOS. 2015. Pientalo-ohje 2015.

Saatavissa: <https://www.kuopio.fi/documents/12117/21567/pientalo-ohje.pdf>

RAKENNUSTIETO OY. 2015. Rakennusosien kustannuksia 2015. Helsinki

Ei saatavilla internetissä.

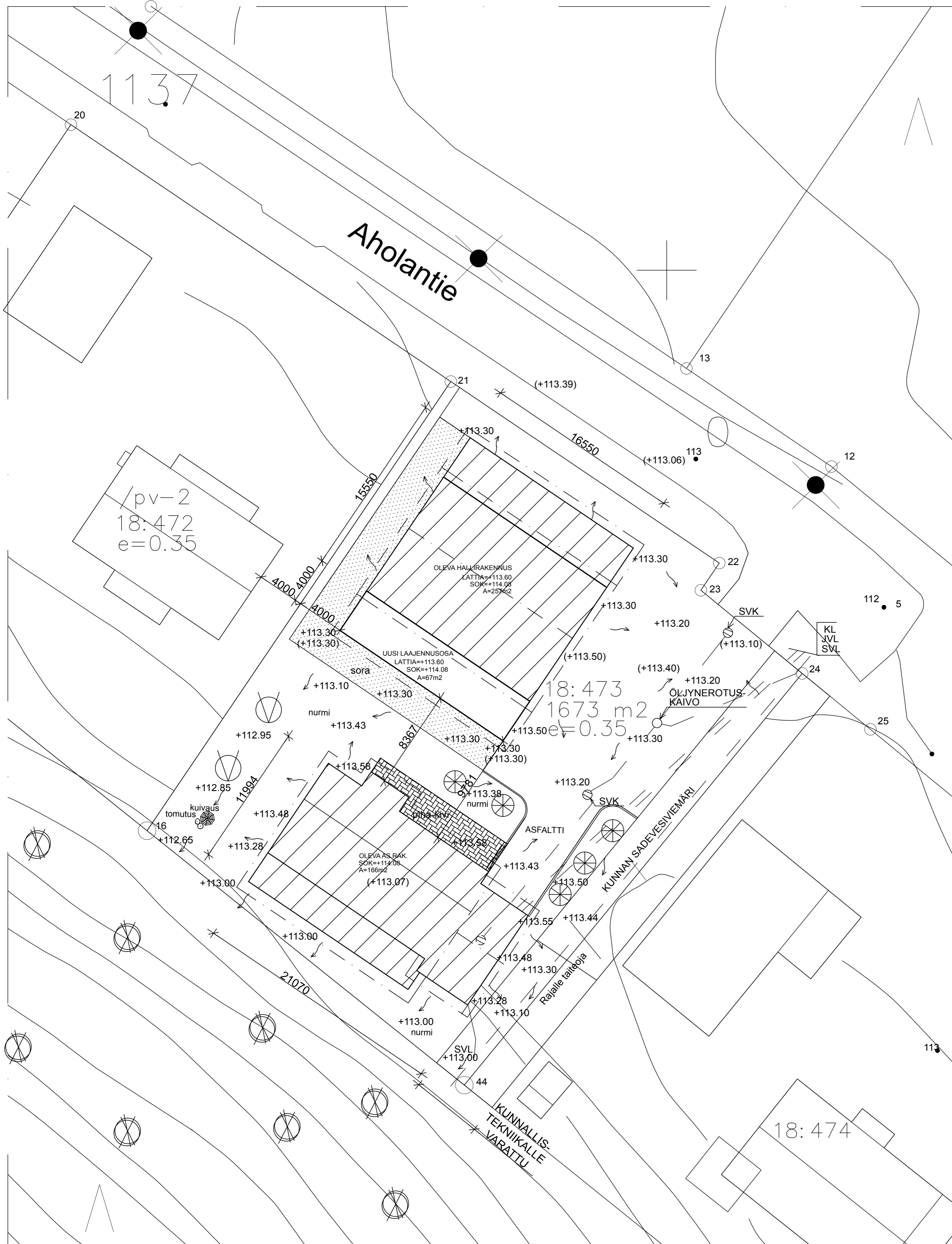
RakMK E1 2011, 26. RAKENNUKSEN PALOTURVALLISUUS. Suomen Rakentamismääräyskokoelma E1. 2011. Määräykset ja ohjeet 2011. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. [Viitattu 2016-05-05]. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1\\_2011-fi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf)

RT 85-11163, 3. VESIKATON KALTEVUUDET, KATTEEN VALINTA. [online] [Viitattu 2016-05-05]

Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/index/tuotteet/rt.html>

PUURANKENTEIDEN SUUNNITTELU. LYHENNETTY SUUNNITTELUOHJE. RIL 205-1-2009 B. (Koottu: EN 1995-1-1:2004+A1:2008, EN 1995-1-2:2004+AC:2009, RIL 205-1-2009, RIL 205-2-2009). 3.painos- Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi5lyhennettysuunnitteluohjewewwwkolmaspainos10913rilinkorjauksin.pdf>



P

OLEVA RAKENNUS

Rakennuksen paloluokka: P3

RAKENNUKSEN VIEREINEN MAANPINTA TULEE OLLA 50 mm / 1 m KALTEVA RAKENNUKSESTA POISPÄIN KOLMEN METRIN MATKALLA.

PENSASISTUTUS

PIHAPUU

OLEVAA PUUSTOA/MÄNTYJÄ

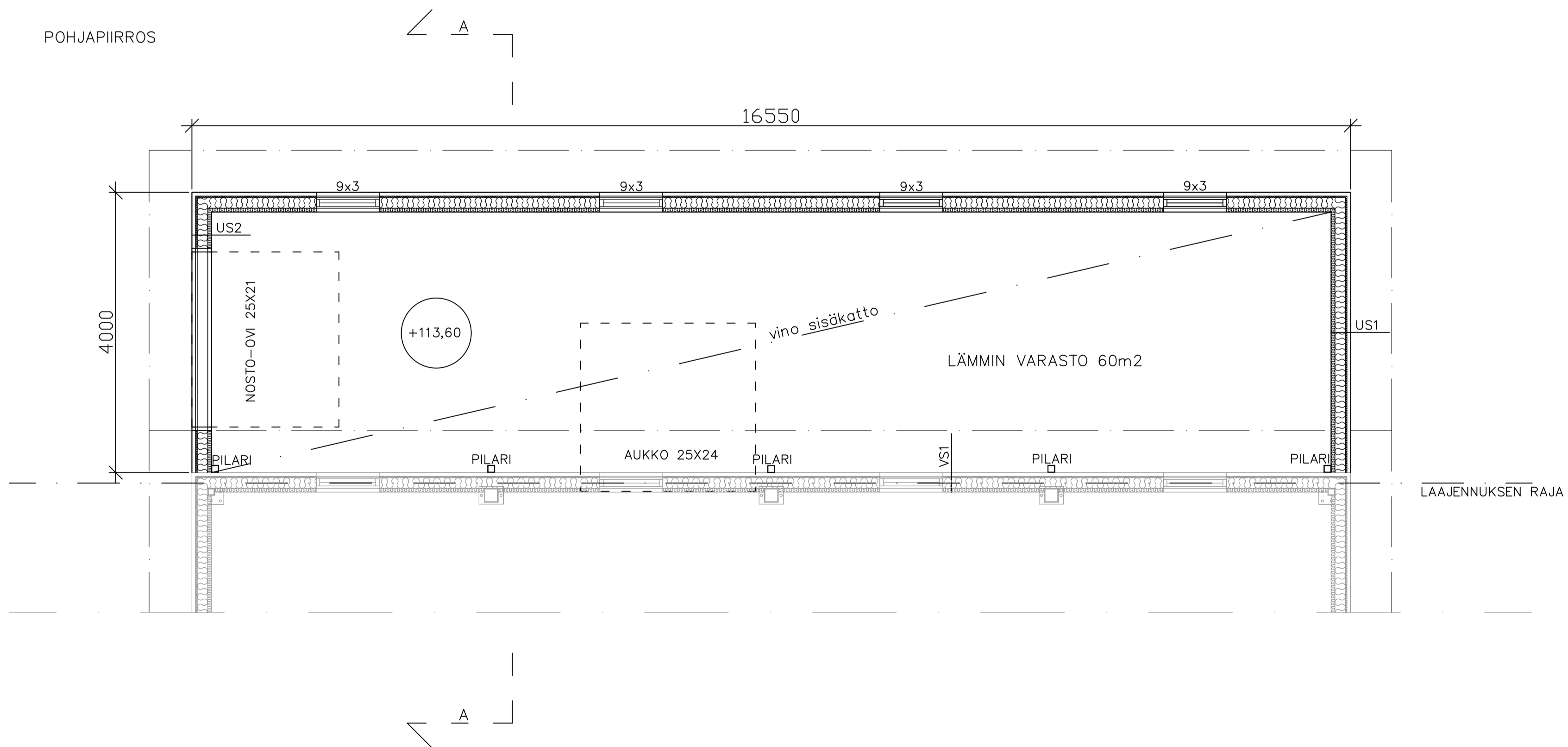
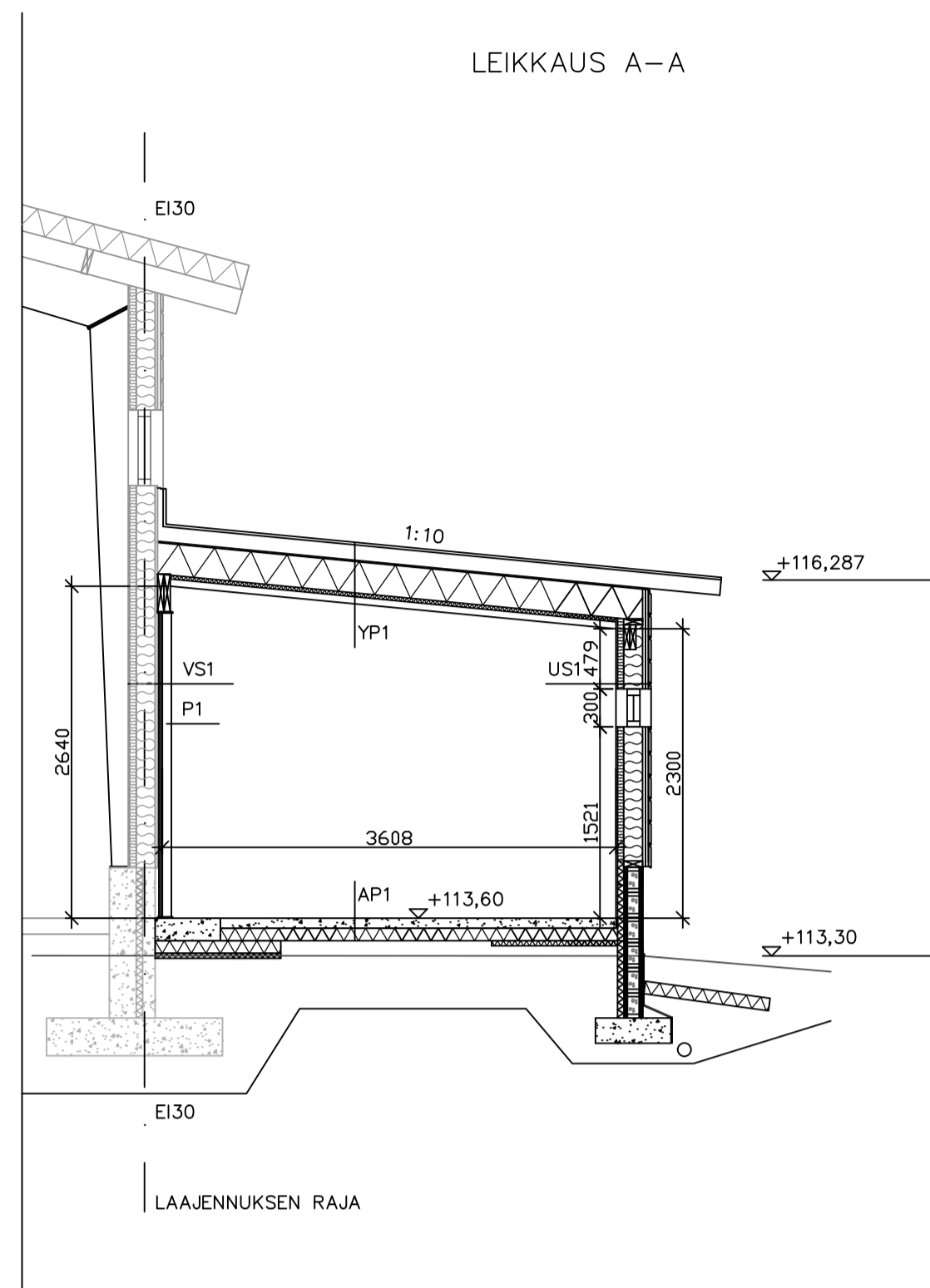
= PINTAVESIEN OHJAUS

ÖLJYNEROTUSKAIVO 1-LUOKAN KAIVO

N60-KORKEUSJÄRJESTELMÄ

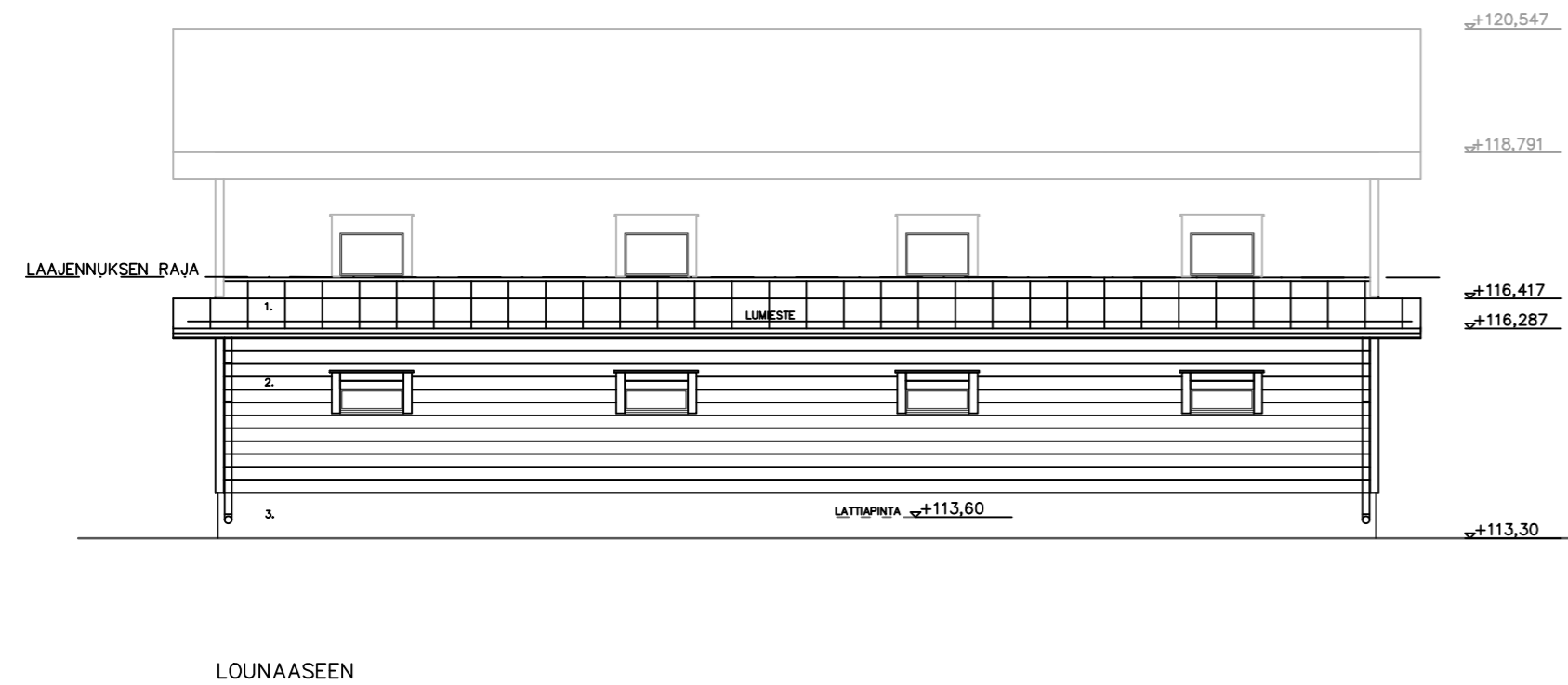
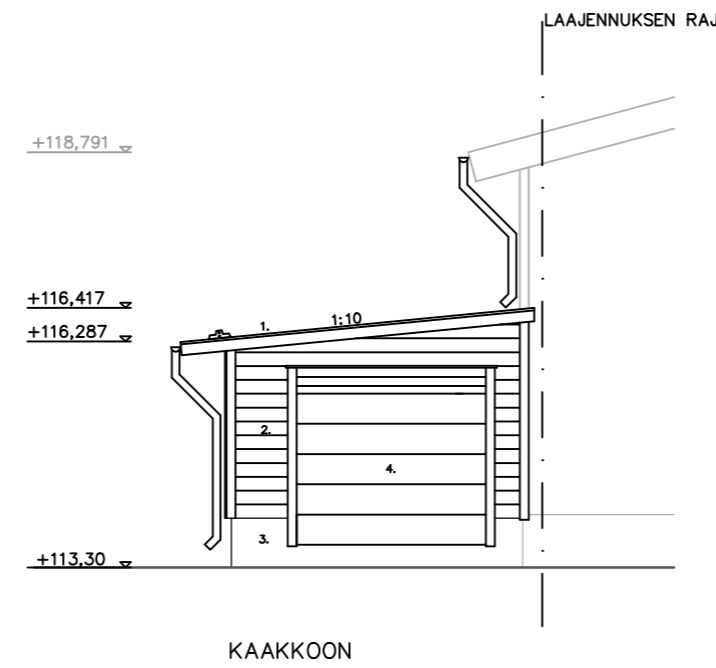
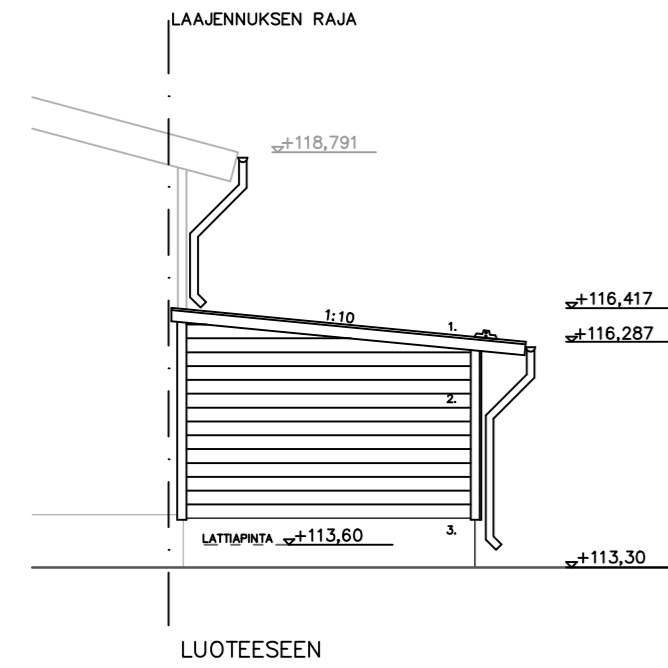
Kasusija Kasurila	Komssi/Tila 18	Tontti/Re:o 417		
LAAJENNUS		PÄÄPIIRUSTUS		
HALLI LAAJENNUS / SAVON RAKENNUSPELTI KY Aholantie 5 71800 Siilinjärvi		ASEMAPIIRROS		1:200
Rak.ins.optiskelija Anssi Kuosmanen		PVM 4.4.2016		





N60-KORKEUSJÄRJESTELMÄ

K.oso/A/jb	Kortti/No	Tontti/R:o	
Kasurila	18	417	
LAAJENNUS			PÄÄPIIRUSTUS
HALLI LAAJENNUS / SAVON RAKENNUSPELTI KY Aloite 4 7500 Siltajyvä			POHJAPIIRROS JA LEIKKAUS 1:50
Rak.ins.opiskelija Anssi Kuosmanen		P.W. 4.4.2016	



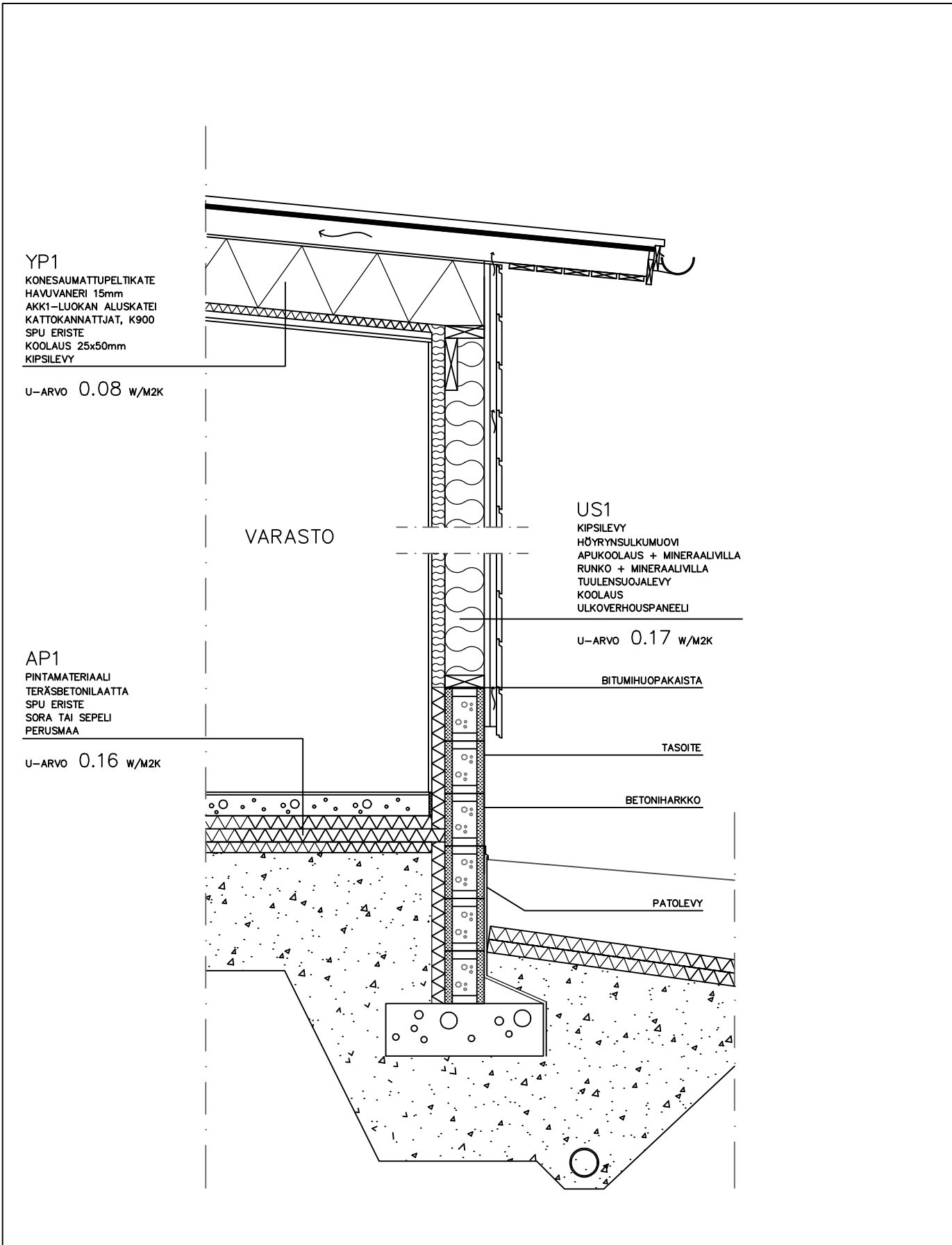
**JULKISIVUMATERIAALIT**

- |                                     |               |
|-------------------------------------|---------------|
| 1.KONESAUMATTU PELTIKATE 0,6mm      | TUMMANHARMAA  |
| 2.ULKOVERHOUS PANEELI, UYW 190x28mm | TUMMANHARMAA  |
| 3.SOKKELI, RAPATTU                  | VAALEANHARMAA |
| 4.NOSTO-OVI 250 X 210               | VALKEA        |
| IKKUNAT, NURKKALAUDAT JA RÄYSTÄÄT   | VALKEAT       |
| SADEVESIJÄRJESTELMÄ                 | TUMMANHARMAA  |

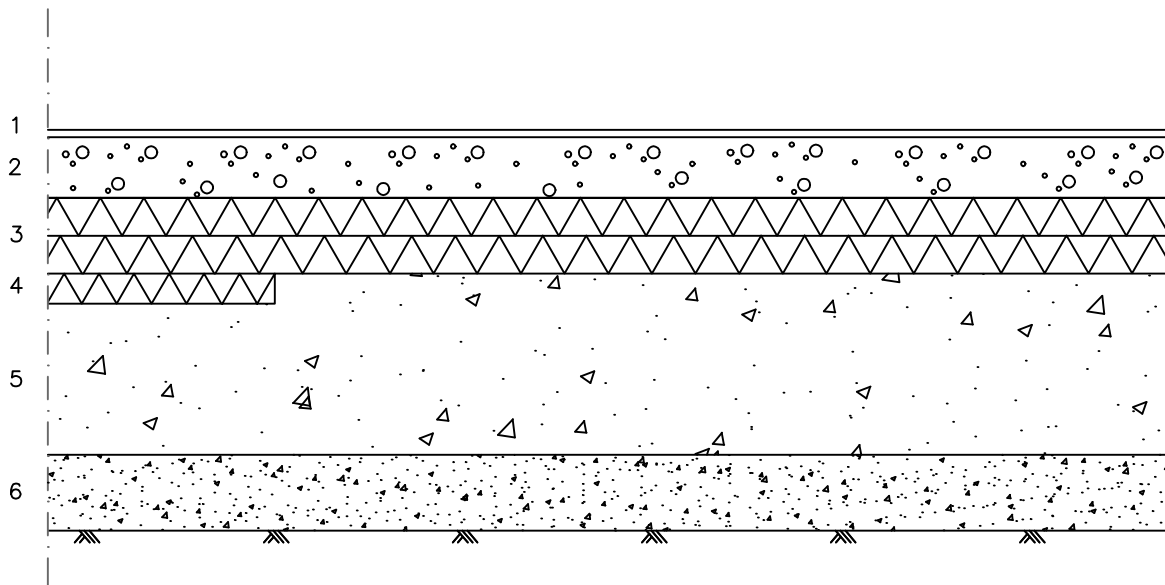
**N60-KORKEUSJÄRJESTELMÄ**

K.osa/kyliä	Korttel/Tila	Tontti/Rn:o		
Kasurila	18	417		
LAAJENNUS			PÄÄPIIRUSTUS	
HALLI LAAJENNUS / SAVON RAKENNUSPELTI KY Aholantie 4 71800 Siilinjärvi			JULKISIVUT	1:100
Rak.ins.opiskelija Anssi Kuosmanen		PVM 4.4.2016		

suunnitelija: rak.ins. opiskelija Anssi Kuosmanen	työn nro: pvm: 10.4.2016	mittakaava: 1:20
rakennuskohde: Halli laajennus / Savon Rakennuspelti Ky	sisältö: ULKOSEINÄLEIKKAUS	



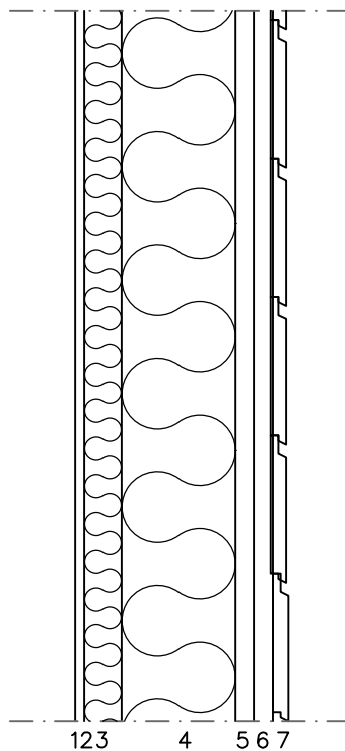
suunnitelija:	työn nro:	AP1	mittakaava: 1:10
rak.ins. opiskelija Anssi Kuosmanen	pvm: 10.4.2016		
rakennuskohde:	sisältö:		
Halli laajennus / Savon Rakennuspelti Ky	maanvarainen teräsbetoni-laatta		



Rakenne	1	Pintamateriaalit/käsittely
	2	Teräsbetoni-laatta, rauditus 8-150
	3	SPU-eriste 50mm + 50mm
	4	SPU-eriste 40mm (ainoastaan reuna-alueilla, metrin levyisenä kaistana)
	5	Kapilaarikatko >200 mm
	6	Soratäyttö ja perusmaa

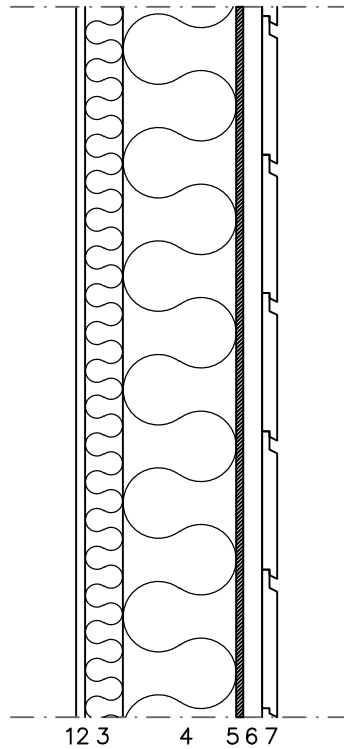
U-arvo 0,16 W/m<sup>2</sup>K

suunnitelija: rak.ins. opiskelija Anssi Kuosmanen	työn nro: pvm: 10.4.2016	US1	mittakaava: 1:10
rakennuskohde: Halli laajennus / Savon Rakennuspelti Ky	sisältö: Ulkoseinä		



Rakenne	1	Kipsilevy 13mm, Pintamateriaalit/käsittely
	2	Höyrinsulkumuovi
	3	Mineraalivilla 50mm
	4	Puurunko + mineraalivilla 150mm
	5	Tuulensuojalevy 25mm
	6	Tuuletusrako 25mm
	7	Ulkoverhouspaneeli, UYW 28x190mm
U-arvo		0,17 W/m <sup>2</sup> K

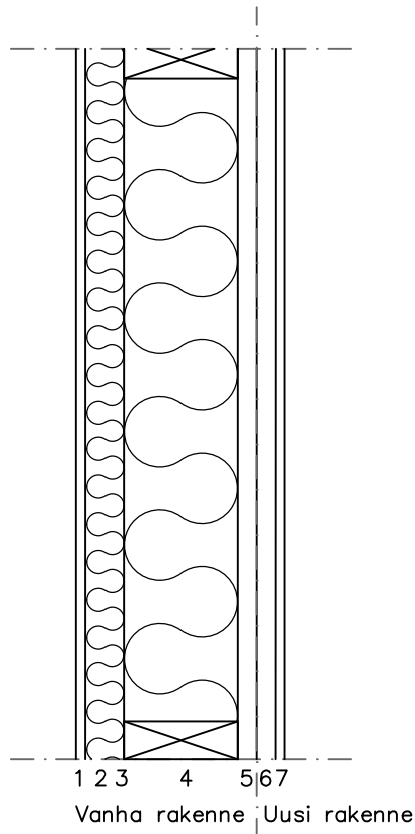
suunnitelija: rak.ins. opiskelija Anssi Kuosmanen	työn nro: pvm: 10.4.2016	US2	mittakaava: 1:10
rakennuskohde: Halli laajennus / Savon Rakennuspelti Ky	sisältö: Ulkoseinä		



Rakenne	1	Kipsilevy 13mm, Pintamateriaalit/käsittely
	2	Höyrnsulkumuovi
	3	Mineraalivilla 50mm
	4	Puurunko + mineraalivilla 150mm
	5	Tuulensuojaveri 9mm
	6	Tuuletusrako 25mm
	7	Ulkoverhouspaneeli, UYW 28x190mm

U-arvo 0,17 W/m<sup>2</sup>K

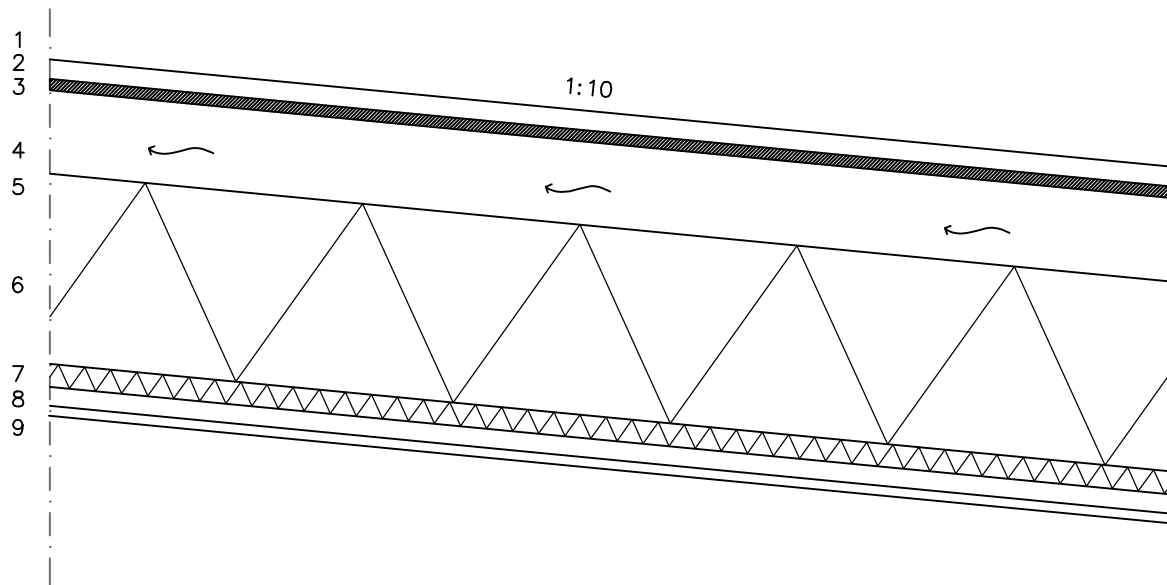
suunnitelija: rak.ins. opiskelija Anssi Kuosmanen	työn nro: pvm: 10.4.2016	VS1	mittakaava: 1:10
rakennuskohde: Halli laajennus / Savon Rakennuspelti Ky	sisältö: Väliseinä		



Rakenne

- 1 Olemassa oleva kipsilevy 13mm, Pintamateriaalit/käsittely
- 2 Olemassa oleva mineraalivilla 50mm
- 3 Olemassa oleva höyrnsulkumuovi
- 4 Olemassa olevat puorret + mineraalivilla 150mm
- 5 Olemassa oleva tuulensuojalevy 25mm
- 6 Koolaus 25mm
- 7 Kipsilevy 13mm, Pintamateriaali/käsittely (Oleva ulkoverhouspaneeli puretaan)

suunnittelija:	työn nro:	YP1	mittakaava: 1:10
rak.ins. opiskelija Anssi Kuosmanen	pvm: 10.4.2016		
rakennuskohde:	sisältö:		
Halli laajennus / Savon Rakennuspelti Ky	Yläpohja		

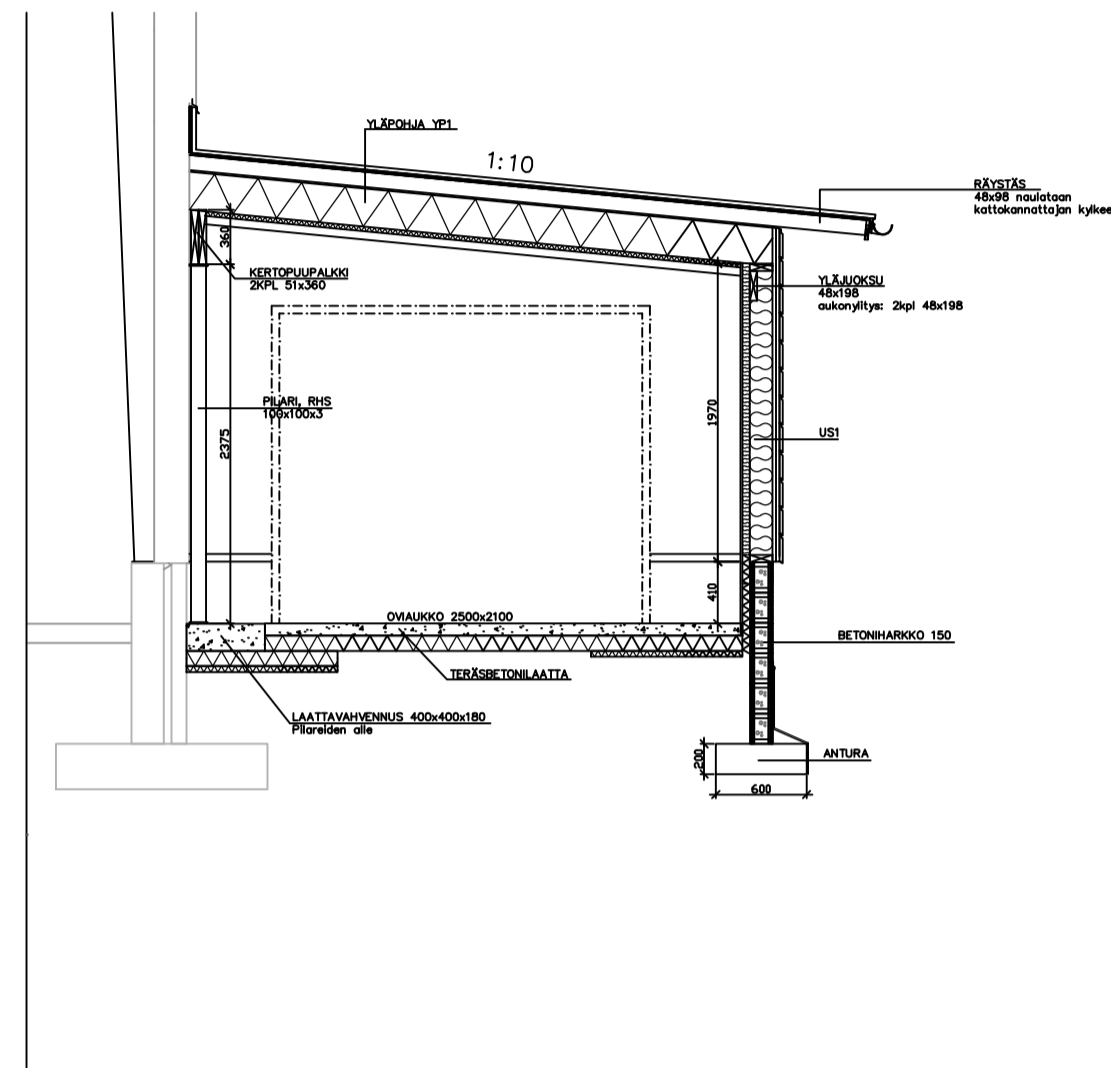


Rakenne	1	Konesaumattu peltikate 0,6mm RR 23
	2	Aluskate (Esim. Icopal multi fel'x)
	3	Puunsuoja-aineella käsitelty pontattu havuvaneri 15mm
	4	Tuuletusväli 100mm
	5	Kattokannattajat, Kertopuu 45x360 mm k900
	6	SPU AL/R 150 + 100 mm k900 (SPU Runkolevy), vaahdotus runkoon
	7	SPU AL 30 mm, saumat vaahdotetaan
	8	Koolaus 22x100mm
	9	Kipsilevy EK 13mm, Pintakäsittely

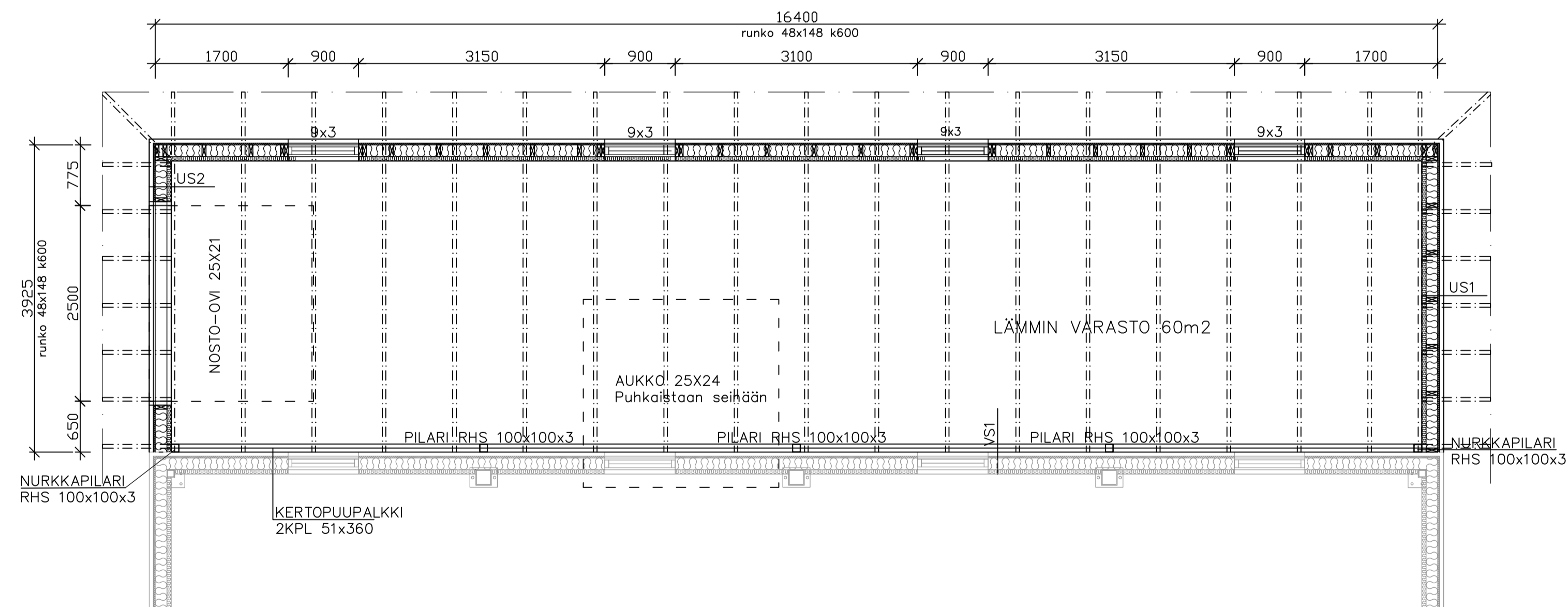
U-arvo 0,08 W/m<sup>2</sup>K



LEIKKAUS



POHJA



N60-KORKEUSJÄRJESTELMÄ

K.oso./kylä	Korttel./talo	Tontti/Rak.o		
Kasurila	18	417		
LAAJENNUS			RAKENNEPIIRUSTUS	
HALLI LAAJENNUS / SAVON RAKENNUSPELTI KY Asiantia 4 71600 Siltäpää			POHJAPIIRROS JA LEIKKAUS	1:50
Rak.ins.opiskelija Anssi Kuosmanen		P.W. 4.4.2016		

## KATTOKANNATAJAPALKKI

$\alpha =$	5,74 °	=>	0,100182 radians	(kattokulma)
$L =$	4 mm			(tukiväli)
$S =$	0,9 mm			(palkkijako)
$A =$	81 m <sup>2</sup>			(alakaton pinta-ala, jos on)

## Kuormat

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

Lumikuorma (Eurokoodi 5, Lyhennetty suunnitteluohje ja RIL 205-1-2009)

$$q_k = \mu \times s_k$$

$$q_k = 3,8 \text{ kN/m}^2$$

$$s_k = 2,5$$

$$\mu_1 = 0,8$$

$$s_k \cdot \mu = \mu_1 = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$l_s = 2h, \quad \text{rajoituksin: } 2m \leq l_s \leq 6m$$

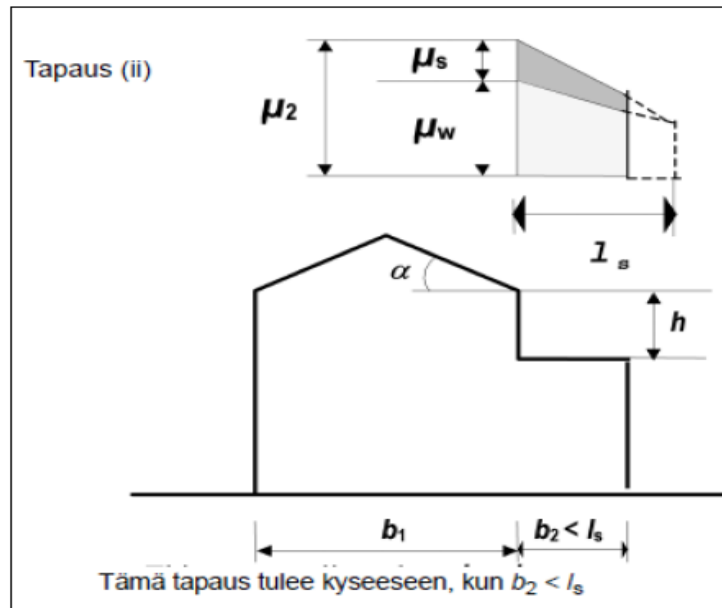
$$l_s = 4,8 \text{ m}$$

$$b_1 = 15,55 \text{ m}$$

$$b_2 = 4 \text{ m}$$

$$h = 2,4 \text{ m}$$

$$\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$$



Kuva 5. Korkeampaa rakennuskohdetta vasten olevien kattojen lumikuorman muotokertoimet (SFS-EN 1991-1-3 kuva 5.7.)

$$\mu_w = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_1 + b_2}{2h} \\ \frac{\gamma \cdot h}{s_k} \\ 2,5 \end{array} \right. \quad \text{kuitenkin } \mu_w \geq 0,8$$

$$\mu_w = \min \left\{ \begin{array}{l} 4,07 \\ 1,92 \\ 2,5 \end{array} \right. \Rightarrow \mu_w = 1,92$$

koska  $l_s > b_2$ , interpoloidaan alemmankaton pään kohdalla oleva muotokerroin.

$$\mu_{w,2} = \mu_1 \cdot \frac{\mu_w - \mu_1}{l_s - 0} \cdot (b_1 - 0) = 1,733333$$

$$\mu_s = 0 \text{ (yläkaton kaltevuus = 15°)}$$

## Maksimimomentti yläpohjan omapainosta

$$M_{g,k} = \frac{g_k \cdot s \cdot L^2}{8} = \frac{0,5 \cdot 0,9 \cdot 4^2}{8} = 0,9 \text{ kNm}$$

## Maksimimomentti yläpohjan lumikuormasta

$$M_{q,k} = \frac{q_k \cdot s \cdot L^2}{8} = \frac{3,8 \cdot 0,9 \cdot 4^2}{8} = 6,9 \text{ kNm}$$

## Maksimileikkausvoima yläpohjan omapainosta

$$V_{g,k} = \frac{g_k \cdot s \cdot L}{2} = \frac{0,5 \cdot 0,9 \cdot 4}{2} = 0,90 \text{ kN}$$

**Maksimileikkausvoima yläpohjan lumikuormasta tuella A**

$$V_{q,k} = \frac{q_k \cdot s \cdot L}{2} = \frac{3,8 \cdot 0,9 \cdot 4}{2} = 6,9 \text{ kN}$$

**KRT**

$$g_{k2} = 0,45 \text{ kN/m}$$

$$q_{k2} = 3,44 \text{ kN/m}$$

## Palkin lähtötiedot, käyttöluokka 2

h=	360 mm
b=	45 mm
$f_{m,k}$ =	44 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_M$ =	1,2
$f_{v,k}$ =	4,1 N/mm <sup>2</sup>
$f_{c,90,k}$ =	6 N/mm <sup>2</sup>
$E_{mean}$ =	13800 N/mm <sup>2</sup>

## TAIVUTUSKESTÄVYYS KY1

### maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 1,35 \cdot M_{g,k} = 1,35 \cdot 0,9 \text{ kNm} = 1,22 \text{ kNm}$$

### taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 1,22 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{45 \text{ mm} \cdot (360 \text{ mm})^2} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

### $k_h$ -kerroin

s= 0,12 (kerto-s)

$$k_h = \left(\frac{300}{h}\right)^s = \left(\frac{300}{360}\right)^{0,12} = 0,98$$

### taivutuslujuus

$k_{mod}$ = 0,6 (Puuinfo, Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje, Taulukko 3.1)

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod} \cdot k_h}{\gamma_M} = \frac{44 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,6 \cdot 0,98}{1,2} = 21,5 \text{ N/mm}^2$$

### Mititusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 1,25 \text{ N/mm}^2 < 21,5239 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 6 %

## Leikkausvoimakestävyys KY1

### maksimi leikkausvoima

$$V_d = 1,35 \cdot V_{g,k} = 1,35 \cdot 0,9 \text{ kN} = 1,22 \text{ kN}$$

### leikkausjännitys

koska palkki on kertopuuta =>  $b_{ef} = b = 45 \text{ mm}$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1,22 \cdot 10^3 \text{ N}}{45 \text{ mm} \cdot 360 \text{ mm}} = 0,11 \text{ N/mm}^2$$

### leikkauslujuus:

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{4,1 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,6}{1,2} = 2,05 \text{ N/mm}^2$$

### mititusehto:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 0,11 \text{ N/mm}^2 < 2,05 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 5 %

## Tukipainekestävyys palkissa KY1

### tukireaktio

$$A_{g,k} = V_{g,k} = 0,90 \text{ kN}$$

$$A_d = 1,35 \cdot A_{g,k} = 1,35 \cdot 0,9 \text{ kN} = 1,22 \text{ kN}$$

### puristusjännitys palkissa

$$l = 90 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b \cdot l} = \frac{1,2 \cdot 10^3 \text{ N}}{45 \text{ mm} \cdot 90 \text{ mm}} = 0,3 \text{ N/mm}^2$$

### palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{6 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,6}{1,2} = 3 \text{ N/mm}^2$$

### tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} = l + 30 \text{ mm} = 120 \text{ mm}$$

### $k_{c,90}$ -kerroin

$$k_{c,90} = 1$$

### tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = \frac{120 \text{ mm}}{90 \text{ mm}} \cdot 1 = 1,33$$

### mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow 0,3 \text{ N/mm}^2 < 4 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 8 %

## TAIVUTUSKESTÄVYYS KY2

### maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 1,15 \cdot M_{g,k} + 1,5 \cdot M_{q,k} = 1,15 \cdot 0,9 \text{ kNm} + 1,5 \cdot 6,9 \text{ kNm} = 11,37 \text{ kNm}$$

### taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 11,37 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{45 \text{ mm} \cdot (360 \text{ mm})^2} = 11,69 \text{ N/mm}^2$$

### $k_h$ -kerroin

$$k_h = 0,98$$

### taivutuslujuus

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

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod} \cdot k_h}{\gamma_M} = \frac{44 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,8 \cdot 0,98}{1,2} = 28,70 \text{ N/mm}^2$$

### mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 11,69 \text{ N/mm}^2 \leq 28,70 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 41 %

## Leikkausvoimakestävyys KY2

### maksimi leikkausvoima

$$V_d = 1,15 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q,k} = 1,15 \cdot 0,9 \text{ kN} + 1,5 \cdot 6,9 \text{ kN} = 11,37 \text{ kN}$$

### leikkausjännitys

koska palkki on kertopuuta =>  $b_{ef} = b = 45 \text{ mm}$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{11,37 \cdot 10^3 \text{ N}}{45 \text{ mm} \cdot 360 \text{ mm}} = 1,05 \text{ N/mm}^2$$

### leikkauslujuus

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{4,1 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,8}{1,2} = 2,73 \text{ N/mm}^2$$

### mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 1,05 \text{ N/mm}^2 \leq 2,73 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 39 %

## Tukipainekestävyys palkissa KY2

### tukireaktio

$$A_d = 1,15 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q,k} = 1,15 \cdot 0,9 \text{ kN} + 1,5 \cdot 6,9 \text{ kN} = 11,37 \text{ kN}$$

### puristusjännitys

$$l = 90 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b \cdot l} = \frac{11,37 \cdot 10^3 \text{ N}}{45 \text{ mm} \cdot 360 \text{ mm}} = 2,81 \text{ N/mm}^2$$

### palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{6 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,8}{1,2} = 4 \text{ N/mm}^2$$

### $k_{c,90}$ -kerroin

$$k_{c,90} = 1$$

### tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} = l + 30 \text{ mm} = 120 \text{ mm}$$

### tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = \frac{120 \text{ mm}}{90 \text{ mm}} \cdot 1 = 1,33$$

### mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow 2,81 \text{ N/mm}^2 \leq 5,33 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 53 %

## Taipuma KY2

Frame-analysis ohjelmasta taipumaksi saadaan:

### hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

-> taipuma statiikkaohjelmasta:  $w_{inst,G} = 0,6$  mm

hetkellinen taipuma lumikuormasta

-> taipuma statiikkaohjelmasta:  $w_{inst,Q} = 4,7$  mm

### Lopputaipuma

$k_{def} = 0,8$

$$w_{fin} = ((1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G} + (1 + 0,2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,Q}) = ((1 + 0,8) \cdot 0,6 \text{ mm} + (1 + 0,2 \cdot 0,8) \cdot 4,7 \text{ mm}) = 6,532 \text{ mm}$$

### Mitotusehto

L = kannatuspalkkien jänneväli

$$\text{Taipumaraja } w_{fin} \leq \frac{L}{300} \rightarrow 6,532 \text{ mm} < 13,33 \text{ mm}$$

Käyttöaste: 49 %

### Käsin laskemalla:

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{45 \text{ mm} \cdot (360 \text{ mm})^3}{12} = 1,75E+08 \text{ mm}^4$$

### hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$W_{inst,G} = \frac{5 \cdot g_{k2} \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 0,45 \text{ kN/m} \cdot (4000 \text{ mm})^4}{384 \cdot 13800 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,75 \cdot 10^8 \text{ mm}^4} = 0,62 \text{ mm}$$

### hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista

$$W_{inst,Q} = \frac{5 \cdot q_{k2} \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 3,44 \text{ kN/m} \cdot (4000 \text{ mm})^4}{384 \cdot 13800 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,75 \cdot 10^8 \text{ mm}^4} = 4,75 \text{ mm}$$

### Lopputaipuma

$k_{def} = 0,8$

$$w_{fin} = ((1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G} + (1 + 0,2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,Q}) = ((1 + 0,8) \cdot 0,62 \text{ mm} + (1 + 0,2 \cdot 0,8) \cdot 4,75 \text{ mm}) = 6,63 \text{ mm}$$

### Mitotusehto

L = palkin jänneväli

$$\text{Taipumaraja } w_{fin} \leq \frac{L}{300} \rightarrow 6,63 \text{ mm} < 13,33 \text{ mm}$$

Käyttöaste: 50 %

## HALLIN SEINÄN PALKKI

$\alpha =$	5,74 °	=>	0,100182 radians	(kattokulma)
$L =$	4 m			(jänneväli)
$L_1 =$	4,215 m			(tukiväli)
$k =$	0 m			(räystään mitta)
$S =$	0,9 m			(palkkijako)
$A =$	81 m <sup>2</sup>			(alakaton pinta-ala, jos on)
$s_1 =$	0,9 m			(pistekuorman etäisyys tuelta A)
$s_2 =$	1,8 m			(pistekuorman etäisyys tuelta A)
$s_3 =$	2,7 m			(pistekuorman etäisyys tuelta A)
$s_4 =$	3,6 m			(pistekuorman etäisyys tuelta A)

## Kuormat

$g_k =$	0,5 kN/m <sup>2</sup>	yläpohja yleensä
$q_k =$	3,8 kN/m <sup>2</sup>	Lumikuorma (Eurokoodi 5, Lyhennetty suunnitteluohje ja RIL 205-1-2009)

## Kuorma yläpohjan omapainosta

$$F_{g,k} = \frac{L}{2} \cdot g_{k1} = \frac{4 \text{ m}}{2} \cdot 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1,00 \text{ kN/m}$$

## Kuorma lumikuormasta

$$F_{q,k} = \frac{L}{2} \cdot q_k = \frac{4 \text{ m}}{2} \cdot 3,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 7,65 \text{ kN/m}$$

## Palkin tukireaktiot yläpohjan omapainosta

$$B_{g,k} = \frac{F_{g,k} \cdot L_1}{2} = \frac{1,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 4,215 \text{ m}}{2} = 2,11 \text{ kN}$$

## Palkin tukireaktiot lumikuormasta

$$B_{q,k} = \frac{F_{q,k} \cdot L_1}{2} = \frac{7,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 4,215 \text{ m}}{2} = 16,13 \text{ kN}$$

## Maksimimomentti yläpohjan omapainosta

$$M_{g,k} = \frac{F_{g,k} \cdot L_1^2}{8} = \frac{1,00 \text{ kN/m} \cdot (4,215 \text{ m})^2}{8} = 2,2 \text{ kNm}$$

## Maksimimomentti yläpohjan lumikuormasta

$$M_{q,k} = \frac{F_{q,k} \cdot L_1^2}{8} = \frac{7,65 \text{ kN/m} \cdot (4,215 \text{ m})^2}{8} = 17,0 \text{ kNm}$$

## Maksimileikkausvoima omapainosta

$$V_{g,k} = A_{g,k} = 2,11 \text{ kN}$$

## Maksimileikkausvoima lumikuormasta

$$V_{q,k} = A_{q,k} = 16,13 \text{ kN}$$

## KRT

$g_{kz} =$	1,00 kN/m
$q_{kz} =$	7,65 kN/m



## Palkin lähtötiedot, käyttöluokka 1

$h =$	360 mm	
$b =$	90 mm	(2 kappaletta, kerto-S 45x360mm)
$f_{m,k} =$	44 N/mm <sup>2</sup>	
$\gamma_M =$	1,2	
$f_{v,k} =$	4,1 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{c,90,k} =$	6 N/mm <sup>2</sup>	
$E_{mean} =$	13800 N/mm <sup>2</sup>	

## TAIVUTUSKESTÄVYYS KY1

### maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 1,35 \cdot M_{g,k} = 1,35 \cdot 2,2 \text{ kNm} = 3,00 \text{ kNm}$$

### taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 3,00 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{90 \text{ mm} \cdot (360 \text{ mm})^2} = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

### $k_h$ -kerroin

$$s = 0,12 \text{ (kerto-s)}$$

$$k_h = \left(\frac{300}{h}\right)^s = \left(\frac{300}{360}\right)^{0,12} = 0,98$$

### taivutusjuuus

$$k_{mod} = 0,6 \text{ (Puuinfo, Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje, Taulukko 3.1)}$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod} \cdot k_h}{\gamma_M} = \frac{44 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,6 \cdot 0,98}{1,2} = 21,52 \text{ N/mm}^2$$

### Mititusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 1,54 \text{ N/mm}^2 < 21,5239 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 7 %

## Leikkausvoimakestävyys KY1

### maksimi leikkausvoima

$$V_d = 1,35 \cdot V_{g,k} = 1,35 \cdot 2,11 \text{ kN} = 2,85 \text{ kN}$$

### leikkausjännitys

$$\text{koska palkki on kertopuuta} \Rightarrow b_{ef} = b = 90 \text{ mm}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1,22 \cdot 10^3 \text{ N}}{90 \text{ mm} \cdot 360 \text{ mm}} = 0,13 \text{ N/mm}^2$$

### leikkauslujuus:

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{4,1 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,6}{1,2} = 2,05 \text{ N/mm}^2$$

### mititusehto:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 0,13 \text{ N/mm}^2 < 2,05 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 6 %

## Tukipainekestävyys palkissa KY1

### tukireaktio

$$A_{g,k} = V_{g,k} = 2,11 \text{ kN}$$

$$A_d = 1,35 \cdot A_{g,k} = 1,35 \cdot 2,11 \text{ kN} = 2,85 \text{ kN}$$

### puristusjäännitys palkissa

$$l = 50 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b \cdot l} = \frac{2,85 \cdot 10^3 \text{ N}}{90 \text{ mm} \cdot 90 \text{ mm}} = 0,6 \text{ N/mm}^2$$

### palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{6 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,6}{1,2} = 3 \text{ N/mm}^2$$

### tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} = l + 30 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

### $k_{c,90}$ -kerroin

$$k_{c,90} = 1$$

### tukipaine kerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = \frac{80 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \cdot 1 = 1,6$$

### mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow 0,6 \text{ N/mm}^2 < 4,8 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 13 %

## TAIVUTUSKESTÄVYYS KY2

### maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 1,15 \cdot M_{g,k} + 1,5 \cdot M_{q,k} = 1,15 \cdot 2,2 \text{ kNm} + 1,5 \cdot 17 \text{ kNm} = 28,05 \text{ kNm}$$

### taivutusjäännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 28,05 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{90 \text{ mm} \cdot (360 \text{ mm})^2} = 14,43 \text{ N/mm}^2$$

### $k_h$ -kerroin

$$s = 0,12 \text{ (kerto-s)}$$

$$k_h = \left(\frac{300}{h}\right)^s = \left(\frac{300}{360}\right)^{0,12} = 0,98$$

### taivutuslujuus

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

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod} \cdot k_h}{\gamma_M} = \frac{44 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,8 \cdot 0,98}{1,2} = 28,70 \text{ N/mm}^2$$

### mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 14,43 \text{ N/mm}^2 \leq 28,70 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 50 %

## Leikkausvoimakestävyys KY2

### maksimi leikkausvoima

$$V_d = 1,15 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q,k} = 1,15 \cdot 2,11 \text{ kN} + 1,5 \cdot 16,13 \text{ kN} = 26,62 \text{ kN}$$

### leikkausjännitys

koska palkki on kertopuuta =>  $b_{ef} = b = 90 \text{ mm}$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{26,62 \cdot 10^3 \text{ N}}{90 \text{ mm} \cdot 360 \text{ mm}} = 1,23 \text{ N/mm}^2$$

### leikkauslujuus

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{4,1 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,8}{1,2} = 2,73 \text{ N/mm}^2$$

### mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 1,23 \text{ N/mm}^2 \leq 2,73 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 45 %

## Tukipainekestävyys palkissa KY2

### tukireaktio

$$A_d = 1,15 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q,k} = 1,15 \cdot 2,11 \text{ kN} + 1,5 \cdot 16,13 \text{ kN} = 26,62 \text{ kN}$$

### puristusjännitys

$$l = 50 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b \cdot l} = \frac{26,62 \cdot 10^3 \text{ N}}{90 \text{ mm} \cdot 360 \text{ mm}} = 5,92 \text{ N/mm}^2$$

### palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{6 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,8}{1,2} = 4 \text{ N/mm}^2$$

### $k_{c,90}$ -kerroin

$$k_{c,90} = 1$$

### tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} = l + 30 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

### tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = \frac{80 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \cdot 1 = 1,6$$

### mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow 5,92 \text{ N/mm}^2 \leq 6,40 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 92 %

## Taipuma KY2

Frame-analysis ohjelmasta taipumaksi saadaan:

hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

-> taipuma statiikkaohjelmasta:  $w_{inst,G} = 0,9 \text{ mm}$

hetkellinen taipuma lumikuormasta

-> taipuma statiikkaohjelmasta:  $w_{inst,Q} = 6,5 \text{ mm}$

**Lopputaipuma**

$k_{def} = 0,6$

$$w_{fin} = ((1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G} + (1 + 0,2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,Q}) = ((1 + 0,8) \cdot 0,9 \text{ mm} + (1 + 0,2 \cdot 0,8) \cdot 6,5 \text{ mm}) = 8,72 \text{ mm}$$

**Mitoitusehto**

L = palkin jänneväli

$$\text{Taipumaraja } w_{fin} \leq \frac{L}{300} \rightarrow 8,72 \text{ mm} < 14,05 \text{ mm}$$

Käyttöaste: 62 %

**Käsin laskemalla:**

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{90 \text{ mm} \cdot (360 \text{ mm})^3}{12} = 3,5E+08 \text{ mm}^4$$

hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$W_{inst,G} = \frac{5 \cdot g_{k2} \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 1,00 \text{ kN/m} \cdot (4215 \text{ mm})^4}{384 \cdot 13800 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,75 \cdot 10^8 \text{ mm}^4} = 0,85 \text{ mm}$$

hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista

$$W_{inst,Q} = \frac{5 \cdot q_{k2} \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 7,65 \text{ kN/m} \cdot (4215 \text{ mm})^4}{384 \cdot 13800 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,75 \cdot 10^8 \text{ mm}^4} = 6,51 \text{ mm}$$

**Lopputaipuma**

$k_{def} = 0,6$

$$w_{fin} = ((1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G} + (1 + 0,2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,Q}) = ((1 + 0,8) \cdot 0,85 \text{ mm} + (1 + 0,2 \cdot 0,8) \cdot 6,51 \text{ mm}) = 8,66 \text{ mm}$$

**Mitoitusehto**

L = palkin jänneväli

$$\text{Taipumaraja } w_{fin} \leq \frac{L}{300} \rightarrow 8,66 \text{ mm} < 14,05 \text{ mm}$$

Käyttöaste: 62 %

## ULKOSEINÄN PALKKI

$\alpha =$	5,74 °	=>	0,100182 radians	(kattokulma)
$L =$	4 mm			(jänneväli)
$L_1 =$	0,9 m			(tukiväli)
$k =$	0,6 m			(räystään mitta)
$S =$	0,9 mm			(palkkijako)
$A =$	81 m <sup>2</sup>			(alakaton pinta-ala, jos on)
$s_1 =$	0,45 m			(pistekuorman etäisyys tuelta A)
$s_2 =$	0,45 m			(pistekuorman etäisyys tuelta B)

## Kuormat

$g_k =$	0,5 kN/m <sup>2</sup>	yläpohja yleensä
$g_{k2} =$	0,2 kN/m <sup>2</sup>	yläpohjaräystä kohdalla
$q_k =$	3,8 kN/m <sup>2</sup>	Lumikuorma (Eurokoodi 5, Lyhennetty suunnitteluohje ja RIL 205-1-2009)

## Kattopalkkien tukireaktio yläpohjan omapainosta

$$F_{g,k} = \frac{L}{2} \cdot s \cdot g_{k1} + k \cdot s \cdot g_{k2} = \frac{4 \text{ m}}{2} \cdot 0,9 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ kN/m}^2 + 0,6 \text{ m} \cdot 0,9 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ kN/m}^2 = 1,01 \text{ kN}$$

## Kattopalkkien tukireaktio lumikuormasta

$$F_{q,k} = \left(\frac{L}{2} + k\right) \cdot s \cdot q_k = \left(\frac{4 \text{ m}}{2} + 0,6 \text{ m}\right) \cdot 0,9 \text{ m} \cdot 3,8 \text{ kN/m}^2 = 8,95 \text{ kN}$$

## Palkin tukireaktiot yläpohjan omapainosta

$$B_{g,k} = \frac{F_{g,k} \cdot s_1}{L_1} = \frac{1,01 \text{ kN} \cdot 0,45 \text{ m}}{0,9 \text{ m}} = 0,50 \text{ kN}$$

$$A_{g,k} = F_{g,k} - B_{g,k} = 1,01 \text{ kN} - 0,50 \text{ kN} = 0,50 \text{ kN}$$

## Palkin tukireaktiot lumikuormasta

$$B_{q,k} = \frac{F_{q,k} \cdot s_1}{L_1} = \frac{8,95 \text{ kN} \cdot 0,45 \text{ m}}{0,9 \text{ m}} = 4,48 \text{ kN}$$

$$A_{q,k} = F_{q,k} - B_{q,k} = 8,95 \text{ kN} - 4,48 \text{ kN} = 4,48 \text{ kN}$$

## Maksimimomentti yläpohjan omapainosta

$$M_{g,k} = B_{g,k} \cdot s_2 = 0,5 \text{ kN} \cdot 0,45 \text{ m} = 0,23 \text{ kNm}$$

## Maksimimomentti yläpohjan lumikuormasta

$$M_{q,k} = B_{q,k} \cdot s_3 = 4,48 \text{ kN} \cdot 0,45 \text{ m} = 2,01 \text{ kNm}$$

## Maksimileikkausvoima omapainosta

$$V_{g,k} = A_{g,k} = 0,50 \text{ kN}$$

## Maksimileikkausvoima lumikuormasta

$$V_{q,k} = A_{q,k} = 4,48 \text{ kN}$$

## KRT

$g_{k,KRT} =$	1,12 kN/m
$q_{k,KRT} =$	9,95 kN/m

## Palkin lähtötiedot, käyttöluokka 1

h=	198 mm
b=	98 mm
$f_{m,k}$ =	24 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_M$ =	1,4
$f_{v,k}$ =	4 N/mm <sup>2</sup>
$f_{c,90,k}$ =	2,5 N/mm <sup>2</sup>
$E_{mean}$ =	11000 N/mm <sup>2</sup>

## TAIVUTUSKESTÄVYYS KY1

### maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 1,35 \cdot M_{g,k} = 1,35 \cdot 0,23 \text{ kN} = 0,31 \text{ kNm}$$

### taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 0,31 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{96 \text{ mm} \cdot (198 \text{ mm})^2} = 0,48 \text{ N/mm}^2$$

### taivutusjuuus

$$k_{mod} = 0,6 \text{ (Puuinfo, Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje, Taulukko 3.1)}$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,6}{1,4} = 10,29 \text{ N/mm}^2$$

### Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 0,48 \text{ N/mm}^2 < 10,29 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 5 %

## Leikkausvoimakestävyys KY1

### maksimi leikkausvoima

$$V_d = 1,35 \cdot V_{g,k} = 1,35 \cdot 0,5 \text{ kN} = 0,68 \text{ kN}$$

### leikkausjännitys

$$\text{koska palkki on sahatavaraa} \Rightarrow b_{ef} = 0,67 \cdot b = 0,67 \cdot 96 \text{ mm} = 65,66 \text{ mm}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,68 \cdot 10^3 \text{ N}}{64,32 \text{ mm} \cdot 198 \text{ mm}} = 0,08 \text{ N/mm}^2$$

### leikkauslujuus:

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{4 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,6}{1,4} = 1,71 \text{ N/mm}^2$$

### mitoitusehto:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 0,08 \text{ N/mm}^2 < 1,71 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 5 %

## Tukipainekestävyys palkissa KY1

### tukireaktio

$$A_{g,k} = V_{g,k} = 0,50 \text{ kN}$$

$$A_d = 1,35 \cdot A_{g,k} = 1,35 \cdot 0,5 \text{ kN} = 0,68 \text{ kN}$$

### puristusjännitys palkissa

$$l = 48 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b \cdot l} = \frac{0,68 \cdot 10^3 \text{ N}}{96 \text{ mm} \cdot 48 \text{ mm}} = 0,1 \text{ N/mm}^2$$

### palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,6}{1,4} = 1,07 \text{ N/mm}^2$$

### tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} = l + 30 \text{ mm} = 78 \text{ mm}$$

### $k_{c,90}$ -kerroin

$$k_{c,90} = 1,25$$

### tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = \frac{78 \text{ mm}}{48 \text{ mm}} \cdot 1,25 = 2,03125$$

### mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow 0,1 \text{ N/mm}^2 < 2,18 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 7 %

## TAIVUTUSKESTÄVYYS KY2

### maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 1,15 \cdot M_{g,k} + 1,5 \cdot M_{q,k} = 1,15 \cdot 0,23 \text{ kNm} + 1,5 \cdot 2,01 \text{ kNm} = 3,28 \text{ kNm}$$

### taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 3,28 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{96 \text{ mm} \cdot (198 \text{ mm})^2} = 5,13 \text{ N/mm}^2$$

### taivutuslujuus

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

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,8}{1,4} = 13,71 \text{ N/mm}^2$$

### mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 5,13 \text{ N/mm}^2 \leq 13,71 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 37 %

## Leikkausvoimakestävyys KY2

### maksimi leikkausvoima

$$V_d = 1,15 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q,k} = 1,15 \cdot 0,5 \text{ kN} + 1,5 \cdot 4,48 \text{ kN} = 7,30 \text{ kN}$$

### leikkausjännitys

koska palkki on sahatavaraa =>  $b_{ef} = 0,67 \times b$  65,66 mm

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{7,30 \cdot 10^3 \text{ N}}{64,32 \text{ mm} \cdot 198 \text{ mm}} = 0,84 \text{ N/mm}^2$$

### leikkauslujuus

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{4 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,8}{1,4} = 2,29 \text{ N/mm}^2$$

### mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 0,84 \text{ N/mm}^2 \leq 2,29 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 37 %

## Tukipainekestävyys palkissa KY2

### tukireaktio

$$A_d = 1,15 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q,k} = 1,15 \cdot 0,5 \text{ kN} + 1,5 \cdot 4,48 \text{ kN} = 7,30 \text{ kN}$$

### puristusjännitys

$$l = 48 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b \cdot l} = \frac{7,30 \cdot 10^3 \text{ N}}{96 \text{ mm} \cdot 198 \text{ mm}} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

### palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,8}{1,4} = 1,43 \text{ N/mm}^2$$

### $k_{c,90}$ -kerroin

$$k_{c,90} = 1,25$$

### tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} = l + 30 \text{ mm} = 78 \text{ mm}$$

### tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = \frac{78 \text{ mm}}{48 \text{ mm}} \cdot 1,25 = 2,03$$

### mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow 1,55 \text{ N/mm}^2 \leq 2,90 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 53 %



## Taipuma KY2

Käsin laskemalla:

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{96 \text{ mm} \cdot (198 \text{ mm})^3}{12} = 6,3\text{E}+07 \text{ mm}^4$$

hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$W_{inst,G} = \frac{5 \cdot g_{k,KRT} \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 1,12 \text{ kN/m} \cdot (900 \text{ mm})^4}{384 \cdot 11000 \text{ N/mm}^2 \cdot 6,21 \cdot 10^7 \text{ mm}^4} = 0,01 \text{ mm}$$

hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista

$$W_{inst,Q} = \frac{5 \cdot q_{k,KRT} \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 9,95 \text{ kN/m} \cdot (900 \text{ mm})^4}{384 \cdot 11000 \text{ N/mm}^2 \cdot 6,21 \cdot 10^7 \text{ mm}^4} = 0,12 \text{ mm}$$

Lopputaipuma

$$k_{def} = 0,6$$

$$w_{fin} = ((1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G} + (1 + 0,2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,Q}) = ((1 + 0,6) \cdot 0,01 \text{ mm} + (1 + 0,2 \cdot 0,6) \cdot 0,12 \text{ mm}) = 0,16 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

L = palkin jänneväli

$$\text{Taipumaraja } w_{fin} \leq \frac{L}{300} \rightarrow 0,16 \text{ mm} < 3,00 \text{ mm}$$

Käyttöaste: 5 %

## RUNKOSEINÄTOLPPA

L1=	4 m	(jänneväli)
L2=	0,6 m	(räystään pituus)
L3=	1,9 m	(seinätolpan pituus)
k1=	1,05 m	(kuormitusleveys)
h=	3 m	(rakennuksen korkeus)

## Kuormat

g <sub>k1</sub> =	0,5 kN/m <sup>2</sup>	yläpohja yleensä
g <sub>k2</sub> =	0,2 kN/m <sup>2</sup>	yläpohjaräystään kohdalla
q <sub>k</sub> (h)=	0,35 kN/m <sup>2</sup>	nopeuspaine (taulukko B.2.2, kuva B.2.4)
q <sub>k</sub> =	3,8 kN/m <sup>2</sup>	Lumikuorma (Eurokoodi 5, Lyhennetty suunnitteluohje ja RIL 205-1-2009)

## Tuulen nettopainekerroin

e <sub>min</sub> =	16,55	tai
Nurkka-alue:	1,2 m	
A=	3,15 m <sup>2</sup>	

c <sub>p,net</sub> =	1,4
----------------------	-----

Ulkoseinät	suurin imu nurkka-alueilla <sup>1)</sup>		suurin imu keskialueilla		suurin paine sisäänpäin	
	A ≥ 10	A ≤ 1 m <sup>2</sup>	A ≥ 10	A ≤ 1 m <sup>2</sup>	A ≥ 10	A ≤ 1 m <sup>2</sup>
tarkasteltava pinta-ala						
c <sub>p,net</sub>	-1,5	-1,7	-1,1	-1,4	+1,1	+1,3

**Taulukko 2.4** - Ulkoseinien paikallisen tuulenpaineen nettopaine kertoimia.

<sup>1)</sup> Nurkka-alue ulottuu rakennuksen ulkonurkasta molempiin suuntiin etäisyydelle e/5, jossa e = min(b; 2h), kun h on rakennuksen korkeus ja b on rakennuksen suurempi sivumitta. Muualla tuulen imulle voidaan käyttää keskialueen nettopaine kerrointa.

(Puuinfo, Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje, Taulukko 2.4)

## Pystykuorma tolalle omapainosta

$$N_{g,k} = \frac{L_1}{2} \cdot k_1 \cdot g_{k1} + L_2 \cdot k_1 \cdot g_{k2} = \frac{4 \text{ m}}{2} \cdot 1,05 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ kN/m}^2 + 0,6 \text{ m} \cdot 1,05 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ kN/m}^2 = 1,18 \text{ kN}$$

## Pystykuorma tolalle lumikuormasta

$$N_{q,k} = \frac{L_1}{2} \cdot k_1 \cdot q_k + L_2 \cdot k_1 \cdot q_k = \frac{4 \text{ m}}{2} \cdot 1,05 \text{ m} + 3,8 \text{ kN/m}^2 + 0,6 \text{ m} \cdot 1,05 \text{ m} \cdot 3,8 \text{ kN/m}^2 = 10,45 \text{ kN}$$

## Tolpan taivutusmomentti tuulikuormasta

$$M_{W,k} = \frac{(c_{p,net} \cdot q_k(h) \cdot k_1) \cdot L_3^2}{8} = \frac{(1,4 \cdot 0,35 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,05 \text{ m}) \cdot (1,9 \text{ m})^2}{8} = 0,23 \text{ kNm}$$

**Runkoseinätolpan lähtötiedot, käyttöluokka 1**

h=	148 mm	(korkeus)
b=	48 mm	leveys
A=	7104 mm <sup>2</sup>	(pinta-ala)
f <sub>m,k</sub> =	24 N/mm <sup>2</sup>	(taivutus)
γ <sub>M</sub> =	1,4	(materiaalin osavarmuusluku)
f <sub>c,0,k</sub> =	21 N/mm <sup>2</sup>	(puristus syysuuntaan)
f <sub>c,90,k</sub> =	2,5 N/mm <sup>2</sup>	(puristus syysuuntaa vastaan)
E <sub>0,mean</sub> =	11000 N/mm <sup>2</sup>	(kimmomoduuli)

**NURJAHDUSKESTÄVYYS (VAHVEMPAAN SUUNTAAN) KY1, pysyvä aikaluokka**  $1,35 \cdot G_{kj}(\text{omapaino})$

**Maksimi normaalivoima**

$$N_d = 1,35 \cdot N_{g,k} = 1,35 \cdot 1,18 \text{ kN} = 1,59 \text{ kN}$$

**Nurjahduskerroin k<sub>c,y</sub>**

$$L_{c,z} = 1,0 \cdot L_3 = 1,0 \cdot 1,9 \text{ m} = 1900 \text{ mm}$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{148 \text{ mm}}{\sqrt{12}} = 42,7 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{1900 \text{ mm}}{42,7 \text{ mm}} = 44,5$$

$$k_{c,y} = 0,85 \text{ (kuvaajasta 5.5)}$$

**Puristusjäännistys**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b \cdot h} = \frac{1,59 \cdot 10^3 \text{ N}}{48 \text{ mm} \cdot 148 \text{ mm}} = 0,22 \text{ N/mm}^2$$

**Puristuslujuus**

$$k_{mod} = 0,6$$

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{21 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,6}{1,4} = 9 \text{ N/mm}^2$$

**Mitoitusehto**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \rightarrow 0,03 < 1$$

$$\text{Käyttöaste: } 3\%$$

**NURJAHDUSKESTÄVYYS (VAHVEMPAAN SUUNTAAN) KY2, keskipitkä aikaluokka**  $1,15 \cdot G_{kj}(\text{omapaino}) + 1,5 \cdot Q_k(\text{lumi})$

**Maksimi normaalivoima**

$$N_d = 1,15 \cdot N_{g,k} + 1,5 \cdot N_{q,k} = 1,15 \cdot 1,18 \text{ kN} + 1,5 \cdot 10,45 \text{ kN} = 17,02 \text{ kN}$$

**Nurjahduskerroin k<sub>c,y</sub>**

$$L_{c,z} = 1,0 \cdot L_5 = 1,0 \cdot 1,9 \text{ m} = 1900 \text{ mm}$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{148 \text{ mm}}{\sqrt{12}} = 42,7 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{1900 \text{ mm}}{42,7 \text{ mm}} = 44,5$$

$$k_{c,y} = 0,85 \text{ (kuvaajasta 5.5)}$$

**Puristusjäännistys**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b \cdot h} = \frac{17,02 \cdot 10^3 \text{ N}}{48 \text{ mm} \cdot 148 \text{ mm}} = 2,40 \text{ N/mm}^2$$

### Puristuslujuus

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

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{21 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,8}{1,4} = 12 \text{ N/mm}^2$$

### Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \rightarrow 0,23 < 1$$

Käyttöaste: 23 %

**NURJAHDUSKESTÄVYYS (VAHEMPAAN SUUNTAAN) KY3, hetkellinen aikaluokka**  $1,15 \cdot G_{kj}(\text{omapaino}) + 1,5 \cdot Q_k(\text{lumi}) + 1,05 \cdot Q_{k,t}(\text{tuuli})$

### Maksimi normaalivoima

$$N_d = 1,15 \cdot N_{g,k} + 1,5 \cdot N_{q,k} = 1,15 \cdot 1,18 \text{ kN} + 1,5 \cdot 10,45 \text{ kN} = 17,02 \text{ kN}$$

### Nurjahduskerroin $k_{c,y}$

$$L_{c,z} = 1,0 \cdot L_5 = 1,0 \cdot 1,9 \text{ m} = 1900 \text{ mm}$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{148 \text{ mm}}{\sqrt{12}} = 42,7 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{1900 \text{ mm}}{42,7 \text{ mm}} = 44,5$$

$$k_{c,y} = 0,85 \text{ (kuvaajasta 5.5)}$$

### Puristusjäännitys

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b \cdot h} = \frac{17,02 \cdot 10^3 \text{ N}}{48 \text{ mm} \cdot 148 \text{ mm}} = 2,40 \text{ N/mm}^2$$

### Puristuslujuus

$$k_{mod} = 1,1$$

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{21 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,1}{1,4} = 16,5 \text{ N/mm}^2$$

### Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 1,05 \cdot M_{w,k} = 1,05 \cdot 0,23 \text{ kNm} = 0,24 \text{ kNm}$$

### Taivutusjäännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 0,24 \cdot 10^6 \text{ N}}{48 \text{ mm} \cdot (148 \text{ mm})^2} = 1,4 \text{ N/mm}^2$$

### Taivutuslujuus

$$f_{m,y,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,1}{1,4} = 18,9 \text{ N/mm}^2$$

### Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \rightarrow 0,24 < 1$$

Käyttöaste: 24 %

**NURJAHDUSKESTÄVYYS (VAHVEMPAAN SUUNTAAN) KY4, hetkellinen aikaluokka**  $1,15 \cdot G_{kj}(\text{omapaino}) + 1,05 \cdot Q_k(\text{lumi}) + 1,5 \cdot Q_{k,t}(\text{tuuli})$

**Maksimi normaalivoima**

$$N_d = 1,15 \cdot N_{g,k} + 1,05 \cdot N_{q,k} = 1,15 \cdot 1,18 \text{ kN} + 1,05 \cdot 10,45 \text{ kN} = 12,32 \text{ kN}$$

**Nurjahduskerroin  $k_{c,y}$**

$$L_{c,z} = 1,0 \cdot L_5 = 1,0 \cdot 1,9 \text{ m} = 1900 \text{ mm}$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{148 \text{ mm}}{\sqrt{12}} = 42,7 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{1900 \text{ mm}}{42,7 \text{ mm}} = 44,5$$

$$k_{c,y} = 0,85 \text{ (kuvaajasta 5.5)}$$

**Puristusjännitys**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b \cdot h} = \frac{12,32 \cdot 10^3 \text{ N}}{48 \text{ mm} \cdot 148 \text{ mm}} = 1,73 \text{ N/mm}^2$$

**Puristuslujuus**

$$k_{mod} = 1,1$$

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{21 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,1}{1,4} = 16,5 \text{ N/mm}^2$$

**Maksimi taivutusmomentti**

$$M_d = 1,05 \cdot M_{w,k} = 1,5 \cdot 0,23 \text{ kNm} = 0,35 \text{ kNm}$$

**Taivutusjännitys**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 0,35 \cdot 10^6 \text{ N}}{48 \text{ mm} \cdot (148 \text{ mm})^2} = 2,0 \text{ N/mm}^2$$

**Taivutuslujuus**

$$f_{m,y,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,1}{1,4} = 18,9 \text{ N/mm}^2$$

**Mitoitusehto**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \rightarrow 0,23 < 1$$

Käyttöaste: 23 %

**TUKIPAINEKESTÄVYYS ALAOHJAUSPUUSSA KY2**

$$b = 148 \text{ mm}$$

$$l = 48 \text{ mm}$$

**Tukireaktio**

$$A_d = 1,15 \cdot N_{g,k} + 1,5 \cdot N_{q,k} = 1,15 \cdot 1,18 \text{ kN} + 1,5 \cdot 10,45 \text{ kN} = 17,02 \text{ kN}$$

**Puristusjännitys alaohjauspuussa**

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b \cdot l} = \frac{17,02 \cdot 10^3 \text{ N}}{48 \text{ mm} \cdot 148 \text{ mm}} = 2,4 \text{ N/mm}^2$$

## Alaohjauspuun puristuslujuus syysuuntaa vastaan

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

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,8}{1,4} = 1,43 \text{ N/mm}^2$$

$k_{c,90}$ -kerroin

$$l_1 \geq 2h$$

$$k_{c,90} = 1,25 \text{ (sahatavara)}$$

## Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} = 30 \text{ mm} + l + 30 \text{ mm} = 30 \text{ mm} + 48 \text{ mm} + 30 \text{ mm} = 108 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = \frac{108 \text{ mm}}{48 \text{ mm}} \cdot 1,25 = 2,8$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow 2,4 \text{ N/mm}^2 < 4,0 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 60 %

## Taipuma KY3

### Pilarin jäyhyysmomentti

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{48 \text{ mm} \cdot (148 \text{ mm})^3}{12} = 12967168 \text{ mm}^4$$

### Hetkellinen taipuma tuulikuormasta

$$w_{inst} = \frac{5 \cdot (k_1 \cdot c_{p,net} \cdot q_k(h)) \cdot L^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} \cdot k_{c,90} = \frac{5 \cdot 1,05 \text{ m} \cdot 1,4 \cdot 0,35 \text{ kN/m}^2 \cdot (1900 \text{ mm})^4}{384 \cdot 11000 \cdot 1,29 \cdot 10^7 \text{ mm}^4} \cdot 1,25 = 0,77 \text{ mm}$$

### Lopputaipuma

$$k_{def} = 0,6$$

$$w_{fin} = (1 + k_{def}) \cdot w_{inst} = (1 + 0,6) \cdot 0,77 \text{ mm} = 1,22 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

L = tolpan pituus

$$\text{Taipumaraja } w_{f,in} \leq \frac{L}{300} \rightarrow 1,2 \text{ mm} < 6,3 \text{ mm}$$

Käyttöaste: 19 %

## Hetkellinen taipuma tuulikuormasta (Frame Analysis):

$$w_{inst} = 0,9 \text{ mm}$$

### Lopputaipuma

$$k_{def} = 0,6$$

$$w_{fin} = (1 + k_{def}) \cdot w_{inst} = (1 + 0,6) \cdot 0,9 \text{ mm} = 1,44 \text{ mm}$$

## Mitoitusehto

L = tolpan pituus

Taipumaraja  $w_{f,in} \leq \frac{L}{300} \rightarrow$  1,4 mm < 6,3 mm

Käyttöaste: 23 %

## MITOITUSTULOSTEN TARKASTELU

Ikkunan pielitolpan dimensioksi saatiin **C24 48x148**

## TERÄSPILARI

L=	2376 mm	(pilarin pituus)
$f_y$ =	235 N/mm <sup>2</sup>	(Teräs S235)
A=	1141 mm <sup>2</sup>	(CFRHS 100x100x3)
$i_y$ =	39,4 mm	(CFRHS 100x100x3)
Poikkileikkausluokka=	2	(taulukko)

Kuorma, MRT:

$$N_{Ed} = \left( 1,15 \cdot 0,5 \frac{kN}{m^2} \cdot 2 m + 1,5 \cdot 3,8 \frac{kN}{m^2} \cdot 2 m \right) \cdot 4,1 m = 51,46 \text{ kN} \quad (\text{kuormitusala} = 8,2 \text{ m}^2)$$

Kuorma, MRT:

Frame analysis ohjelmasta saadaan 2-aukoisen palkin keskipilarin kuormaksi= 64,33 kN

Nurjashduskäyrä=

$$\alpha = c = 0,49$$

$$L_{cr} = 0,7 \times L = 1663,2 \text{ mm}$$

Hoikkuus

$$\lambda_1 = 93,3 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,3 \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1663,2 \text{ mm}}{39,4 \text{ mm}} \cdot \frac{1}{93,9 \text{ N/mm}^2} = 0,45$$

Pienennystekijä

$$\phi = 0,5 \cdot ((1 + \alpha(\lambda - 0,2)) + \lambda^2) = 0,5 \cdot ((1 + 0,49 \cdot (0,45 - 0,2)) + 0,45^2) = 0,66$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,66 + \sqrt{0,66^2 - 0,45^2}} = 0,87$$

Nurjahduskestävyyden mitoitusarvo

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,87 \cdot 1141 \text{ mm}^2 \cdot 235 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 212260 \text{ N} \rightarrow 212,26 \text{ kN}$$

Mitoitusehto

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow 0,30 < 1$$

Käyttöaste: 30 %

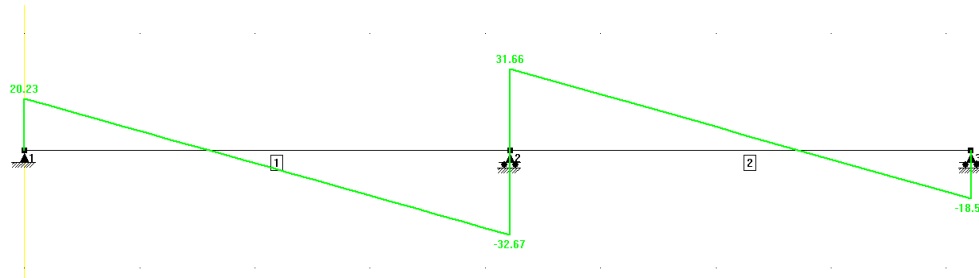
Puristuskestävyyden mitoitusarvo

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1141 \text{ mm}^2 \cdot 235 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 243759 \text{ N} \rightarrow 243,76 \text{ kN}$$

Mitoitusehto

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow 0,26 < 1$$

Käyttöaste: 26 %







<b>1234 PILARIT</b>									
<b>1234 Teräspilarit</b>	<b>4 kpl</b>			<b>481,22 €</b>		<b>25 h</b>		<b>312,93 €</b>	<b>794,15 €</b>
1. RHS 100x100x3mm, 4kpl	2,6 m/kpl	10,4 m	35 €/jm	364,00 €	0,69 tth/jm	7 h	28 €/h	200,93 €	
2. Vahvistevalu, teräsbetoni 400x400x180mm					1 tth/kpl	4 h	28 €/h	112,00 €	
- Betoni C25/30	0,12 m3/kpl	0,48 m3	114,00 €/m3	54,72 €					
- Teräs 10mm, A 500HW	2 kg/jm	50 kg	1,25 €/kg	62,50 €					
<b>1235 PALKIT</b>									
<b>1235 Kertopuupalkit</b>				<b>579,40 €</b>				<b>380,80 €</b>	<b>960,20 €</b>
- Kerto-S 45x360mm, seinäpalkki	34 jm	34 jm	14,1 €/jm	479,40 €	0,4 tth/jm	14 h	28 €/h	380,80 €	
- Kiinnikkeet:				100,00 €					
<b>1236 YLÄPOHJAT</b>									
<b>1236 YP1 (Puurakenteinen vino yläpohja)</b>	<b>95 m2</b>			<b>18 517,96 €</b>		<b>162 h</b>		<b>4 522,00 €</b>	<b>23 039,96 €</b>
1. Vesikate, konesaumattu ohutlevykate, kaltevuus 1:3					0,29 tth/m2	28 h	28 €/h	771,40 €	
- Ohutlevykate, pystysaumakate 0,6 mm, teräs, matta	1,11 m2/m2	105 m2	19,60 €/m2	2 066,82 €					
- Ruuvi, kiinnikkeet	1 erä/m2	95 erä	4,56 €/erä	433,20 €					
2. Vesikatteen alusta, vaneri					0,2 tth/m2	19 h	28 €/h	532,00 €	
- Wisa-kattolevy	1,04 m2/m2	99 m2	10,55 €/m2	1 042,34 €					
- Naula, lankanaula 2,8 x 75 mm, kuumasinkitty	0,05 kg	5 kg	2,40 €/m2	11,40 €					
3. Aluskate, kiinteälle alustalle asennettava, AKK1-luokka					0,06 tth/m2	6 h	28 €/h	159,60 €	
- Icopal multi Flex, AKK1, aluskate	1,1 m2/m2	105 m2	2,65 €/m2	276,93 €					
4. Kertopuupalkki 45 x 360 mm k900, (sis. Tulletusvälin 100mm)					0,35 tth/m2	33 h	28 €/h	931,00 €	
- Kerto-S 45 x 360 mm	1,16 jm/m2	110 jm	14,1 €/jm	1 553,82 €					
5. Lämmöeriste 280 mm, SPU-eriste					0,35 tth/m2	33 h	28 €/h	931,00 €	
- SPU AL 150mm	1,05 m2/m2	100 m2	48,22 €/m2	4 809,95 €					
- SPU AL 100mm	1,05 m2/m2	100 m2	49,11 €/m2	4 898,72 €					
- SPU AL 30mm	1,05 m2/m2	100 m2	25,72 €/m2	2 565,57 €					
6. Koolaus 2x100mm k400	2,81 jm/m2	267 jm	0,64 €/m2	170,85 €	0,1 tth/m2	10 h	28 €/h	266,00 €	
7. Kattolevytys, kipsilevy 13mm, 1-kertainen levytys					0,18 tth/m2	17 h	28 €/h	478,80 €	
- kipsikartankilevy 13 x 1200 x 2600 mm	1,16 m2/m2	110 m2	4,2 €/m2	462,84 €					
- ruuvi, kipsilevyruuvi 25 mm	0,03 kg/m2	3 kg	11 €/m2	31,35 €					
8. Kattotasote 1,5 kertaa ja saumaus, kipsilevy					0,07 tth/m2	7 h	28 €/h	186,20 €	
- Saumanauha, kipsilevy	0,7 jm/m2	67 jm	0,06 €/jm	3,99 €					
- Tasote, pintatasote	0,7 kg/m2	67 kg	0,53 €/kg	35,25 €					
- Tasote, pintatasote	1 kg/m2	95 kg	0,53 €/kg	50,35 €					
9. kattomaalaus, maali 2 kertaa, kuivatila					0,1 tth/m2	10 h	28 €/h	266,00 €	
- maali, sisämaali, kuivat tilat	0,3 L/m2	29 L	2,67 €/L	76,10 €					
- silote, kuivat tilat	0,05 L/m2	5 L	6,00 €/L	28,50 €					
<b>1242 IKKUNAT</b>	<b>4 kpl</b>			<b>826,22 €</b>		<b>9 h</b>		<b>264,32 €</b>	<b>1 090,54 €</b>
<b>1242 EK-puuikkuna 9x3 M</b>					2,36 tth/kpl	9 h	28 €/h	264,32 €	
- Metallikkuna EK 9 x 3, valk.	1 kpl	4 kpl	200 €/kpl	800,00 €					
- Polyuretaani, saumavaahto	0,28 L/kpl	1,12 L	5,2 €/L	5,82 €					
- Ruuvi, kiinnitysruuvi ja tulpat	6 kpl/kpl	24 kpl	0,85 €/kpl	20,40 €					
<b>1243 ULKO-OVET</b>	<b>1 kpl</b>			<b>812,04 €</b>		<b>5 h</b>		<b>140,00 €</b>	<b>952,04 €</b>
<b>1243 Nosto-ovi 2500 x 2100 mm</b>					5 tth/kpl	5 h	28 €/h	140,00 €	
- Nosto-ovi 2500 x 2100 mm	1 kpl	1 kpl	800 €/kpl	800,00 €					
- Polyuretaani, saumavaahto	0,68 L/kpl	0,68 L	5,2 €/kpl	3,54 €					
- Ruuvi, kiinnitysruuvit	10 kpl/kpl	10 kpl	0,85 €/kpl	8,50 €					
<b>1262 RÄYSTÄSRAKENTEET</b>									
<b>1262 Umpiräystä, lape</b>	<b>18 jm</b>			<b>223,67 €</b>		<b>18 h</b>		<b>504,00 €</b>	<b>727,67 €</b>
- Sahatavara 48 x 98mm	2 jm/jm	36 jm	1,6 €/jm	57,60 €	1 tth/jm	18 h	28 €/h	504,00 €	
- Ulkoverhouslauta, HS, pohjamaalattu 20 x 120 mm, 2m/jm	2,1 jm/jm	38 jm	0,96 €/jm	36,29 €					
- Ulkoverhouslauta, HS, pohjamaalattu 20 x 95 mm, 5m/jm	5,5 jm/jm	99 jm	0,77 €/jm	76,23 €					
- Pieneläinverkko	1 jm/jm	18 jm	0,74 €/jm	13,32 €					
- Naula, lankanaula 1,7 x 45 mm, kuumasinkitty	0,05 kg/jm	1 kg	2,4 €/kg	2,16 €					
- Maalaus 2-kertaa, ulkoverhouslauta	0,3 L/jm	5 L	7,05 €/L	38,07 €					
<b>1262 Umpiräystä, pääty</b>	<b>10 jm</b>			<b>124,26 €</b>		<b>10 h</b>		<b>280,00 €</b>	<b>404,26 €</b>
- Sahatavara 48 x 98mm,	2 jm/jm	20 jm	1,6 €/jm	32,00 €	1 tth/jm	10 h	28 €/h	280,00 €	
- Ulkoverhouslauta, HS, pohjamaalattu 20 x 120 mm	2,1 jm/jm	21 jm	0,96 €/jm	20,16 €					
- Ulkoverhouslauta, HS, pohjamaalattu 20 x 95 mm	5,5 jm/jm	55 jm	0,77 €/jm	42,35 €					
- Pieneläinverkko	1 jm/jm	10 jm	0,74 €/jm	7,40 €					
- Naula, lankanaula 1,7 x 45 mm, kuumasinkitty	0,05 kg/jm	1 kg	2,4 €/kg	1,20 €					
- Maalaus 2-kertaa, ulkoverhouslauta	0,3 L/jm	3 L	7,05 €/L	21,15 €					
<b>1264 VESIKATTOVARUSTEET</b>	<b>18 jm</b>			<b>595,12 €</b>		<b>7 h</b>		<b>201,60 €</b>	<b>796,72 €</b>
<b>1264 Sadevesivarusteet</b>					0,25 tth/jm	5 h	28 €/h	126,00 €	
- Vesikourut, puolipyöreä	1 jm/jm	18 jm	6,5 €/jm	117,00 €					
- Alastulopaketti	0,1 kpl/jm	2 kpl	47 €/kpl	94,00 €					
<b>1264 Kattovarusteet</b>									
- Lumieste, maalattu	1 jm/jm	18 jm	21,34 €/jm	384,12 €	0,15 tth/jm	3 h	28 €/h	75,60 €	
<b>13 TILAOSAT</b>									
<b>131 TILAN JAKO-OSAT</b>									
<b>1311 VÄLISEINÄT</b>	<b>50 m2</b>			<b>362,30 €</b>		<b>35 h</b>		<b>980,00 €</b>	<b>1 342,30 €</b>
1. Purku, seinäpaneloinnin purku					0,35 tth/m2	17,5 h	28 €/h	490,00 €	
2. Seinälevytys, kipsilevy 13mm, 1-kertainen levytys					0,18 tth/m2	9 h	28 €/h	252,00 €	
- kipsikartankilevy 13 x 1200 x 2600 mm	1,16 m2/m2	58 m2	4,2 €/m2	243,60 €					
- ruuvi, kipsilevyruuvi 25 mm	0,03 kg/m2	2 kg	11 €/m2	16,50 €					
3. Seinätasote, tasote 1,5 kertaa ja saumaus, kipsilevy					0,07 tth/m2	3,5 h	28 €/h	98,00 €	
- Saumanauha, kipsilevy	0,7 jm/m2	35 jm	0,06 €/jm	2,10 €					
- Tasote, pintatasote	0,7 kg/m2	35 kg	0,53 €/kg	18,55 €					
- Tasote, pintatasote	1 kg/m2	50 kg	0,53 €/kg	26,50 €					
4. Seinämaalau, maali 2 kertaa, kuivatila					0,1 tth/m2	5 h	28 €/h	140,00 €	
- maali, sisämaali, kuivat tilat	0,3 L/m2	15 L	2,67 €/L	40,05 €					
- silote, kuivat tilat	0,05 L/m2	3 L	6,00 €/L	15,00 €					
<b>3 HANKETEHTÄVÄT</b>									
<b>33 Rakentamisen johdotehtävät</b>	1 erä								<b>1 800,00 €</b>
<b>34 Työmaatehtävät</b>									
Aputyöt ja huolto esimerkiksi suojaus ja siivous	2 erä						350 €/erä		<b>700,00 €</b>
<b>4 KIINTEISTÖTEHTÄVÄT</b>									
Lupa - ja liittymismaksut	1 erä								<b>2 000,00 €</b>
<b>RAKENNUSOSALASKELMA</b>									
Rakennuksen laajuus			60 brm2						
Rakennuskustannukset yhteensä (kustannustaso 1/2015, alv 0%)			<b>55 672,92 €</b>		(ei sis. LVIS-töitä)				
Rakennuskustannukset per bruttoneliö			927,88 €/brm2						