



Puurunkoisen konehallin puurungon rakennesuunnittelu

Lauri Joensuu

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Talorakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Talonrakennustekniikka

JOENSUU, LAURI:

Puurunkoisen konehallin puurungon rakennesuunnittelu

Opinnäytetyö 62 sivua, joista liitteitä 36 sivua
Maaliskuu 2024

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin tilaajan tarpeiden mukainen puurunkoinen konehalli, koska tilalla olleen vanhan hallirakennuksen katto oli romahtamaisillaan. Uudelle hallille tavoiteltiin monipuolisempaa käyttöä, mikä käytännössä merkitsee hallin jakamista kahteen osaan. Etuosa on varustettu kylmällä tilalla, kun taas perälle suunniteltiin lämmin varastotila. Tämän ratkaisun avulla pyrittiin vastaamaan entistä joustavammin tilaajan tarpeisiin ja parantamaan hallin toiminnallista tehokkuutta. Tila, jonne konehalli suunniteltiin, sijaitsee Pirkanmaalla Parkanossa.

Työssä tuotettiin rakennepiirustukset ja laskelmat hanketta varten. Hankkeen suunnitelmassa otettiin huomioon tilaajan halu saada hallirakennuksen kustannukset alhaisiksi. Tilaajalla ei ole rakennusalan kokemusta, joten rakennepiirustukset piti toteuttaa mahdollisimman yksiselitteisesti ja yksityiskohtaisesti. Tämä johti päätökseen suunnitella hallin runko elementeistä.

Elementeistä rakentaminen toi projektiin joustavuutta mahdollistamalla elementtien valmistuksen itse tai niiden teettämisen. Koska elementeistä laadittiin tarkat kuvat, joista selviää kunkin elementin materiaalimenekki, tilaajan on helppo joko kilpailuttaa teettäminen tai hankkia tarvittava määrä materiaaleja.

Opinnäytetyön tuloksena valmistui tilaajan tarpeita ja toiveita vastaavat suunnitelmat puurunkoisesta konehallista, jotka mahdollistavat tilaajan aktiivisen osallistumisen rakennusprojektin etenemiseen ja kustannuksiin. Rakennepiirustukset ja laskelmat mahdollistavat projektin toteuttamisen valituilla suunnitteluratkaisuilla.

Tilaajan olisi hyvä miettiä rakennuksen elinkaarta, sillä ajan kuluessa käyttötarkoitukset saattaa muuttua. Esimerkiksi jos tulevaisuudessa hallin kattoon haluttaisiin laittaa nosturi, runko- ja ristikko materiaalit tulisi valita jo suunnitteluvaiheessa toisin, jotta ne kestävät nosturin aiheuttamat kuormat. Muutoksiin varautuminen tuo yleensä lisäkustannuksia, mutta samalla sillä voidaan pidentää rakennuksen elinkaarta ja hiilijalanjälkeä.

Asiasanat: elementtirakentaminen, puurunko, rakennesuunnitelma

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Construction

JOENSUU LAURI
Structural Design of a Timber-Framed Machinery Hall

Bachelor's thesis 62 pages, appendices 36 pages
March 2024

The aim of this thesis was to timber-framed machinery hall tailored to the client's needs. The goal for the new hall was to achieve functionality, primarily by dividing it into two sections. The first segment is equipped with a cold space, while the rear is designed as a warm storage area. The location for the planned equipment hall is in Parkano, Pirkanmaa.

The study aimed to produce structural drawings and calculations for the project. In the project plans, consideration was given to the client's desire to keep the costs of the hall low. Since the client lacks experience in the construction industry, the structural drawings had to be executed as clearly and comprehensively as possible, leading to the decision use prefabricated units in the frame of the wall.

Using prefabricated units brought flexibility to the project, allowing for either self-manufacturing or outsourcing the production of the units. Detailed drawings of the units, including material requirements for each unit, makes it easy for the client to either competitively bid the outsourcing or procure the necessary number of materials.

As a result of this thesis, plans were developed for a timber-framed machinery hall that meets the needs and preferences of the client. These plans enable the client's active participation in the progression and cost management of the construction project.

Key words: prefabricated unit construction, timber frame, structural design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	PUU RAKENNUSMATERIAALINA	6
	2.1 Puun ominaisuudet	6
	2.2 Käyttöluokat	8
	2.2.1 Käyttöluokka 1	9
	2.2.2 Käyttöluokka 2	9
	2.2.3 Käyttöluokka 3	9
	2.3 Aikaluokat	10
3	KUORMAT	11
	3.1 Omapaino	11
	3.2 Hyötykuorma	12
	3.3 Lumikuorma	13
	3.4 Tuulikuorma	15
4	KANTAVIEN RAKENTEIDEN MITOITUS	18
	4.1 Runkotolpan mitoitus	18
	4.1.1 Taivutus	18
	4.1.2 Puristus	19
	4.1.3 Nurjahdus	19
	4.2 Ulkoseinän aukkopalkin mitoitus	20
	4.2.1 Taivutus	20
	4.2.2 Leikkaus	20
	4.2.3 Taipuma	21
	4.3 Tuki- ja kiskopainekestävyys	21
	4.4 Seinän levyjäykistys	22
	4.5 Perustukset	23
	4.5.1 Geotekninen osa	23
	4.5.2 Rakennetekninen osa	24
5	POHDINTA	25
	LÄHTEET	26
	LIITTEET	27
	Liite 1	27
	Liite 2	37
	Liite 3	45
	Liite 4	49
	Liite 5	56

1 JOHDANTO

Rakenteiden suunnittelu on tärkeä osa rakentamista, koska sillä varmistetaan rakenteiden kestävyys, turvallisuus ja toimivuus. Hyvin suunniteltu rakenne vähentää onnettomuus- ja vaurioriskejä sekä mahdollistaa tehokkaan ja kestävänt rakentamisen.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään puurunkoisen hallirakennuksen suunnittelua elementeistä. Työssä käydään läpi kantavien rakenteiden mitoitus ja rakennekuvien piirtämistä ja keskitytään erityisesti siihen, miten näitä osa-alueita sovelletaan käytännössä puurunkoisen rakennuksen suunnittelussa.

Konehallin suunnittelussa lähtökohtana on korvata purkukuntoinen halli uudella rakennuksella, joka vastaa tilaajan toiveita ja tarpeita. Tarkoituksena on luoda monipuolinen tila, joka täyttää nykypäivän rakennusstandardit. Hallin käyttö on vähäistä, jonka takia halliin ei tule LVI-tekniikkaa. Sähkösuunnitelmat hankitaan erikseen, jonka vuoksi elementtikuvista tarvitaan myös DWG-versiot.

Jokainen rakennushanke on uniikki, ja tämän vuoksi työtä ei voi suoraan käyttää malliesimerkkinä elementtirakenteisen hallin suunnittelussa. Valmis opinnäytetyö pitää sisällään rakennesuunnitelmat, joiden avulla tilaaja voi toteuttaa hankkeen. Samalla työssä pyritään antamaan käsitys elementtien suunnittelusta, niiden tuomista mahdollisuuksista ja haasteista, mikä hyödyttää rakennesuunnittelijoita ja muita alan ammattilaisia.

Tämä opinnäytetyö koostuu teoria-, mitoitus- ja rakennekuvaosista. Teoriaosassa käsitellään kuormien muodostumista ja niiden mitoitus- ja mitoitus- osassa mitoitetaan rakenteet ja rakennekuvaosassa esitellään rakennekuvat.

2 PUU RAKENNUSMATERIAALINA

2.1 Puun ominaisuudet

Puu on lujaa ja kevyttä, jonka takia puutuotteita voidaan soveltaa lähes kaikissa uudis- ja korjausrakentamiskohteissa. Puurakenteita voi käyttää erilaisissa rakennuksissa, kuten kerrostaloissa, hallimaisissa rakennuksissa ja silloissa. Puurakenteiden suunnittelu vaatii enemmän suunnittelua, koska puurakenteissa asennus- ja valmistustoleranssit ovat tarkempia kuin muussa rakentamisessa. Puurakentamisessa rakenneratkaisut ovat miltei aina kohde- ja valmistajakohtaisia, sillä puurakenteessa ei ole vakiintuneita käytäntöjä tai ratkaisuja. Lisäksi puurakentamisessa on paljon erilaisia vaihtoehtoja materiaaleille, runkojärjestelmille ja rakennustavoille. Puurakentamisen yksi yleisimpiä runkojärjestelmiä on rankarunkojärjestelmä, joka perustuu kerroksittaisiin kantaviin seiniin. Kantavia seiniä ovat tavallisesti ulkoseinät ja osa väliseinistä. Rankarakentamisesta on paljon kokemusta, ja tällä on mahdollista saavuttaa rakennukselle hyvä energiatehokkuus ja ilmatiiviys. Puurakenteet toimivat yhdessä muidenkin rakenteiden, kuten betonirakenteiden kanssa. Lisäksi rakenneratkaisut ja -tyypit on mahdollista optimoida kohteen mukaan, mikä monipuolistaa rakenteen käyttömahdollisuuksia entisestään. (Puuinfo 2020a.)

Sahatavara on kaikilta sivuilta sahattua höyläämätöntä puutavaraa, jota yleensä käytetään runkorakentamisessa. Sahatavaralla on erilaisia lujuusluokkia, jotka määritellään kehittyneillä koneellisilla lujuuslajittelumenetelmillä tai visuaalisesti tarkastelemalla. Standardin EN 338 mukaan havupuusahatavara tulee lujuuslajitella lujuusluokkiin. EN 338 lujuusluokat ovat esitettyinä taulukossa 1. (Puuinfo 2020b.)

TAULUKKO 1. Sahatavaran lujuusluokat EN 338 (Puuinfo 2020b.)

Kaikki lujuusluokat	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Suomessa yleisimmät lujuusluokat			X			X		X	X	X		

Pohjoismaisen standardin INSTA 142 mukaan havupuusahatavara lujuus lajitellaan visuaalisesti vastaamaan EN 338 mukaisia C-lujuusluokkia. INSTA 142 lujuusluokat ovat esitettyinä taulukossa 2. (Puuinfo 2020b.)

TAULUKKO 2. Sahatavaran lujuusluokat INSTA (Puuinfo 2020b.)

Kaikki lujuusluokat	T0	T1	T2	T3
Vastaavuus EN 338 kanssa	C14	C18	C24	C30

Tavallisesti puutavaraliikkeissä varastoidaan ainoastaan C24 lujuusluokan sahatavaraa, sillä se on yleisin rakentamisessa käytetty lujuusluokka. Lujuusluokat vaikuttavat sahatavaran ominaislujuuteen, jäykkyysominaisuuteen ja tiheyteen. Sahatavaran lujuusominaisuudet ovat esitettyinä taulukossa 3. (Puuinfo 2020b.)

TAULUKKO 3. Sahatavaran lujuusominaisuudet (Puuinfo 2020c, 17.)

Lujuusluokka	Sahatavara			
		C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)
Ominaislujuudet (N/mm ²)				
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30
Veto	$f_{t,0,k}$	10	14,5	19
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	24
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4	4
Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²)				
Veto	$E_{0,mean}$	9000	11000	12000
	$E_{90,mean}$	300	370	400
Leikkaus	G_{mean}	560	690	750
Tiheydet (kg/m ³)				
Ominaisstiheys	ρ_k	320	350	380
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	380	420	460

Puun kosteus ja siihen kohdistuvan kuormituksen kesto aika vaikuttavat puurakenteiden lujuus- ja jäykkyysominaisuuksiin, minkä takia ne tulee ottaa huomioon, kun suunnittelun kriteereinä ovat puurakenteen käyttökelpoisuus ja mekaaninen kestävyys. Puurakenteen kosteusolosuhteet huomioidaan käyttöluokituksella ja kuormitusaika aikaluokituksella. (Puuinfo 2020c, 10-15.)

2.2 Käyttöluokat

Kaikki rakenteet tulee jaotella seuraavien kohtien mukaisiin käyttöluokkiin 1, 2 tai 3. Luokkajärjestelmä on pääasiassa tarkoitettu lujuusarvojen jaottelua määrittelyissä ympäristöolosuhteissa syntyvien muodonmuutoksien laskemista varten. (Puuinfo 2020c, 15.)

2.2.1 Käyttöluokka 1

Käyttöluokkaan 1 kuuluu puurakenne, joka sijaitsee lämmitetyssä sisätilassa tai vastaavissa kosteusolosuhteissa. Tähän käyttöluokkaan voidaan myös lukea lämpöeristekerroksessa sijaitsevat rakenteet sekä palkit, joiden vedettypuoli on lämmöneristeen sisällä. Tässä käyttöluokassa erityistä huomiota tulee kiinnittää puutavaran halkeilemisvaaraan. (Puuinfo 2020c, 15.)

2.2.2 Käyttöluokka 2

Käyttöluokkaan 2 kuuluu ulkoilmassa kuivana oleva puurakenne. Rakenteen täytyy olla tuuletetussa ja katetussa tilassa, sekä hyvin suojattu kastumiselta alta ja sivuilta. Käyttöluokkaan yleensä kuuluvat esimerkiksi kylmän ullakkotilan puurakenteet. (Puuinfo 2020c, 15.)

2.2.3 Käyttöluokka 3

Käyttöluokkaan 3 kuuluvat puurakenteet ovat ulkona säälle ja kosteudelle alttiina tai veden välittömän vaikutuksen alaisina. Käyttöluokan valinnassa tasapainokosteuden lisäksi pitää kiinnittää huomiota kosteuden vaihteluihin, sillä vaihtelun vaikutus puurakenteeseen voi olla suurempi kuin tasainen kosteuden vaihtelu. (Puuinfo 2020c, 15.)

2.3 Aikaluokat

Kuormien aikaluokkien määrittämisessä käytetään rakenteen käyttöiän aikana vaikuttavan vakiokuorman kestoa. Muuttuville kuormille asianmukainen luokka tulee määrittää kuormalle tyypillistä ajanjaksollista vaihtelua koskevan arvion perusteella. Jokainen kuorma tulee nimetä yhteen aikaluokkaan. Kuormien aikaluokkien jaottelu ovat esitettyinä taulukossa 4. (Puuinfo 2020c, 15.)

TAULUKKO 4. Kuormien aikaluokat ja kuormien jaottelu aikaluokkiin (Puuinfo 2020c, 15.)

Kuorman aikaluokka	Ominaiskuorman vaikutusajan suuruusluokka	Kuormitukset
Pysyvä	Yli 10 vuotta	Omapaino Pysyvästi rakenteeseen kiinnitetyt koneet, laitteet ja kevyet väliseinät Maanpaine
Keskipitkä	1 viikko - 6 kuukautta	Lumi Lattioiden ja parvekkeiden hyötykuorman pintakuormat luokissa A-D Autotallien ja liikennöintialueiden hyötykuormat (luokat F ja G) Kosteuden vaihtelun aiheuttamat kuormitukset
Hetkellinen		Tuuli Onnettomuuskuorma

3 KUORMAT

Rakennukseen kohdistuu pysty- ja vaakakuormia, jotka on jaettu pysyviin ja muuttuviin kuormiin. Pysyvillä kuormilla tarkoitetaan sellaisia kuormia, jotka koostuvat rakenteiden omasta painosta, kun taas muuttuvilla kuormilla tarkoitetaan sellaisia kuormia, jotka ovat rakennuksen toimintoihin liittyviä. Kantavilla rakenteilla tarkoitetaan sellaisia rakenneosia, joiden tarkoituksena on välittää pystykuormat perustuksille. Kantavat seinät suunnitellaan yleensä myös jäykistäviksi rakennusosiksi. Vaikka kantavilla rakenteilla yleensä tarkoitetaan pystyrakennosia (pilarit ja seinät), niin vaakarakenneosat (palkit ja laatat) ovat myös kantavia. Vaakarakenteet siirtävät pysty- ja vaakakuormia pystyrakenteille. (Puuinfo. 2020d.)

Suunnittelussa käytettävät kuormat saadaan standardista SFS-EN 1991 ja siihen liittyvistä kansallisista liitteistä, RIL 201-1-2017 tai yksinkertaistettuna puurakenteille RIL 205-1-2017 ohjeesta kohdasta 2.3.1.4S. (Puuinfo 2020c, 10.)

3.1 Omapaino

Rakennuskohteen omalle painolle lasketaan ominaisarvo nimellisten tilavuuspainojen ja nimellismittojen perusteella. Valmistajan ilmoittamia arvoja käytetään sellaisille rakennusosille ja laitteille, jotka ovat tehdasvalmisteisia. Kuivalle havupuutavaralle ja rakennusmateriaaleille, jotka on valmistettu siitä liimaamalla muun muassa liimapuu, LVL ja vaneri käytetään tilavuuspainoa $5,0 \text{ kN/m}^3$. Rakennuskohteen omaan painoon kuuluu kantavat ja ei-kantavat rakennusosat, kiinteät laitteet, sekä maakerroksien ja sepellyksien painot. Rakenteissa kiinnitettyinä olevien kantamattomien keveiden väliseinien omaa painoa voidaan käsitellä tasaisena lattiakuormana, jolle ei saa käyttää pienempää arvoa kuin $g_k = 0,3 \text{ kN/m}^3$. Kaikkien vapaasti liikuteltavissa olevien seinämien, kuten sermien omapaino tulee lisätä hyötykuormaan. (Puuinfo 2020c, 10.)

3.2 Hyötykuorma

Hyötykuormat oletetaan liikkuviksi kuormiksi, jotka vaikuttavat tarkasteltavan rakenteen kannalta epäedullisimmassa osassa rakennetta. Tarkasteltaessa paikallisia vaikutuksia on otettava huomioon pistekuorma Q_k , jota ei tule yhdistää tasaiseen kuorman tai muiden muuttuvien kuormien kanssa. Mikäli pistekuorma $Q_k \leq 2,0$ kN kuormitusalan oletetaan olevan 50×50 mm², muuten 100×100 mm². Väliseinät, jotka toimivat kaiteina ja kaiteisiin kohdistuvan vaakasuuntaisen viivakuorman q_k oletetaan vaikuttavan kaiteen tai käsijohteen korkeudella, muttei kuitenkaan ylempänä kuin 1,2 m. Tavallisimpien hyötykuormien ominaisarvot ovat esitettyinä taulukossa 5. (Puuinfo 2020c, 11.)

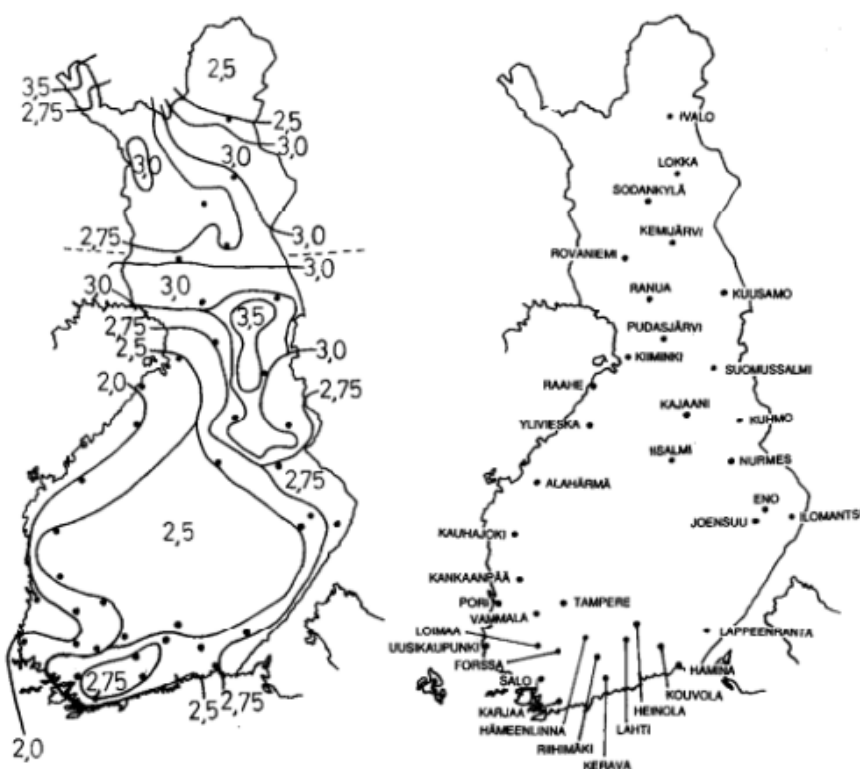
TAULUKKO 5. Tavallisimpien hyötykuormien ominaisarvot (Puuinfo 2020c, 11.)

Kuormitettujen tilojen luokat	q_k [kN/m ²]			Q_k [kN] (portaot suluissa)
	Välipohjat	Portaat	Parvekkeet	
Luokka A: Asuinitilat	2,0	2,0	2,5	2,0 (2,0*)
Luokka B: Toimistotilat	2,5	3,0	2,5	2,0 (2,0)
Luokka C: Kokoontumistilat				
C1: Pöytä alueet	2,5	3,0	2,5	3,0 (2,0)
C2: Kiinteiden istuimien alueet	3,0	3,0	3,0	3,0 (2,0)
C3: Esteettömät alueet	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
C4: Liikuntatilat ja näyttämöt	5,0	3,0	5,0	4,0 (2,0)
C5: Tungokselle alttiit alueet	6,0	6,0	6,0	4,0 (2,0)
Luokka D: Myymälätilat				
D1 Tavalliset vähittäiskaupat	4,0	3,0	3,0	4,0 (2,0)
D2 Tavaratalot	5,0	6,0	5,0	7,0 (2,0)
Luokka E: Varastotilat				
E1 Tavarain säilytys ja vastaanottotilat	7,5	3,0		7,0 (2,0)
Luokka H: Vesikatot ilman hyötykäyttöä		0,4		1,0

* Asunnon sisäiset portaot $Q_k = 1,5$ kN

3.3 Lumikuorma

Lumikuorma s_k on kiinteä muuttuva kuorma, joka tarkoittaa, ettei sen liikkuvuutta tarkastella. Mikäli on odotettavissa, että lumi uudelleen jakaantuu esimerkiksi liukumisen takia tai katolla olevaa lunta poistetaan, katto tulee suunnitella asianmukaisilla kuormituskaavioilla. Maanpinnalla olevan lumikuorman ominaisarvot ovat esitettyinä kuvassa 1. (Puuinfo 2020c, 11.)

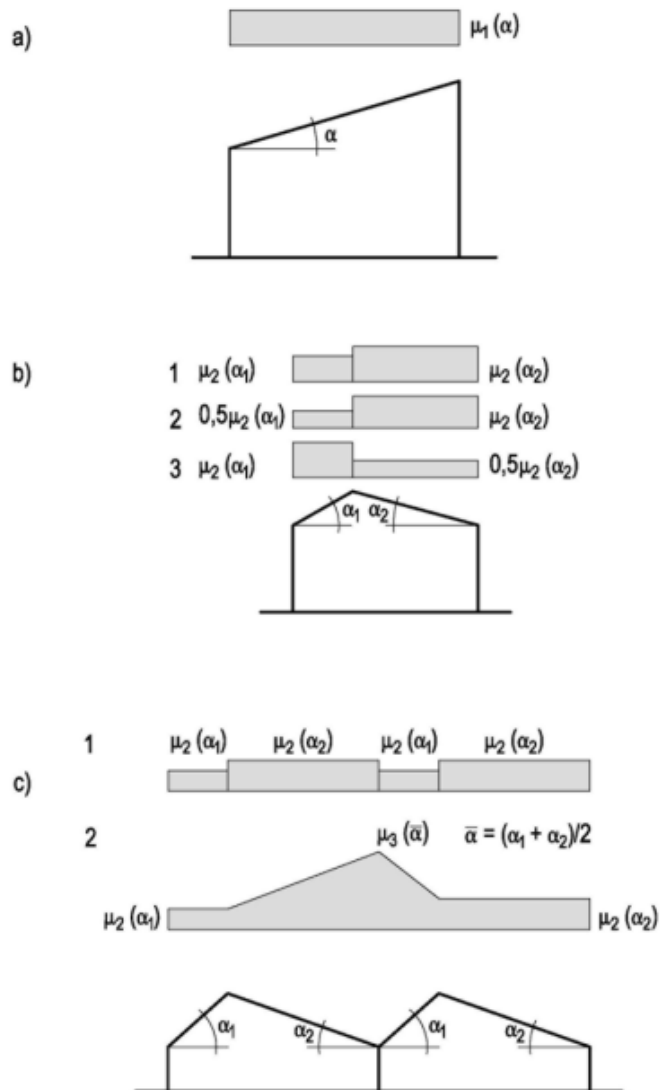


KUVA 1. Maanpinnalla olevan lumikuorman ominaisarvot (Puuinfo 2020c, 11.)

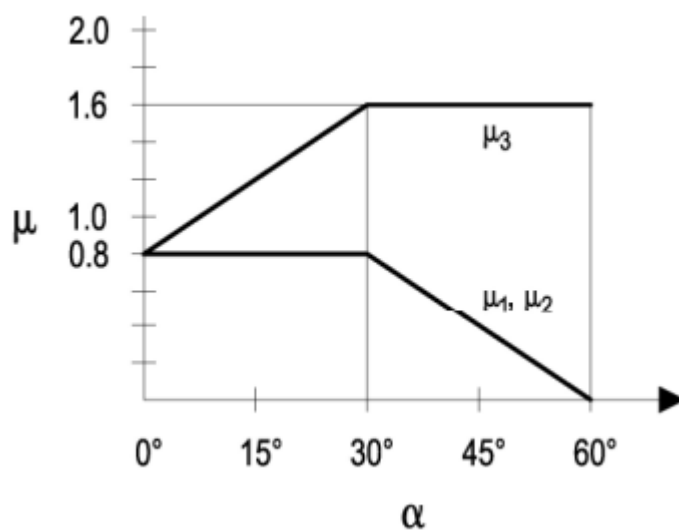
Kattojen ominaislumikuorma q_k lasketaan kaavalla

$$q_k = \mu_i \cdot s_k \quad (1)$$

jossa s_k on maanpinnalla olevan lumikuorman ominaisarvo ja μ_i on muotokerroin, joka määritellään kuvan 2 ja kuvion 1 mukaan. Jos katon alaräystäällä on kaide tai jos katolla on liukumiseste, niin muotokertoimelle käytetään vähintään arvoa 0,8. (Puuinfo 2020c, 12.)



KUVA 2. Kattojen lumikuorman muotokertoimet: a) pulpetti-, b) harja- ja c) saha-katto. (Puuinfo 2020c, 13.)



KUVIO 1. Kattojen lumikuorman muotokertoimet (Puuinfo 2020c, 12.)

3.4 Tuulikuorma

Suomessa tuulikuorman laskemisessa tavanomaiselle rakennukselle voidaan käyttää yksinkertaistettua menettelyä. Rakennuksen kaikkiin tuulikuormatarkasteluihin käytetään samaa modifioituneen nopeuspaineen ominaisarvoa $q_p(h)$, jonka saa määrittettyä rakennuksen korkeuden h ja maastoluokan avulla, joka määräytyy maaston pinnan muodon mukaan. Maastoluokat ovat esitettyinä taulukossa 6. (Puuinfo 2020c, 12.)

TAULUKKO 6. Maastoluokat. (Puuinfo 2020c, 12.)

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

Maastoluokan avulla voidaan määrittää nopeuspaineen ominaisarvot $q_{p0}(h)$, kun tuulen nopeuden perusarvo on $v_b = 21$ m/s. Nopeuspaineen ominaisarvoja ja suurennskerrointia γ_D tarvitaan modifioituneen nopeuspaineen laskemiseen. Mikäli maaston kaltevuus on pieni $\emptyset < 0,05$, voidaan suurennskertoimelle käyttää arvoa 1,0. Muissa tapauksissa γ_D voidaan määrittää varmalle puolelle kaavalla

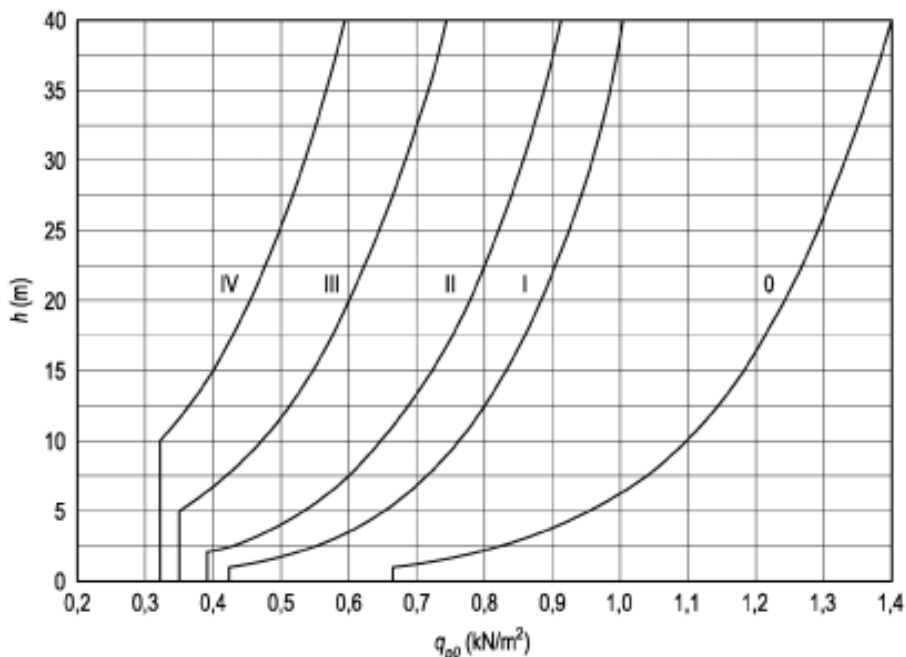
$$\gamma_D = \min \begin{cases} 1 + 2,8 \cdot \emptyset \\ 1,84 \end{cases} \quad (2)$$

jossa \emptyset on tuulen suuntainen maastonkaltevuus (rad), kun kaltevuus määritellään mäen tai harjanteen lakikorkeuden tai rinteen pituuden mukaan. (Puuinfo 2020c, 12.)

Ominaisarvo modifioituneelle nopeuspaineelle $q_p(h)$ lasketaan kaavalla

$$q_p(h) = \gamma_D \cdot q_{p0}(h) \quad (3)$$

jossa γ_D on suurennuskerroin ja $q_{p0}(h)$ on nopeuspaineen ominaisarvo. Nopeuspaineen ominaisarvo määräytyy kuvion 2 mukaisesti maastoluokan ja rakennuksen korkeuden mukaan. (Puuinfo 2020c, 12.)



KUVIO 2. Nopeuspaineen ominaisarvot (Puuinfo 2020c, 13.)

Mikäli rakennuksen korkeus on pienempi kuin sen leveys, mutta enintään 50 metriä, voidaan rakennuksen vaakasuuntainen kokonaistuulikuorma laskea kaavalla

$$F_{w,k} = c_f \cdot q_p(h) \cdot A_{ref} \quad (4)$$

jossa $q_p(h)$ on rakennuksen korkeutta h vastaava nopeuspaine, A_{ref} on kohtisuorasti tuulta vastaan olevan rakenteen projektio pinta-ala ja c_f on rakenteen voimakerroin, joka määritetään taulukon 7 mukaan. (Puuinfo 2020c, 13.)

TAULUKKO 7. Voimakerron c_f rakennuksen hoikkuuden ja mittasuhteiden vaikutus huomioiden. (Puuinfo 2020c, 13.)

Sivusuhte d/b									
λ	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
19	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

Väliarvot interpoloidaan lineaarisesti. Hoikkuus λ lasketaan kaavalla

$$\lambda = \begin{cases} \frac{2h}{b} & \text{kun } h \leq 15 \text{ m} \\ (2,25 - 0,017h) \cdot \frac{h}{b} & \text{kun } 15 \text{ m} < h \leq 50 \text{ m} \end{cases} \quad (5)$$

jossa h on rakennuksen korkeus metreissä (m) ja b on rakennuksen leveys metreissä (m) tuulta vastaan kohtisuorassa suunnassa. (Puuinfo 2020c, 13.)

4 KANTAVIEN RAKENTEIDEN MITOITUS

Tässä opinnäytetyössä mitoitetaan runkotolppa, perustukset, seinän levyjäykitys, ulkoseinän aukkopalkki, alajuoksupuun kiskopaine ja aukkopalkin tukipaine. Mitoitukset pohjautuvat SFS 1992-1-1 ja RIL 205-1-2017, sekä BY211 osa 1 ja BY211 osa 2 ohjeisiin.

4.1 Runkotolpan mitoitus

Runkotolppa on molemmista päistään nivelellisesti kiinnitetty sauva, johon vaikuttaa puristavia ja taivuttavia voimia. Runkotolppa tulee mitoittaa taivutukselle, puristukselle, nurjahdukselle. Runkotolpan mitoitus on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 1.

4.1.1 Taivutus

Tolpan taivutuslujuuden tulee olla suurempi kuin rakenteeseen kohdistuvan taivutusrasituksen, jolloin mitoitusehto

$$\sigma_{m.y.d} \leq k_{crit} \cdot f_{m.y.d} \quad (5)$$

tulee olla voimassa. Kaavassa $\sigma_{m.y.d}$ on runkotolpassa vallitseva taivutusjännityksen mitoitusarvo pääakselien suhteen tapahtuvassa taivutuksessa. k_{crit} on kiepahduskerroin ja $f_{m.y.d}$ on taivutuslujuuden mitoitusarvo pääakselien suhteen tapahtuvassa taivutuksessa.

4.1.2 Puristus

Tolpan puristuslujuuden tulee olla suurempi kuin rakenteeseen kohdistuvan puristusjännityksen, jolloin mitoitusehto

$$\sigma_{c.0.d} \leq k_{c.z} \cdot f_{c.0.d} \quad (6)$$

tulee olla voimassa. Kaavassa $\sigma_{c.0.d}$ on runkotolpassa vallitseva syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo. $k_{c.z}$ on nurjahduskerroin ja $f_{c.0.d}$ on syysuuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo.

4.1.3 Nurjahdus

Samanaikaisesti taivutetun ja puristetun sauvan tulee täyttää seuraavat mitoitus ehdot

$$\frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.z.d}}{f_{m.z.d}} + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} \leq 1 \quad (7)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} + \frac{\sigma_{m.z.d}}{f_{m.z.d}} + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} \leq 1 \quad (8)$$

missä $\sigma_{m.y.d}$ ja $\sigma_{m.z.d}$ ovat runkotolpassa vallitsevia taivutusjännityksen mitoitusarvoja pääkselien suhteen tapahtuvassa taivutuksessa. $f_{m.y.d}$ ja $f_{m.z.d}$ ovat taivutuslujuuden mitoitusarvoja pääkselien suhteen tapahtuvassa taivutuksessa. k_m on kerroin, joka huomioi materiaalin ja poikkileikkauksen. $\sigma_{c.0.d}$ on runkotolpassa vallitseva syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo. $k_{c.z}$ on nurjahduskerroin ja $f_{c.0.d}$ on syysuuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo. Kaavaa 7 käytetään mitoitettaessa samanaikaisesti puristetun ja taivutetun sauvan kestävyttä poikkileikkauksen vahvemmassa suunnassa. Kaavaa 8 taas poikkileikkauksen heikommassa suunnassa.

4.2 Ulkoseinän aukkopalkin mitoitus

Aukkopalkkia on syytä tarkastella sellaisesta kohdasta, mistä sille muodostuu suurin mahdollinen kuormitus. Aukkopalkki tulee mitoittaa taivutukselle, leikkaukselle ja taipumalle, sekä tarkastella tukipainekestävyys. Aukkopalkin mitoitus on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 2.

4.2.1 Taivutus

Aukkopalkin taivutuslujuuden tulee olla suurempi kuin rakenteeseen kohdistuvan taivutusrasituksen, jolloin mitoitusehto

$$\sigma_{m.y.d} \leq k_{crit} \cdot f_{m.y.d} \quad (9)$$

tulee olla voimassa. Kaavassa $\sigma_{m.y.d}$ on aukkopalkissa vallitseva taivutusjännityksen mitoitusarvo pääakselien suhteen tapahtuvassa taivutuksessa. k_{crit} on kiepahduskerroin ja $f_{m.y.d}$ on taivutuslujuuden mitoitusarvo pääakselien suhteen tapahtuvassa taivutuksessa.

4.2.2 Leikkaus

Aukkopalkin leikkauskestävyyden tulee olla suurempi kuin siihen kohdistuvan leikkausvoiman, jolloin mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v.d} \quad (10)$$

tulee olla voimassa. Kaavassa τ_d on aukkopalkkia kuormittavan leikkausjännityksen laskenta-arvo ja $f_{v.d}$ on palkin leikkauslujuuden laskenta-arvo.

4.2.3 Taipuma

Kosteuden ja kuormien vaikutuksista aukkopalkille syntyvien muodonmuutoksien tulee pysyä tarpeeksi pieninä, koska tämä voi aiheuttaa vahinkoa muille rakenteille ja tuottaa haittaa rakenteiden toiminnan ja ulkonäkövaatimusten kannalta. Aukkopalkki on pääkannatin, jolloin palkin kokonaistaipuman tulee olla pienempi kuin taipuman aiheuttaman vaakasiirtymän enimmäisarvo, jolloin mitoitusehto

$$\frac{l}{200} \geq \max \left\{ \begin{aligned} &(1 + k_{def}) \cdot W_{inst.G} + (1 + 0,2 \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.lumi} + (0,7 + 0,3 \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.hyöty} \\ &(1 + k_{def}) \cdot W_{inst.G} + (1 + 0,3 \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.hyöty} + (0,7 + 0,2 \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.lumi} \end{aligned} \right. \quad (11)$$

tulee olla voimassa. Kaavassa k_{def} on virumaluku, $W_{inst.G}$ on pysyvän kuorman aiheuttama hetkellinen taipuma, $W_{inst.lumi}$ on lumikuorman aiheuttama hetkellinen taipuma ja $W_{inst.hyöty}$ on hyötykuorman aiheuttama hetkellinen taipuma.

4.3 Tuki- ja kiskopainekestävyys

Tuki- ja kiskopainetapauksissa tarkistetaan, että kosketuspinoilla vaikuttavien puristusjännityksien mitoitusarvot ovat pienempiä kuin syysuuntaa vastaan kohtisuoraa oleva puristuslujuuden mitoitusarvo, jolloin mitoitusehto

$$\sigma_{c.90.d} \leq k_{c.\perp} \cdot f_{c.90.d} \quad (12)$$

tulee olla voimassa. Kaavassa $\sigma_{c.90.d}$ on kosketuspinnalla vaikuttava puristusjännityksen mitoitusarvo, $k_{c.\perp}$ on tukipainekerroin ja $f_{c.90.d}$ on syysuuntaa vastaan kohtisuoraa oleva puristuslujuuden mitoitusarvo. $k_{c.\perp}$ arvo lasketaan kaavalla

$$k_{c.\perp} = \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} \quad (13)$$

jossa $l_{c.90.ef}$ on tehollisen kosketuspinnan pituus. l on kosketuspinnan pituus puun syiden suunnassa ja $k_{c.90}$ on kerroin, jolla otetaan huomioon puristuman suuruus, kuorman sijainti ja puun halkeamismahdollisuus.

4.4 Seinän levyjäykistys

Jäykistysseinän katsotaan olevan kaksiosainen, jos siihen kuuluu ikkunallinen seinälohko. Seinälohkoa, jossa on ikkuna ei huomioida jäykistävänä rakenneosana. Jäykistysseinien tarkoitus on kestää seinän tason suuntaiset leikkausvoimat rakennuslevyjien tai momenttia kestävien liitosten avulla. Levyjäykistetyn seinän koostuessa useasta lohkoista vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo saadaan kaavalla

$$F_{v.Rd} = \sum F_{i.Rd} \quad (14)$$

jossa $F_{i.Rd}$ on yksittäisen seinälohkon vaakaleikkauskestävyyden mitoitusarvo. $F_{i.Rd}$ lasketaan kaavalla

$$F_{i.Rd} = \frac{F_{f.Rd} \cdot b_i \cdot c_i}{s} \quad (15)$$

jossa $F_{f.Rd}$ on yksittäisen liittimen leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo, b_i on seinälohkon leveys, s on liitin väli ja kerroin c_i saadaan kaavasta

$$c_i = \begin{cases} 1 & \text{kun } b_i \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_i}{h} & \text{kun } b_i < \frac{h}{2} \end{cases} \quad (16)$$

jossa h on seinälohkon korkeus. Levyjäykistykseen mitoitus on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 3.

4.5 Perustukset

Perustuksien tehtävä on siirtää rakenteilta tulevat kuormat maapohjalle. Perustuksien suunnittelu on jaettu kahteen osaan, geotekniseen ja rakennetekniseen osaan. Geoteknisessä osassa valitaan perustuksien mitat, korkeusasema, sekä suunnitellaan maapohjan kantavat kerroksen niin että maapohja kestää kuormat murtumatta ja perustuksien siirtymät ja painumat ovat sallittujen rajojen sisällä. Rakenneteknisessä osassa käytetään geoteknisessä osassa valittuja anturan pohjamittoja ja mitoitetaan perustukset. Perustukset on mitoitettava niin että ne kestävät murtumatta niihin kohdistuvat rasitukset ja mahdolliset halkeamat sekä niiden muodonmuutokset on oltava sallittujen rajojen sisällä. Perustuksien mitoitutus on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 4.

4.5.1 Geotekninen osa

Maaperän kantokestävyys täytyy olla suurempi, kuin siihen kohdistuva kuormitus, jolloin mitoitusehto

$$p_d \leq R/A' \quad (14)$$

tulee olla voimassa. Kaavassa p_d on kuormituksen mitoitusarvo ja R/A' on maaperän kantokestävyysarvo, joka voidaan laskea kaavalla

$$R/A' = c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_y \cdot b_y \cdot s_y \cdot i_y \quad (15)$$

kaavassa c' on maaperän koheesion mitoitusarvo, N_c , N_q ja N_y ovat pohjamaan kitkakulmasta riippuvia kertoimia. b_c , b_q ja b_y ovat perustuksien pohjan muodosta riippuvia kertoimia. i_c , i_q ja i_y ovat kuorman kaltevuudesta riippuvia kertoimia. q' on perustamistasossa vallitseva jännitys. γ' on maaperän tehokas tilavuuspaino perustamistason alapuolella ja B' on perustuksen poikkileikkauksen tehokas leveys.

4.5.2 Rakennetekninen osa

Yleensä pientalojen kuormat ovat niin pieniä, että seinäanturat voidaan toteuttaa raudoittamattomina, jolloin mitoitusehto

$$h_f \geq 2,04 \cdot a \sqrt{\frac{\sigma_{gd}}{f_{ctd.pl}}} \quad (16)$$

tulee olla voimassa. Kaavassa h_f on anturan paksuus, a on anturan vapaa reuna-
namitta, σ_{gd} on maan pohjapaineen mitoitusarvo ja $f_{ctd.pl}$ on raudoittamattoman
betonin leikkauslujuus.

Anturoihin täytyy suunnitella pituussuuntainen raudoitus, minkä tarkoituksena on rajoittaa kutistumisesta aiheutuvia halkeamia. Raudoittamattomassa seinäanturassa voidaan käyttää palkkien ja laattojen vähimmäisraudoitusehtoa

$$A_{s.min} = \max \begin{cases} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d \end{cases} \quad (17)$$

jossa f_{ctm} on betonin keskimääräinen vetolujuus, f_{yk} on raudoituksen ominaislujuus, b_t on tarkasteltavan poikkileikkauksen pituus ja d on tehollinen korkeus.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella tilaajalle puurunkoinen konehalli, joka täyttää tilaajan toiveet. Haasteena työssä oli saada laskelmat ja kuvat valmiiksi aikataulussa sekä samalla varmistaa, että elementtiseinien valmistus on mahdollista kilpailuttaa tai toteuttaa itsenäisesti.

Kohteeseen ei tehty maaperätutkimuksia, mutta tiedettiin että maaperä on hiekkamaata. Tämä voi vaikuttaa perustusten kokoon ja vakavuuteen, joten tässä työssä tehtiin oletus pohjaveden pinnan sijainnista. Pohjaveden pinnan korkeus oletettiin olevan perustuksien alapinnan korkeudessa mikä tarkoittaa, että pohjaveden alapuolisen maan kantavuus olisi huomattavasti heikompi. Työssä ei ole perustuksista rakennepiirroksia, sillä todellisuudessa perustuksia ei voida suunnitella ilman maaperätutkimuksia, vaikka perustuksista tehtiin esimerkin vuoksi laskelmat. Rakennuksen kylmänosan sisäpuoli ajateltiin alun perin jättää runkopinnalle, mutta levyjäykistyksen laskennan ohessa kävi ilmi, ettei sisäpuolista levytystä voi jättää pois. Lisäksi ikkunan aukkopalkkia jouduttiin kasvattamaan huomattavasti alkuperäisestä, sillä ikkunoiden kokoon ei haluttu tehdä muutoksia. Tampereen ammattikorkeakoulu ei ole vastuussa suunnitelmien oikeellisuudesta, vaan vastuu on tilaajalla.

Kohde sopii käyttötarkoitukseensa hyvin, mutta myöhemmät muutokset käytön suhteen voivat aiheuttaa haasteita. Yhtenä tavoitteena oli pitää kustannukset mahdollisimman pieninä, joka ohjasi suunnittelua siten, että rakenteista tehtiin mahdollisimman optimaaliset nykyisille kuormille. Tämä rajoittaa rakennuksen käyttötarkoituksen muutosmahdollisuuksia huomattavasti, mutta ei tietenkään sulje niitä kokonaan pois. Valmiit rakennekuvat esitettyinä liitteessä 5.

LÄHTEET

Puuinfo. 2020a. Puun käyttö rakentamisessa. Puuinfo Oy. Viitattu 23.1.2024.
<https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/>

Puuinfo. 2020b. Sahatavara ja sen jalosteet. Puuinfo Oy. Viitattu 24.1.2024.
<https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/>

Puuinfo. 2020c. Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje. Tulostettu 24.1.2024.
<https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/ec5-sovelluslaskelmat-hallirakennustoinen-painos.pdf>

Puuinfo. 2020d. Rungon toimintaperiaate. Puuinfo Oy. Viitattu 26.1.2024.
<https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/rungon-toimintaperiaate/>

SFS-EN 1992-1-1. Eurokoodi 2 betonirakenteiden suunnittelu osa 1–1. 2005. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

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

Suomen betoniyhdistys: Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja–osa 1. 2013/BY 211 2020.

Suomen betoniyhdistys: Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja–osa 2. 2014/BY 211 2015.

LIITTEET

Liite 1.

		1 (10)
Lumikuorma:		
$L_{ristikko} := 8720 \text{ mm}$		Ristikon pituus
$k_R := 900 \text{ mm}$		Ristikko jako
$s_k := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		Lumikuorman ominaisarvo maassa. (Parkano)
$\mu_i := 0.8$		Muotokerroin, EC5 s. 12 (Kattokulma 10°)
$q_k := s_k \cdot \mu_i = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		Katon ominaislumikuorma
$q_{k,R} := k_R \cdot q_k = 1.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$		Ristikolle tuleva lumikuorma
Tuulikuorma:		
$h_{rak} := 4.3 \text{ m}$		Rakennuksen korkeus
$b_{rak} := 8 \text{ m}$		Rakennuksen leveys
$d_L := 12 \text{ m}$		Rakennuksen pituus tuulensuunnassa (pitkällä sivulla)
$d_b := 8 \text{ m}$		Rakennuksen pituus tuulensuunnassa (lyhyellä sivulla)
$v_b := 21 \frac{\text{m}}{\text{s}}$		Tuulen nopeuden perusarvo
$y_D := 1$		Suurennuskerroin (tasainen maasto)
$q_{p0} := 0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		Nopeuspaineen ominaisarvo. Maastoluokka 2, korkeus n. 6m
$q_p := y_D \cdot q_{p0} = 0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		Modifioituneen nopeuspaineen ominaisarvo
$c_{p,net} := 1.5$		Paikallisen tuulen nettopaine kerroin
$\lambda := \frac{2 \cdot h_{rak}}{8 \text{ m}} = 1$		Rakennuksen hoikkuus ($h < 15 \text{ m}$) lyhyt sivu
$\lambda := \frac{2 \cdot h_{rak}}{12 \text{ m}} = 0.7$		Rakennuksen hoikkuus ($h < 15 \text{ m}$) pitkä sivu

2 (10)

$$\frac{d_b}{b_{rak}} = 1$$

Sivusuhte lyhyellä sivulla

$$\frac{d_L}{b_{rak}} = 1.5$$

Sivusuhte pitkällä sivulla

Ratkaistaan voimakertoimet

$$c_{f,b} := 1.28$$

Voimakerroin lyhyellä sivulla

$$\frac{(1.28 + 0.99)}{2} = 1.135$$

$$c_{f,L} := 1.135$$

Voimakerroin pitkällä sivulla

$$F_{w,k,b} := c_{f,b} \cdot q_p \cdot h_{rak} \cdot d_b = 23.337 \text{ kN}$$

Tuulikuorman resultantti
(lyhyt sivu)

$$F_{w,k,L} := c_{f,L} \cdot q_p \cdot h_{rak} \cdot d_L = 31.04 \text{ kN}$$

Tuulikuorman resultantti
(pitkä sivu)

$$Q_k := c_{p,net} \cdot q_k = 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ominaistuulikuorma

Pysyvät kuormat:

$$\rho_{puu} := 5.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Puun tilavuuspaino

$$P_{R1} := 2 \cdot (423 \text{ mm} + 4426 \text{ mm}) + 8000 \text{ mm} = 17.698 \text{ m}$$

Ristikon kehän pituus

$$b_{ristikko} := 48 \text{ mm}$$

Paarteen poikkileikkauksen
leveys

$$h_{ristikko} := 123 \text{ mm}$$

Paarteen poikkileikkauksen
korkeus

$$L_R := 8720 \text{ mm}$$

Ristikon pituus

$$g_{k,R} := \frac{\rho_{puu} \cdot P_{R1} \cdot h_{ristikko} \cdot b_{ristikko}}{L_R \cdot k_R} = 0.067 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ristikon omapaino
neliömetrille

$$g_{k,kipsilevy} := 90 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Yläpohjan Kipsilevyn
ominaiskuorma

3 (10)

$$g_{k,rip} := 0.1 \frac{kN}{m^2}$$

Yläpohjan ripustuskuorma

$$g_{k,pel} := 0.3 \frac{kN}{m^2}$$

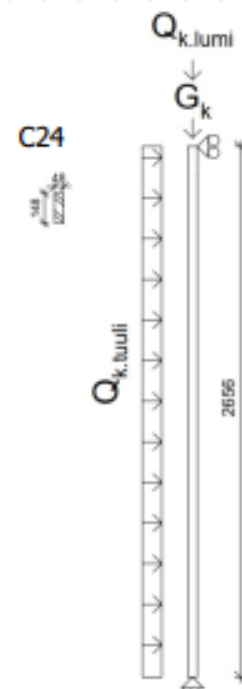
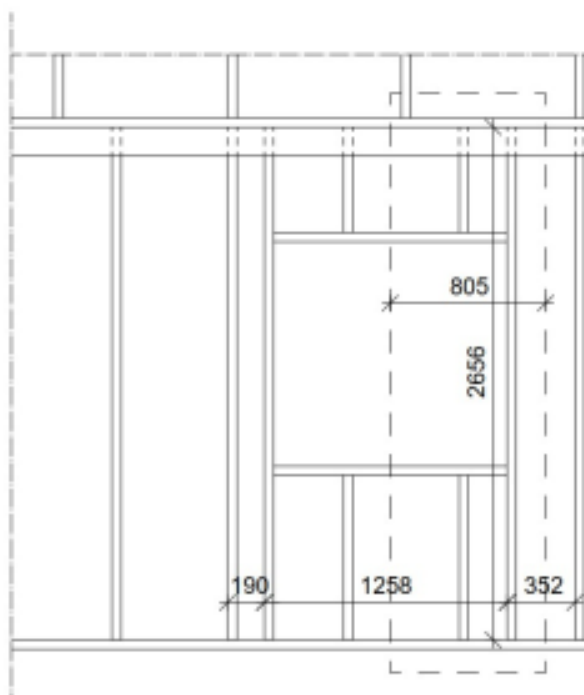
Katerakenteen omapaino

$$g_{k,yp} := g_{k,pel} + g_{k,kipsilevy} + g_{k,rip} + g_{k,R} = 0.6 \frac{kN}{m^2}$$

Yläpohjan omapaino

Runkotolpan mitoitus:

Runkotolppa on samanaikaisesti taivutettu ja puristettu, joten tarkastetaan nurjahdus.



4 (10)

Materiaali ja mitat

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

Puristuslujuuden ominais arvo
syysuunnassa

$$f_{m,k} := 24 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden ominaisarvo

$$\gamma_M := 1.3$$

Materiaalin osavarmuusluku

$$b := 48 \text{ mm}$$

Pilarin poikkileikkauksen paksuus

$$h := 148 \text{ mm}$$

Pilarin poikkileikkauksen korkeus

$$h_{\text{pilari}} := 2656 \text{ mm}$$

Pilarin korkeus

$$b_{\text{kuormitus}} := 805 \text{ mm}$$

Pilarille tuleva kuormitusleveys

Kuormat:

$$Q_{k,\text{lumi}} := q_k \cdot \frac{L_R}{2} \cdot b_{\text{kuormitus}} = 7.02 \text{ kN}$$

Lumikuorman ominaisarvo

$$Q_{k,\text{tuuli}} := b_{\text{kuormitus}} \cdot Q_k = 2.415 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tuulikuorman ominaisarvo

$$Q_{k,\text{hyöty}} := 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot b_{\text{kuormitus}} \cdot \frac{L_R}{2} = 1.404 \text{ kN}$$

Hyötykuorman ominaisarvo
(yläpohjan tyhjä tila)

$$G_k := g_{k,\text{yp}} \cdot b_{\text{kuormitus}} \cdot \frac{L_R}{2} = 1.953 \text{ kN}$$

Pysyvän kuorman
ominaisarvo**Kuormitus yhdistelmät:**

KT1: Pysyvä

KT2: Pysyvä + Lumi + Hyöty + Tuuli

KT3: Pysyvä + Lumi + Tuuli + Hyöty

KT4: Pysyvä + Hyöty + Lumi + Tuuli

KT5: Pysyvä + Hyöty + Tuuli + Lumi

KT6: Pysyvä + Tuuli + Lumi + Hyöty

KT7: Pysyvä + Tuuli + Hyöty + Lumi

	5 (10)
KT1: Pysyvä	Pysyvä
$P_{k,KT1} := G_k = 1.953 \text{ kN}$	Pystykuorman ominaisarvo
$P_{d,KT1} := 1.35 \cdot G_k = 2.637 \text{ kN}$	Pystykuorman laskenta-arvo
$F_{d,KT1} := 0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Tuulikuorma laskenta-arvo
KT2: Pysyvä + Lumi + Hyöty + Tuuli	Hetkellinen
$P_{k,KT2} := G_k + Q_{k,lumi} + Q_{k,hyöty} = 10.377 \text{ kN}$	Pystykuorman ominaisarvo
$P_{d,KT2} := 1.15 \cdot G_k + 1.5 \cdot Q_{k,lumi} + 1.05 \cdot Q_{k,hyöty} = 14.25 \text{ kN}$	Pystykuorman laskenta-arvo
$F_{d,KT2} := 0.9 \cdot Q_{k,tuuli} = 2.174 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Tuulikuorma laskenta-arvo
KT3: Pysyvä + Lumi + Tuuli + Hyöty	Hetkellinen
$P_{k,KT3} := G_k + Q_{k,lumi} + Q_{k,hyöty} = 10.377 \text{ kN}$	Pystykuorman ominaisarvo
$P_{d,KT3} := 1.15 \cdot G_k + 1.5 \cdot Q_{k,lumi} + 0.9 \cdot Q_{k,hyöty} = 14.039 \text{ kN}$	Pystykuorman laskenta-arvo
$F_{d,KT3} := 1.05 \cdot Q_{k,tuuli} = 2.536 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Tuulikuorma laskenta-arvo
KT4: Pysyvä + Hyöty + Lumi + Tuuli	Hetkellinen
$P_{k,KT4} := G_k + Q_{k,lumi} + Q_{k,hyöty} = 10.377 \text{ kN}$	Pystykuorman ominaisarvo
$P_{d,KT4} := 1.15 \cdot G_k + 1.5 \cdot Q_{k,hyöty} + 1.05 \cdot Q_{k,lumi} = 11.723 \text{ kN}$	Pystykuorman laskenta-arvo
$F_{d,KT4} := 0.9 \cdot Q_{k,tuuli} = 2.174 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Tuulikuorma laskenta-arvo
KT5: Pysyvä + Hyöty + Tuuli + Lumi	Hetkellinen
$P_{k,KT5} := G_k + Q_{k,lumi} + Q_{k,hyöty} = 10.377 \text{ kN}$	Pystykuorman ominaisarvo
$P_{d,KT5} := 1.15 \cdot G_k + 1.5 \cdot Q_{k,hyöty} + 0.9 \cdot Q_{k,lumi} = 10.67 \text{ kN}$	Pystykuorman laskenta-arvo
$F_{d,KT5} := 1.05 \cdot Q_{k,tuuli} = 2.536 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Tuulikuorma laskenta-arvo

		6 (10)
KT6: Pysyvä + Tuuli + Lumi + Hyöty	Hetkellinen	
$P_{k,KT6} := G_k + Q_{k,lumi} + Q_{k,hyöty} = 10.377 \text{ kN}$	Pystykuorman ominaisarvo	
$P_{d,KT6} := 1.15 \cdot G_k + 1.05 \cdot Q_{k,lumi} + 0.9 \cdot Q_{k,hyöty} = 10.881 \text{ kN}$	Pystykuorman laskenta-arvo	
$F_{d,KT6} := 1.5 \cdot Q_{k,tuuli} = 3.623 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Tuulikuorma laskenta-arvo	
KT7: Pysyvä + Tuuli + Hyöty + Lumi	Hetkellinen	
$P_{k,KT7} := G_k + Q_{k,lumi} + Q_{k,hyöty} = 10.377 \text{ kN}$	Pystykuorman ominaisarvo	
$P_{d,KT7} := 1.15 \cdot G_k + 1.05 \cdot Q_{k,hyöty} + 0.9 \cdot Q_{k,lumi} = 10.038 \text{ kN}$	Pystykuorman laskenta-arvo	
$F_{d,KT7} := 1.5 \cdot Q_{k,tuuli} = 3.623 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Tuulikuorma laskenta-arvo	
Mitoitus nurjahdukselle poikkileikkauksen vahvemmassa suunnassa:		
Nurjahduskerroin poikkileikkauksen vahvemmassa suunnassa:		
$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}} = 42.724 \text{ mm}$	Jäyhyyssäde	
$L_{c,y} := 1.0 \cdot h_{pilari} = 2.656 \text{ m}$	Nurjahduspituus	
$\lambda_y := \frac{L_{c,y}}{i_y} = 62.167$	Poikkileikkauksen vahvemman suunnan hoikkuus	
$k_{c,y} := 0.85$	Nurjahduskerroin, EC5 kuva 5.5	

KT1: Nurjahdusmitoitus	Keskipitkä 7 (10)
$k_{mod} := 0.8$	Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin
$f_{m,y,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 14.769 \frac{N}{mm^2}$	Taivutuslujuus laskenta-arvo
$f_{c,0,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 12.923 \frac{N}{mm^2}$	Syysuuntaisen puristuslujuuden laskenta-arvo
$\sigma_{c,0,d,KT1} := \frac{P_{d,KT1}}{b \cdot h} = 0.371 \frac{N}{mm^2}$	Puristusjännityksen laskenta-arvo
$M_{d,KT1} := \frac{F_{d,KT1} \cdot h_{pilari}^2}{8} = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$	Taivutusmomentin laskenta-arvo
$\sigma_{m,y,d,KT1} := \frac{6 M_{d,KT1}}{b \cdot h^2} = 0 \frac{N}{mm^2}$	Taivutusjännityksen laskenta-arvo
$KA_{KT1,v} := \frac{\sigma_{m,y,d,KT1}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d,KT1}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = 3.4\%$	Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste
KT2: Nurjahdusmitoitus	Hetkellinen
$k_{mod} := 1.1$	Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin
$f_{m,y,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 20.308 \frac{N}{mm^2}$	Taivutusjännityksen laskenta-arvo
$f_{c,0,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 17.769 \frac{N}{mm^2}$	Syysuuntaisen puristusjännityksen laskenta-arvo
$\sigma_{c,0,d,KT2} := \frac{P_{d,KT2}}{b \cdot h} = 2.006 \frac{N}{mm^2}$	Puristusjännityksen laskenta-arvo
$M_{d,KT2} := \frac{F_{d,KT2} \cdot h_{pilari}^2}{8} = 1.917 \text{ kN} \cdot \text{m}$	Taivutusmomentin laskenta-arvo
$\sigma_{m,y,d,KT2} := \frac{6 M_{d,KT2}}{b \cdot h^2} = 10.937 \frac{N}{mm^2}$	Taivutusjännityksen laskenta-arvo
$KA_{KT2,v} := \frac{\sigma_{m,y,d,KT2}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d,KT2}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = 67.1\%$	Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

KT3: Nurjahdusmitoitus	Hetkellinen	8 (10)
$k_{mod} := 1.1$	Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin	
$f_{m,y,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 20.308 \frac{N}{mm^2}$	Taivutusjännityksen laskenta-arvo	
$f_{c,0,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 17.769 \frac{N}{mm^2}$	Syysuuntaisen puristusjännityksen laskenta-arvo	
$\sigma_{c,0,d,KT3} := \frac{P_{d,KT3}}{b \cdot h} = 1.976 \frac{N}{mm^2}$	Puristusjännityksen laskenta-arvo	
$M_{d,KT3} := \frac{F_{d,KT3} \cdot h_{pilari}^2}{8} = 2.236 \text{ kN} \cdot \text{m}$	Taivutusmomentin laskenta-arvo	
$\sigma_{m,y,d,KT3} := \frac{6 M_{d,KT3}}{b \cdot h^2} = 12.76 \frac{N}{mm^2}$	Taivutusjännityksen laskenta-arvo	
$KA_{KT3,v} := \frac{\sigma_{m,y,d,KT3}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d,KT3}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = 75.9\%$	Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste	
KT4: Nurjahdusmitoitus	Hetkellinen	
$k_{mod} := 1.1$	Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin	
$f_{m,y,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 20.308 \frac{N}{mm^2}$	Taivutusjännityksen laskenta-arvo	
$f_{c,0,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 17.769 \frac{N}{mm^2}$	Syysuuntaisen puristusjännityksen laskenta-arvo	
$\sigma_{c,0,d,KT4} := \frac{P_{d,KT4}}{b \cdot h} = 1.65 \frac{N}{mm^2}$	Puristusjännityksen laskenta-arvo	
$M_{d,KT4} := \frac{F_{d,KT4} \cdot h_{pilari}^2}{8} = 1.917 \text{ kN} \cdot \text{m}$	Taivutusmomentin laskenta-arvo	
$\sigma_{m,y,d,KT4} := \frac{6 M_{d,KT4}}{b \cdot h^2} = 10.937 \frac{N}{mm^2}$	Taivutusjännityksen laskenta-arvo	
$KA_{KT4,v} := \frac{\sigma_{m,y,d,KT4}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d,KT4}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = 64.8\%$	Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste	

KT5: Nurjahdusmitoitus	Hetkellinen	9 (10)
$k_{mod} := 1.1$	Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin	
$f_{m,y,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 20.308 \frac{N}{mm^2}$	Taivutusjännityksen laskenta-arvo	
$f_{c,0,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 17.769 \frac{N}{mm^2}$	Syysuuntaisen puristusjännityksen laskenta-arvo	
$\sigma_{c,0,d,KT5} := \frac{P_{d,KT5}}{b \cdot h} = 1.502 \frac{N}{mm^2}$	Puristusjännityksen laskenta-arvo	
$M_{d,KT5} := \frac{F_{d,KT5} \cdot h_{pilari}^2}{8} = 2.236 \text{ kN} \cdot \text{m}$	Taivutusmomentin laskenta-arvo	
$\sigma_{m,y,d,KT5} := \frac{6 M_{d,KT5}}{b \cdot h^2} = 12.76 \frac{N}{mm^2}$	Taivutusjännityksen laskenta-arvo	
$KA_{KT5,v} := \frac{\sigma_{m,y,d,KT5}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d,KT5}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = 72.8\%$	Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste	
KT6: Nurjahdusmitoitus	Hetkellinen	
$k_{mod} := 1.1$	Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin	
$f_{m,y,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 20.308 \frac{N}{mm^2}$	Taivutusjännityksen laskenta-arvo	
$f_{c,0,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 17.769 \frac{N}{mm^2}$	Syysuuntaisen puristusjännityksen laskenta-arvo	
$\sigma_{c,0,d,KT6} := \frac{P_{d,KT6}}{b \cdot h} = 1.532 \frac{N}{mm^2}$	Puristusjännityksen laskenta-arvo	
$M_{d,KT6} := \frac{F_{d,KT6} \cdot h_{pilari}^2}{8} = 3.194 \text{ kN} \cdot \text{m}$	Taivutusmomentin laskenta-arvo	
$\sigma_{m,y,d,KT6} := \frac{6 M_{d,KT6}}{b \cdot h^2} = 18.229 \frac{N}{mm^2}$	Taivutusjännityksen laskenta-arvo	
$KA_{KT6,v} := \frac{\sigma_{m,y,d,KT6}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d,KT6}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = 99.9\%$	Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste	

KT7: Nurjahdusmitoitus**Hetkellinen**

10 (10)

$$k_{mod} := 1.1$$

Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin

$$f_{m,y,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 20.308 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutusjännityksen laskenta-arvo

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

Syysuuntaisen puristusjännityksen laskenta-arvo

$$\sigma_{c,0,d,KT7} := \frac{P_{d,KT7}}{b \cdot h} = 1.413 \frac{N}{mm^2}$$

Puristusjännityksen laskenta-arvo

$$M_{d,KT7} := \frac{F_{d,KT7} \cdot h_{pilari}^2}{8} = 3.194 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusmomentin laskenta-arvo

$$\sigma_{m,y,d,KT7} := \frac{6 M_{d,KT7}}{b \cdot h^2} = 18.229 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutusjännityksen laskenta-arvo

$$KA_{KT7,v} := \frac{\sigma_{m,y,d,KT7}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d,KT7}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = 99.1\%$$

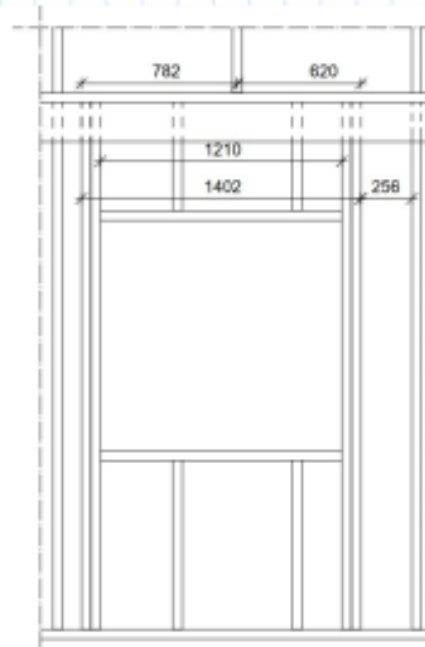
Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

Maksimi vahvempaan suuntaan

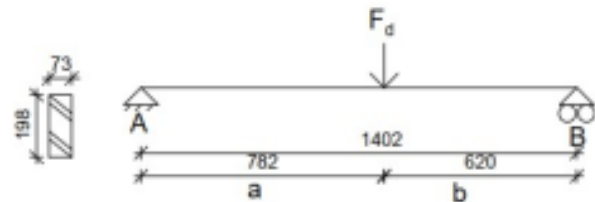
$$KA_{vahv} := \max(KA_{KT1,v}, KA_{KT2,v}, KA_{KT3,v}, KA_{KT4,v}, KA_{KT5,v}, KA_{KT6,v}, KA_{KT7,v}) = 99.9\%$$

Liite 2.

1 (8)

Ulkoseinän aukkopalkin mitoitus:
 Materiaali ja mitat


C24



$$b_{\text{palkki}} := 73 \text{ mm}$$

Palkin poikkileikkauksen paksuus

$$h_{\text{palkki}} := 198 \text{ mm}$$

Palkin poikkileikkauksen korkeus

$$L_{\text{palkki}} := 1402 \text{ mm}$$

Palkin pituus (jänneväli)

$$b_{\text{tolppa}} := 48 \text{ mm}$$

Palkin tuen leveys

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

Taivutuslujuuden ominaisarvo

$$f_{v,k} := 4.0 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Leikkauslujuuden ominaisarvo

$$f_{c,90,k} := 2.5 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Puristuslujuuden ominaisarvo kohtisuoraa syysuuntaa nähden

$$E_{\text{mean}} := 11000 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

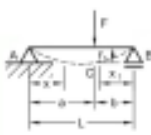
Kimmomoduuli

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

Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin

$$\gamma_M := 1.2$$

Palkinmateriaalin osavarmuus luku

Kuormitukset ja kuormituksiin vaikuttavat mitat.		2 (8)
q_{lum}	$:= 2.0 \frac{kN}{m^2}$	Lumikuorma katolla
$g_{k,yp}$	$:= 0.6 \frac{kN}{m^2}$	Yläpohjan omapaino
$L_{ristikko}$	$:= 8720 \text{ mm}$	Ristikön pituuden vaakamitta
k_{jako}	$:= 900 \text{ mm}$	Ristikön jakomitta
G_k	$:= \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{jako} \cdot g_{k,yp} = 2.354 \text{ kN}$	Pysyvän kuorman ominaisarvo
Q_{k}	$:= \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{jako} \cdot q_{lum} = 7.848 \text{ kN}$	Lumikuorman ominaisarvo
$Q_{k,hyöty}$	$:= 1.404 \text{ kN}$	Hyötykuorman ominaisarvo (yläpohjan tyhjä tila)
F_d	$:= 1.15 G_k + 1.5 Q_k + 1.05 \cdot Q_{k,hyöty} = 15.954 \text{ kN}$	Pystykuorman laskenta-arvo
Palkin statiikka ja voimasuureet:		
a	$:= 782 \text{ mm}$	 $A = \frac{Fb}{L}, \quad B = \frac{Fa}{L}$ $M(x) = \frac{Fb}{L}x, \quad \text{välillä A-C ja } M(x) = \frac{Fa}{L}(L-x), \quad \text{välillä C-B}$ $M_{max} = \frac{Fab}{L}$ $x = \frac{Fa^2b}{2L} \quad \text{kohdassa } x = a$
b	$:= 620 \text{ mm}$	
A	$:= \frac{F_d \cdot b}{L_{palkki}} = 7.055 \text{ kN}$	Palkin tukireaktio pisteessä A, laskenta-arvo
B	$:= \frac{F_d \cdot a}{L_{palkki}} = 8.899 \text{ kN}$	Palkin tukireaktio pisteessä B, laskenta-arvo
V_d	$:= \max(A, B) = 8.899 \text{ kN}$	Maksimi tukireaktio (myös leikkausvoima), laskenta-arvo
M_d	$:= \frac{F_d \cdot a \cdot b}{L_{palkki}} = 5.517 \text{ kN} \cdot \text{m}$	Maksimi momentti, laskenta-arvo

Taivutusmitoitus: 3 (8)

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

Vertailuehto

$$k_{crit} := 1$$

Kiepahdus estetty

$$W := \frac{b_{palkki} \cdot h_{palkki}^2}{6} = 476982 \text{ mm}^3$$

Palkin poikkileikkauksen taivutusvastus

$$\sigma_{m,d} := \frac{M_d}{W} = 11.567 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Taivutusjännityksen laskenta-arvo

$$f_{m,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 16 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Taivutuslujuuden laskenta-arvo

$$KA_{taivutus} := \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = 72.3\%$$

Kestävyykäyttöaste

Leikkausmitoitus:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$b_{ef} := 0.67 \cdot b_{palkki} = 0.049 \text{ m}$$

Sahatavarapalkin tehollinen paksuus käyttöluokassa 1

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{h_{palkki} \cdot b_{palkki}} = 0.923 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Leikkausjännityksen laskenta-arvo

$$f_{v,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.667 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Leikkauslujuuden laskenta-arvo

$$KA_{leikkaus} := \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = 34.6\%$$

Kestävyykäyttöaste

Taipuma:

4 (8)

$$k_{def} := 0.8$$

Virumaluku, käyttöluokka 2

$$I := \frac{b_{palkki} \cdot h_{palkki}^3}{12} = 47221218 \text{ mm}^4$$

Palkin poikkileikkauksen jäyhyysmomentti

$$w_{inst.G} := \frac{G_k \cdot a^2 \cdot b^2}{3 \cdot E_{mean} \cdot I \cdot L_{palkki}} = 0.253 \text{ mm}$$

Palkin taipuma omasta painosta

$$w_{inst.lumi} := \frac{Q_k \cdot a^2 \cdot b^2}{3 \cdot E_{mean} \cdot I \cdot L_{palkki}} = 0.844 \text{ mm}$$

Palkin taipuma lumikuormasta

$$w_{fin} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.G} + (1 + 0.2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.lumi} = 1.436 \text{ mm} \text{ Lopullinen taipuma}$$

$$\frac{L_{palkki}}{200} = 7.01 \text{ mm}$$

Sallittu taipuma

$$KA_{taipuma} := \frac{w_{fin}}{\frac{L_{palkki}}{200}} = 20.5\%$$

Kestävyysskäyttöaste

Palkin Tukipaine kestävyys:

5 (8)

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,tt} \cdot f_{c,90,d}$$

Mitoitusehto

$$l := 2 \cdot b_{\text{tolppa}} = 96 \text{ mm}$$

Kosketuspinnan pituus syiden suunnassa

$$l_1 := 1210 \text{ mm}$$

Seuraavan tukipainealueen etäisyys (aukon sisämitta)

$$a_a := 256 \text{ mm}$$

Palkin "ulokkeen" pituus

$$l_{c,90,ef} := \min\left(30 \text{ mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) + l + \min(30 \text{ mm}, a_a, l) = 156 \text{ mm} \quad \text{Tehollinen tukileveys}$$

$$k_{c,90} := 1.5$$

Lisäkerroin

$$k_{c,tt} := \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 2.438$$

Tukipaine kerroin

$$\sigma_{c,90,d} := \frac{V_d + F_d}{b_{\text{palkki}} \cdot l}$$

Puristusjäännitys syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa (lisätty seuraavan ristikon tukireaktio kokonaisuudessaan)

$$f_{c,90,d} := k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1.667 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoran puristuslujuuden laskenta-arvo

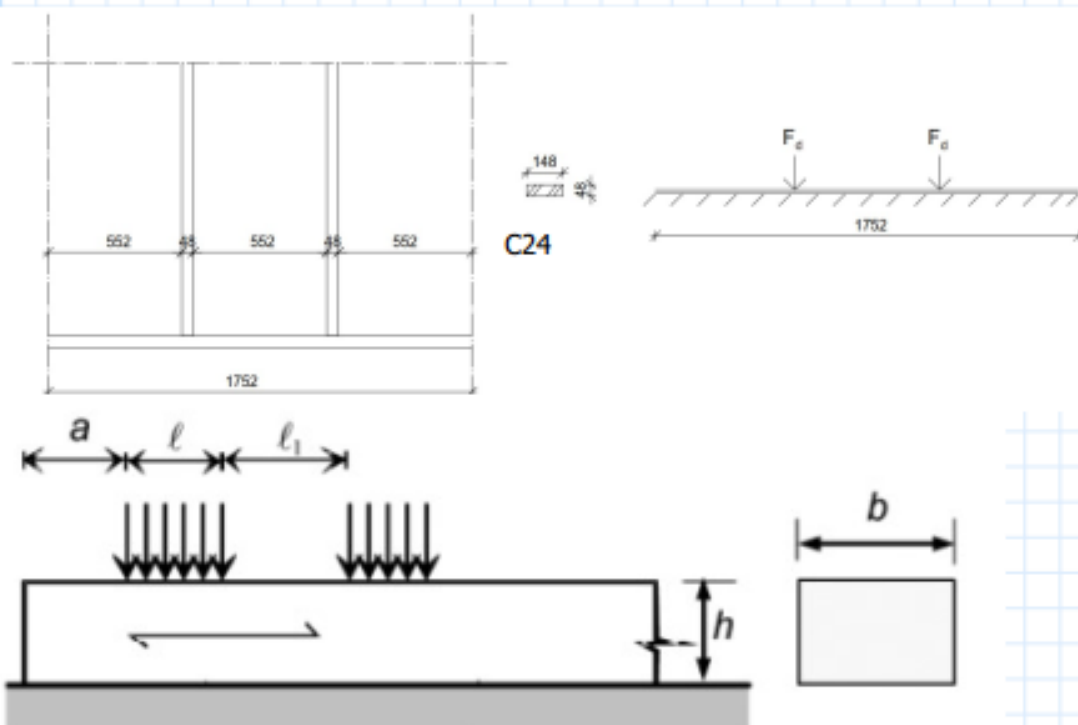
$$KA_{\text{tukipaine}} := \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,tt} \cdot f_{c,90,d}} = 87.3\%$$

Kestävyykäyttöaste

$$KA := \max(KA_{\text{taivuma}}, KA_{\text{taivutus}}, KA_{\text{leikkaus}}, KA_{\text{tukipaine}}) = 87\%$$

Alajuoksupuun kiskopaine kestävyys:

6 (8)



$$b_{paarre} := 148 \text{ mm}$$

Paarteen poikkileikkauksen paksuus

$$h_{paarre} := 48 \text{ mm}$$

Paarteen poikkileikkauksen korkeus

Palkin pituus (jänneväli)

$$b_{totppa} := 48 \text{ mm}$$

Pilarin leveys

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

Taivutuslujuuden ominaisarvo

$$f_{v,k} := 4.0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Leikkauslujuuden ominaisarvo

$$f_{c,90,k} := 2.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puristuslujuuden ominaisarvo kohtisuoraa syysuuntaa nähden

$$E_{mean} := 11000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kimmomoduuli

$$k_{mod} := 0.8$$

Kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan huomioiva kerroin

$$\gamma_M := 1.2$$

Palkinmateriaalin osavarmuus luku

Kuormitukset ja kuormituksiin vaikuttavat mitat.

7 (8)

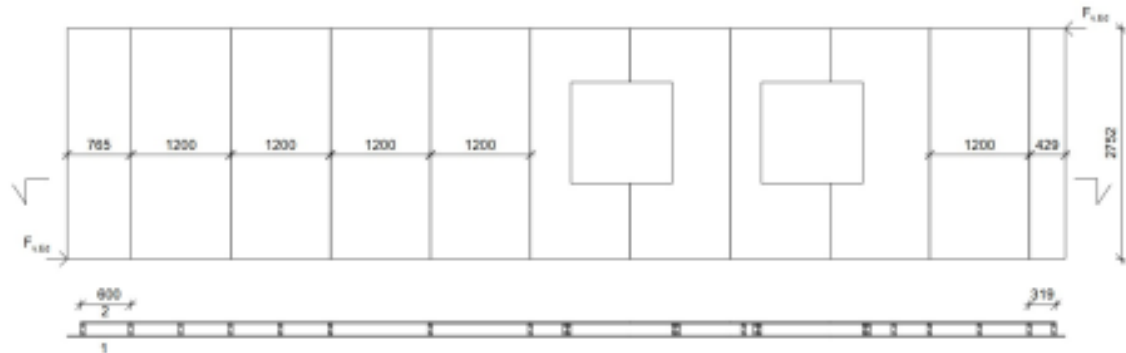
q_{lum}	$:= 2.0 \frac{kN}{m^2}$	Lumikuorma katolla
$g_{k,yp}$	$:= 0.6 \frac{kN}{m^2}$	Yläpohjan omapaino
$L_{ristikko}$	$:= 8720 \text{ mm}$	Ristikön pituuden vaakamitta
k_{jako}	$:= 900 \text{ mm}$	Ristikön jakomitta
ρ_{puu}	$:= 5.0 \frac{kN}{m^3}$	Puun tilavuuspaino
$k_{kuorm.}$	$:= 600 \text{ mm}$	Kuormitusleveys
h_{runko}	$:= 2752 \text{ mm}$	Seinän korkeus
$A_{verh.}$	$:= 28 \text{ mm} \cdot h_{runko} = 77056 \text{ mm}^2$	Verhoilun ala
$g_{k.verh.}$	$:= A_{verh.} \cdot k_{kuorm.} \cdot \rho_{puu} = 0.231 \text{ kN}$	Verhoilun omapaino
$g_{k.runko}$	$:= \rho_{puu} \cdot 48 \text{ mm} \cdot 148 \text{ mm} \cdot h_{runko} = 0.098 \text{ kN}$	Runkotolpan omapaino
$g_{k.kool.}$	$:= 2 (k_{kuorm.} \cdot 20 \text{ mm} \cdot 6 \cdot 100 \text{ mm} \cdot \rho_{puu}) = 0.072 \text{ kN}$	Koolauksen omapaino
$g_{k.us}$	$:= g_{k.verh.} + g_{k.runko} + g_{k.kool.} = 0.401 \text{ kN}$	Ulkoseinän omapaino
G_k	$:= \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{jako} \cdot g_{k,yp} + g_{k.us} = 2.755 \text{ kN}$	Pysyvän kuorman ominaisarvo
Q_k	$:= \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{jako} \cdot q_{lum} = 7.848 \text{ kN}$	Lumikuorman ominaisarvo
$Q_{k,hyöty}$	$:= 1.404 \text{ kN}$	Hyötykuorman ominaisarvo (yläpohjan tyhjä tila)
F_d	$:= 1.15 G_k + 1.5 Q_k + 1.05 Q_{k,hyöty} = 16.415 \text{ kN}$	Pystykuorman laskenta-arvo
V_d	$:= F_d = 16.415 \text{ kN}$	Leikkausvoima laskenta-arvo

$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,tt} \cdot f_{c,90,d}$	Mitoitusehto	8 (8)
$l := b_{totppa} = 48 \text{ mm}$	Kosketuspinnan pituus syiden suunnassa	
$l_1 := 552 \text{ mm}$	Seuraavan tukipainealueen etäisyys (aukon sisämitta)	
$a_a := 552 \text{ mm}$	Palkin "ulokkeen" pituus	
$l_{c,90,ef} := \min\left(30 \text{ mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) + l + \min(30 \text{ mm}, a_a, l) = 108 \text{ mm}$	Tehollinen tukileveys	
$k_{c,90} := 1.5$	Lisäkerroin	
$k_{c,tt} := \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 3.375$	Tukipainekerroin	
$\sigma_{c,90,d} := \frac{V_d}{b_{paarve} \cdot l}$	Puristusjännitys syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa	
$f_{c,90,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1.667 \frac{N}{mm^2}$	Syitä vastaan kohtisuoran puristuslujuuden laskenta-arvo	
$KA_{tukipaine} := \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,tt} \cdot f_{c,90,d}} = 41.1\%$	Kestävyyuskäyttöaste	

Liite 3.

1 (4)

Seinän levyjäykistys



$$F_{v,Ek} := 23.337 \text{ kN}$$

Tuulikuorman resultantti

$$d := 2.8 \cdot \text{mm}$$

Naulan paksuus

$$l := 75 \cdot \text{mm}$$

Naulan pituus

$$\gamma_M := 1.3$$

Materiaalin osavarmuusluku

$$k_{mod} := 1.1$$

Kuorman aikaluokan ja liitoksen käyttöluokan huomioiva kerroin

$$\rho_k := 350 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

C24 lujuuden ominaistiheys

$$t_1 := 9 \cdot \text{mm} \quad s_1 := 150 \cdot \text{mm}$$

Levyn 1 paksuus ja liitinjako

$$t_2 := 13 \cdot \text{mm} \quad s_2 := 150 \cdot \text{mm}$$

Levyn 2 paksuus ja liitinjako

$$h := 2752 \cdot \text{mm}$$

Seinän korkeus

Levyjen leveydet:

2 (4)

$$b_{1a} := 765 \cdot \text{mm} \quad b_{1b} := 1200 \cdot \text{mm} \quad b_{1c} := 1200 \cdot \text{mm} \quad b_{1d} := 1200 \cdot \text{mm}$$

$$b_{1e} := 1200 \cdot \text{mm} \quad b_{1f} := 1200 \cdot \text{mm} \quad b_{1g} := 429 \cdot \text{mm}$$

$$b_{2a} := 600 \cdot \text{mm} \quad b_{2b} := 1200 \cdot \text{mm} \quad b_{2c} := 1200 \cdot \text{mm} \quad b_{2d} := 1200 \cdot \text{mm}$$

$$b_{2e} := 1200 \cdot \text{mm} \quad b_{2f} := 1200 \cdot \text{mm} \quad b_{2g} := 319 \cdot \text{mm}$$

Naulaliitoksen leikkausvoimakkestävyys:

$$t_{\text{tunkeuma.1}} := l - t_1 = 66 \text{ mm}$$

$8 \cdot d = 22.4 \text{ mm}$ Naulan tunkeumat runkopuutavarassa,
min tunkeuma $8d$. OK

$$t_{\text{tunkeuma.2}} := l - t_2 = 62 \text{ mm}$$

$$k_{\rho} := \sqrt{\frac{\frac{\rho_k}{\text{kg}}}{\frac{\text{m}^3}{350}}} = 1$$

Puutavaran tiheysvaikutuskerroin

$$k_{L1} := \left(0.5 + \frac{t_1}{12 \cdot d}\right) \cdot k_{\rho} = 0.768$$

$$k_{L2} := \left(0.5 + \frac{t_2}{12 \cdot d}\right) \cdot k_{\rho} = 0.887$$

$$t_1 \geq 2 \cdot d = 1 \quad d \leq 5 \cdot \text{mm} = 1$$

$$t_2 \geq 2 \cdot d = 1 \quad d \leq 5 \cdot \text{mm} = 1$$

$$k_{L1} := \begin{cases} 1.2 & \text{if } k_{L1} \geq 1.2 \cdot k_{\rho} \\ k_{L1} & \text{else} \end{cases} = 0.768$$

$$k_{L2} := \begin{cases} 1.2 & \text{if } k_{L2} \geq 1.2 \cdot k_{\rho} \\ k_{L2} & \text{else} \end{cases} = 0.887$$

$$k_{L2d.1} := \begin{cases} \frac{t_{\text{tunkeuma.1}}}{12 \cdot d} & \text{if } t_{\text{tunkeuma.1}} \leq 12 \cdot d \\ 1 & \text{else} \end{cases} = 1$$

$$k_{L2d.2} := \begin{cases} \frac{t_{\text{tunkeuma.2}}}{12 \cdot d} & \text{if } t_{\text{tunkeuma.2}} \leq 12 \cdot d \\ 1 & \text{else} \end{cases} = 1$$

$$R_k := 120 \cdot \left(\frac{d}{\text{mm}}\right)^{1.7} \cdot N = 0.691 \text{ kN}$$

Ruuviliitoksen ominaisleikkauskestävyys

$$k_{\text{levy}} := 1.2$$

Levyjäykistyksen lisäkerroin

$$F_{f,Rd1} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_{t,1} \cdot k_{L,2d,1} \cdot k_{levy} \cdot R_k = 0.539 \text{ kN}$$

Yksittäisen liittimen
leikkausvoimakkestävyys

$$F_{f,Rd2} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_{t,2} \cdot k_{L,2d,2} \cdot k_{levy} \cdot R_k = 0.622 \text{ kN}$$

Jäykistysseinän mitoitus:

$$c_{1a} := \begin{cases} 1 & \text{if } b_{1a} \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_{1a}}{h} & \text{else} \end{cases} = 0.556 \quad c_{1b} := \begin{cases} 1 & \text{if } b_{1b} \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_{1b}}{h} & \text{else} \end{cases} = 0.872 \quad c_{1c} := \begin{cases} 1 & \text{if } b_{1c} \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_{1c}}{h} & \text{else} \end{cases} = 0.872 \quad c_{1d} := \begin{cases} 1 & \text{if } b_{1d} \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_{1d}}{h} & \text{else} \end{cases} = 0.872$$

$$c_{1e} := \begin{cases} 1 & \text{if } b_{1e} \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_{1e}}{h} & \text{else} \end{cases} = 0.872 \quad c_{1f} := \begin{cases} 1 & \text{if } b_{1f} \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_{1f}}{h} & \text{else} \end{cases} = 0.872 \quad c_{1g} := \begin{cases} 1 & \text{if } b_{1g} \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_{1g}}{h} & \text{else} \end{cases} = 0.312$$

$$c_{2a} := \begin{cases} 1 & \text{if } b_{2a} \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_{2a}}{h} & \text{else} \end{cases} = 0.436 \quad c_{2b} := \begin{cases} 1 & \text{if } b_{2b} \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_{2b}}{h} & \text{else} \end{cases} = 0.872 \quad c_{2c} := \begin{cases} 1 & \text{if } b_{2c} \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_{2c}}{h} & \text{else} \end{cases} = 0.872 \quad c_{2d} := \begin{cases} 1 & \text{if } b_{2d} \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_{2d}}{h} & \text{else} \end{cases} = 0.872$$

$$c_{2e} := \begin{cases} 1 & \text{if } b_{2e} \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_{2e}}{h} & \text{else} \end{cases} = 0.872 \quad c_{2f} := \begin{cases} 1 & \text{if } b_{2f} \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_{2f}}{h} & \text{else} \end{cases} = 0.872 \quad c_{2g} := \begin{cases} 1 & \text{if } b_{2g} \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 \cdot b_{2g}}{h} & \text{else} \end{cases} = 0.232$$

1. puolen joka levyn kapasiteetit	2. puolen joka levyn kapasiteetit	4 (4)
$F_{1a.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd1} \cdot b_{1a} \cdot c_{1a}}{s_1} = 1.527 \text{ kN}$	$F_{2a.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd2} \cdot b_{2a} \cdot c_{2a}}{s_2} = 1.085 \text{ kN}$	
$F_{1b.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd1} \cdot b_{1b} \cdot c_{1b}}{s_1} = 3.758 \text{ kN}$	$F_{2b.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd2} \cdot b_{2b} \cdot c_{2b}}{s_2} = 4.34 \text{ kN}$	
$F_{1c.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd1} \cdot b_{1c} \cdot c_{1c}}{s_1} = 3.758 \text{ kN}$	$F_{2c.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd2} \cdot b_{2c} \cdot c_{2c}}{s_2} = 4.34 \text{ kN}$	
$F_{1d.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd1} \cdot b_{1d} \cdot c_{1d}}{s_1} = 3.758 \text{ kN}$	$F_{2d.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd2} \cdot b_{2d} \cdot c_{2d}}{s_2} = 4.34 \text{ kN}$	
$F_{1e.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd1} \cdot b_{1e} \cdot c_{1e}}{s_1} = 3.758 \text{ kN}$	$F_{2e.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd2} \cdot b_{2e} \cdot c_{2e}}{s_2} = 4.34 \text{ kN}$	
$F_{1f.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd1} \cdot b_{1f} \cdot c_{1f}}{s_1} = 3.758 \text{ kN}$	$F_{2f.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd2} \cdot b_{2f} \cdot c_{2f}}{s_2} = 4.34 \text{ kN}$	
$F_{1g.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd1} \cdot b_{1g} \cdot c_{1g}}{s_1} = 0.48 \text{ kN}$	$F_{2g.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd2} \cdot b_{2g} \cdot c_{2g}}{s_2} = 0.307 \text{ kN}$	
$F_{v.Rd,1} := 0.75 \cdot (F_{1a.v.Rd} + F_{1b.v.Rd} + F_{1c.v.Rd} + F_{1d.v.Rd} + F_{1e.v.Rd} + F_{1f.v.Rd} + F_{1g.v.Rd}) = 15.597 \text{ kN}$		
$F_{v.Rd,2} := (F_{2a.v.Rd} + F_{2b.v.Rd} + F_{2c.v.Rd} + F_{2d.v.Rd} + F_{2e.v.Rd} + F_{2f.v.Rd} + F_{2g.v.Rd}) = 23.093 \text{ kN}$		
$F_{v.Rd} := F_{v.Rd,1} + F_{v.Rd,2} = 38.689 \text{ kN}$		
$F_{v.Ed} := 1.5 \cdot F_{v.Ek} = 35.006 \text{ kN}$ Tuulikuorma määräävä tekijä		
$KA := \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 90.5\%$ Mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste		

Liite 4.

1 (7)

Perustusten mitoitus

Perusmuuriantura perustetaan hiekkamaahan 0,4 m:n syvyyteen. Siihen kohdistuu pystysuora keskellä vaikuttava pysyvä kuorma G_k (oma paino mukana) ja muuttuva kuorma Q_k .

Pohjavedenpinnan oletetaan olevan anturan alapinnassa.

Anturan mitat

$$B := 300 \text{ mm}$$

$$L := 1 \text{ m}$$

$$H := 200 \text{ mm}$$

$$b := 150 \text{ mm}$$

$$h := 700 \text{ mm}$$

$$D := 400 \text{ mm}$$

$$H_w := 0 \text{ mm}$$

Anturan sivumitta (kokeillaan 300mm)

Tarkastelu kaistan pituus

Anturan korkeus

Sokkelin leveys

Sokkelin korkeus

Perustamissyvyys

Pohjaveden pinnan syvyys anturan pohjasta

Pohjamaan lähtötiedot

$$\gamma_d := 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Pohjamaan kuivakartiotilavuuspaino

$$\gamma' := 11.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Maan tilavuuspaino pohjavedenpinnan alapuolella

$$\varphi := 31 \text{ deg} = 31^\circ$$

Pohjamaan kitkakulma

$$c' := 0.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tehokas koheesio

$$\alpha := 0.0^\circ$$

Anturan pohjan kaltevuus

$$K_{Fy} := 0.9 \quad (\text{CC1})$$

Seuraamusluokasta johtuva kuormakerroin

Maapohjan kantavuus

$$RIA' := c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B_{eff} \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma = ?$$

$$c' = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$N_q := e^{\pi \cdot \tan(\varphi)} \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)^2 = 20.631$$

Kitkakulmasta riippuva kantavuuskerroin

$$N_c := (N_q - 1) \cdot \cot(\varphi) = 32.671$$

Kitkakulmasta riippuva kantavuuskerroin

$$N_\gamma := 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 23.591$$

Kitkakulmasta riippuva kantavuuskerroin

2 (7)

$$b_q := (1 - \alpha \cdot \tan(\varphi))^2 = 1 \quad \text{Perustuksen pohjan kaltevuudesta riippuva kerroin}$$

$$b_c := b_q - \frac{(1 - b_q)}{(N_c \cdot \tan(\varphi))} = 1 \quad \text{Perustuksen pohjan kaltevuudesta riippuva kerroin}$$

$$b_\gamma := b_q \quad \text{Perustuksen pohjan kaltevuudesta riippuva kerroin}$$

$$s_q := 1 + \frac{B}{L} \cdot \sin(\varphi) = 1.155 \quad \text{Perustuksen muodosta riippuva kerroin}$$

$$s_c := \frac{(s_q \cdot N_q - 1)}{(N_q - 1)} = 1.162 \quad \text{Perustuksen muodosta riippuva kerroin}$$

$$s_\gamma := 1 - 0.3 \cdot \left(\frac{B}{L}\right) = 0.91 \quad \text{Perustuksen muodosta riippuva kerroin}$$

$$i_q := 1 \quad \text{Kuorman kaltevuudesta riippuva kerroin}$$

$$i_c := 1 \quad \text{Kuorman kaltevuudesta riippuva kerroin}$$

$$i_\gamma := 1 \quad \text{Kuorman kaltevuudesta riippuva kerroin}$$

$$q' := \gamma_d \cdot D = 7.2 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Perustamistasossa vallitseva jännitys}$$

$$\gamma' = 11 \frac{kN}{m^3}$$

$$RIA' := c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma = 206.915 \frac{kN}{m^2}$$

$$RIA' = 206.915 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Kantokestävyyden ominaisarvo}$$

$$\gamma_R := 1.55$$

Kestävyys	Merkintä	Osarvausluku
Kantokestävyys	ysv	1.55
Liukuminen	ysb	1.1

Anturan kantokestävyyden mitoitusarvo

$$R_d IA' := \frac{RIA'}{\gamma_R} \cdot B = 40.048 \frac{kN}{m}$$

Anturan kuormitus

3 (7)

Pysyvät pystykuormat

$$L_{kuorm.} := 4000 \text{ mm}$$

Kuormitus leveys

$$\rho_{bet} := 25.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Betonin tilavuuspaino

$$g_{k.yp} := 0.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot L_{kuorm.} = 2.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Yläpohjan omapaino

$$g_{k.us} := 0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Ulkoseinän omapaino

$$g_{k.op} := \rho_{bet} \cdot (B \cdot H + b \cdot h) = 4.125 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Perustuksien omapaino

Anturaa kuormittava muuttuva keskeinen pystykuorman ominaisarvo

$$g_k := g_{k.yp} + g_{k.us} + g_{k.op} = 7.225 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Muuttuva pystykuorma

$$q_{k.lumi} := 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot L_{kuorm.} = 8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lumikuorma

$$q_{k.hyöty} := 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot L_{kuorm.} = 1.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Hyötykuorma (yläpohjan tyhjä tila)

Kuormituksen mitoitus arvo

$$p_{d.1} := 1.15 \cdot g_k + 1.5 \cdot q_{k.lumi} + 1.05 \cdot q_{k.hyöty} = 21.989 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Kantokestävyyden käyttöaste:

$$KA := \frac{p_{d.1}}{R_d I A'} = 55\%$$

Valitaan 0,3m leveä antura

Anturan raudoitus

4 (7)

Anturan mitat

$$B := 300 \text{ mm}$$

Anturan sivumitta

$$L := 1 \text{ m}$$

Tarkastelu kaistan pituus

$$H := 200 \text{ mm}$$

Anturan korkeus

$$b := 150 \text{ mm}$$

Sokkelin leveys

$$h := 700 \text{ mm}$$

Sokkelin korkeus

$$L_u := 75 \text{ mm}$$

Anturan ulokkeen pituus

Viivakuorma anturalle:

$$N_{Ed} := 1.15 \cdot (b \cdot h \cdot \rho_{bet} + g_{k,yp} + g_{k,us}) + 1.5 \cdot q_{k,lumi} + 1.05 \cdot q_{k,hyyöty} = 20.264 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\sigma_{gd} := \frac{N_{Ed}}{B} = 67.546 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Pohjapaineen mitoitusarvo

$$M_{Ed} := \frac{1}{2} \cdot \sigma_{gd} \cdot L_u^2 \cdot L = 0.19 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Mioittava momentti

Lähtötiedot:

C25/30 TL 2 Toleranssi 1

$$\gamma_c := 1.5$$

Betonin osavarmuuskerroin

$$\gamma_s := 1.15$$

Teräksen osavarmuuskerroin

$$f_{ck} := 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Betonin ominaispuristuslujuus

$$f_{ctm} := 2.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Betonin ominaisvetokestävyys

$$f_{yk} := 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Raudoituksen ominaislujuus

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 435 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Raudoituksen laskentalujuus

$$f_{ed} := 0.85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 14.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Betonin puristuslujuus laskenta-arvo

$$\phi_{pt} := 12 \text{ mm}$$

Pääterästen halkaisija

$$c_{nom} := 50 \text{ mm}$$

Suojabetoni

$d_x := H - c_{nom} - \frac{\phi_{pt}}{2} = 144 \text{ mm}$	Tehollinen korkeus	5 (7)
$e_d := \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = 9.375 \text{ mm}$	Epäkeskeisyys	
$B_{eff} := B - 2 \cdot e_d = 0.281 \text{ m}$	Tehollinen leveys	
$A_{eff} := B_{eff} \cdot L = 0.281 \text{ m}^2$	Anturan tehokas pohjapinta-ala	
$p_{eff,d} := \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \cdot L = 72 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	Anturan tehokas pohjapaine	
$M_{u,d} := p_{eff,d} \cdot \left(\frac{L_u^2}{2} \right) \cdot L = 0.203 \text{ kN} \cdot \text{m}$	Anturan uloketta rasittava taivutusmomentti	
$\mu := \frac{M_{u,d}}{L \cdot d_x^2 \cdot f_{cd}} = 0.001$	Suhteellinen momentti, OK (suurin sallittu 0.358)	
$\beta := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} = 0.001$	Tehollinen puristuspinna, OK (suurin sallittu 0.467)	
$z := d_x \cdot \left(1 - \frac{\beta}{2} \right) = 0.144 \text{ m}$	Sisäinen momenttivarsi	
$A_{s,vaad} := \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = 3.035 \text{ mm}^2$	Vaadittu taivutusraudoituksen poikkipinta-ala metrille	
$A_{s,min,1} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot L \cdot d_x = 194.688 \text{ mm}^2$	Minimiraudoitus (vaihtoehto 1)	
$A_{s,min,2} := 0.0013 \cdot L \cdot d_x = 187.2 \text{ mm}^2$	Minimiraudoitus (vaihtoehto 2)	
$A_{s,min} := \max(A_{s,min,1}, A_{s,min,2}) = 194.688 \text{ mm}^2$	Minimiraudoitus	
$A_{s,vaad} := \max(A_{s,min}, A_{s,vaad}) = 194.688 \text{ mm}^2$	Vaadittu teräspinta-ala metrille	

6 (7)

$$A_{pt} := \pi \cdot \frac{\phi_{pt}^2}{4} = 113.097 \text{ mm}^2$$

Valitun pääteräksen pinta-ala

$$n := \frac{A_{s,vaad}}{A_{pt}} = 1.721 \quad n := 2$$

Tarvittavien pääterästen lukumäärä
(pyöristetään tasalukuun)

$$k_{teräs} := \frac{B}{n} = 150 \text{ mm}$$

Pääterästen k-jako

Valitaan terästys T12K150

$$A_{s,tot} := \frac{L}{k_{teräs}} \cdot A_{pt} = 754 \text{ mm}^2$$

Toteutunut teräsmäärä metrille.

$$\frac{A_{s,vaad}}{A_{s,tot}} = 26\%$$

Käyttöaste

Leikkausraudoitus:

$$V_{Ed} := p_{eff,d} \cdot L = 72.049 \frac{kN}{m}$$

Leikkausvoima anturametrille

$$k := \min \left(1 + \sqrt{\frac{200}{\frac{d_x}{mm}}}, 2.0 \right) = 2$$

Korkeustekijä

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$$

$$A_{sLo} := 1340 \text{ mm}^2$$

Pääsuunnan teräsala

$$\rho_L := \min \left(\frac{A_{sLo}}{d_x \cdot B}, 0.02 \right) = 0.02$$

$$V_{Rd,c} := C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt{100 \cdot \rho_L \cdot \frac{f_{ck}}{N}} \cdot d_x \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} = 127.32 \frac{kN}{m}$$

Poikkileikkauksen
leikkauskestävyys

7 (7)

$$V_{Rd.c.min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{N} \cdot d_x \cdot \frac{N}{mm^2}} = 71.276 \frac{kN}{m}$$

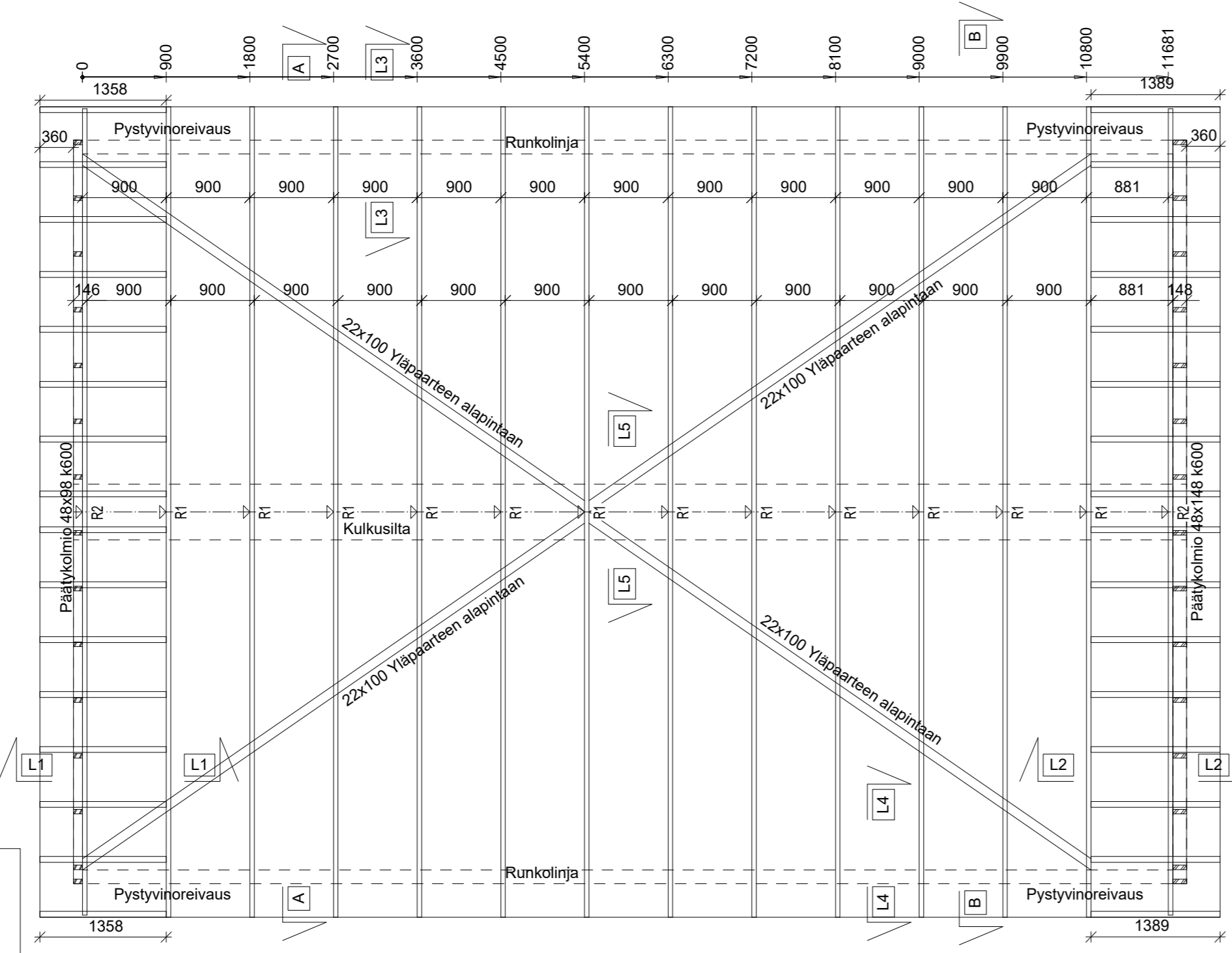
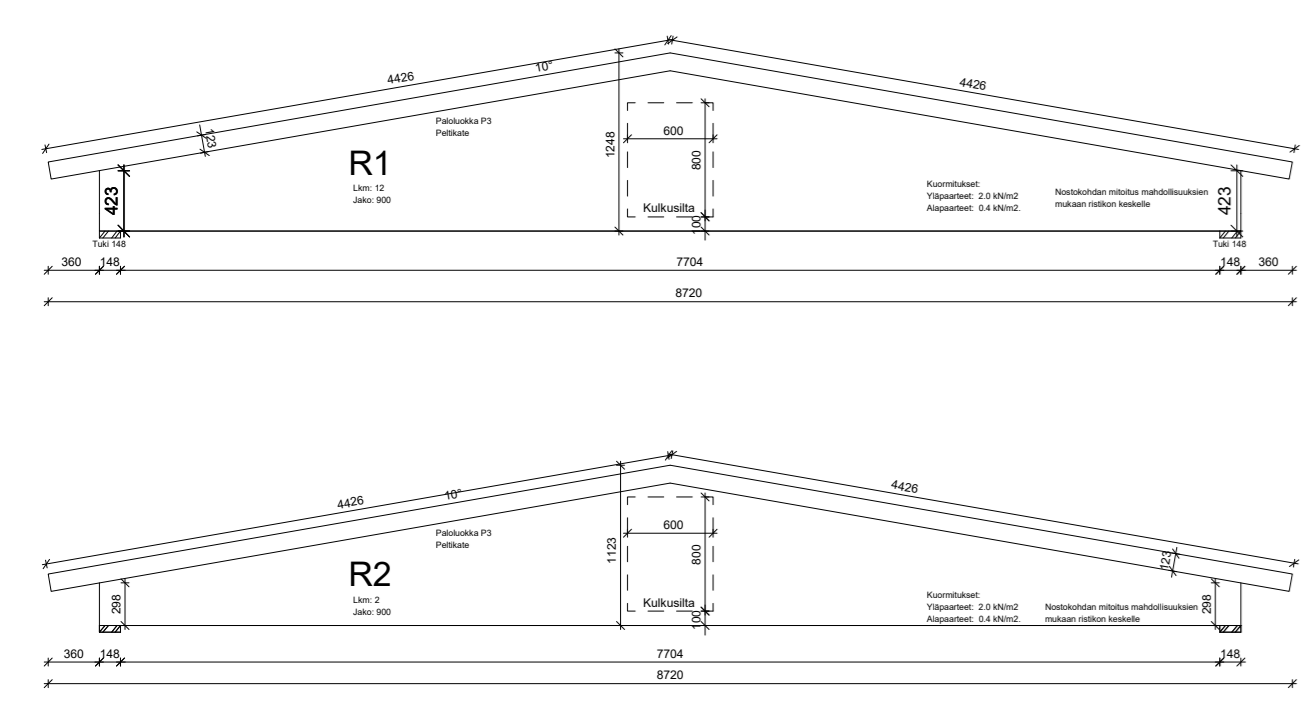
Leikkauskestävyyden
minimiarvo

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c}, V_{Rd.c.min}) = 127.32 \frac{kN}{m}$$

Poikkileikkauksen
leikkauskestävyys

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd.c}} = 57\%$$

Antura kestää leikkausraudoittamattomana.



Rakenteellisiin kiinnityksiin käytetään vain kyselyyn sovelukseen ETA-hyväksytyjä tuotteita suunnitelmien mukaisesti. Mikäli kiinnike vaihdetaan, tulee tilaajalle, rakennesuunnittelijalle ja rakennusvalvonnalle esittää muutossuunnitelma laskelmineen ja/tai muine dokumentteineen / ETA -hyväksyntöineen.

RAKENNUKSEN JÄRJYTYKSE:

Rakenteiden yleisimmät jykkyystilat on valmistettu aluperäisen tuulijykkyystilasta 2 kpl 22x100 x).

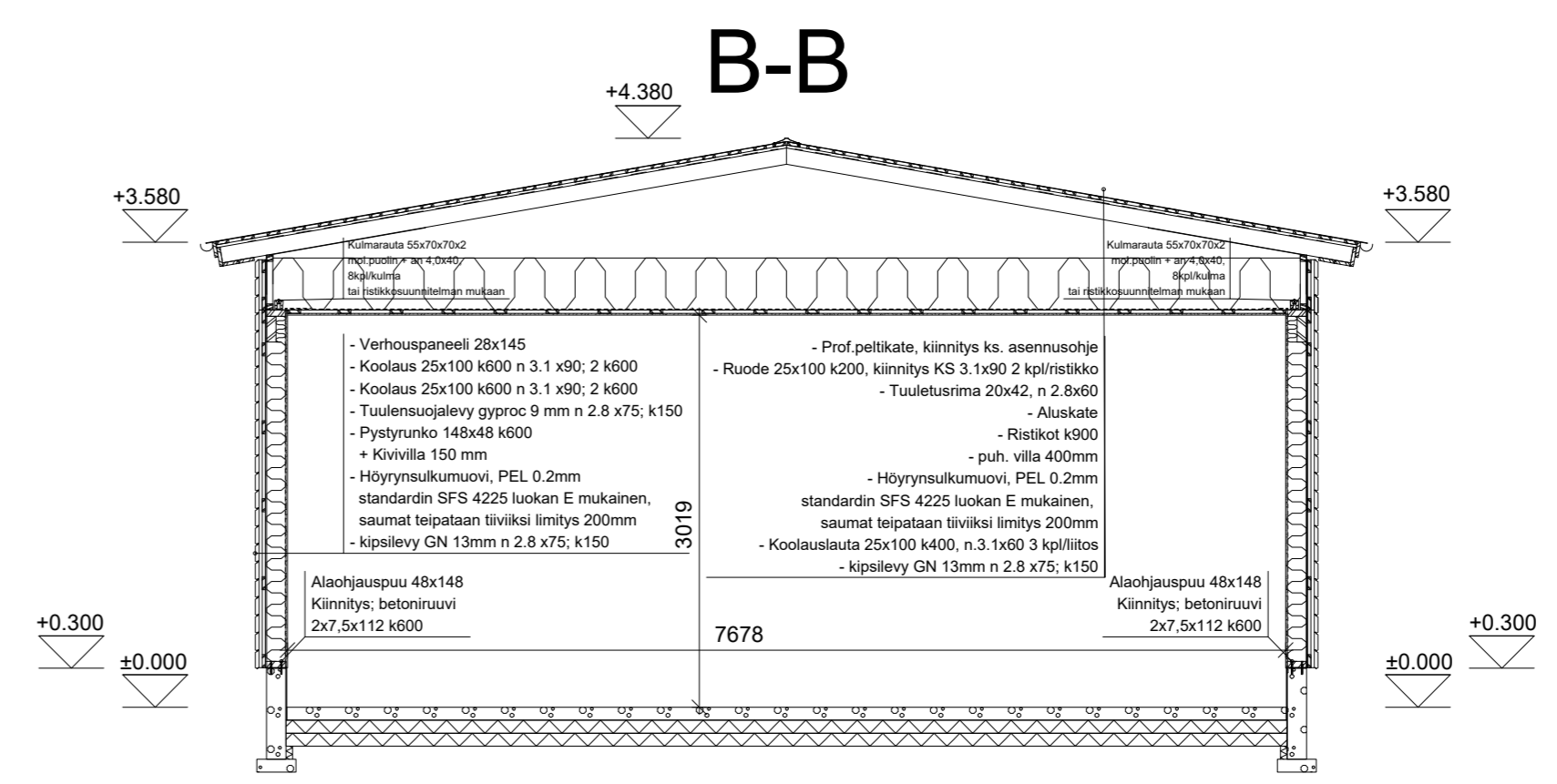
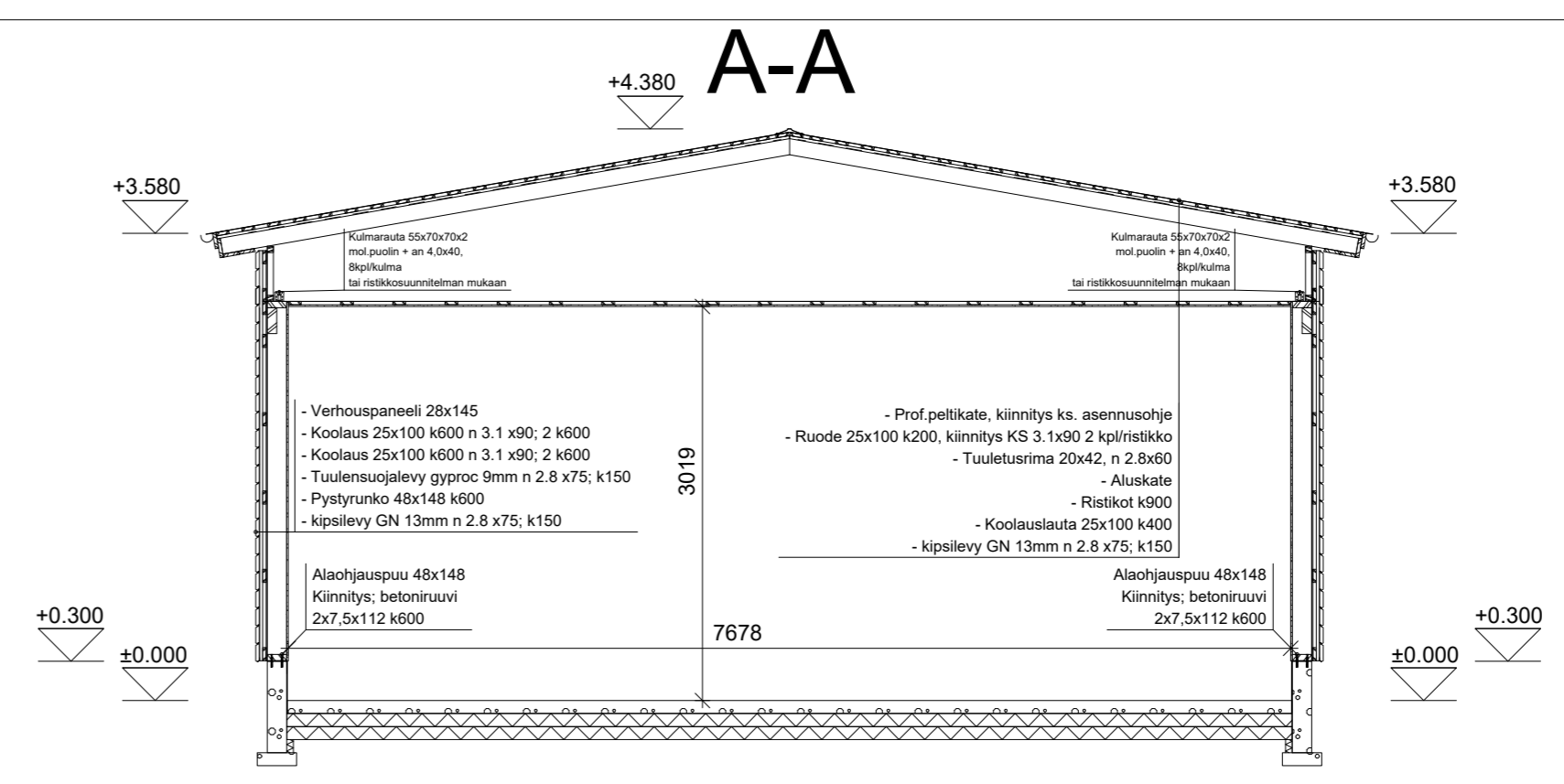
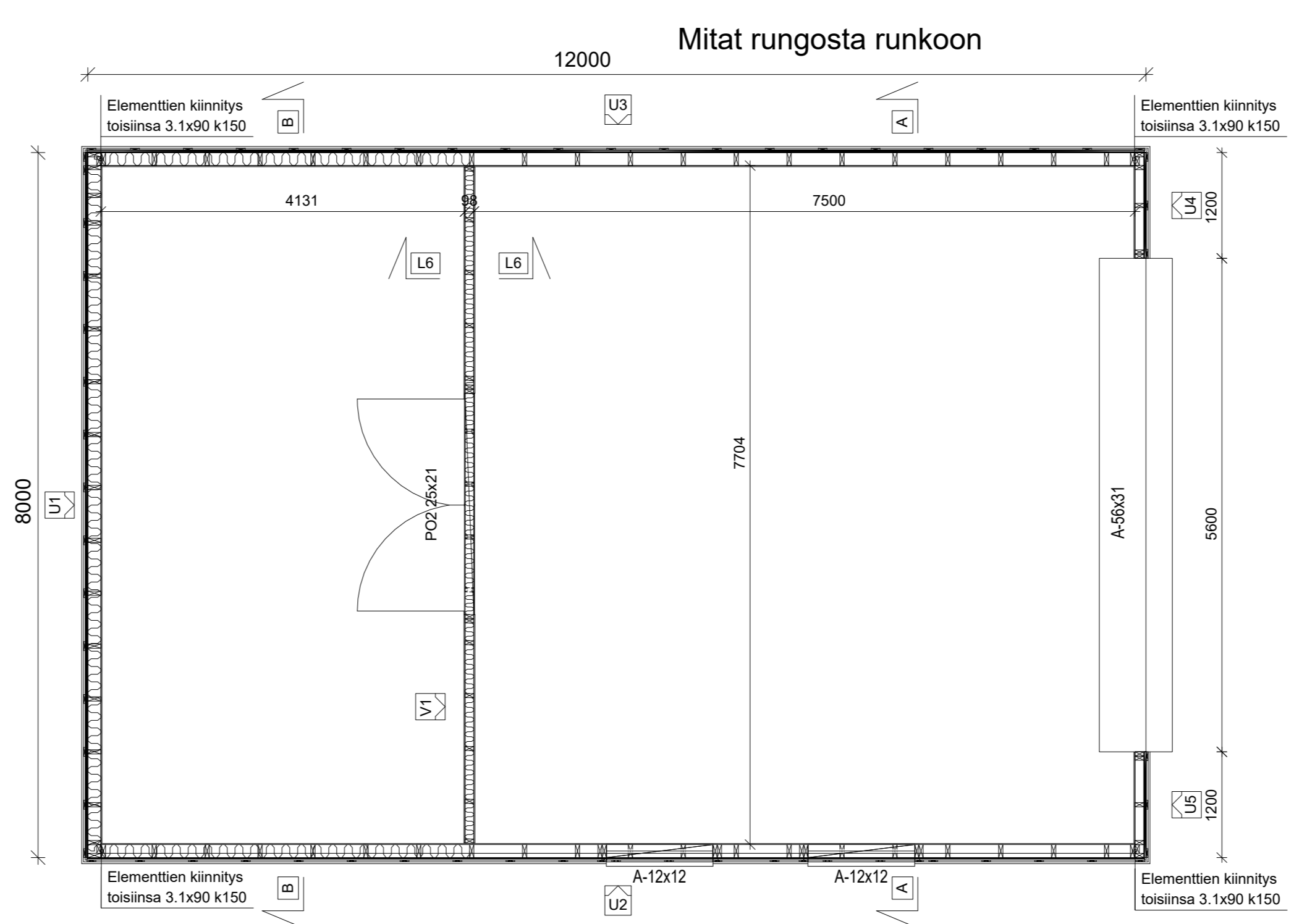
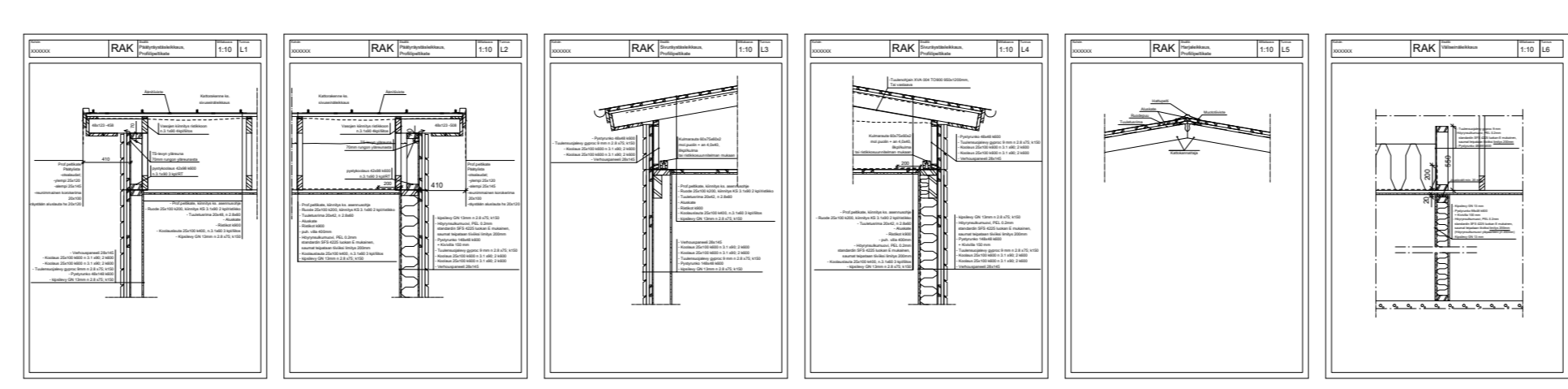
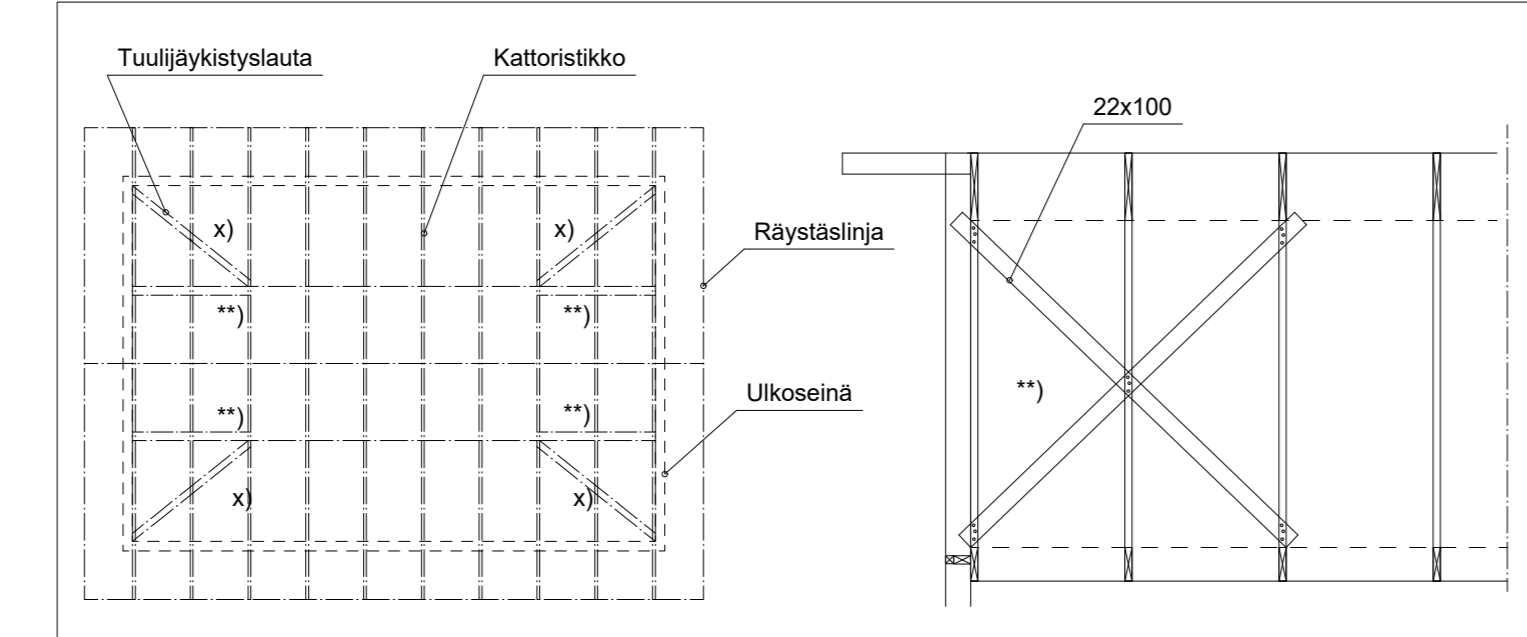
Ulkosen rakenteiden kaatumisen estämiseksi rakennus on valmistettu 22x100 x) -tilin kanssa enimmäismääränsä rakenteiden mukaisella rakenteella. (huolet 3, 1400 3 kpl/tilin)

Rakenteiden alperäiset jykkyystilat on 13 levyisiä, jotka sijoittuvat rakenteiden välisiin ja jykkyystilain väliseen yläosaan. Seikkatarkemmin kiinnitys on, Rakennuskohteeseen.

Ulkosen jykkyystilat on valmistettu Oycorin GTS 9, jotka sijoittuvat rakenteiden alperäisen kiinnityksen välisiin ja perustuksen väliseen yläosaan. Tuulijykkyystilat on 13 levyisiä.

Rakennuksen maahan kiinnitys on valmistettu jykkyystilalla tavallisesti jykkyystilain väliseen yläosaan. Kiinnitys 140.

Rakennuksen maahan kiinnitys on valmistettu jykkyystilalla tavallisesti jykkyystilain väliseen yläosaan. Kiinnitys 140.

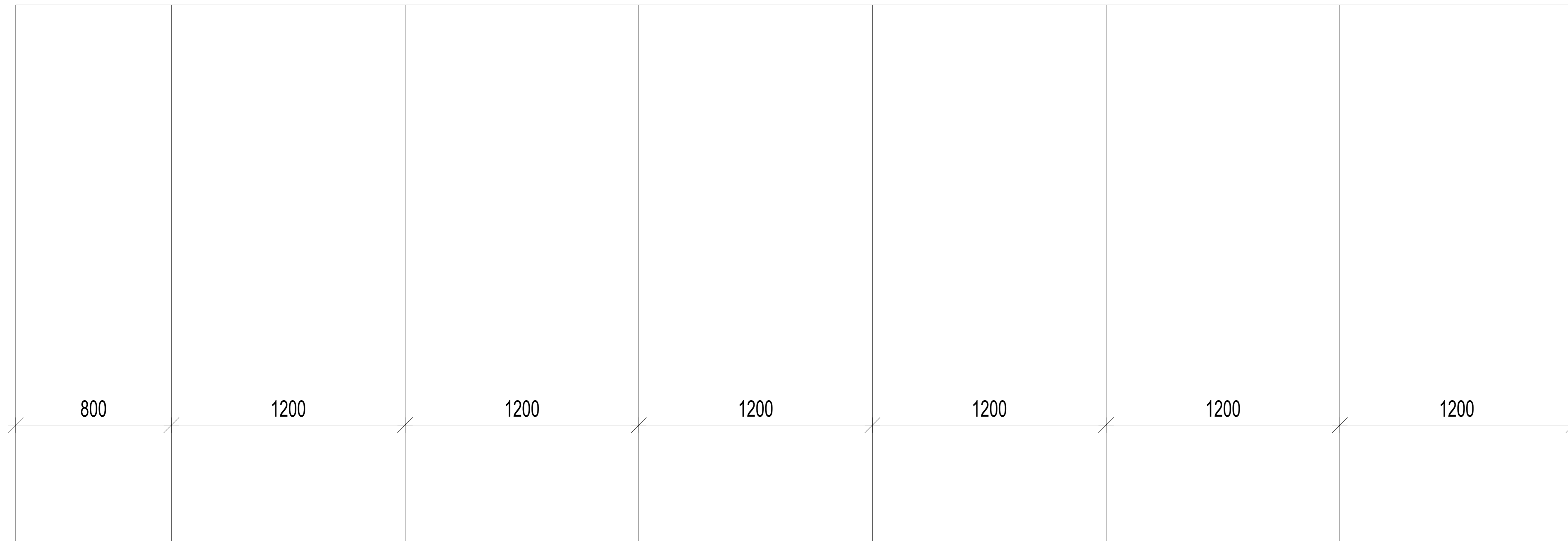


Liite 5.

1 (7)

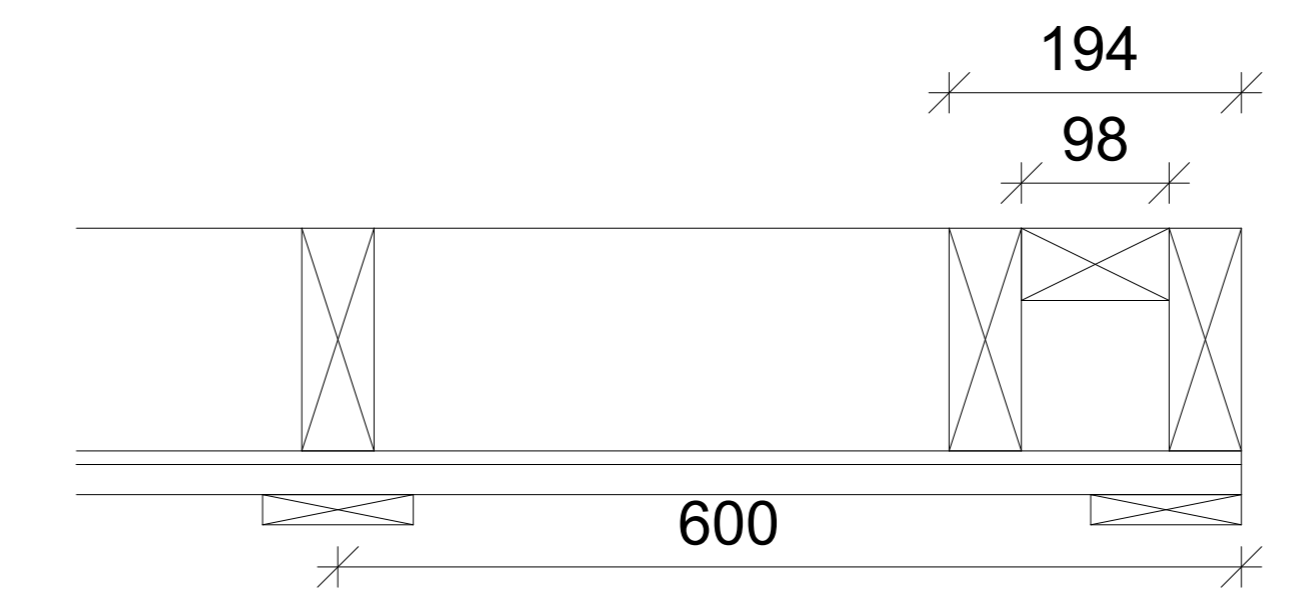
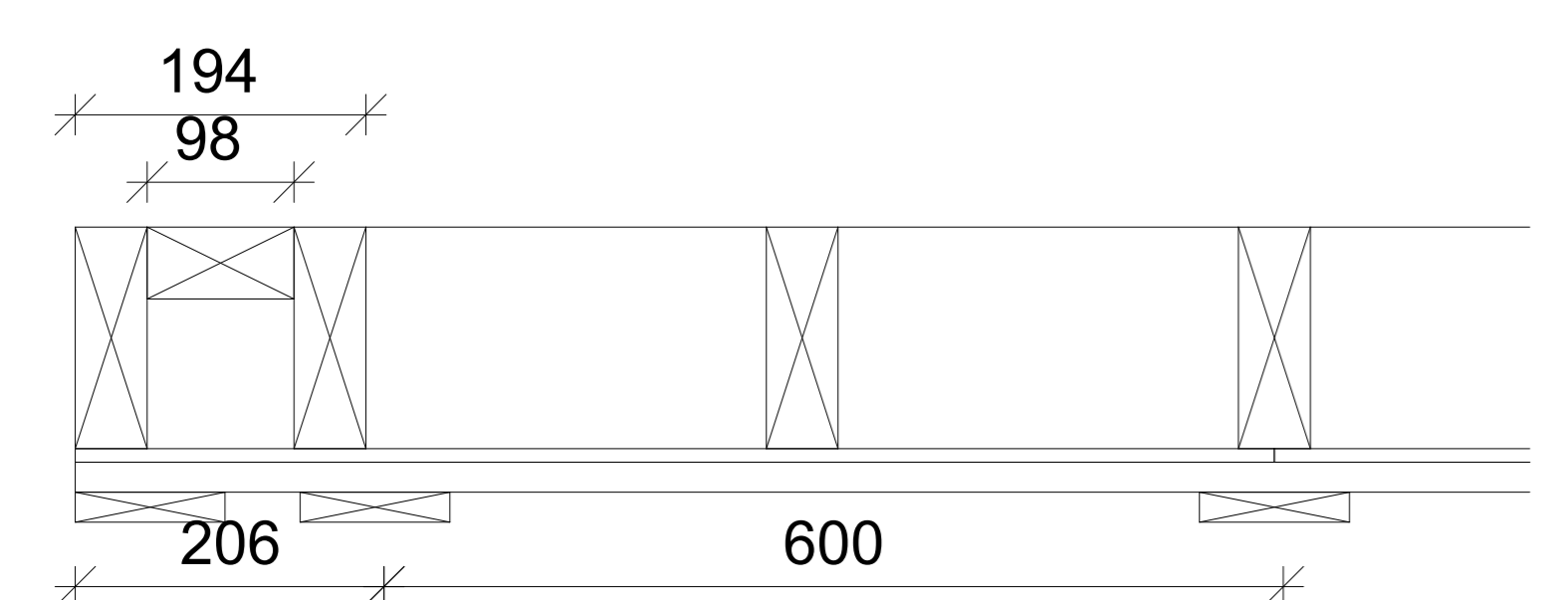
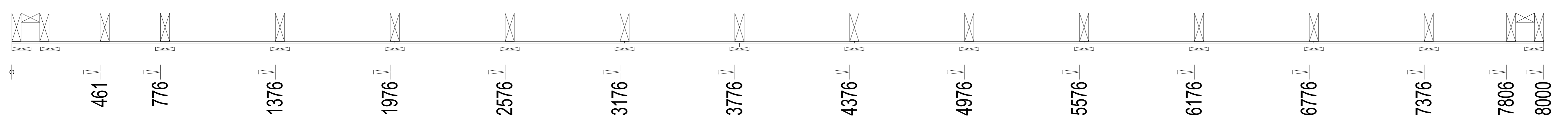
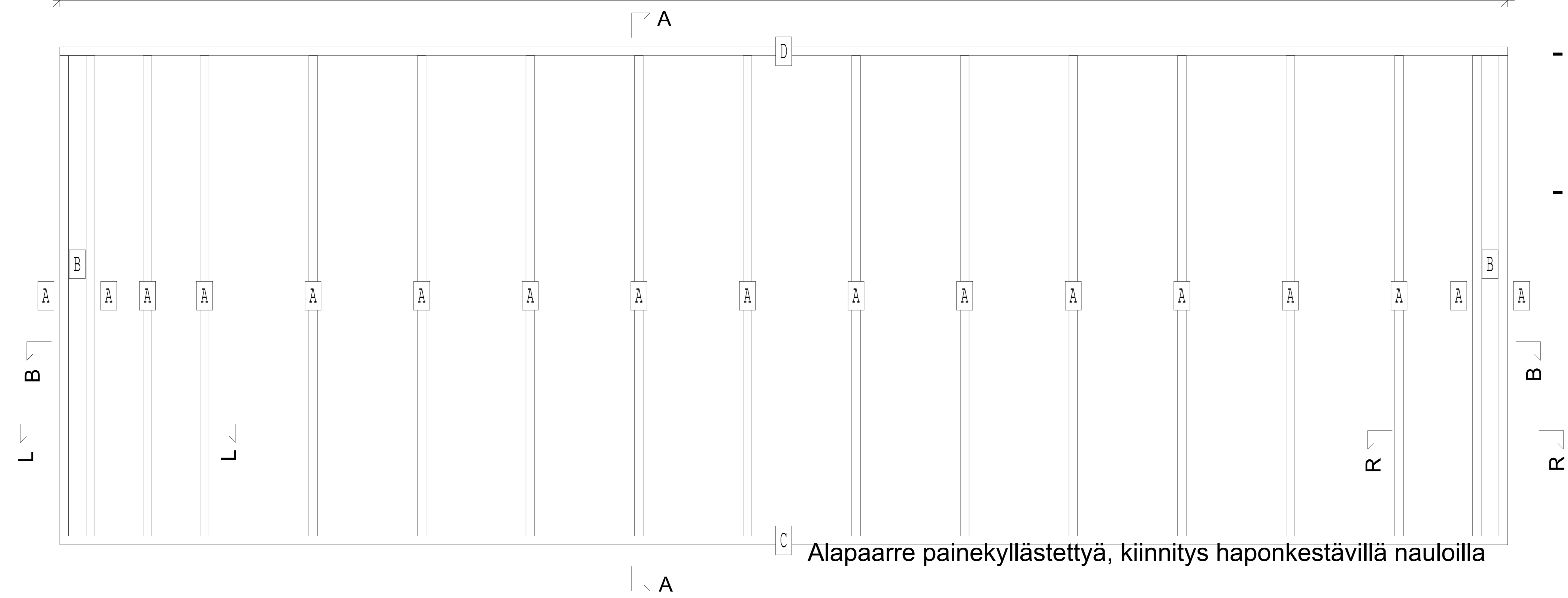
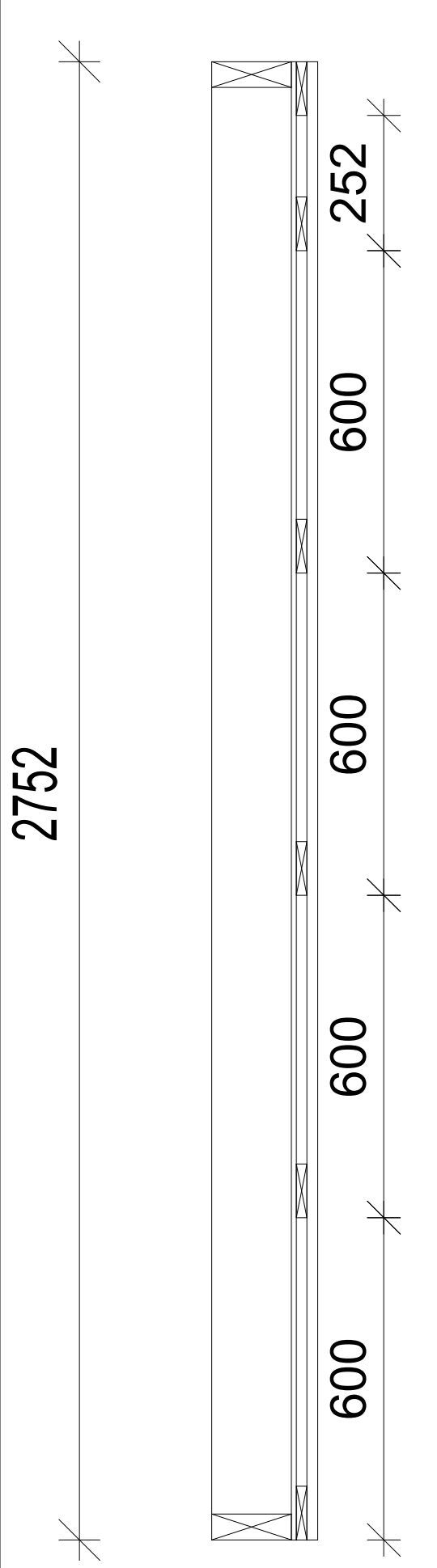
KORKEUSJÄRJESTELMÄ N2000			
K. nro	Korkeus	Tasot	Välikorkeus
XXXXXXXXXX	XX	XX	XX
Rakennusjärjestelmä			
ULOSRAKENNUS			
Rakennusjärjestelmä			
AP ja VP-TASOPIIRUSTUS			
RUNKO-KORKOLEIKKAUS			
			Mittakaava
			1:50
			1:50
XXXXXXXXXX			
XXXXXXXXXX			
XXXXXXXXXX			
RAK			
Suunnittelija		Pvm.	
Lauri Joensuu		23.3.2024	

Ulkolevyt

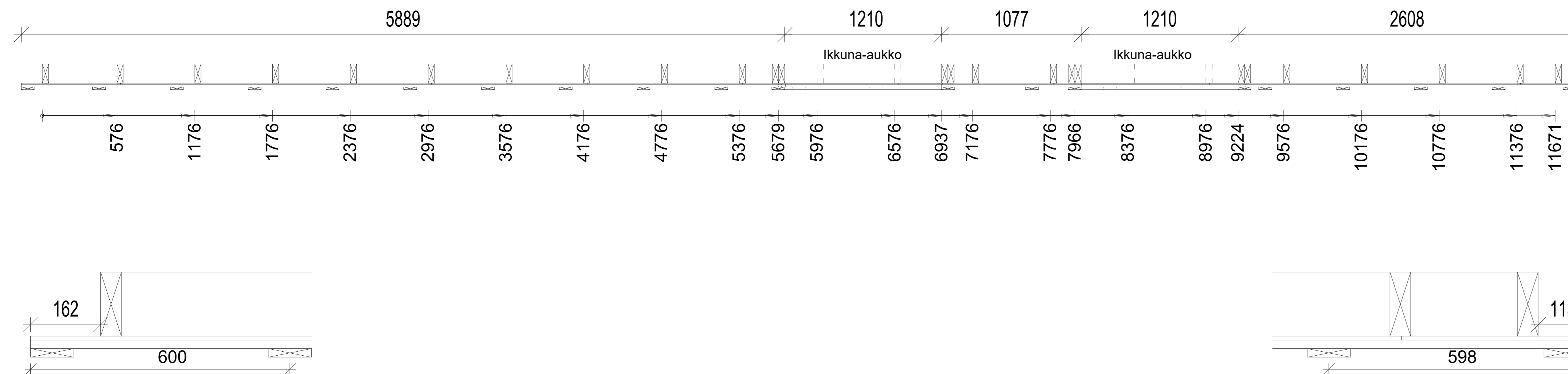
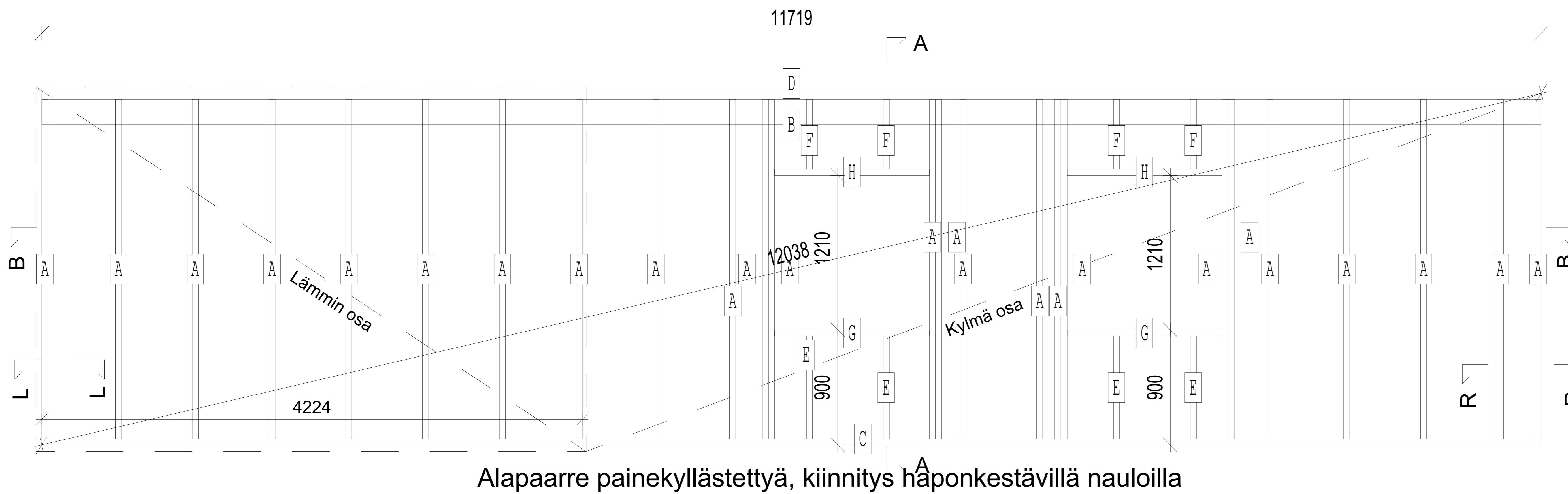
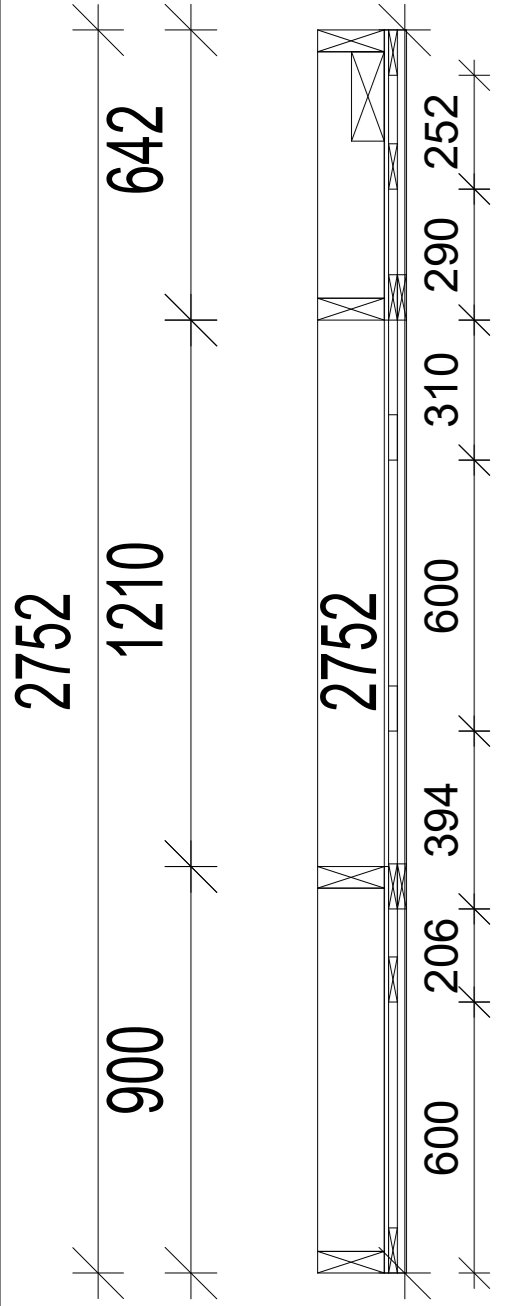
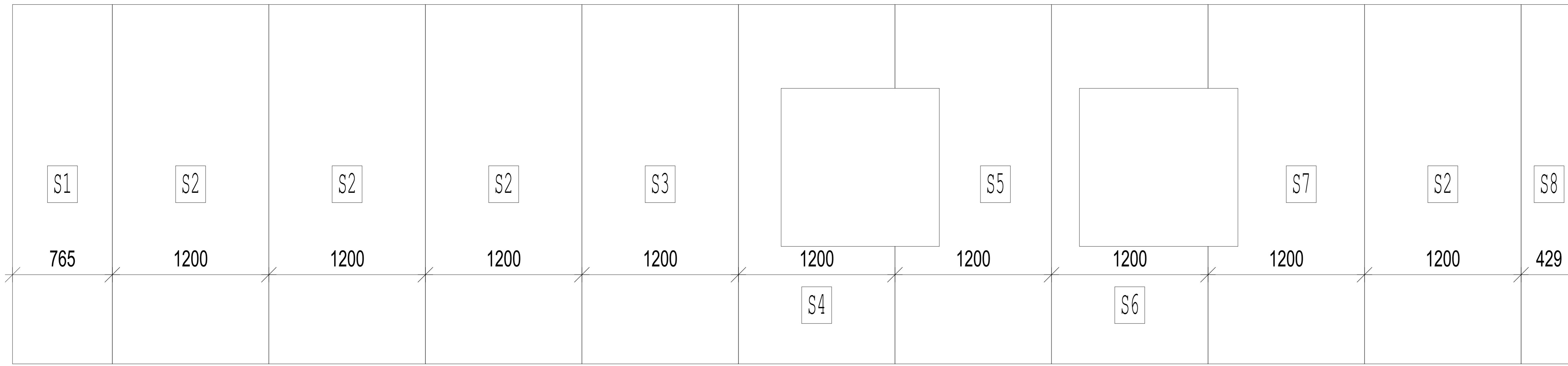


OSALUETTELO									
TUNNUS	LKM	MATERIAALI	KUVAUS	PITUUS	K	1	K	2	LUJUUS
E	6	20x100	KOOLAUS	3800	90.0		90.0		C24
F	6	20x100	KOOLAUS	4200	90.0		90.0		C24
G	15	20x100	KOOLAUS	2752	90.0		90.0		C24
				YHTEENSÄ PITUUS: 89280.00mm					
A	17	48x148	TOLPPA	2656	90.0		90.0		C24
D	1	48x148	YLÄJUOKSU	8000	90.0		90.0		C24
				YHTEENSÄ PITUUS: 53152.00mm					
B	2	48x98	TOLPPA	2656	90.0		90.0		C24
				YHTEENSÄ PITUUS: 5312.00mm					
C	1	PK 48x148	ALAJUOKSU	8000	90.0		90.0		PK
				YHTEENSÄ PITUUS: 8000.00mm					

- Verhouspaneeli 28x145
- Koolaus 20x48 k600 n 3.1 x90; 2 k600
- Koolaus 20x48 k600 n 3.1 x90; 2 k600
- Tuulensuojalevy gyproc 9 mm n 2.8 x75; k150
- Pystyrunko 148x48 k600
- + Kivivilla 150 mm
- Höyrynsulkumuovi, PEL 0.2mm standardin SFS 4225 luokan E mukainen, saumat teipataan tiiviiksi limitys 200mm
- Kipsilevy GN 13 mm n 2.8 x75; k150



Ulkolevyt



OSALUETTELO

TUNNUS	LKM	MATERIAALI	KUVAUS	PITUUS	K	1	K	2	LUJUUS
I	4	20x100	KOOLAUS	5865	90.0	90.0	C24		
J	2	20x100	KOOLAUS	5894	90.0	90.0	C24		
K	4	20x100	KOOLAUS	6129	90.0	90.0	C24		
L	20	20x100	KOOLAUS	2752	90.0	90.0	C24		
M	4	20x100	KOOLAUS	806	90.0	90.0	C24		
N	4	20x100	KOOLAUS	542	90.0	90.0	C24		
O	4	20x100	KOOLAUS	1210	90.0	90.0	C24		
P	4	20x100	KOOLAUS	1315	90.0	90.0	C24		
Q	2	20x100	KOOLAUS	1077	90.0	90.0	C24		
R	2	20x100	KOOLAUS	2608	90.0	90.0	C24		
YHTEENSÄ PITUUS: 137666.00mm									
A	25	48x148	TOLPPA	2656	90.0	90.0	C24		
D	1	48x148	YLÄJUOKSU	11719	90.0	90.0	C24		
E	4	48x148	KLOSSI	804	90.0	90.0	C24		
F	4	48x148	KLOSSI	546	90.0	90.0	C24		
G	2	48x148	AUKON ALAPUU	1210	90.0	90.0	C24		
H	2	48x148	AUKON YLÄPUU	1210	90.0	90.0	C24		
YHTEENSÄ PITUUS: 88359.00mm									
B	1	73x198	PINNINKI	11719	90.0	90.0	C24		
YHTEENSÄ PITUUS: 11719.00mm									
C	1	PK 48x148	ALAJUOKSU	11719	90.0	90.0	PK		
YHTEENSÄ PITUUS: 11719.00mm									

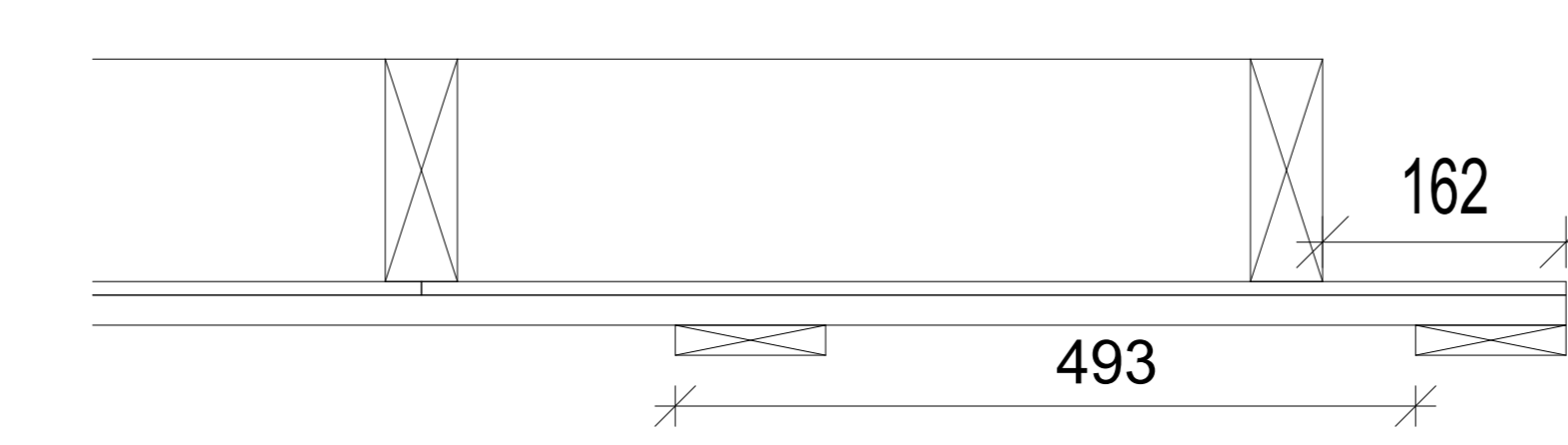
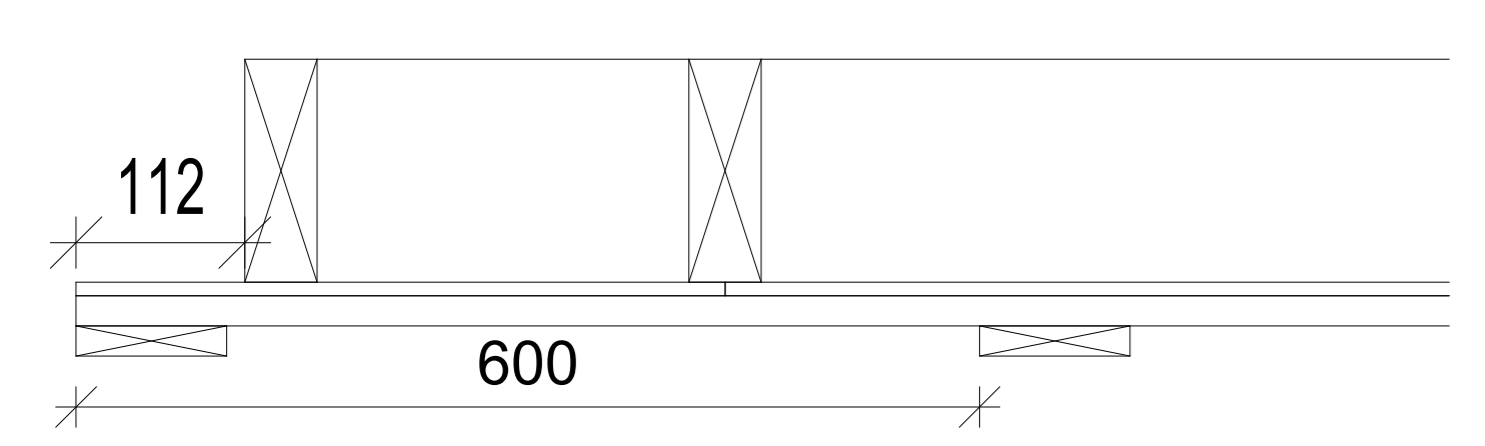
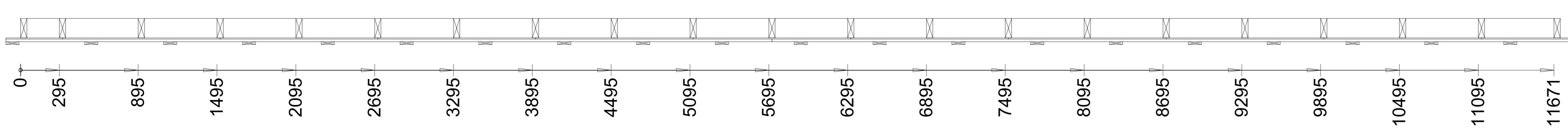
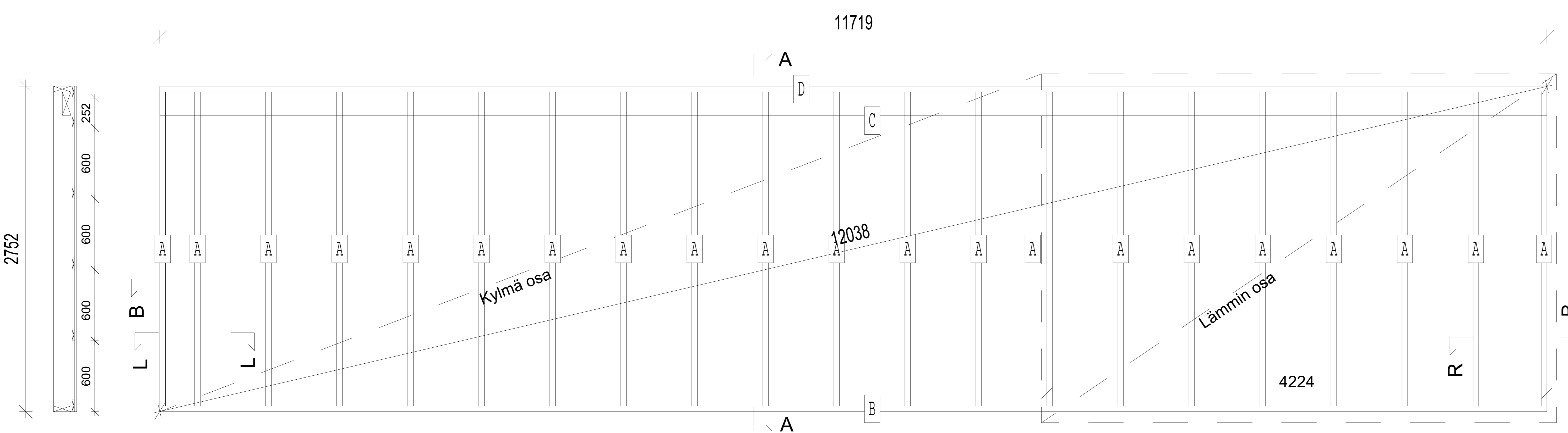
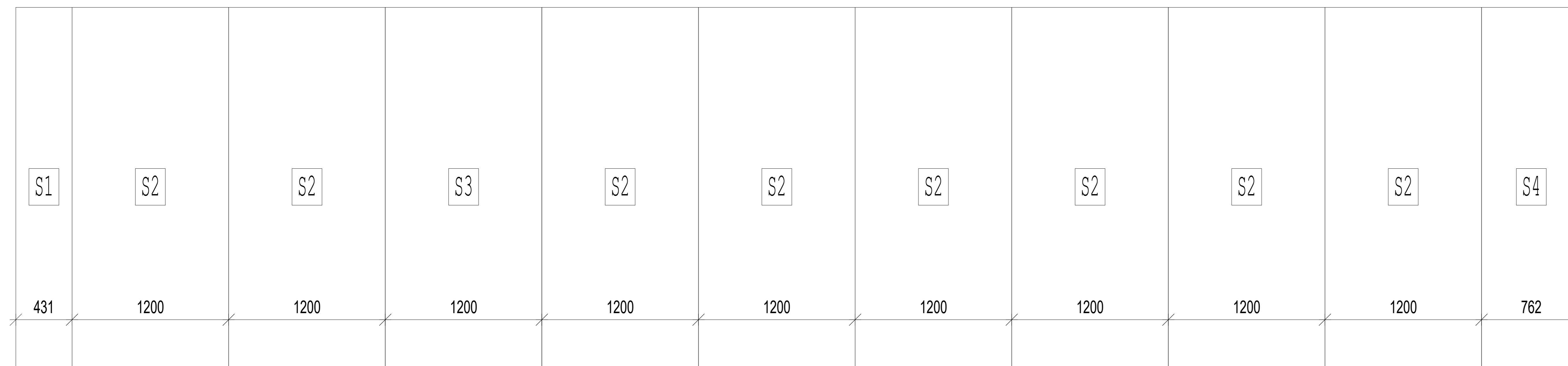
Kylmä osa

- Verhouspaneeli 28x145
- Koolaus 25x100 k600 n 3.1 x90; 2 k600
- Koolaus 25x100 k600 n 3.1 x90; 2 k600
- Tuulensuojalevy gyproc 9mm n 2.8 x75; k150
- Pystyrunko 48x148 k600
- Kipsilevy GN 13 mm n 2.8 x75; k150

Lämmin osa

- Verhouspaneeli 28x145
- Koolaus 20x48 k600 n 3.1 x90; 2 k600
- Koolaus 20x48 k600 n 3.1 x90; 2 k600
- Tuulensuojalevy gyproc 9 mm
- Pystyrunko 148x48 k600
- + Kivivilla 150 mm
- Höyrynsulkumuovi, PEL 0.2mm standardin SFS 4225 luokan E mukainen, saumat teipataan tiiviiksi limitys 200mm (Höyrynsulkumuovi yläpaarten yli 200mm)
- Kipsilevy GN 13 mm n 2.8 x75; k150

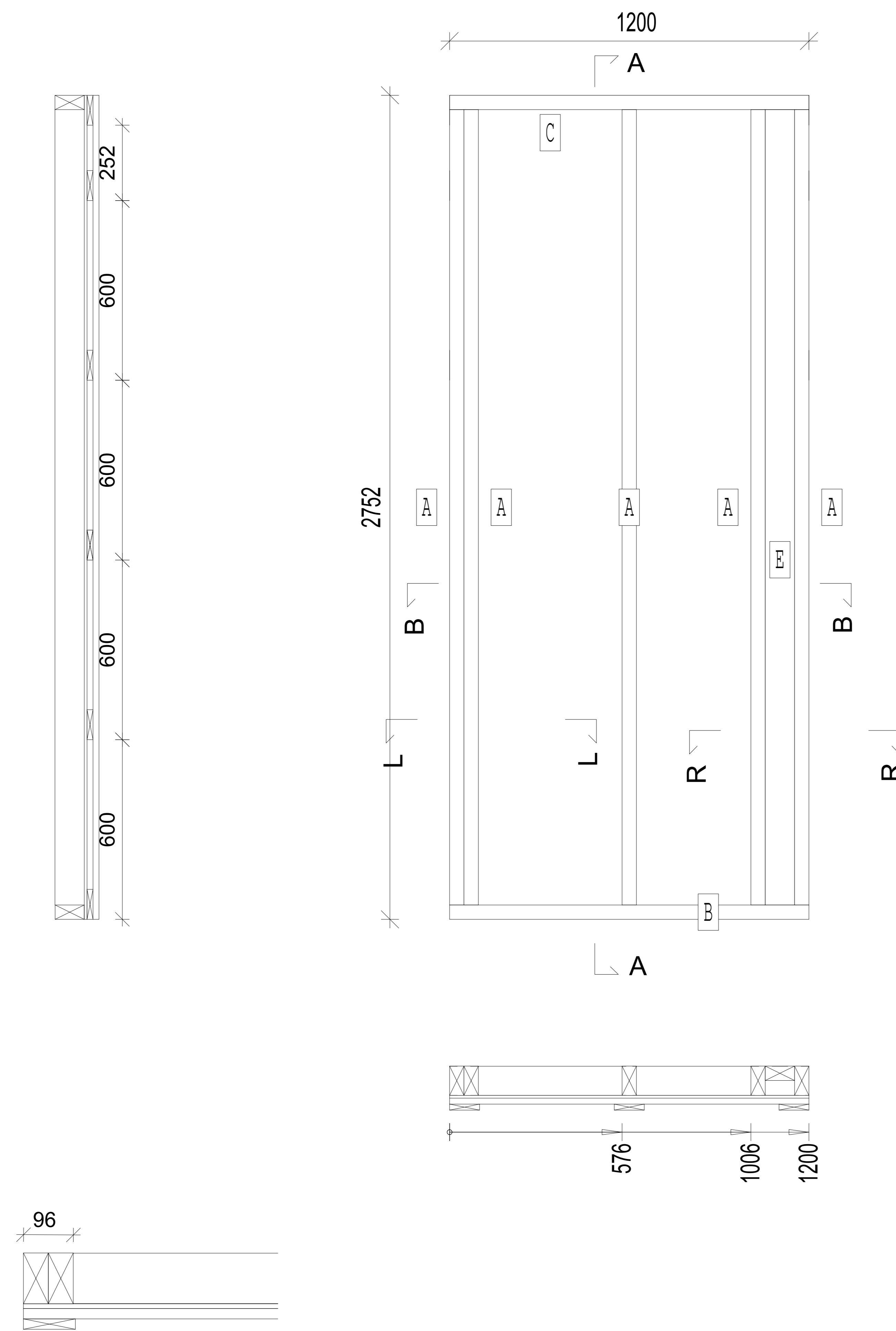
Ulkolevyt



OSALUETTELO						
TUNNUS	LKM	MATERIAALI	KUVAUS	PITUUS	K	LUJUUS
E	6	20x100	KOOLAUS	5831	90.0	C24
F	6	20x100	KOOLAUS	6162	90.0	C24
G	21	20x100	KOOLAUS	2752	90.0	C24
				YHTEENSÄ PITUUS:	129750.00mm	
A	21	48x148	TOLPPA	2656	90.0	C24
D	1	48x148	YLÄJUOKSU	11719	90.0	C24
				YHTEENSÄ PITUUS:	67495.00mm	
C	1	73x198	PINNINKI	11719	90.0	C24
				YHTEENSÄ PITUUS:	11719.00mm	
B	1	PK 48x148	ALAJUOKSU	11719	90.0	PK
				YHTEENSÄ PITUUS:	11719.00mm	

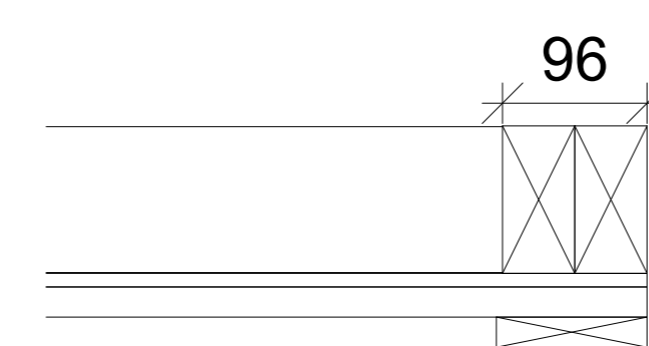
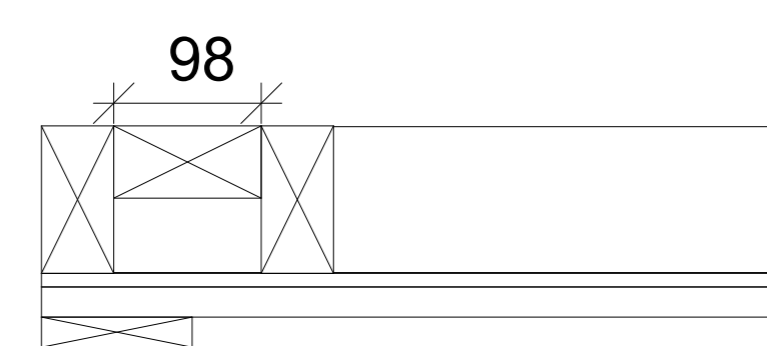
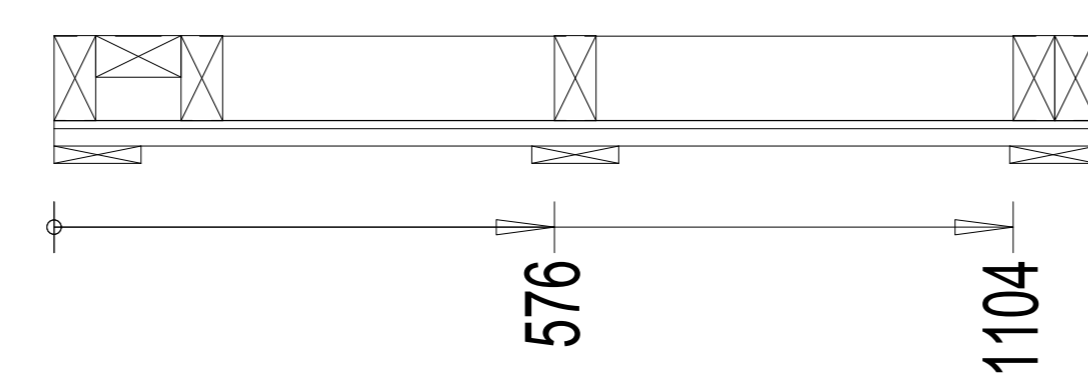
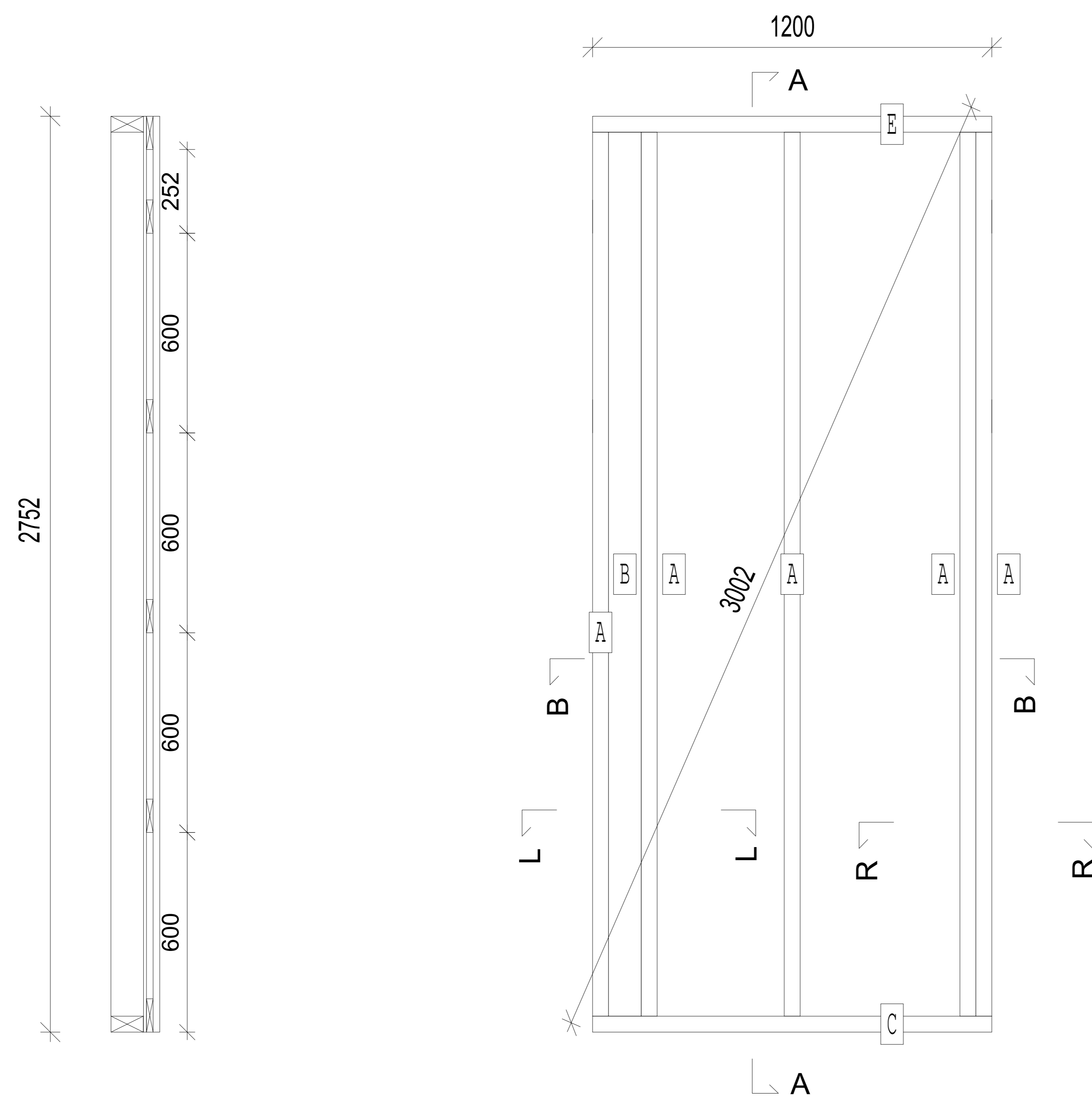
- Kylmä osa**
- Verhouspaneeli 28x145
 - Koolaus 25x100 k600 n 3.1 x90; 2 k600
 - Koolaus 25x100 k600 n 3.1 x90; 2 k600
 - Tuulensuojalevy gyproc 9mm n 2.8 x75; k150
 - Pystyrunko 48x148 k600
 - Kipsilevy GN 13 mm n 2.8 x75; k150
- Lämmin osa**
- Verhouspaneeli 28x145
 - Koolaus 20x48 k600 n 3.1 x90; 2 k600
 - Koolaus 20x48 k600 n 3.1 x90; 2 k600
 - Tuulensuojalevy gyproc 9 mm n 2.8 x75; k150
 - Pystyrunko 148x48 k600
 - + Kivivilla 150 mm
 - Höyrynsulkumuovi, PEL 0.2mm standardin SFS 4225 luokan E mukainen, saumat teipataan tiiviiksi limitys 200mm (Höyrynsulkumuovi yläpaarten yli 200mm)
 - Kipsilevy GN 13 mm n 2.8 x75; k150

OSALUETTELO								
TUNNUS	LKM	MATERIAALI	KUVAUS	PITUUS	K	1	2	LUJUUS
C	7	20x100	KOOLAUS	1200	90.0	90.0	C18	
F	3	20x100	KOOLAUS	2752	90.0	90.0	C18	
YHTEENSÄ PITUUS: 16656.00mm								
A	5	48x98	TOLPPA	2656	90.0	90.0	C24	
D	1	48x98	YLÄJUOKSU	1200	90.0	90.0	C24	
E	1	48x98	TOLPPA	2656	90.0	90.0	C24	
YHTEENSÄ PITUUS: 17136.00mm								
B	1	PK 48x97	ALAJUOKSU	1200	90.0	90.0	PK	
YHTEENSÄ PITUUS: 1200.00mm								



Elementtiin:

- Verhouspaneeli 28x145
- Koolaus 25x100 k600 n 3.1 x90; 2 k600
- Koolaus 25x100 k600 n 3.1 x90; 2 k600
- Tuulensuojalevy gyproc 9mm n 2.8 x75; k150
- Pystyrunko 48x148 k600

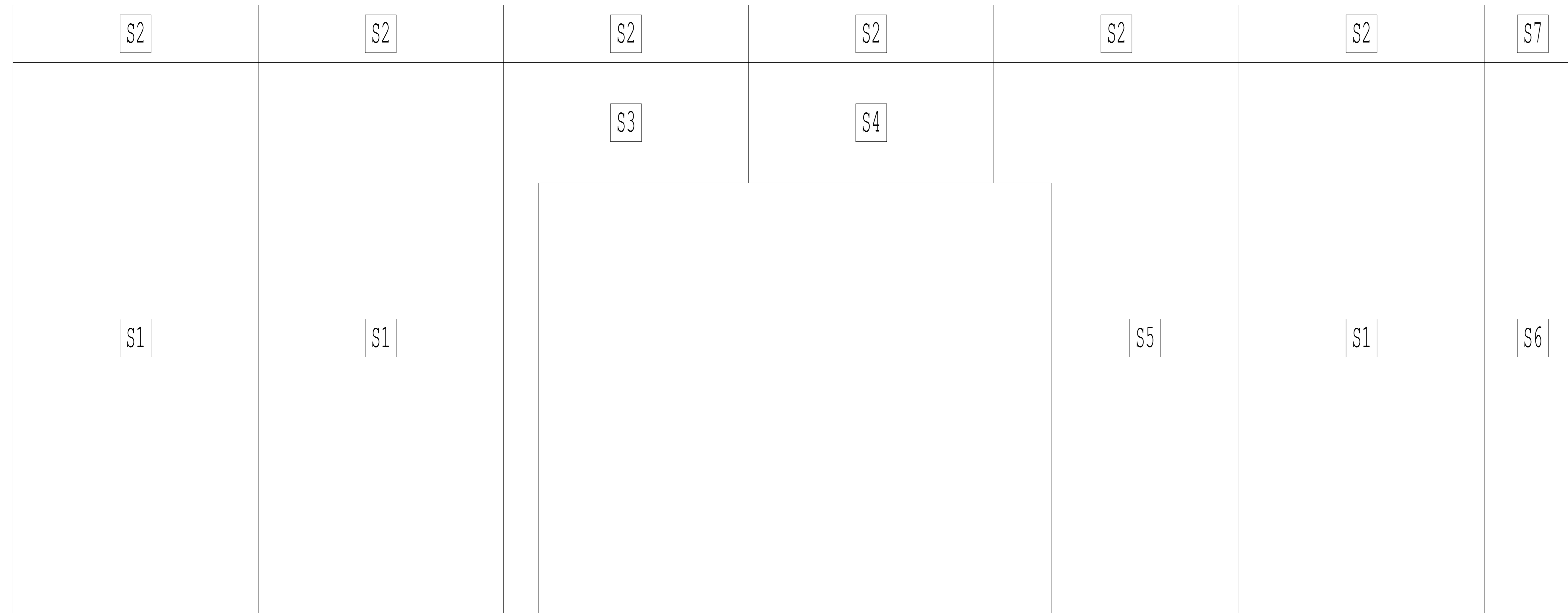


OSALUETTELO								
TUNNUS	LKM	MATERIAALI	KUVAUS	PITUUS	K	1	2	LUJUUS
D	6	20x100	KOOLAUS	1200	90.0	90.0	C18	
F	3	20x100	KOOLAUS	2752	90.0	90.0	C18	
YHTEENSÄ PITUUS: 15456.00mm								
A	5	48x98	TOLPPA	2656	90.0	90.0	C24	
B	1	48x98	TOLPPA	2656	90.0	90.0	C24	
E	1	48x98	YLÄJUOKSU	1200	90.0	90.0	C24	
YHTEENSÄ PITUUS: 17136.00mm								
C	1	PK 48x97	ALAJUOKSU	1200	90.0	90.0	PK	
YHTEENSÄ PITUUS: 1200.00mm								

Elementtiin:

- Verhouspaneeli 28x145
- Koolaus 25x100 k600 n 3.1 x90; 2 k600
- Koolaus 25x100 k600 n 3.1 x90; 2 k600
- Tuulensuojalevy gyproc 9mm n 2.8 x75; k150
- Pystyrunko 48x148 k600

Ulkolevyt



OSALUETTELO							
TUNNUS	LKM	MATERIAALI	KUVAUS	PITUUS	K 1	K 2	LUJUUS
A	14	48x98	TOLPPA	2885	90.0	90.0	C24
B	4	48x98	KLOSSI	775	90.0	90.0	C24
C	1	48x98	AUKON YLÄPUU	2510	90.0	90.0	C24
E	1	48x98	YLÄJUOKSU	7676	90.0	90.0	C24
				YHTEENSÄ PITUUS: 53676.00mm			
D	1	PK 48x97	ALAJUOKSU	7676	90.0	90.0	PK
				YHTEENSÄ PITUUS: 7676.00mm			

Elementtiin

- Kipsilevy GN 13 mm
- Pystyrunko 98x48 k600
+ Kivivilla 100 mm
- Höyrinsulkumuovi, PEL 0.2mm standardin SFS 4225 luokan E mukainen, saumat teipataan tiiviiksi limitys 200mm (Höyrinsulkumuovi yläpaarten yli 200mm)
- Kipsilevy GN 13 mm

