

Jenni Sani

**KAUPUNKIKERROSTALO
KANTAVANA RAKENTEENA HIRSI**
Rakennusratkaisut ja kustannustekijät

Opinnäytetyö
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Toukokuu 2016

Tekijä (tekijät)	Tutkinto	Aika
Jenni Sani	Rakennusinsinööri (AMK)	Toukokuu 2016
Opinnäytetyön nimi Hirsikerrostalon rakenneratkaisut ja kustannustekijät		83 sivua 52 liitesivua
Toimeksiantaja Puuinfo Oy		
Ohjaaja Lehtori Jani Pitkänen, Mikko Viljakainen (Puuinfo Oy), Tero Lahtela (Puuinfo Oy)		
<p data-bbox="150 651 292 678">Tiivistelmä</p> <p data-bbox="150 719 1390 779">Massiivipuurakentamisella on pitkät perinteet sekä kotimaassa että maailmalla. Suomessa puu materiaalina on helposti saatavilla sekä se on laadultaan soveltuvaa massiivirakentamiseen.</p> <p data-bbox="150 819 1394 1014">Työn perusta muodostui pitkäaikaisesta tavoitteesta ja tarpeesta tuoda hirsirakenne esille uudenlaisesta näkökulmasta. Massiivipuurakenteen terveyshyödyt ja puupintojen edut ihmisen kokonaisvaltaiseen hyvinvointiin ovat paljon tutkittuja ja tunnustusta saaneita. Pientalorakentamisessa hirsirakenne on nykyään yhä suosittu mutta kerrostalokohteiden runkorakenteena vieras, joten työn tarkoituksena on tuoda ratkaisuja hirsirungon käytettävyyteen P2-paloluokan asuinrakennuksissa.</p> <p data-bbox="150 1055 1394 1317">Työssä haasteellisimmaksi muodostui käytettävien ratkaisujen niukkuus ja soveltumattomuus kerrostalorakentamiseen. Työn edetessä suurinta osaa ratkaisuista sekä monia tulkintapoja rakentamista koskevasta lainsäädännöstä on ollut välttämätöntä soveltaa työssä käsiteltävään kohteeseen sopivaksi valmiin ja suoraan sopivan ohjeistuksen puuttuessa. Hirsiteollisuuden ollessa hyvin yrityskeskeistä, ei alan keskusjärjestöillä ole samanlaista julkista kehitystyötä materiaalin käytön laajentamiseksi kuin monella muulla materiaalivalmistajien keskusjärjestöllä rakennusteollisuuden parissa. Tämä tarkoitti työn kannalta tutkimuksen aloittamista toimivan runkoratkaisun suunnittelusta, johon työn myötä muodostuneet ratkaisut perustuivat.</p> <p data-bbox="150 1357 1394 1686">Tutkimustyön pohjalta luotiin tehokas runkomalli neljä kerrosta käsittävälle hirsikerrostalolle, koottiin toimivat olennaisimmat laskentaesimerkit rakennemallin kannalta ja toteutettiin P2-paloluokan osastointi- ja palonkestovaatimukset täyttävä perusdetaljikirjasto. Näihin pohjautuen työssä tuodaan esiin hirsirakenteen ekologisuutta, toteutusratkaisuja ja kilpailukyvykkyyttä, huomioiden pääpiirteittäin materiaalikustannusten vaikutus, toteutusaika sekä rakentamisen ympäristötekijät. Työ on onnistunut ja laaja kokonaisuus luomaan vakaan perustan tarkemmalle selvitykselle hirren käytön lisäämiseksi rakenneratkaisussa. Työ soveltuu pohjamateriaaliksi tilaajalle, rakennuttajalle että hirsivalmistajalle suunniteltaessa hirsikerrostalohanketta. Suunnittelijalle työ antaa sovellettävien rakenneratkaisujen lisäksi kokonaiskuvan suunnittelutyön laajuudesta ja suunnittelun vaikutuksista koko projektissa.</p>		
<p data-bbox="150 1798 284 1825">Asiasanat</p> <p data-bbox="150 1832 1011 1859">Hirsirakentaminen, pienkerrostalot, runkorakenteet, hirsikerrostalo</p>		

Author (authors) Jenni Sani	Degree Bachelor of Engineering	Time May 2016
Thesis Title Urban Low-Rise Building from Massive Logs Structural Solutions and Cost Factors		83 pages 52 pages of appendices
Commissioned by Puuinfo Oy		
Supervisor Jani Pitkänen, Senior Lecturer, Mikko Viljakainen (Puuinfo Oy), Tero Lahtela (Puuinfo Oy)		
<p>Abstract</p> <p>Massive wood-framed construction has long traditions in Finland and around the world. The wood is also the material which is in Finland easily available, and the quality of wood is suitable for massive structures.</p> <p>The thesis basis formed from the long-term target to introduce a log structures usability from a new point of view. In single-family house construction, log structures are getting more popular in Finland, but in low-rise buildings the log-structure is a more unusual. The purpose of thesis was to introduce solutions for the log frame usability in apartment buildings in fire resistance class P2.</p> <p>The most challenging part was the scarcity of suitable solutions for log low-rise construction. As the work has been progressing, it has been necessary to adapt the interpretation of the construction regulations for the log frame due to the lack of readily suitable guidelines. In Finland, the log-industry, as a very company-centred branch, does not have central organizations which would do similar development to many other branches of the construction industry. This has meant necessity to start from the basic design of the frame-lines, which all the design solutions are based on.</p> <p>Based on the research work, an effective frame model for a four-storey log -low-rise was created. The most relevant examples of the calculations for the structure design were presented. A detail-library in fire resistance class P2 requirements was compiled. Based on the work ecological aspects of -log construction, implementation of solutions and competitiveness –were discussed, paying attention to the effect of costs of the materials, the working hours required by the frame, as well as environmental and ecological factors. The thesis is successful and provides a comprehensive package, which creates a solid basis for more detailed research on the log structure development, and, enables to increase the use of the log and timber structures. The work is suitable as base material for all parties in the log-rise project planning, i.e. for the client, developer and for the log-building companies. The structural-designer can use the guiding structure solutions and get an overall picture of the extent and the impact of planning in the whole project.</p>		
<p>Keywords</p> <p>Log construction, low-rise buildings, frame structures, multi-storey log-building</p>		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
2	ENNAKKOLUULOT	10
3	HIRSIKERROSTALON MILJÖÖ	11
4	HIRSI KERROSTALON MATERIAALINA	12
4.1	Puupintojen vaikutus sisäilmaan ja asumisviihtyvyyteen	13
4.2	Lamellihirsi	14
5	TIIVEYS JA TIIVISTÄMINEN	16
6	HIRSIKERROSTALON SUUNNITTELU	19
6.1	Kosteuseläminen	20
6.2	Painuma	21
6.3	Palotekninen suunnittelu	23
6.4	Hiiltyminen	27
6.5	Rakennusfysikaalinen toiminta	29
6.5.1	U-arvo	30
6.5.2	Hiilinielun käyttö U-arvon määrittämisessä	31
6.6	Kokonaisenergiankulutus – E-luku	34
7	KOHDEKOHTAISET RAKENNERATKAISUT	35
7.1	Kantavat peruslinjat	35
7.2	Rakenteen jäykistyksen toteutus	36
7.3	Kantava kattorakenne	40
7.4	Väliseinät	41
7.5	Ikkunat, ovet ja muut kiinteät liittyvät rakenteet	42
7.6	Äänitekniset ratkaisut	43
7.6.1	Äänen johtuminen välipohjan kohdalla	45
7.6.2	Äänen johtuminen huoneistojen välisten seinien kohdalla	46
7.6.3	Äänieristys muihin tiloihin	47
7.7	Märkätilat	49
7.7.1	Märkätilan harkkorakenteet	50

7.7.2	Märkätilan rankarakenteet.....	51
8	MITOITUS	52
8.1	Materiaaliarvot	53
8.2	Poikkileikkaus	53
8.3	Kuormat	57
8.4	Painuman mitoitus	57
8.5	Mitointu taivutukselle, aukot	58
8.6	Seinän nurjahdukesteävyye	60
8.7	Jäykistävä hirsiseinä ja jäykistye	63
8.8	Liitokset	67
8.8.1	Välipohjan liitoe	67
8.8.2	Liittyvien rakenteiden liitokset.....	70
9	KUSTANNUSTEKIJÄT JA TOTEUTUSAIKA.....	73
9.1	Runkokustannus.....	74
9.2	Muut kustannukset.....	74
9.3	Työmaa-aika	77
10	YHTEENVETO.....	80
	LÄHTEET.....	81

LIITTEET

- Liite 1. Rungon rakennemallit
- Liite 2. E-luvun laskenta -kaaviot
- Liite 3. Rakennuksen lämpöhäviöiden taseaslaskenta
- Liite 4. Detaljtit
- Liite 5. Esimerkkilaskelma nurjahdukemitoitue
- Liite 6. Esimerkkilaskelma jäykistävä seinä
- Liite 7. Painumalaskelma

LYHENTEIDEN SELITYKSET

B_{ef}	hirren tehollinen leveys
E_{mean}	kimmomoduuli aika- ja käyttöluokan mukaan
$F_{ax,k}$	ruuvin ulosvetolujuuden ominaisarvo kohtisuorassa syysuuntaa vastaan
$F_{d,fl}$	lujuuden mitoitusarvo palotilanteessa
G_{kj}	Pysyvä kuorma
H_{ef}	hirren (palkin) tehollinen korkeus
I	jäyhyysmomentti
k_{fi}	kerroin
L	aukon leveys
L_1	harjapalkin ja seinähirren keskilinjojen välinen vaakamitta
L_{ef}	hirren tehollinen leveys
$L_{cc,ef}$	ristinurkan toimiva pituus ristiinlaminoidulla hirrellä = 0
$M_{y,k}$	myötömomentti
Q_k	lyhytaikainen kuorma
$Q_{k,1}$	Määräävä muuttuva kuorma
$Q_{k,i}$	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
R	harjapalkin ja seinärakenteen keskilinjojen välinen mitta katon kulman mukaisesti
R_{se}	ulkopuolinen pintavastus
R_{si}	sisäpuolinen pintavastus
$R_{T,k}$	ruuvin vetokestävyyden ominaisarvo
R_k	vetoruuviliitoksen leikkauskestävyyden ominaisarvo

U_2	vaakasiirtymä seinärakenteen kohdalla
U_1	harjapalkin pystysiirtymä suhteessa seinään
V	leikkauskestävyys tasaisella kuormalla
$d_{char,0}$	hiiltemissävyvyyden mitoitusarvo
d_h	ruuvien kannan ulkomitta
d	ruuvien ulkomitta (mm) / materiaalin paksuus
d_0	mitta, jolla huomioidaan hiiltemärajien epätasaisuus
$f_{tor,k}$	vääntökestävyys
$f_{u,k}$	vetomurtolujuus esiporatuilla rei'illä, ruuvit kuormitettu sivusuunnassa
$f_{ak,k}$	ulosvetolujuusparametri
$f_{tens,k}$	vetomurtokestävyys
$f_{c,ck}$	ristiinlaminoidun hirren ominaispuristuslujuus hirren poikkileikkauksen pystysuunnassa
g_k	pysyvä kuorma, omapaino
k_{mod}	kerroin
k_{ax}	kerroin, huomioiden ruuvien kulman α syynsuuntaan nähden kulmassa 45° - 90°
k_0	kerroin palosuojauksen mukaan
$l_{w,1}$	seinän pituus nurkkien / följärien välissä
$l_{ef,1}$	ruuvien kierteisen osan pituus liimapuussa
l_{ef}	ruuvien kierteisen osan pituus hirressä
l_w	seinän pituus nurkkien välissä
n	yhdessä toimivien ruuvien lukumäärä liitoksessa
q_d	muuttuva kuorma varmuuskertoimin

q_k	muuttuva kuorma
f_k	lujuuden ominaisarvo normaalilämpötilassa
t	palorasituksen kesto
β_0	yksidimensionaalisen hiiltymisnopeuden mitoitusarvo standardipalorasituksessa
λ	lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo
$\psi_{0,i}$	Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin
δ	taipuma (mm)
γ_m	1,4 materiaaliosavarmuusluku
γ_{m2}	1,25 osavarmuusluku
l_{ef}	ruuvien kierteistetyin osuuden tunkeumasyyvyys hirressä
μ	kitkakerroin
α	ruuvien kulma
ρ_k	hirren ominaistiheys
μ	kitkakerroin
α_u	lapeen kaltevuuskulma muodonmuutoksen jälkeen
<i>HTT Ry</i>	Hirsitaloteollisuus Ry
<i>RakMk</i>	Suomen Rakentamismääräyskokoelma

Lyhenteiden selitykset on esitetty myös tekstin yhteydessä.

1 JOHDANTO

Tutkimustyön tavoitteena on osoittaa hirsisen massiivipuorakenteen hyödyt ja rakenteen toiminnallisuus kaupunkipienkerrostalon primäärinä kantavana rakenteena ja ainoana seinän materiaalina. Työssä esitellään hirren käytettävyyttä suunnittelun näkökulmasta, luodaan ohjeistusta suunnitteluun sekä tuodaan hirsi tiedostetuksi ja realistiseksi vaihtoehtomateriaaliksi tiiville kaupunkitonteille, sekä tyyliltään että rakentamistavaltaan. Hirsi tuodaan työssä esiin totutun pientalo- ja lomarakentamisen ulkopuolella, ja rakennetta tarkastellaan myös loppukäyttäjän, tilaajan kuin toteuttajankin näkökulmasta.

Tutkimuksen ohella kehitetään ja toteutetaan rakenneratkaisumalleja huomioiden P2-paloluokan ääni- ja palotekniset vaatimukset teollisesti nykyaikaisin menetelmin toteutettuun hirsirakentamiseen. Rakenneratkaisut suunnitellaan keskimääräisen kaupunkilaisen perheasunnon kokoluokan asuntoja sisältävään 4-kerroksiseen suunniteltavaan runkomalliin log-rise1. Runkomalli käsittää yhden porrashuoneen, ja suurempi, log-rise3, on log-rise1:n runkoratkaisusta monistettu kolme porrashuonetta käsittävä lamellitalo. Näin työn esimerkkiratkaisut ja rakennemallit ovat mahdollisimman monipuolisesti sovellettavissa eri kokoluokan toteutuksiin. Hirsirakentamisen perusteita ja hirsirunkoon liittyviä erityisominaisuuksia tarkastellaan tarpeellisilta osin.

Työ rakennetaan soveltuvaksi työväliseksi sekä tilaajalle, rakennuttajalle että hirsivalmistajalle suunniteltaessa hirsikerrostalohanketta. Suunnittelijalle työ antaa sovellettavien rakenneratkaisujen lisäksi kokonaiskuvan suunnittelutyön laajuudesta ja suunnittelun vaikutuksista koko projektissa. Rakennesuunnittelun toteutusratkaisujen pohjalta otetaan tutkimukseen mukaan myös merkittäviä kustannustekijöitä, jotka omalta osaltaan tuovat esille hirren kilpailukykyisyyttä kerrostalokohteissa.

2 ENNAKKOLUULOT

Perinteisesti hirsi on yhtäkuin mökki, ja edelleen monen mielessä soveltuvin pääasiallisena rakennusaineena alppitaloon tai kesämökiksi. Kyseinen mielikuva on istunut vuosia lujassa sekä rakennusalan ammattilaisten että asiakaskunnan käsitteissä: eristämätön, pimeä ja vetoinen tyypillisimmin pyöröhirsinen lomarakennus. Perinteinen rakentamistapa on korostanut tätä talotyyppiä pitkin räystääineen. Hirsitalo on mielletty erityisesti pohjoisen talotyyppiksi.

Vanhoissa taloissa hirttä on käytetty hyvin paljon rungoissa. Tällöin se on tyypillisimmin tiiviisti verhoiltu paitsi ulkopuolelta mutta myös sisäpuolelta viimeistään menneiden vuosikymmenten sisustustrendien vallatessa alaa. Viime vuosina on tullut uudelleen suosioon avata hirsiseiniä näkyviin asuntojen sisäpuolisissa osissa.

Näin on myös rakennettu iso osa kaupunkiemme vanhoista, 1900-luvun alkupuoliskon puutaloista. Hirsi näkyy näissä ulospäin vain poikkeustapauksissa. Oikein rakennettuina ovat kuitenkin kestäneet satavuotiaiksi huolimatta insinööriosaimisen puuttumisesta sekä suunnittelun toteuttamisesta yhtä aikaa rakentamisen edetessä. Käyttö muissa, erityisesti suurissa rakennuksissa on vielä hyvin harvinaista: uusia aluevaltauksia on kasvamassa erityisesti julkisissa rakennuksissa. Silti käyttö pysähtyy käytännössä kahteen käyttökerrokseen tai paloluokkaan P3. Seikka on mielenkiintoinen, kun otetaan huomioon tunnettujen ja toimiviksi todettujen liitos- ja rakennustapojen määrän sekä palotekniset vaatimukset täyttävien ratkaisujen hyvän sovellettavuuden hirsirunkoon.

3 HIRSIKERROSTALON MILJÖÖ

Johtuen hirrestä ja hirsikotiasumisesta kiinnostuneesta potentiaalisesta suurimmasta käyttäjäsegmentistä, tarkastellaan työssä pienten perheasuntojen mahdollista toteutusta: rakennuksen asuntotyypin vaihtaminen pienempien tai suurempien asuntojen kokonaisuuksiin ei sekään ole este.



Kuva 1. rivitalo hirrestä. Honkarakenteen valmistama rivitalototeutus tiiviillä, kaupunkimaisella tontilla, joka osoittaa hirren toimivuutta ja sopivuutta kaupunkimiljööseen. (*honkarakenne Oyj*)



Kuva 2. log-rise1, pulpettikatolla.

Samoin kuin mistä tahansa runkomateriaalista valmistetussa talossa, myös hirsikerrostalon yleisilmeeseen vaikuttaa arkkitehtisuunnittelu. Työssä kuitenkin julkisivumallit ovat ainoastaan esimerkkejä. Ne auttavat hahmottamaan, mitä esitellyllä runkomallilla voi toteuttaa, eikä niiden arkkitehtonisiin ratkaisui-

hin ole kiinnitetty enempää huomiota. Työtä seuraavassa vaiheessa olisikin loogista erilaisten arkkitehtonisten ratkaisujen sovittaminen runkoon ja mallin jalostaminen eteenpäin.

4 HIRSI KERROSTALON MATERIAALINA



Kuva 3. Log-rise1 julkisivun periaatepiirros, yksirappuisena ja harjakatolla.

Peruste valita hirsi rakennusmateriaaliksi myös teolliseen asuntotuotantoon on sen kustannustehokkuus, jossa rakennusmateriaalin kustannusta kompensoivat nopea rakennusaika sekä runkorakenteen toimintavarmuus. Erityisesti kulluttajaa ja loppukäyttäjää voi kiinnostaa sen ekologisuus sekä terveyshyödyt, mikä on etu kireissä kilpailutilanteissa. Hirsi kuuluu pintamateriaalina parhaaseen päästöluokkaan M1 (Rakennustieto), mikä tarkoittaa, että hirsi sisäpinnassa luo erittäin hyvät edellytykset laadukkaaseen sisäilmaan.

Rakenne mahdollistaa toiminnallisen palomitoituksen avulla puumateriaalin terveyshyötyjen sekä asumismukavuuden ottamisen huomioon ilman sisäpintojen levytystä, joka onkin työssä tarkastelun alaisena oleva toteutustapa. Tarkemmin paloteknisestä toiminnasta löytyy kohdasta 6.4.

Hirsikerrostalon suunnittelu- ja rakennusvaiheessa merkittäviin etuihin kuuluu käytettävien runkojärjestelmien yksinkertaisuus. Detaljien määrä on vähäinen, kokonaisuus on helposti hallittava. Toimivien ratkaisujen ollessa käytössä hirsikerrostalot ovat helposti suunniteltavia: perustussuunnittelu ei eroa elementtirakentamisesta ja seinärakenteen yksiaineisuuden johdosta hirsirunko on helppo asentaa. Hirsi sopii yksiaineisena myös julkisivuun, eikä sen kestävyys aiheuta lisähaasteita; rakennuspaikasta riippuen hirsipinta kuluu oikein käsiteltynä keskimäärin arviolta 6 mm sadassa vuodessa Taylor, Quarles & Vail, 2007, 7). Joka siis tuskin osoittautuisi rakennuksen eliniän kannalta merkittäväksi tekijäksi.

4.1 Puupintojen vaikutus sisäilmaan ja asumisviihtyvyyteen

Viime vuosina rakennettujen puukerrostalokohteiden tutkimusten mukaan asumisviihtyvyyttä lisää merkittävästi asuntojen äänimaailma: se koetaan asukkaiden mielestä poikkeuksellisen mielekkääksi jo silloinkin, kun sisäpinnat on verhoiltu. Siitä on todistuksena vuonna 2015 Arkkitehtuurin Finlandia-palkinnon saajaksi valittu Jyväskylän Kuokkalassa sijaitseva, 2014 valmistunut puukerrostalokohde Puukuokka. (Safa, 2015.)

Puolueetonta tutkimusta täyshirsitalon sisäilmasta ja sen terveellisyydestä on hankala löytää. Mielipiteitä on useita eri faktoihin ja toteuttajiin perustuen: kiistattomana kuitenkin voidaan pitää, että rakentaminen yksiaineisen seinärakenteen periaatteella vähentää merkittävästi mahdollisia ongelmakohtia seinärakenteen sisällä, joista usein löytyy syy sisäilmaongelmille. Kun rakennemallilla päästään rakennusvaiheen pienten virheiden aiheuttamista ilmavuodoista rakenteessa lähes kokonaan, säästytään monelta mahdolliselta ongelmanaiheuttajalta.

Kanadassa toteutetun yliopistotutkimuksen perusteella aikuinen viettää ajastaan keskimäärin 88 % sisätiloissa, mikä voisi ilmasto-olosuhteiden puolesta olla verrannollinen arvio myös Suomeen, Siksi sillä, minkälaiseksi sisätilat koemme, on merkitystä myös terveyteemme. (Fell 2010, 17.) David Fellin (2010, 23) toteuttamassa työssä läpikäydään useita eri puolilla maailmaa toteutettuja tutkimuksia puun vaikutuksesta ihmisen psykofysiologiseen toimintaan. Tutkimuksissa tuli ilmi puupintoja runsaasti sisältävän sisätilan alentava

vaikutus esimerkiksi verenpaineeseen. Tutkimuksessa on tullut esille myös puupinnoin viimeistelyjen tilojen vaikutus muun muassa mielikuvaan paremmasta yritysilmapiiiristä. (Fell 2010, 23.)

Hirsitaloasukkaiden haastattelujen perusteella voi myös todeta, että nykyisten sisäilmaongelmien luvatussa maassamme kyseinen käyttäjäsegmentti on tyytyväisin kotinsa viihtyvyyteen ja sisäilmaan. Hirsitalon koetaan aiheuttavan vähiten ongelmia esimerkiksi hengitysteissä, ja moni allergikkoperhe onkin päätenyt hankkimaan itselleen hirsikodin. (Anttila, Pekkonen & Haverinen-Shaughnessy 2012, 25–26.)

4.2 Lamellihirsi

Markkinoilla saatavilla olevista vaihtoehdoista ainoa hirsityyppi, joka tulee kysymykseen kerrostalorakentamisessa, on lamellihirsi. Lamellihirttä on saatavilla eri valmistajilta erilaisina versioina: perinteisemmässä kaikki kappaleet on liimattu yhteen pitkittäin syiden suuntaan. Kerrostalorakentamiseen sopivammassa versiossa, niin kutsutussa varsinaisessa painumattomassa hirressä, on käytetty clt -levyrakenteen kaltaista tekniikkaa, ja osa lamelleista on ristiinliimattu. Keskimmäiset lamellit, joille pääasiallinen kuormankantokyvyn tarve keskittyy, on käyttötarkoituksen mukaan tarpeellisella jaolla korvattu pystyyn liimatuista puuosioista.

Hirren muodostuessa useammasta eri kappaleesta sen halkeilu on myös hallitumpaa kuin esimerkiksi perinteisen yhdestä puukappaleesta valmistetun höylähirren. Lamellihirren hallitumpi halkeilu perustuu sen lievempään alttiuteen kosteusvaihtelusta aiheutuville liikkeille ja vääntyilemisille. Suurimpia poikkeileikkauksia valmistettaessa voidaan joissain tapauksissa valita myös hirsien molempiin pintoihin tiiviimpää sydänpuuta, mikä vaikuttaa sekä ulkonäköön että pintojen käsiteltävyyteen.

Lamellihirren käytöllä kerrostalorakentamisessa on suurin hyöty, kun käytetään riittävän suurta poikkileikkausta. Se mahdollistaa seinärakenteen käyttämisen ilman muita rakennekerroksia, ja sen avulla saavutetaan kuitenkin kerrostaloasumiselle määritelty riittävä E-luku, josta tarkemmin kohdassa 6.6.

Tällöin kosteustekninen toiminta ei jää nähtäväksi vuosien päähän ja arvailun tai laskentaohjelmien varaan vaan on myös maallikon nähtävissä.

Lamellihirren laatuvaatimukset

Hirren laatu on olennaisessa osassa sen soveltuvuudessa erilaisiin rakennuskohteisiin, mutta erityisen merkitseväksi se voi tulla kerrostalorakentamisessa, jossa seinäkorkeudet ovat suuria ja seinät pitkiä, kokonaismitaltaan yli 10 m, vaikka seinän toiminnalliset mitat jäävätkin alle 8 metriin risteävien seinien tai följäreiden vaikutuksesta. Koska rakenteen vakavuus on yksi merkittävistä tekijöistä rakennustapaa käsiteltäessä, laatuun on kiinnitettävä erityistä huomiota paitsi tuotannossa, myös tarvittaessa jopa puun hankinnassa. Hirsiteollisuus HHT RY:n hirsitalon laatuvaatimukset -julkaisussa (2011) on saatavilla taulukko 1, jossa määritellään minimilaatuvaatimukset hirrelle. Samasta asiakirjasta löytyvät myös asennustarkkuuden raja-arvot, jotka on suunniteltu omakoti- ja lomarakentamista silmälläpitäen. Kerrostalokohteessa olisi ehkä syytä harkita, voisiko olla tarpeen parantaa asennustarkkuutta olemassa olevista raja-arvoista laadullisesti hyvään lopputulokseen ja ongelmattomampaan asennuksen etenemiseen pääsemiseksi.

Työssä ei ole katsottu tarpeelliseksi erikseen käsitellä lamellihirren valmistuksessa käytettävien liimojen tyyppejä tai valmistusmenetelmien vaihtoehtoja, vaan ne rajattiin työn ulkopuolelle. Kerrostalorakentamiseen soveltuvia hirsiiä valmistavat yritykset ovat käytännössä aina standardisoineet tuotteensa, eikä ole syytä epäillä soveltumattomien liimojen tai valmistusmenetelmien käyttöä. Jokaisen valmistajan tuote on tarpeellista arvioida aina kohteen toteutusta suunniteltaessa riippumatta siitä, onko laadullisten epäkohtien epäilyyn syytä.

Taulukko 1. Lamellihirren ominaisuudet ja sallitut poikkeamat toimitushetkellä. (HTT Ry 2011, 2)

Ominaisuus/vika	Määrä
Halkeamat	Näkyviin jäävissä pinnoissa sallitaan luonnollisesta kuivumisesta aiheutuvia halkeamia, joiden syvyys on enintään 4/5 osa lamellin paksuudesta. Halkeaman maksimi aukeama on 4 mm. Hirsien päissä sallitaan läpimeneviäkin halkeamia, jos halkeaman syvyys hirren pituussuunnassa on pienempi kuin hirren paksuus.
Hyönteisvahingot	Ei sallita.
Koro ja kaarnaroso	Sallitaan piiloon jäävissä pinnoissa. *Näkyviin jäävissä pinnoissa maksimi pituus on 50 mm ja leveys 10 mm.
Laho	Ei sallita.
Lyly	Sallitaan ainoastaan siinä määrin, että hirren muoto ei sen vaikutuksesta oleellisesti muutu eikä liimauksen laadulle aiheudu haittaa.
Oksat	Sallitaan.
Oksalohkeamat	Pieniä oksalohkeamia ja irtoksia sallitaan vähäisessä määrin.
Laho-oksat	Isoja lahoja oksia ei sallita näkyviin jäävissä pinnoissa, pieniä tai osittain lahoja oksia sallitaan kunhan ne eivät muodosta hallitsevaa osaa hirren ulkonäöstä.
Kuorioksat	Sallitaan edellyttäen, etteivät kuorioksat muodosta hallitsevaa osaa hirren ulkonäöstä. Piiloon jäävässä hirren osassa kuorioksan määrää ja kokoa ei ole rajoitettu.
Muotoviat	
Kierous	2 m:n matkalla korkeintaan hirren leveys / 30.
Syrjävääryys	2 m:n matkalla korkeintaan 6 mm.
Lapevääryys	2 m:n matkalla korkeintaan 10 mm.
Paikat	Sallitaan
Pihkakolo	Pieniä pihkakoloja sallitaan.
Sinistymä	Ei sallita näkyviin* jäävissä pinnoissa.
Vajaasärmä	Sallitaan vähäisessä määrin kuorettomana, ei kuitenkaan näkyviin jäävissä rakennusosissa.
Sydänjuova	Sallitaan
Sormijatkokset	Kahdesta lamellista koostuvien hirsien päissä ei sallita näkyvää jatkosta, kolmesta ja useammasta lamellista koostuvien hirsien päissä sallitaan näkyvä jatkos yhden lamellin alueella.
Värierot	Puun luonnolliset värierot sallitaan. mm. sydänjuova.
Lika	Ei sallita likaantumista

* Näkyviin jäävillä pinnoilla tarkoitetaan hirsien ulkopintoja ja asuintiloihin näkyviä pintoja. Näkyviä pintoja eivät ole kiintokalusteiden taustat, verhoiltavat tai lisäeristettävät pinnat vaatehuoneiden ja komeroitten seinät sekä muut vastaavat kohdat.

5 TIIVEYS JA TIIVISTÄMINEN

Myös hirsiseinän tulee olla ilmanpitävyydeltään tiivis. Tällöin saadaan estettyä ilmavuodot rakenteen lävitse ja vesihöyryn kulkeutuminen liitosten pintoihin.

Hirsirakenteen tiiveyteen, niin kuin stabiiliuteenkin, vaikuttavat olennaisesti hirsien varaukset. Erinomaisen tiiveyden saavuttaminen edellyttää hyvää suunnittelua ja toteutusta varausten muotoilussa ja nurkkien liitoksissa, mutta

myös huolellisella asennustyöllä on merkittävä vaikutus toteutuneeseen tiiveyteen.

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$ (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 10). Ilmanvuotoluvulla mitataan asuinrakennusten ilmatiiveyttä. Mitä pienempi tulokseksi saatu luku on, sitä tiiviimpi on rakennus. Esimerkiksi jos tiiveysluku on 1 l/h , tarkoittaa se testitilanteessa rakennuksen ilman vaihtuvan yhden kerran tunnin aikana (Tiiveyskortti 2012,1). Tavallisissa, 1990–2000-luvun pystyrunkoisissa pientaloissa tiiveysluku on keskimäärin 4 l/h , mikä tarkoittaa tyydyttävää tasoa. (Oulu rakennusvalvonta 2013, 1).

Massiivisen hirsirakenteen tiiveyttä tutkitaan jatkuvasti eri valmistajien toimesta. Tarkempaan tarkasteluun otetaan vuonna 2014 rakennetuissa Finnlamellin kohteissa toteutetut mittaukset eri toimijoiden toteuttamana. Tiiveys on kohteissa mitattu aiheuttamalla talon sisälle 50 pascalin alipaine ja mittaamalla rakenteiden läpi tunnin aikana virrannut ilmamäärä. Hirsikooilla 240×260 on päästy yhden omakotitalon mittaustuloksissa arvoon $0,5 \text{ l/h}$ joka täyttää passiivitalon tiiveysvaatimuksen ($<0,6 \text{ l/h}$). Usean muunkin esitellyn kohteen q_{50} (ennen n_{50}) tiiveyslukuksi on mitattu $0,8\text{--}1,1 \text{ l/h}$, mikä tarkoittaa erittäin hyvää, ellei kiitettävää tiiveysluokkaa. (Finnlamelli 2014.) Mittaustuloksissa on hajontaa, mutta sitä, onko talot rakennettu ammattilaisten toimesta vai maallikkorakentajana, ei ole mainittu, jolloin hajonta voidaan selittää eri toteutustasoilla. Tästä päätellen hirrellä on mahdollista päästä hyvällä laadunvarmistuksella erinomaiseen tiiveyteen, oletuksena että ammattimaisesti toteutetuissa kohteissa ei olisi amatöörirakentamisen aiheuttamia virheasennuksia. Myös Oulun rakennusvalvonnan toteuttaman tilastoinnin mukaan, jossa mukana on eri runkomateriaalein toteutettujen kohteiden tiiveysmittausten tulosten keskiarvot eri valmistajilta, hirsi pärjää hyvin (Tiiveys pientaloissa 2014, 1). Tutkimuksessa hirsivalmistajista mukana on Kontiotuote ja Finnlamelli.

Hirsirakennuksessa erityistä huomiota ilmanpitävyyden kannalta vaatii esimerkiksi kohdat, joihin on tarpeellista jättää painuma- tai elämisvaraa. Tiiveys on olennaista toteuttaa menetelmin, jotka sallivat rakenneosien liikkeen rikkoutumatta.

Tiivistäminen

Vaikka työn keskeisenä sisältönä onkin sisä- tai ulkopuolelta lisäeristämätön massiivinen puurakenne, tarvitsee rakenne eristeensä, eli tiivisteensä, toimiakseen energiatehokkaasti. Hirren profiiliin voidaan työstää varaus, joka on suunniteltu sekä asennusta että halkeilun ohjaamista varten hirrenmyötäisesti, myös hirsien saumojen tehokkaaseen tiivistämiseen. Varausten mallit vaihtelevat valmistajakohtaisesti; kaikilla siinä ei ole lainkaan huomioitu tiivistemateriaalin käyttöä. Tiivisteiden poisjättämisestä ei löytynyt luotettavasti todennettuja vaikutuksia hirren tiiveyteen. Hirsirakenteiden varausten tiivistykseen on ajoittain käytetty sille sopimattomia materiaaleja, joka on aiheuttanut kosteuden tiivistymistä hirren varauksiin tai reagoinut toteuttamisvaiheesta peräisin olevan jäännöskosteutta sitovasti, mikä vääjäämättä on vaurioittanut runkorakennetta.

P2-paloluokan hirsikohteet ovat verrattain harvinaisia maassamme. Toistaiseksi VTT:n testausselesteiden RTE699/05 ja RTE3924/04 perusteella ainoa testattu ja sallittu materiaali käytettäväksi hirsien varaukseen paloon osallistuvana materiaalina on lasivilla. Tulos ei kuitenkaan tarkoita, ettei lisätestausten perusteella varauksissa voisi käyttää myös muista materiaaleista valmistettuja eristeitä, jos toimivuus voidaan kokeellisesti osoittaa tai kyetään osoittamaan sen osallistumattomuus paloon. Välttämätöntä eristeen käytön ei ole osoitettu olevan, mikäli hirren profiili muodoltaan on suunniteltu toimimaan ilman eriste-kaistaa.

Jokaisen toteutettavan rakennuksen eristeet ja tiivisteet on valittava kohdekohtaisesti. Esimerkkikohteen rakenneratkaisuissa tiivistysmateriaaliksi varauksiin monista tarjolla olevista vaihtoehdoista on valittu PP-Termo -tuotenimellä saatavana oleva polypropeenista valmistettu saumaeriste. Valinta on muodostettu sen tutkittujen kosteus- ja paloteknisten ominaisuuksien sekä erinomaisten hirsirakennetta tukevien toiminnallisten ominaisuuksien johdosta, vaikka palonkestovaatimusten täyttymistä itse rakenteessa ei olekaan tutkittu riittävästi palonkestoluokan REI 60 vaativissa rakenteissa. Tuote kuitenkin mahdollistaa osaltaan hengittävän rakenteen toiminnan soveltuen näin myös massiivirakenteiseen hirsirakentamiseen. Tuote myös sopii teolliseen valmistukseen ja tiivisteiden esiasentamiseen ennen hirsien paikalleen nostoa.



Kuvat 6 ja 7. PP-termon rakenne ja asennustapaesimerkki. (PP-Termo)

PP-termo tiivistenauha täyttää kansainväliset paloturvallisuusvaatimukset ISO 11925-2 luokassa E (Hyttinen 2006, 2). PP-saumaeristeellä on kansainvälinen sisäilmaluokitus M1 kuten hirrelläkin. Oikein asennettuna ilmanläpäisevyys alle 0,05 (m³/msPa). Termokuiturakenne sitoo tehokkaasti ilmaa itseensä, mikä ansiosta sillä on erinomainen lämmöneristyskyky (0.033 W/mK). Tuote on kimmoisa ja joustava materiaali, joten se elää rakenteiden mukana säilyttäen ominaisuutensa. (Hyttinen 2006, 2.) Tiivistenauha soveltuu tiivisteeksi ilman liisätoimenpiteitä palonkestoluokan REI 30 rakennuksiin.

Tiivistysmateriaalista erittäin toimivan tekee sen kyky siirtää kosteutta ilman että itse tiivistemateriaali kastuu. Tiivisteiden ideaali kosteustekninen toiminta myös tukee muuta rakennemallia: erillinen höyrynsulku ei ole tiivisteiden käytön takia tarpeen.

6 HIRSIKERROSTALON SUUNNITTELU

Hirsikerrostaloa, niin kuin kaikkia hirsirakenteita suunniteltaessa, on tarpeellista tuntea hirren suunnitteluun ja toteutukseen vaikuttavat erityispiirteet. Suunnittelualana hirsirakenteen suunnittelu tarvitsee täysin erilaisen lähestymistavan verrattuna sekä betonielementtirakentamiseen että puuelementtituotantoon. Nykyaikaista, ääni- ja kosteusteknisesti toimivaa hirsikerrostaloa ei ole mahdollista toteuttaa kuin isoa omakotitaloa sillä se kuuluu P2-paloluokkaan. Hirsi vaatii selkeät ratkaisut ja rakenteiden päälinjat ollakseen toimiva materiaali

kerrostalorakentamisessa. Menetelmät eivät itsessään ole mitenkään poikkeuksellisia tai uusia, ja rakennejärjestelmän suunnitelmallisuus ja toistuvuus jopa helpottavat monin paikoin sekä tilasuunnittelua että rakennusteknistä hallittavuutta.

Hirrestä voi toteuttaa käyttötarkoitukseltaan hyvin erilaisia tiloja ja rakennuksia, erityisesti kun toteutus suunnitellaan hirrelle optimaalisimmalla tavalla. Silloin saadaan suunnittelultaan, materiaaleiltaan ja rakennusvaiheen läpimenoajoiltaan hyvin tehokas ratkaisu, jossa virheasennusten mahdollisuus on vähäinen.

6.1 Kosteuseläminen

Puun kosteus vaikuttaa kuivuessaan seinärakenteen painumiseen, hirren halkeiluun että vääntymiseen. Hirren kosteus vaihtelee eri vuodenaikoina ja ympäröivässä ilmassassa olevan suhteellisen kosteuden mukaisesti. Tällöin hirsi imee itseensä kosteutta tai luovuttaa sitä ympäristöönsä olosuhteista riippuen; toisin sanoen hirsi on hygroskooppinen materiaali. Hirren kostuselämiin kuuluu myös jo aiheutuneiden halkeaminen leveyden muutokset, kun ilman suhteellinen kosteus muuttuu. Talvella hirren kosteuden ollessa pieni erityisesti lämpimässä tilassa, ovat halkeamat suurimmillaan. Halkeamat eivät kuitenkaan vaikuta negatiivisesti hirren lämmönjohtamis- tai lujuusarvoihin, kun hirsirakenne täyttää sille ohjekorteissa RT-14-10436/1990 tai HHT RY 4/2011 annetut laatuvaatimukset. Kuitenkin, kosteusvaihtelun vaikutus ulottuu hirren molemmiin puolin vain noin 50 mm syvyyteen. (HTT Ry 2012, 3.) Tästä johtuen esimerkiksi tässä työssä käytetyissä seinäpaksuuksissa kosteus pysyy lähes muuttumattomana vuodesta toiseen seinän sisäpuolella, sen jälkeen kun hirsi on kerran saavuttanut sen tasapainokosteuden.

Hirsiaihion kuivatus

Kuivuessaan puu kutistuu niin säteen kuin poikkileikkauksen kehän suunnassa. Kehän suunnassa kutistuminen on kaksinkertaista säteen suuntaan nähden, joten siitä aiheutuu puuhun jännityksiä. Kun jännitys kasvaa yli vetolujuuden, puu halkeaa. Mitä kosteampaa puu on kuivauksen alkaessa, sitä suu-

rempia halkeamia kuivumisesta aiheutuu. Myös puun vahvuus vaikuttaa halkeamien kokoon. Siksi on tavallista, että hirsiaihiot esikuivataan nykyaikaisessa tuotannossa lähes aina uunikuivatuksella. Tuoretta puuta kuivattaessa esimerkiksi kosteusprosenttiin 15 asti on puun paksuus vielä 190–195 mm, kun lähtötilanteessa se on ollut 200 mm paksu. Tavallisesti kuivatuksella hirsien kosteus saadaan yleisestikin alle 20 %. Tämän jälkeen puu ei sinisty eikä homehdu, ja halkeilu on hyvin minimaalista. (HTT ry 2014, 7-8.)

6.2 Painuma

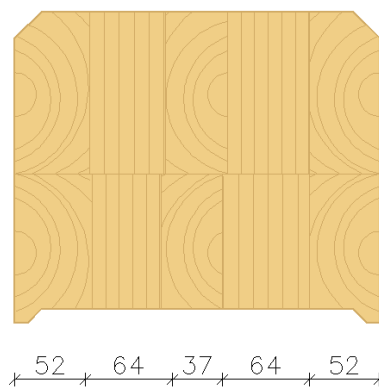
Lamellihirsi tunnetaan puhekielessä niin sanottuna painumattomana hirtenä, mutta varsinainen painumaton lamellihirsi on oma tuotteensa kappaleen 4.2 kuvauksen mukaisesti. Perinteisellä lamellihirrellä painuman arvioidaan olevan niin vähäistä ($\leq 1\%$), että sen huomiointitarve on pieni perinteisessä omakotitalo- tai loma-asuntorakentamisesta. Kerrostalorakentamisessa ja suurissa seinäkorkeuksissa painumasta tulee kuitenkin merkittävä, ja sen hallinta ylimmissä kerroksissa muodostuu helposti ongelmaksi.

Mallirungoissa Log-rise1 (kuva 2) ja Log-rise3 (kuva 12) kerroskorkeus on 3200 mm, josta huonekorkeus on 2700 mm ja välipohja 500 mm. Rakennuksen kaikki neljä kerrosta on toteutettu hirsirakenteisena. Tällöin painuma olisi harjalla arviolta 150 mm, kun oletetaan painuman olevan 1 %, mihin perinteisellä lamellihirrellä tulisi vähintään varautua. Painuma ei ole ongelmallisinta hallita itse runkorakenteessa, mutta erilaisen talotekniikan joustamattomuus sekä tiiveys voi tulla haasteeksi. Käytännössä se tarkoittaisi elastisten holkkien käyttöä ja asuntokohtaisen LVI-tekniikan kuljettamista esim. välipohjissa, joissa putkiston pitäisi painua välipohjan mukana.

Huomiota on tarpeen kiinnittää siihen seikkaan, että hirrestä yli kaksi kerrosta korkeiden, P2-paloluokkaan kuuluvien asuinrakennusten toteuttaminen on poikkeuksellista. Pääsääntöisesti saatavilla oleva materiaali niin suunnittelusta kuin rakentamisen toteuttamisesta on tehty soveltuvaksi parhaiten P3-paloluokan rakennuksiin, eikä niissä ole huomioitu kerrostalorakentamiseen liittyviä tekijöitä.

Painumaan vaikuttavat olennaisesti rakennuksen koko ja seinän korkeus mutta myös käytettävän hirren profiili sekä valmistustapa. Mitä suurempi on seinäkorkeus, sitä suurempi on hirsille aiheutuva massa, erityisesti alimmissa kerroksissa. Täysin mittamuuttumaton puurakenne ei koskaan ole, mutta ristiinliimattuna lamellihirtenä sen vaikutuksia on mahdollista hallita huomattavasti paremmin kuin muiden tunnettujen hirsivaihtoehtojen.

Ristiinliimattu lamellihirsi vaihtoehtona olisi tarkastelun alaisessa käyttötarkoituksessa toimivampi, sen vähäisempien mittamuutosten takia, verrattuna perinteisempään lamellihirteen, jossa kaikki lamellit on asetettu syysuunta hirren pituussuuntaan. Rajoitteen muodostaa se, ettei kyseistä hirsimallia ole tutkielman tekohetkellä saatavana kuin noin 205 mm paksuna, mikä toisi esteen tässä käyttötarkoituksessa yksinkertaisesti jo E-luvun jäädessä liian suureksi tavoiteltavasta arvosta ilman lisäeristystä. Työssä keskitytään nimenomaan yksiaineisen hirsiseinän käyttöön, joten työ tehdään teoreettisesti tarkastellen hirsikerrostaloa, joka toteutetaan ristiinliimatulla lamellihirrellä arvioituna kokona 270x260(271). Oletetaan, että arviolta puolet käytettävän profiilipaksuuden lamelleista olisi liimattu pystyyn. Näin tutkimus on mahdollisimman teollisuutta palveleva myös tulevaisuudessa valmistustekniikoiden ja materiaalien kehityksessä.



Kuva 3. Periaatteelliset lamellien jaot poikkileikkauksesta, jota työssä käytetään.



Kuva 4. Honka FXL 204N



Kuva 5. Honka MLL 270x260(271)

Kuvassa 4 lamellihirsi, jossa keskimmäinen kappale on liimattu pystyyn, ja kuvassa 5 perinteinen lamellihirsi, jossa syynsuunta on kaikissa kappaleissa hirren pituussuunnassa. (honkarakenne)

Painuman mitoitus toteutetaan aina käyttöympäristön ja käytettävän materiaalin toimittajan antamien poikkileikkausmittojen mukaan, eri valmistajien hirsi-profiilien poiketessa toisistaan huomattavasti. Eniten painumaan vaikuttavat hirren varaukseen jäävän oletetun tai tarkemmin määritetyn välyksen suuruus ja puun laskennallinen kuivumiskutistuma.

Teoriassa kaikki seinän painumisen aiheuttamat muodonmuutokset ovat jossain määrin sallittuja, aiheutuvia siirtymiä pyritään kuitenkin rajoittamaan mahdollisimman tehokkaasti. Painuminen vähäisissä määrin ei ole ongelma, kunhan ominaisuuden olemassaolo rakenteessa tiedostetaan, muodonmuutokset ja siirtymät hallitaan ja osataan ottaa suunnittelussa huomioon.

6.3 Palotekninen suunnittelu

Asuinkerrostaloissa palonkestovaatimus osastoiville rakenteille on REI 60.

- R= kantavuus
- EI= tiiviys ja eristävyys
- 60= luku, jolla ilmoitetaan palonkesto aika minuutteina (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011, 5).

Palotilanteet aiheuttavat helposti kantokyvyn heikkenemistä ja vaarallisten kaasujen muodostumista lyhyessäkin ajassa. Tulipalossa lämpötila voi nousta jopa 1200 °C:een. Koska puun syttymislämpötila on 250 °C - 300 °C luokitellaan puu palavaksi materiaaliksi. (Puuinfo, 1.)

Palotekninen toiminta on ratkaistavissa myös hirsikerrostalossa, vaikka sitä on pidetty jossain määrin haasteellisena silloin, kun tavoitteena on jättää rungon

puupinta verhoilematta paremmin pintaluokat täyttävin materiaalein. Esimerkkikohteessa halutaan seinärakenne säilyttää hirsipinnalla myös sisäpuolelta, jolloin ei rakennusta voi suunnitella pelkästään RakMK E1:n määräysten ja ohjeiden paloluokkia ja lukuarvoja noudattamalla. Rakennus saadaan paloturvallisuusvaatimukset täyttäväksi ja saavutetaan palonkestävyysluokka P2 suunnittelemalla ja rakentamalla se perustuen oletettuun palonkehitykseen eli toteuttamalla toiminnallinen palomitoitus.

Oletettuun palonkehitykseen perustuva toiminnallinen paloturvallisuussuunnittelu on Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa E1 hyväksytty menetelmä rakenteellisen paloturvallisuuden varmistamiseksi (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011, 8). Se kattaa kyseessä olevassa rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät tilanteet. Vaatimuksen täytyminen tarkistetaan tapauskohtaisesti ja ottaen huomioon rakennuksen ominaisuudet, käyttö sekä passiiviset ja aktiiviset palontorjuntatoimet rakenteiden paloturvallisuussuunnittelussa. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011, 8.)

Jos kantavien rakenteiden mitoitus perustuu oletettuun palonkehitykseen, esimerkkikohteen kaltainen, enimmillään 4 kerroksinen asuinrakennus luokitellaan riittävän turvalliseksi, mikäli rakennus ei yleensä sorsu palon, jäähtymisen tai palon hallintaan saamisen aikana. Palorasituksena käytetään oletettuja palonkehityksen kaltaisia tilanteita niin, että palorasitus kattaa mahdollisimman hyvin kyseisessä rakennuksessa mahdollisesti esiintyvät tilanteet. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011, 17.)

Hirsiseinä on palosuojaamattomana pintaluokaltaan D-s2, d2. P2-paloluokkaan kuuluvalta asuinkerrostalolta jossa on enintään 4 kerrosta, vaaditaan sisäverhouksen pintaluokaksi RakMK E1:n mukaan A2-s1, d0, jota puu ei näin ollen täytä. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, 22).

Myös 3–8-kerroksisen P2-luokan rakennuksen uloskäytävän porrassyöksyt ja -tasanteet sekä niitä kannattavat rakenteet, jotka eivät ole vähintään A₂-s1, d0-luokkaa, tulisi palonsuojaverhota portaiden yläpintaa lukuun ottamatta vähintään K₂ 30, A2-s1, d0-luokan tarvikkeilla. Suojaverhous on kuitenkin korvattavissa rakenteella, joka vastaavan ajan suojaa takanaan olevia rakenteita syttymiseltä, hiiltymiseltä tai muilta vaurioilta. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011, 31–32.)

Uloskäytävän seinäpinnoille ei ole esitetty RakMk E1:ssä (Suomen rakennusmääräyskokoelma E1) erillistä vaadetta joka poikkeaisi muusta kyseessä olevan paloluokan rakennukselle vaaditusta pintaluokasta. On kuitenkin mahdollista, että hätäuloskäytävänä toimivan portaikon pintarakenteilta vaadittaisiin parempaa luokkaa, jolloin porrashuoneen seinät olisi palonsuojaverhotta-va tai suojattava palonsuojakäsittelyin.

Pintaluokan lyhenteiden selitykset (E1 2011, 6)

A2	tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu
D	tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä
s1	savuntuotto on rajoitettu
s2	savuntuotto vähäistä; ei täytä s1 vaatimusta
d0	palavia pisaroita tai osia ei esiinny
d1	palavat pisarat tai osat sammuvat nopeasti
d2	palavien pisaroiden tuotto ei täytä d0 eikä d1 vaatimuksia

Vaaditut pintaluokat ovat jossain määrin riippuvaisia myös automaattisen sammutuslaitteiston (sprinklerijärjestelmän) suoritustasosta. Käytännössä se ei esimerkkikohteessa poissulje tarvetta tarkempaan paloteknisen toiminnan selvitykseen.

Sprinklaus on kaikissa olosuhteissa välttämättömyys, kun kyse on uudesta puurakenteisesta kerrostalosta. Puukerrostaloihin Suomessa se tuli pakolliseksi vuonna 1997, samalla kun puu hyväksyttiin palomääräyksissä kerrostalon kantavaksi rakenteeksi ja julkisivuverhousmateriaaliksi enimmillään 4-kerroksisiin asuinkerrostaloihin. Vuonna 2011 palomääräysten muuttamisen jälkeen mahdollistui puun käyttö myös 5–8-kerroksissa asuin- ja työpaikkarakennuksissa. (Puuinfo 1, 2–3.)

Sprinklerijärjestelmän tehtävänä on reagoida alkavaan tulipaloon mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Saatavilla olevia sprinklausjärjestelmiä on usei-

ta, kuten valmistajiakin, ja se tulisi valita aina käyttötarkoituksen mukaan. Esimerkkikohteessa käytössä loogisimmaksi valinnaksi voisivat osoittautua korkeapainesumujärjestelmät, joiden veden litratuotto on huomattavasti muita vaihtoehtoja pienempi, jolloin rakenteisiin ei pääse tarpeettomasti ylimääräistä vettä missään tilanteessa. Puurakennetta verratessa muihin rakenteisiin ei pidä vähätellä tosiasiaa, että suuri vesimäärä olisi ongelma esimerkiksi virhelaukaisutilanteessa minkälaisella runkorakenteella tahansa toteutetussa rakennuksessa, ei vain puurunkoisissa. Eri valmistajien tuotteiden ilmoitettujen arvojen vertaileminen (Rosenbauer, Ultra Fog, Aquamist, LoFlow, Securiplex) osoittaa korkeapainesumusuuttimen litratuoton jäävän yleisesti alle 10 l/min/suutin, kun perinteisen matalapainejärjestelmän litratuotot on noin 40–60 l/min/suutin; eron näin ollen huomattava.

Toiminnallisen palomitoituksen teettäminen on hirsikerrostalon tapauksessa ainoa järkevä tapa toteuttaa palosuunnittelu. Toiminnallisella palomitoituksella päästään merkittävästi matalampiin kuluihin, kuin toteuttamalla paloverhous seinärakenteiden päälle. Kustannusero on merkittävä laskettaessa kustannukset sisäverhousrakenteiden asennustyöstä sekä itse materiaaleista, aikataulun kutistuminen ja työn huomattava yksinkertaistuminen kappaleen 9 laskelmien mukaan.

VTT:llä standardin SFS-EN 1365–1:1999 kantavuustestin mukaisesti, jo lamellihirren vahvuudella 180 mm voidaan saavuttaa kantavuutta tarkastellessa parhaimmillaan R 90 minuutin palonkestävyys. 199 mm lamellihirrellä voidaan saavuttaa tiiveydelle ja eristävyydelle EI 90 minuutin palonkestoluokka. Tämän ehtona on, että lamellihirren poikkileikkauksen korkeus on kantavuustestin mukaan 170–195 mm. Taulukon 2 arvot saavutetaan, kun alla luetellut ehdot täyttyvät. (RT 82–11168 2014, 10.)

- Hirren sauman oltava ponttisauma, pontin korkeus vähintään 11 mm (REI 60)
- Hirsiponttiin tuleva tiiviste on oltava lähtökohtaisesti lasivillakaistale tai palo-ominaisuuksiltaan vastaava tuote, jonka paksuus on pontin paksuus +2 mm
- Puutapituksen väli seinässä enimmillään 1600 mm

Taulukko 2. Hirren palonkestoajat (RT 82–11168 2014, 10).

Lamellihirsi	Palonkestoluokka			
mitat mm	R30	R60	R90	R120
leveys x korkeus	92 x170	136 x h ¹⁾	180 x h ¹⁾	-
sauman leveys	70	116	156	
	EI30	EI60	EI90	EI120
leveys x korkeus	92 x170	148 x h ¹⁾	199 x h ¹⁾	-
sauman leveys	70	126	175	
¹⁾ h= 170 – 195 mm				

Toisin sanoen puusta voidaan suunnitella kantavia rakenteita palonkestävyydenkin kannalta tarkasteltuna, sillä puusta valmistettujen rakenneosien palonkestävyys tulipalossa pystytään määrittämään suhteellisen tarkasti. Palonkestävyyteen ja osastoivuuteen on syytä kiinnittää huomioita ennakoivasti ennen hankkeiden varsinaista suunnittelutyötä, mikä ehkäisee tarpeettomien suojausten toteutusta. Työssä tarkastelu on rajattu pääpiirteisiin, mutta tavoiteltaessa optimaalista ratkaisua hirsikerrostalolle olisi selvitystyötä perusteltua jatkaa.

6.4 Hiiltyminen

Puu syttyä verraten alhaisissa lämpötiloissa. Koska puu hiiltyy, palaminen hidastuu sitä mukaa kun palo etenee. Puun pinnan hiiltyminen on palonkestävyyden kannalta sille eduksi luettava ominaisuus, koska se toimii palonsuojana puun pinnalla. Kuvassa 8 on havainnollistettu puun hiiltymisen vaikutus poikkileikkaukseen. Mitä paksumpi rakenneosa on, sitä enemmän pinnan hiiltyminen suojaa puuta, koska jäljelle jäävän palamattoman poikkileikkauksen pinta-ala suhteessa palaneeseen pinta-alaan on suurempi. Tästä voidaan päätellä, että kantavat puurakenteet ovat useissa käyttötarkoituksissa turvallisempia kuin teräksiset tai teräsbetoniset rakenteet. (Siikanen 2008, 48.)

Laskennallisella hiiltymisnopeudella on yksinkertaista todistaa hirren säilyvyys vaaditun ajan. Koska kyseessä on seinä, jota käsitellään tasorakenteena, voidaan hiiltymissyvyys 60 min aikana laskea yksidimensionaalista hiiltymisnopeutta käyttäen. (RIL 205-2-2009, 22).

Hiililymisnopeuden mitoitussarvo

$$d_{char,0} = \beta_0 t$$

$$\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$$

Tehollinen hiililymissyvyys vähennetään sivuilta, jotka ovat palolle alttiina (RIL 205-2-2009, 31).

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$k_0 = 1,0$$

$$d_{ef} = d_{char,0} + k_0 d_0$$

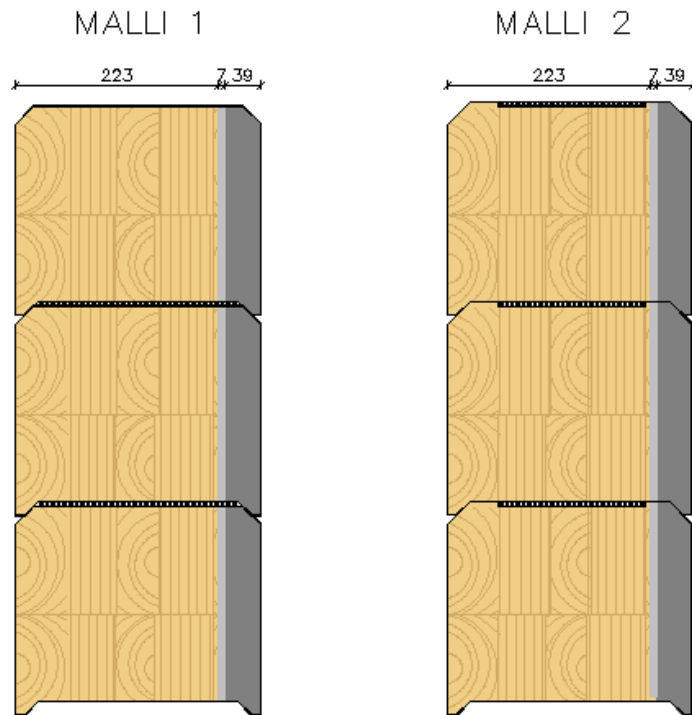
$$d_{char,0} = \frac{0,65 \text{ mm}}{\text{min}} \cdot 60 \text{ min} = 39 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = 39 \text{ mm} + 1,0 \cdot 7 \text{ mm} = 46 \text{ mm}$$

$d_{char,0}$	<i>hiililymissyvyuden mitoitussarvo</i>
β_0	<i>yksidimensionaalisen hiililymisnopeuden mitoitussarvo (RIL 205-2-2009, 24)</i> <i>standardipalorasituksessa, sahatavara ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$</i>
t	<i>palorasituksen kesto (60 min)</i>
d_0	<i>mitta, jolla huomioidaan hiililymärajan epätasaisuus</i>
k_0	<i>kerroin, määräytyy palosuojauksen mukaan, taulukko 4.1</i> <i>puurakenteiden suunnitteluohjeessa (RIL 205-2-2009, 32)</i>

Kuvassa 3. esitetyn kaltaisin kappalein valmistettua hirsiprofiilia käyttäessä palo pysyisi koko vaaditun ajan hirren pintalamellissa, jolloin varsinainen profiiliin kantava osa, eli pystyyn liimatut lamelliosat, on edelleen palolta suojassa. Mikäli palo hirsikerrostalossa olisi paikallinen ja suhteellisen lyhytkestoinen, hiililymäsyvyuden määrittämisen jälkeen ei rakenteen käytön jatkamiselle ole estettä, koska puu ei menetä ominaisuuksiaan kuumuudessa, monen muun rakenteen tavoin, kuin hiililyneeltä osalta. Monessa muussa rakenteessa jou-

dutaan selvittämään palokohteissa myös ilman silmämääräisesti havaittavia vaurioita jääneiden rakenteiden toimivuus.



Kuva 8. tehollinen hiiltemissyvyys seinässä.

Kuten kuvan 8 havainnollistuksissa, on hirsipoikkileikkauksen mallilla merkitystä palonkestoon ja esimerkiksi tiivistemateriaalin valintaan. Suunniteltaessa poikkileikkaus esimerkiksi kuvassa 8 olevan mallin 2 mukaisesti, voidaan olettaa, ettei tiivistemateriaali osallistu paloon. Hiiltemissyvyys ei tavoita tiivistemateriaalia vaaditun palonkestoajan kuluessa.

6.5 Rakennusfysikaalinen toiminta

Hirsiseinän rakennusfysikaalinen toiminta on tunnettu ja hyvin ennustettavissa, kun tiivistyksessä käytetty materiaali pidetään soveltuvana puurakenteelle. Suomessa ei hirrelle kerrostalorakentamisessa ole tällä hetkellä erillisiä määräyksiä, joten lämmönjohtavuutta ja kokonaisenergiankulutusta sovelletaan olemassa olevin raja-arvoin.

6.5.1 U-arvo

Täyshirsisen seinän keskipaksuuden on oltava vähintään 180 mm, jotta U-arvovaatimus $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ täyttyy (Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 2012, 13). Ilman lämmönläpäisykertoimen kompensoimista hiilinielun avulla (tarkemmin kohdassa 6.5.2) 270 mm hirsiseinän U-arvoksi saadaan $0,42 \text{ W/m}^2\text{K} - 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$ riippuen käytettävästä lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvosta. Laskennassa käytettäessä mäntyhirrelle lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvoa λ $0,11 \text{ W/mK}$, saadaan 270 mm paksuisen seinän U-arvoksi $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Puun lämmönvastus (R) (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2003, 5)

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

d materiaalin paksuus (m)

λ lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo

Kun kyseessä on kokonainen rakenneos, seinä, on laskelmassa huomioitava myös sisä- ja ulkopuolinen pintavastus (taulukko 3). Pintalämpötilavaihtelu on täysin riippuvainen lämmön siirtymistavasta. Pintavastus kertoo ainoastaan materiaalin pinnan ominaisvastuksen ilmavirralle. Ilmavastus heikkenee, mikäli rakenneosan pinnalla on ohutkin kerros liikkumattomaksi mielletävää ilmaa.

Kun muita rakennekerroksia ei ole, seinän U-arvo ($\text{W/m}^2\text{K}$) saadaan yksinkertaistetusta kaavasta (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2003, 5)

$$U = \frac{1}{(R_{se} + R + R_{si})}$$

R_{se} ulkopuolinen pintavastus

R_{si} sisäpuolinen pintavastus

Taulukko 3. Ulko- ja sisäpuoliset pintavastukset (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2003, 16)

Pintavastus ($\text{m}^2\text{K/W}$)	Pintavastuksen suunta		
	Vaakaan	Alaspäin	Ylöspäin
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Kompensaatioperiaatteella tarkoitetaan jonkin rakenneosan liian heikon lämmöneristyskyvyn kompensoimista parantamalla jonkin toisen rakenneosan lämmöneristyskykyä, mikä tulee helposti kyseeseen hirsirakenteessa, kun erillistä seinärakenteen eristettä ei ole. Esimerkiksi kasvattamalla yläpohjan ja / tai alapohjan lämmöneristyksen vahvuutta voidaan seinien heikompaa lämmöneristyskykyä tasata ja näin saavuttaa rakennukselle vaadittu lopputulos energiatehokkuuden kannalta. Esimerkkikohteessa ei E-luvun laskennan perusteella tälle ole erityistä tarvetta aiemmin esitellyistä perusteista johtuen.

6.5.2 Hiilinielun käyttö U-arvon määrittämisessä

Rakennuksen hiilinielun käyttö U-arvon laskennassa on mielenkiintoinen tapa huomioida puun ekologinen vaikutus muihin rakennusmateriaaleihin. Kansainväliset sopimukset ilmastonmuutoksen etenemisen hallitsemiseksi kiristävät myös rakentamiseen kohdistuvia energiansäästövaatimuksia. Tämän johdosta Suomen Hirsitaloteollisuus Ry (HTT Ry) on kartoittanut vaihtoehtoja, joiden avulla hirsirakenteen ekologisuutta voitaisiin käyttää hyväksi pohjautuen luotettavaan ja tutkittuun tietoon. (Alasaarela 2008, 2.)

Matti Alasaarelan (Alasaarela 2008, 2) toteuttamassa tutkimuksessa on selvitetty hirsiseinään varastoituvan hiilen määrä: seinästä muodostuu hiilinielu, joka taas voidaan hyväksilukea eduksi massiiviselle hirsirakenteelle verrattuna muihin seinärakenteisiin. Laskennassa otetaan huomioon hiilinielua vastaava energiantuotannon hiilidioksidipäästön määrä, jolla saadaan tuotettua lämmitysenergiaa.

Laskennassa huomioidaan lisäksi seuraavat seikat (Alasaarela 2008, 2):

1. Päästökerroin 210 kg/MWh (CO₂), päästökerroin on interpoloitu päästökertoimista kaukolämpö 220 kg/MWh ja sähkö 200 kg/MWh.
2. Lämpötilat: Rakennuksen sisälämpötila on +21 °C, ympäristöministeriön rakennusten energiatodistuksesta annetun asetuksen laskentaohjeiden mukaan. Ulkolämpötilan vuotuisena keskilämpötilana on käytetty +2 °C,

joka perustuu Suomen RakMk D5 säätietoliitteen taulukkoon 1. Ilmastovyöhyke III (Jyväskylä - Luonetjärvi).

- Hiilen vastaavuus hiilidioksidin määrässä: 1kg hiiltä (C) = 3.67kg (CO₂), männyt hiilipitoisuus on 51.9 %, joten yksi kiintokuutiometri sisältää hiiltä 212kg.
- Massiivisten hirsien materiaalina mäntyhirsi; suurimpien hirsiprofiilien materiaali on pääsääntöisesti mäntyä. Tarvittaessa tarkastella kuusta materiaalina, sen hiilipitoisuus on hyvin lähellä mäntyä.

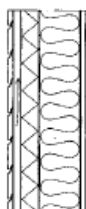
Taulukko 4. Hiilinieluvaikutuksen laskentataulukko. (Alasaarela 2008, 3.)

seinän paksuus mm	U-arvo W/m ² K	Kuiva-ainepitoisuus kg/m ²	hiili-sisältö kg/m ²	G W/m ²	Energiankulutus/m ²				AC kWh	Hiilinielun päästöillä tuotettu energia kWh/vuosi						hiilinielulla kompensoit U-arvot W/m ² K		
					1v kWh	30v kWh	40v kWh	50v kWh		/30v	/40v	/50v	% energiankulutuksesta	30v	40v	50v	30v	40v
95	1,04	38,9	20,2	19,76	173	5193	6924	8655	352	12	9	7	7	5	4	0,97	0,99	1,00
120	0,85	49,1	25,5	16,15	141	4244	5659	7074	445	15	11	9	10	8	6	0,76	0,78	0,80
130	0,79	53,2	27,6	15,01	131	3945	5260	6574	482	16	12	10	12	9	7	0,69	0,72	0,73
135	0,77	55,2	28,7	14,63	128	3845	5126	6408	501	17	13	10	13	10	8	0,67	0,69	0,71
180	0,60	73,6	38,2	11,40	100	2996	3995	4993	668	22	17	13	22	17	13	0,47	0,50	0,52
200	0,55	81,8	42,5	10,45	92	2746	3662	4577	742	25	19	15	27	20	16	0,40	0,44	0,46
205	0,53	83,8	43,5	10,07	88	2646	3529	4411	760	25	19	15	29	22	17	0,38	0,42	0,44
220	0,50	90,0	46,7	9,50	83	2497	3329	4161	816	27	20	16	33	25	20	0,34	0,38	0,40
260	0,43	106,3	55,2	8,17	72	2147	2863	3578	965	32	24	19	45	34	27	0,24	0,29	0,31

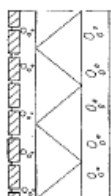
G = lämpöenergiavirta seinän läpi oletuslampötilaerolla
AC= energiamaara, jonka tuottaminen aiheuttaa hirsiseinän sisältämän ylimääräisen hiilen verran hiilidioksidipäästöjä

Muiden tyypillisten seinärakenteiden U-arvot:

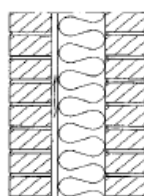
puuseinä
0,22 W/m²K



betoniseinä
0,21 W/m²K



tiiliseinä
0,21 W/m²K

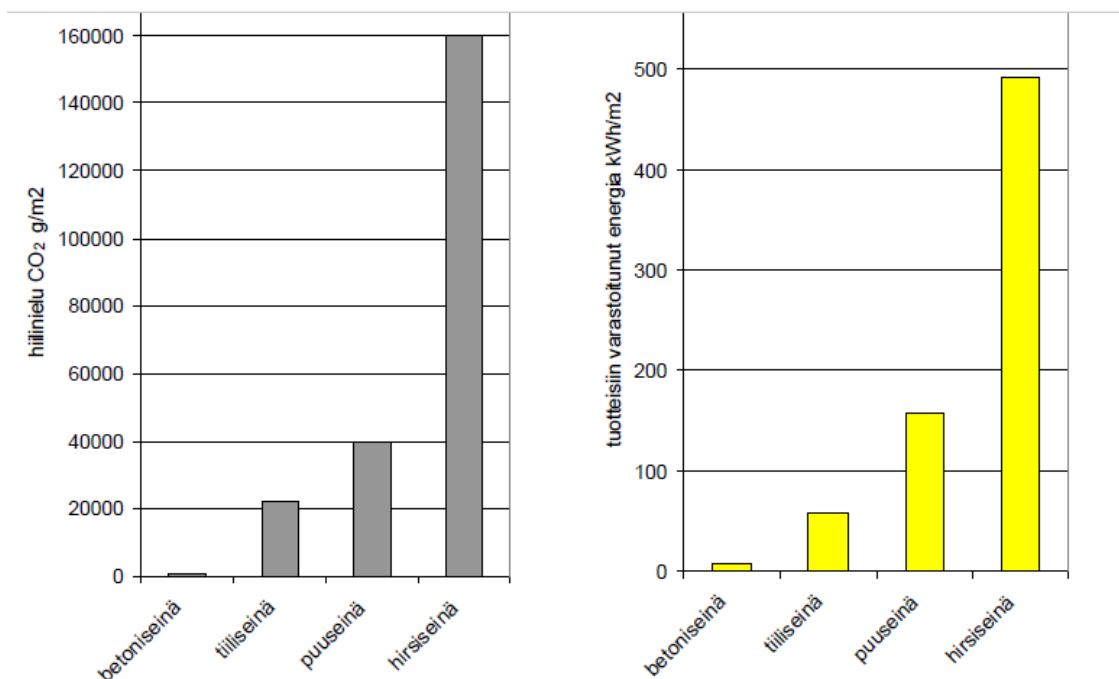


hirsiseinä
0,53W/m²K



- | | | | |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| - maalaus | - tiililaatta 285x43x85 | - kalkkikiiekkatiili 130 | - maalaus |
| - lautaverhous 24 | - betoni 42 | - muurauslaasti M00/600 | - lamellihiirsi 205 |
| - koolaus 22x100k600 | - min.villaeriste 190 | - muuraussiteet 4kpl/m ² | - saumativiste |
| - tuulensuojavilla 50 | - betoni 100 | - tuuletusrako 30 | |
| - runko+min.villa 175 | - raudoite 6kg/m ² | - tuulensuojalevy 50 | |
| - höyrynsulku 0,2 | - saumabetoni | - lämmöneriste 150 | |
| - rakennuslevy 13 | - saumaussmassa | - kahitiili 130 | |
| | - saumanauha | - muurauslaasti M100/600 | |

Kuva 9. Vertailtavat seinärakenteet. (Alasaarela 2008, 4.)



Kuva 10. Vertailukaaviot (Alasaarela 2008, 4.)

Taulukko 4 osoittaa, että 130 mm vahvuisen hirsiseinän U-arvoon kompensoinnin vaikutus on suhteessa pieni, kun taas taulukossa 260 mm paksuisessa hirsiseinässä 30 vuoden jaksolle jaettuna 45 % ja 50 vuodelle jaettunakin vielä 27 %. Puun käytön lisäämisestä hyötyy myös välillisesti: rakennusteollisuuden hukkapuuta käytetään yleisesti lämmön tuottamiseen, jolloin vastaava määrä fossiilisia polttoaineita korvautuu uusiutuvalla materiaalilla. Puutuotteiden valmistaminen kuluttaa vähemmän fossiilisia polttoaineita ja aiheuttaa vähemmän päästöjä kuin muiden rakennusmateriaalien valmistus. Jos tarkastellaan koko rakennuksen elinkaarta, elinkaaren lopussakaan puutuotteet eivät ole ongelma, toisin kuin useat muut materiaalit. (Alasaarela 2008, 5.)

Puutuotteiden hiilinieluja ei lasketa kuitenkaan mukaan päästövelvoitteisiin. Syynä tähän on, ettei hiilitaseen laskenta ja raportointiperiaatteista ole päästy yksimielisyyteen. Hiilinielun käyttöä puurakenteen U-arvon kompensoinnissa ei ole vakioitu virallisesti, joten hiilinielun käyttöä ja sen vaikutusta tarkastellaan työssä ainoastaan teoreettisella tasolla tässä kappaleessa, eikä sitä käytetä kerrostalon U-arvon tai E-luvun laskennassa.

6.6 Kokonaisenergiankulutus – E-luku

Kokonaisenergiankulutusta on arvioitu erillisellä laskurilla (E-lukulaskuri, Puu-info). E-luku on olennainen osa runkorakenteen toimivuutta, mutta kuitenkin vain osa rakenneratkaisujen valintaperusteista.

Asuinkerrostalolle on määritelty E-luvulle vaatimustaso Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3, luku on 130 kWh/m^2 . Kuitenkin on huomioitavaa, että hirrelle pääasiallisena runko- ja seinärakenteena on myönnetty pien-, ketju- ja rivitaloihin E-lukuun 25 kWh/m^2 lievennys (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 9), sen perusteella voisi olettaa, että lievennys koskisi myös asuinkerrostaloja, jolloin E-luku hirsikerrostalossa voisi olla enintään 155 kWh/m^2 . Tulkinta on kuitenkin aiheellista varmistaa kohdekohtaisesti paikalliselta rakennusvalvontaviranomaiselta niin kauan, kuin siihen ei ympäristöministeriön toimesta ole erillistä ohjeistusta RakMk osassa D3. Liitteen 2 laskennassa hirsikerrostalon U-arvo on laskettu runkovahvuudella 270 mm, sekä tavanomaisin ylä- ja alapohjan eristepaksuuksin (AP 0,17 ja YP 0,09). Näiden arvojen myötä pääsi jo hyvin lähelle varsinaista asuinkerrostaloille määritettyä raja-arvoa tuloksella 136 kWh/m^2 , ja vertailuarvollakin saavutetaan 143 kWh/m^2 , jotka molemmat alittaisivat oletetun hirrelle asetettavan E-luvun maksimiarvon. Tilanteessa, jossa hirrellä ei olisi käytettävänään tätä E-luvun lievennystä, voisi kuitenkin yksinkertaisin toimin päästä arvoon 130 kWh/m^2 tai alle.

Laskennassa on käytetty ilmanvuotoluvulle q_{50} maksimiarvoa $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, mutta nykyaikaisin menetelmin toteutetulle hirsitalolle ilmanvuotolukuna voisi käyttää $2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, jota kuitenkin on mittauksin todennettava. Tämä riittäisi yksin alentamaan E-lukua niin, että hirsikerrostalo saavuttaisi vaadittua 130 kWh/m^2 alemman arvon. Pienempi ilmanvuotoluku esimerkkikohteessa voisi olla varmistettu esimerkiksi valmistajakohtaisen teollisen valmistuksen laadunvarmistusmenettelyllä, jonka avulla ilmanpitävyys voitaisiin luotettavasti arvioida ennakoita. (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 11.)

Jos oletetaan, ettei laskennassa ilmanvuotoluvun alentamista $2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ voisi huomioida, riittäisi pääasiallisina toimenpiteinä paremmalle E-luvun vertailuarvolle yläpohjan eristyksen kevyt lisääminen sekä ikkunatyypin vaihtami-

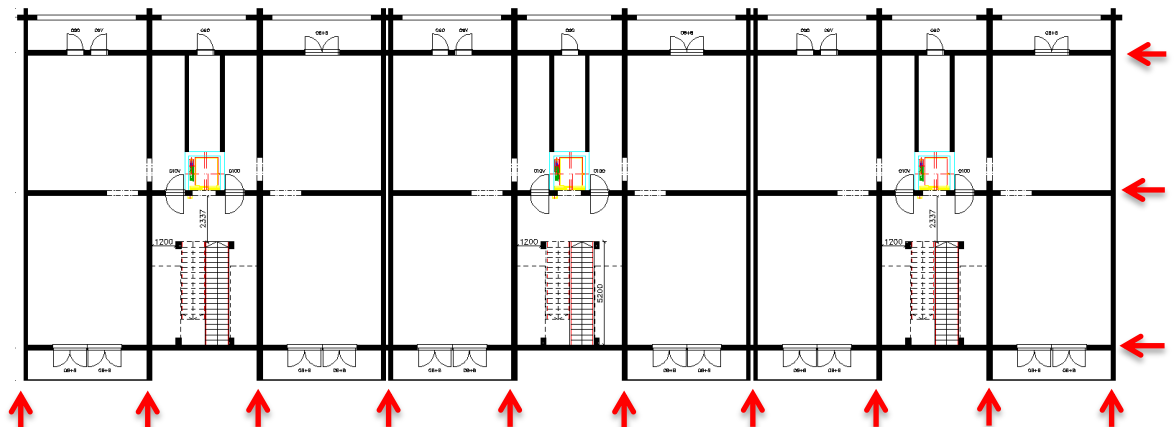
nen matalaenergiaikkunoihin, jolloin ikkunan U-arvo laskisi esimerkiksi 1,0:stä 0,7:een, mikä johtaisi riittävän vaatimustason saavuttamiseen. Ympäristöministeriön sivuilta saatavissa olevan rakennuksen lämpöhäviön taseauslaskimen avulla suoritettun laskennan mukaisesti, hirsikerrostalo täyttää myös lämpöhäviöille asetetut vaatimukset . (liite 3).

7 KOHDEKOHTAISET RAKENNERATKAISUT

Avaintekijöitä kustannustehokkaassa ja toteutuksellisesti optimaalisimmassa ratkaisussa ovat selkeät runkolinjat ja yksinkertaiset asuntojaot, jotta rakenne saadaan ääniteknisesti toimivaksi. Mallirunko Log-rise1 ja Log-rise3 on suunniteltu 4 asuinkerrosta käsittäväksi kokonaisuudeksi, joita rinnakkain monistamalla voidaan toteuttaa suuriakin kokonaisuuksia huomioimalla yksinkertaiset muutokset perusrunkomalliin. Korvaamalla runkomallin läpi kulkevan kantavan väliseinän samanlaisella rakenteella kuin muissa huoneiston välisissä seinissä, ja lisäämällä ulko-oven, saa samalla runkoratkaisulla yksinkertaisesti muutettua perheasunnot kaksioiksi. Ottaen huomioon hirren ekologisuuden ja materiaalina, on käytettävissä ratkaisuissa pidetty mielessä ekologisuus sekä ympäristöä tarpeettomasti kuormittavat vaihtoehdot soveltuvilta osin.

7.1 Kantavat peruslinjat

Peruslinjat voi ajatella erillisinä porrastorneina, jolloin hirren ominaisuudet saadaan käytettyä liitostekniikassa hyödyksi.



Kuva 11. Log-rise3 runkomalli, kantavat linjat.

Runkoratkaisussa ei ole varsinaista sisäpuolista porrashuonetta, vaan porrashuone jätetään kylmäksi tilaksi, joka katetaan esimerkiksi lassein säältä suojaan avaruuden säilyttämiseksi. Asunnot sijoitetaan porraskäytävän sivuille. Väliin sijoitetaan esimerkiksi huoneistokohtaiset varastot ja hissi lamellitalon tyyppisesti. Tällöin vältetään kaksoisrunkoseinien tarpeelta yhtä porrashuonetta ympäröivissä rakenteissa.



Kuva 12. Log-rise3 julkisivun luonnos kolmirappuisena lamellitalona.

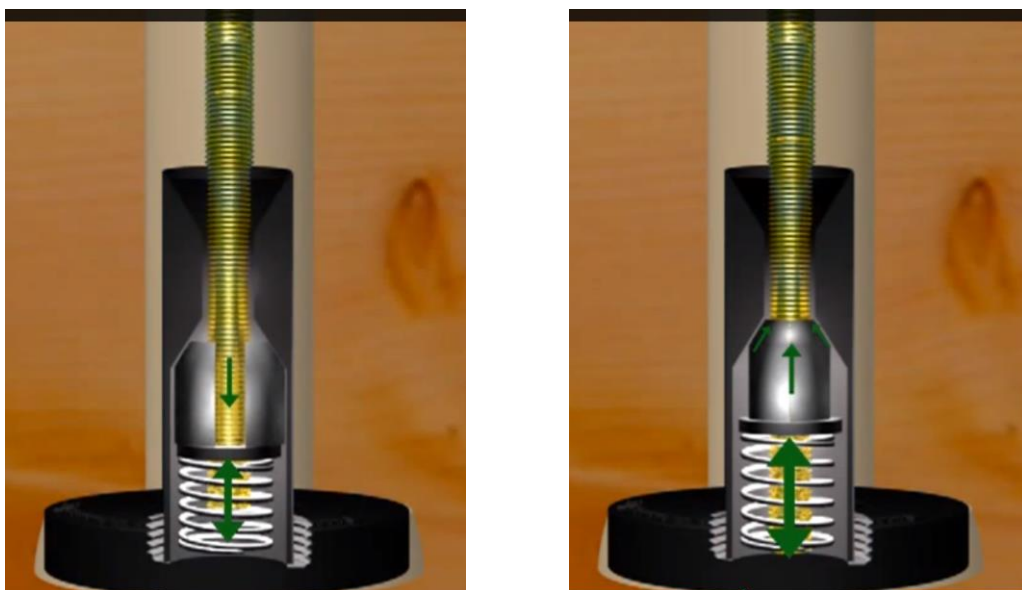
Välipohjien kohdille porraskäytävän etuseinään jätetään yhtenäisiä hirsilinjoja, jotta saadaan pidettyä porras avoimena ja valoisa. Toisena toimivana mallina on mahdollista käyttää esimerkiksi luhtikäytäviä talon toisella sivulla ja toisella sivulla parvekelinjaa. Näin asunnot ovat koko talon syvyisiä. Myös tällä ratkaisulla saadaan huoneistojen välisten seinien äänitekniset haasteet minimoitua.

7.2 Rakenteen jäykistyksen toteutus

Hirsirungon jäykistys perustuu hirsikertojen sitomiseen toisiinsa, ja tapitus on perinteisesti yksi hirsiseinän olennainen osa. Ilman tapitusta seinä on erittäin altis vertikaaliselle taivutusrasitukselle. Yleisimmin pehmytpuulajeista toteutettu tapitus ei ole yksin riittävä leikkausvoiman kestävyydeltään, kun kohteena on hirsikerrostalo, jossa seinärakenteen on jatkuttava yhtenäisenä koko rakennuksen läpi. Varteenotettavana versiona työssä tarkastellaan salvosten kohdista vinoruuvauksin toteutettavaa jäykistystä, jonka lisäksi painumisen vaikutuksien minimointiin teräksisin kierretangoin voi liittää kuvien 13-16 kaltaisen itsekiristyvän järjestelmän.

Jäykistystä suunnitellessa on huomioitava, että olemassa olevat ehdot perustuvat pääasiassa koekuormituksiin, jolloin näillä ehdoilla käytettävät vaihtoehdot ovat rajallisia. Kiristysjärjestelmää käyttäessä puristusvoiman voidaan olettaa olevan vakio, voitaisiin seinän jäykistystä suunniteltaessa ottaa huomioon kiristysjärjestelmästä aiheutuva kitkavoima. Kiristysjärjestelmällä voidaan hallita hirsien liukumaa toisiinsa nähden. Vaihtoehto on kuitenkin rajattu tämän työn ulkopuolelle, sillä kiristysjärjestelmän avulla toteutettavan jäykistysratkaisun tutkiminen vastaisi laajuudeltaan kokonaista erillistä työtä.

Hirsikerrostalon rakennejärjestelmään ja jäykistyssuunnitteluun vaikuttava ominaispiirre on, etteivät välipohjat jatku huoneistosta toiseen äänen ja värähelyn johtumisen takia. Huoneistot ovat toisistaan erillisiä osia, jolloin jäykistys toteutetaan huoneistoa rajaavilla seinillä, jotka kuvassa 11 on osoitettu. Tällöin niin sanotut huoneistotornit kiinnitetään toisiinsa vain paikoittain vaakarakenteiden kohdalta.

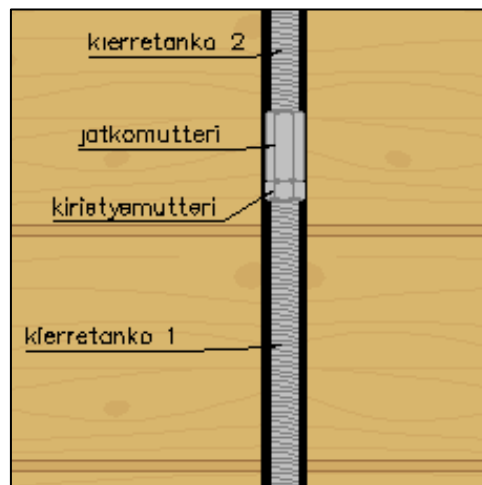


Kuva 13. ja 14. Kierretangolle on järjestelmässä vastakappale, joka kiinnitetään alimman hirsien pohjaan ennen asennusta. Vastakappaleessa on sisäänrakennettu lukittuva järjestelmä, joka sallii kierretangon painamisen kappaleen sisään, mutta jousivoiman vaikutuksesta lukitsee tangon tiiviisti paikalleen. (*True North Log Homes*)

Sylinterinomaista kappaletta, jolla itsekiristyvää mekanismia kierretangon yläpäähän toteutetaan, ei löytynyt etsinnäkään jälkeen saatavana valmiina Suomesta. Soveltuvia järjestelmiä on kuitenkin suhteellisen helppo valmistaa konepajaolosuhteissa tai niitä voi tilata ulkomaisilta toimijoilta.

Erytisesti Keski-Euroopassa on yleisesti käytössä erilaisia hydraulisesti jälkiki-ristettäviä kierteistettyjä sylintereitä, jotka voivat sopia käyttöön. Alla olevissa kuvissa 13–15 on esitetty Ontariolaisen hirsiteollisuusyrityksen True North Log Homes:n oma patentoitu kiristysjärjestelmä, jossa selviää sylinterin toiminta-periaate.

Kuvissa 13 ja 14 esitetty alimpaan hirteen tuleva vastakappale voidaan vaihtoehdoisesti korvata esimerkiksi laipallisella kierrehylsällä tai lyöntimutteria vastaavalla kiinnitysosalla, joka sopii käytettävään tankokokoon. Kyseisen yrityksen järjestelmässä on käytetty kokopitkää tankoa, joka asennetaan esiporrattuun reikään, kun seinä on tavoitekorkeudessaan. Kerrostalon seinäkorkeuksissa asettaisi tangon pituus suuria haasteita, joten se on tällöin järkevin toteuttaa osatangoin. Tangot liitetään jatkomutterein toisiinsa (kuva 16) Jatkomutterit on yksinkertaista asentaa paikalleen muun rungon kasaamisen yhteydessä.

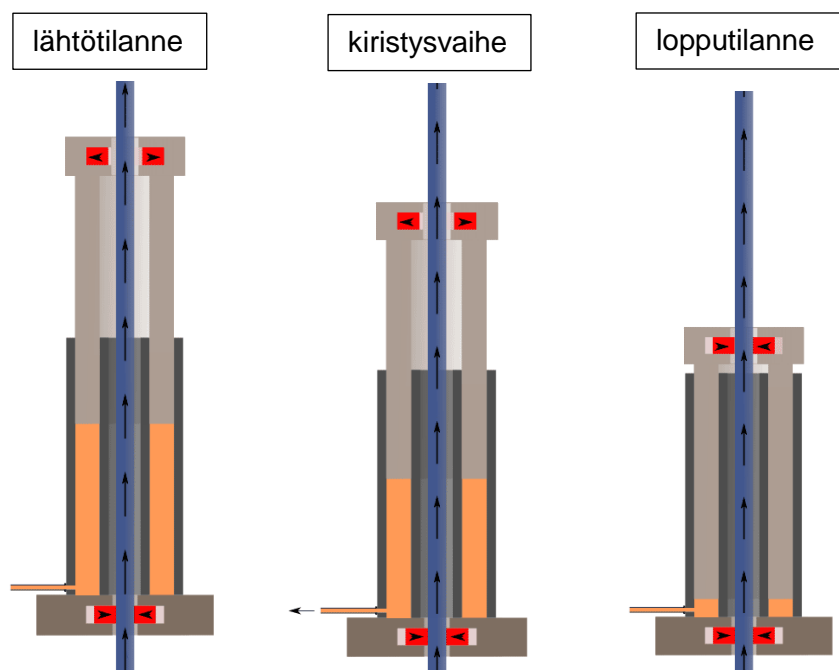


Kuva 15. vasemmalla. Yläpään sylinteriosan toimintamalli. Sisään on rakennettu kiila, joka sallii ainoastaan yhdensuuntaisen liikkeen kierretangolle. Kun sylinteri on asetettu paikalleen, sen päälle asetetaan jousi, joka kiristetään niin, että se varmasti kattaa mahdollisen painuman. Kuva: (True North Log homes)

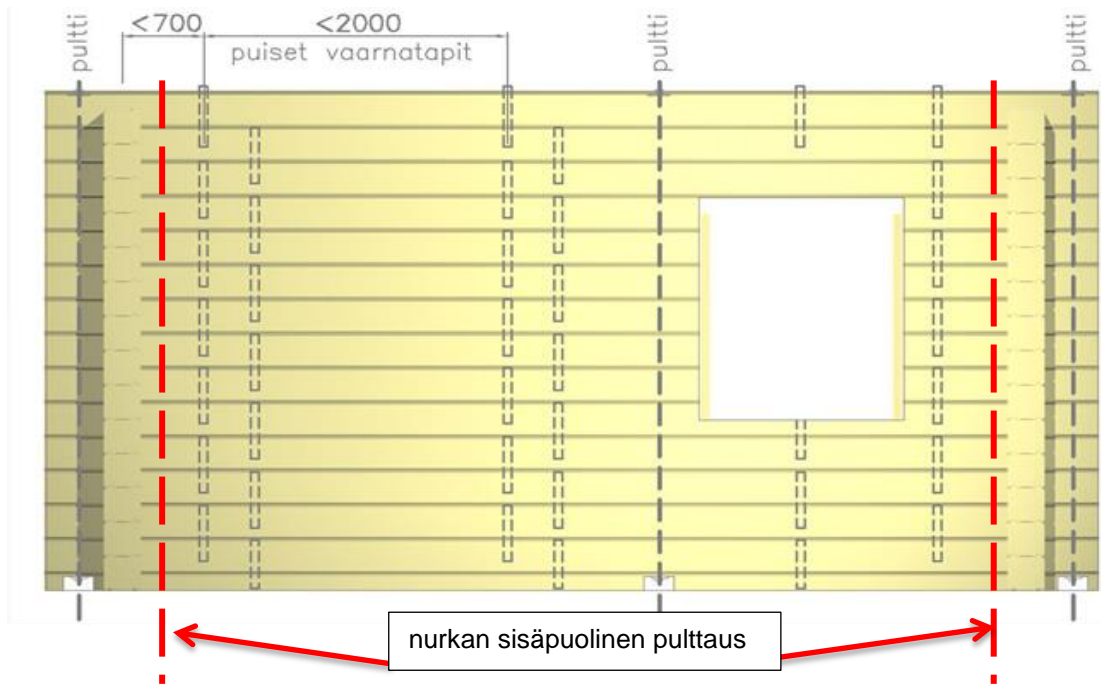
Kuva 16. oikealla. Jatkomutteriliitos hirren sisällä. Tavallista mutteria käytetään jatkomutterin lukitsemiseksi paikalleen.

Kiristysjärjestelmän tarkoitus on pitää hirsiseinä jatkuvasti puristettuna rakenteena huolimatta painumasta. Näin varmistetaan tiivyyden säilyminen sekä estetään haasteellisesti hallittavien lisävaakavoimien vaikutukset ja epäkeskisyyden muodostuminen seinärakenteeseen. Seinää kiristettäessä vertikaali-

sesti on kuitenkin muistettava, että kiristysvoiman tulisi mukailla luonnollista painumaa. Liiallista kiristämistä on vältettävä, jottei sillä aiheuteta puun kasaan puristumista. Kasaan puristuessa puun rakenne pettää ja hirsi murtuu, mikä johtaa seinän lujuuden heikentymiseen. Kun hirsiseinä pysyy aina lievästi puristettuna, vältetään monta riskiä. Itsekiristyvä järjestelmä estää yksittäisten hirsien nurjahtamisen, minimoi puun kosteusvaihteluista johtuvan elämissen vaikutukset sekä se tiivistää rakennetta puun luonnollisen kutistumisen edetessä.



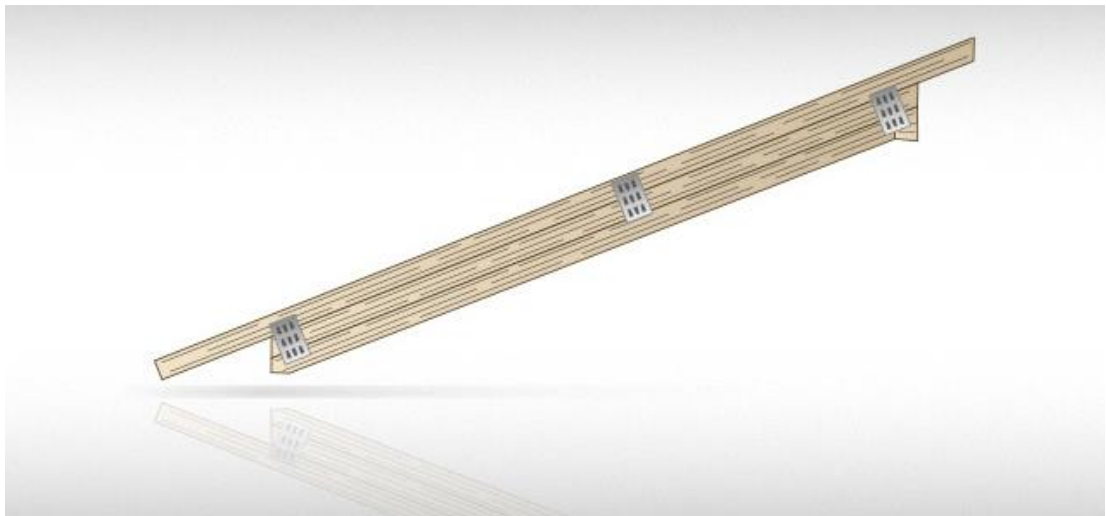
Kuva 17. Hydraulisen kiristysjärjestelmän toimintaperiaate. Toimintaperiaate on sama kuin mekaanisesti kiristettävässä versiossa. Kierretanko vedetään kireälle hydraulisesti, jonka jälkeen se jätetään paikalleen ja sylinteri jatkaa kiristymistään itseksensä painuman mukaan.



Kuva 18. Pulttaus, tai tässä tapauksessa kiristystangot on mahdollista asentaa myös salvoksen sisäpuolelle erityisesti tilanteissa joissa käytetään perinteisestä pitkänurkasta poikkeavaa liitosta, kuten työn runkoratkaisussa. Sisäpuolisen pulttauksen suositeltava etäisyys riippuu valmistajasta erilaisten hirsiprofiilien johdosta. (Kuva: HTT Ry 2011,3)

7.3 Kantava kattorakenne

Kantava kattorakenne muodostuu harjapalkista ja vaarnapalkistosta, tai vaihtoehtoisesti pitkän jännevälin tapauksissa harjapalkin lisäksi useammasta primääristä kattopalkista lappeiden keskellä. Vaarnapalkki palvelee käyttötarkoituksessaan parhaiten, johtuen loveuksista, räystäistä, harjan toteutuksesta sekä ottaen asennus huomioon.



Kuva 19. Esimerkki vaarnapalkista. (Sepa-group)

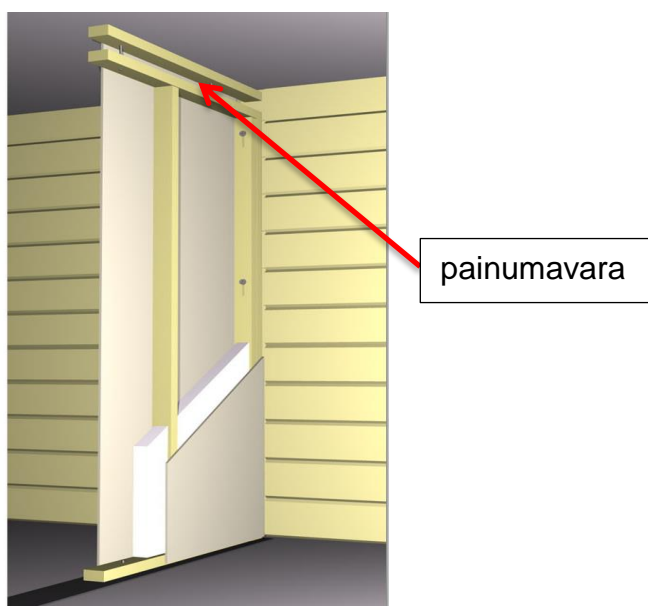
Vaarnapalkin etuna on sen kustannustehokkuuden lisäksi teollinen esivalmistus, jossa voidaan toteuttaa palkkiin suoraan räystäs- ja harjaylitykset kuvan 19 osoittamalla tavalla, joka poistaa työmaalta esimerkiksi kerto- tai liimapuu-palkiston päälle asennettavan tuuletusvälikorokkeen asennustyövaiheen.

Vaarnapalkin päälle päästään suoraan asentamaan vaneri, jolloin rakennus saadaan nopeasti säältä suojaan.

Vaarnapalkisto ja muu vesikattorakenne on mahdollista myös elementoida, jolloin vesikatto saadaan mukailemaan muuta pitkälle esivalmistettua rakentamistapaa ja asennusaika hyvin lyhyeksi. Kattoelementtien määräävät mitat riippuvat katon sekä käytettävän vanerilevyn koosta, jolloin jako voidaan sovittaa tarpeen vaatimalla tavalla.

7.4 Väliseinät

Kevyet väliseinät on mahdollista toteuttaa pienemmästä hirsiprofiilista, työssä on kuitenkin oletettu väliseinärakenteiden olevan kevyitä rankaseiniä, jolloin niiden sijoitus ei vaadi huomiota runkolinjojen suunnittelussa. Näin ne ovat helpommin muuteltavia rakennuksen toivottavan huonejaon mukaisesti, jopa asukaskohtaisesti, ja toteutettavissa erillisenä itse runkorakenteen suunnitteluvaiheesta. Kuvassa 20 on perinteisesti toteutettu rankaseinä, jossa esitellään painumavaran toteutus. Samalla rakennetyypillä saadaan ääneneristävyyttä väliseiniin.

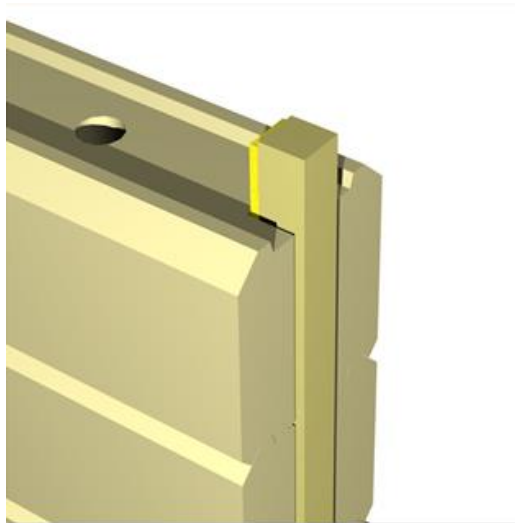


Kuva 20. Väliseinän liitos hirsiseinään. (RT 82-11168, 3)

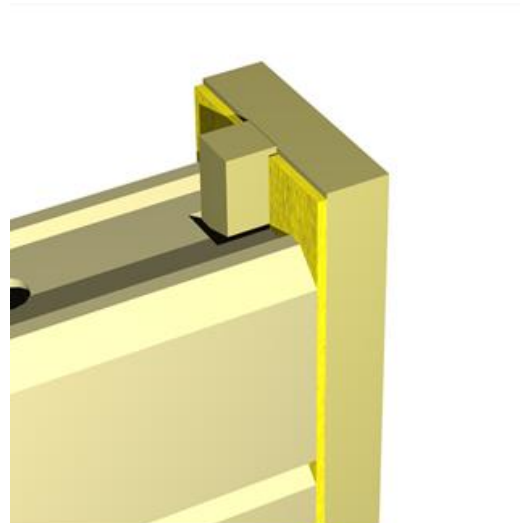
Rankaseinän eduksi voidaan laskea yksinkertaisuus toteuttaa myös haastavat, esimerkiksi vinon vesikaton alaiset seinärakenteet. Rankarakenteisena on perusteltua toteuttaa myös seinät, jotka tulisivat kustannuksiltaan kalliiksi toteuttaa hirrestä kohdissa, joissa itse hirren kantavuutta ei tarvita. Väliseinätolpan voi kiinnittää hirteen joko runkotolpan läpi, soikeaksi sahatusta reiästä, tai vaihtoehtoisesti karapuun avulla samoin kuin ikkunat ja ovet. Karapuun käyttö edellyttää väliseinien sijaintitietoa jo ennen hirren sahausta, jotta karapuulle voidaan ajaa tarvittava varaus jo tehtaalla. Karaurat on mahdollista toteuttaa myös jälkikäteen. Suunniteltaessa kuitenkin teollisesti toteutettavaa rakennusta, ei suunnitteluvaiheessa runkoon jätetä tietoisesti osia, jotka vaativat moottorisahatyöstöjä. Niiden tarkkuus on aina heikompi kuin CNC-ohjatussa työstökeskuksessa hyvillä terillä toteutettujen työstöjen.

7.5 Ikkunat, ovet ja muut kiinteät liittyvät rakenteet

Kuten perinteisessäkin hirsitalossa, hirsien päihin ajetaan tehtaalla ura, johon sijoitetaan niin kutsuttu karapuu, kuvat 21 ja 22. Karapuu estää tehokkaasti kiinnitettävän kiinteän rakenteen, esimerkiksi ikkunan, sivuttaisen siirtymän, mutta mahdollistaa samalla pystysuuntaisen painuman.



Kuva 21.



Kuva 22.

Kaksi erilaista toteutusta karapuusta eri käyttötarkoituksiin. Kuvan 22 tapaa käytetään perinteisimmin ikkunaliittymissä. (HTT Ry 2011, 3)

Hirsiseinään liitettävien rakenteiden toteutuksessa tulee aina muistaa hirren painuminen, vaikka se olisi vähäistäkin. Karapuut jätetään aukoissa painuman määräämä mitta vajaaksi, jolloin esimerkiksi ikkunarakenteille ei muodostu vaurioita seinän painumasta huolimatta.

7.6 Äänitekniset ratkaisut

Äänitekninen suunnittelu on yksi hirsikerrostaloa koskevista ratkaisua vaativista asioista nykyisin normein. Sen laadukas toteutuminen vaatii perehtyneisyyttä tekijältä ja ennakkoluulotonta lähestymistapaa suunniteltaviin ratkaisuihin. Tämän johdosta lähestyminen useamman asunnon hirsitaloon lähtee rakennuksen peruslinjoista (kappale 7.1).

Yksiaineiset massiivihirsiseinät ovat akustisen toimintansa kannalta yksinkertaisia rakenteita. Ilmaääneneristävyyttä määrää erityisesti rakenteen massa (kg/m^2) sekä rakenteen koinsidenssin rajataajuus, joka riippuu rakenteen massasta ja jäykkyydestä (RT 82–11168 2014, 12). Koinsidenssi tarkoittaa äänienergian siirtymistä seinämän läpi rakenteen taivutusvärähtelyn välityksellä, eli ääni läpäisee hirsirakennetta vaimentamalla materiaalin aiheuttamien sisäisten häviöiden vuoksi (Wood Focus 2004, 9).

Perehtyneen äänisuunnittelijan ammattitaidon hyödyntäminen on suositeltavaa erityisesti rungon peruslinjoja hahmoteltaessa, jolloin turhilta muutoksilta vältytään suunnittelun myöhemmissä vaiheissa. Työssä tarkastellaan äänitekniisiä haasteita pääpiirteittäin. Suunnittelussa on toteutettu niihin valmiiksi soveltuvia toteutusratkaisuja. Ratkaisut ovat tarpeen vaatiessa käytettävissä kohdissa, joissa äänen sivutiesiirtymät voivat muodostua asetettuja raja-arvoja suuremmiksi.

Hirsiseinän ääneneristävyys riippuu seinän massasta, varauksen tiiveydestä ja hirsiseinän jäykkyydestä. Esimerkkirungon rakenneratkaisussa on hyvin mahdollista, ettei erillistä äänieristystä ole tarpeellista asentaa lainkaan tai sen tarve on hyvin vähäinen. Hirsi on ristiinliimattua ja liitokset syviä. Koska puu johtaa ääntä paremmin syiden suuntaan kuin kohtisuoraan syitä vastaan, jää liitoskohdissa salvosten väliin vain vähän lamellin osaa, joka jatkuisi huoneistosta toiseen yhtenäisenä.

Riittävän paksu huoneistojen välinen rakenne vähentää tehokkaasti äänen johtumista. Välipohjan paksuus on 500 mm, jossa hirsien varaukset katkaisevat rakennetta. Huoneistojen välisen seinän paksuus on 530 mm, joten on mahdollista ettei äänitekniisiä katkaisuja tarvita lainkaan. On myös mahdollista, että työssä runkoon suunniteltu kaksoishirsirunko huoneistojen välisenä seinänä on tarpeeton, jos se korvataan 270 mm leveällä hirrellä johtuen hirren massasta. Oletukseen ei kuitenkaan ole syytä luottaa, vaan äänitekniisen toiminta on tarpeellista tutkia kohdekohtaisesti. Saatavilla olevaa todennettua tutkimusmateriaalia pelkän 270 mm ristiinlaminoidun hirsiseinän ääneneristävyydestä kohteen kaltaisena rakennemallina ei ole saatavilla vertailupohjaksi. Tästä johtuen äänitekniisen toiminnan tarkempi analysoiminen tässä työssä olisi työmääränä niin suuri, että se on rajattu työn ulkopuolelle jatkettavaksi omana, erillisenä työnä.

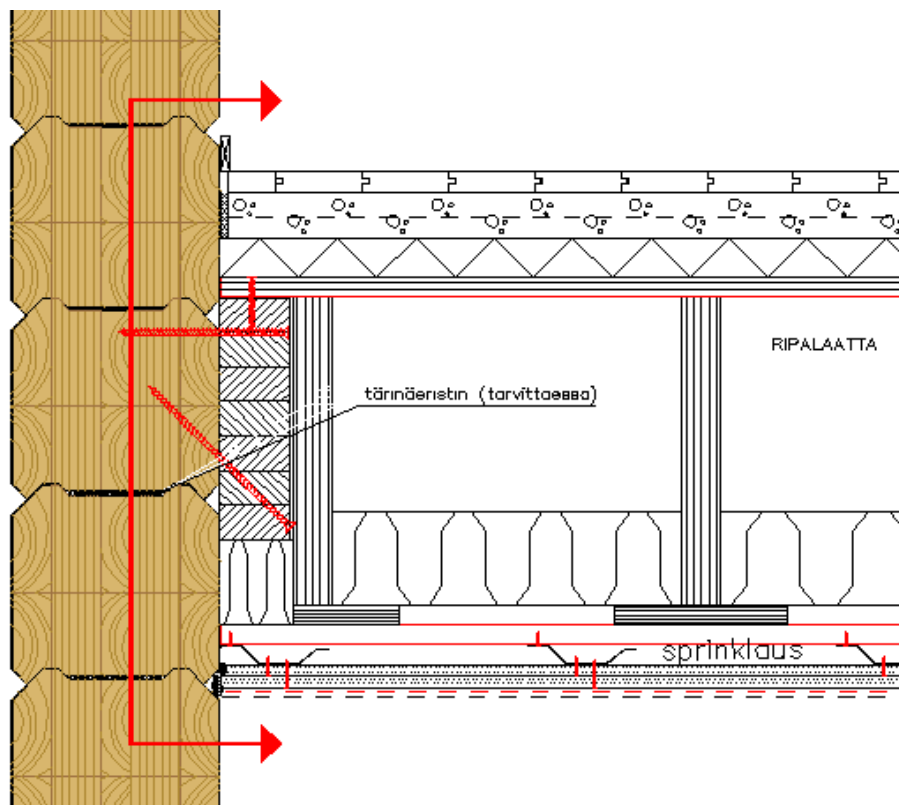
Alueellisissa kaavamääräyksissä vaadittavat äänierotasot ovat yleensä vähintään 28 dB ja enintään 40 dB. Hirsirakennuksessa äänitasoeroksi on mahdollista saavuttaa HTT Ry:n selvityksen mukaan 28...30 dB, kun käytetään normaaleja ikkunarakenteita ja hirsityyppejä LH180...LH205. Siitä voi päätellä ettei ristiin liimatulla 270 mm leveällä hirrellä korkeampienkaan vaatimusten täyttäminen muodostu ongelmaksi, kuten on esitetty myös taulukossa 5. (RT 82–11168 2014, 12.)

Taulukko 5. Massiivihirsiseinän ilmaääneneristysluvut (db) (RT 82–11168 2014, 13).

HH = höylähirsi ja Ø = pyöröhirsi, mitat mm.			
Hirsi	Rw	Rw+C	Rw+Ctr
HH95	33	31	28
HH112	34	32	29
HH120	35	34	31
HH135	36	34	32
HH180	39	37	36
HH205	40	38	37
HH270	40	39	39
Ø 150	30	29	26
Ø 170	31	29	26
Ø 190	32	31	27
Ø 210	33	32	29
Ø 230	37	35	33

7.6.1 Äänen johtuminen välipohjan kohdalla

Itse välipohjarakenne ei ole rakennusteknisessä mielessä muusta puurakentamisesta poikkeava ääniteknisen toiminnan kannalta, vaan massiivinen, yhtenäisenä välipohjan ohi jatkuva runko. Teoriassa välimatka äänen siirtymiselle välipohjan ohitse on jo niin pitkä, ettei liiallinen äänen johtuminen alempiin kerroksiin ole kovin todennäköistä. Johtuen välipohjarakenteen 500 mm paksuudesta, osuu välipohjarakenteen kohdalle jo kaksi hirsikerran välistä saumaa mikä alentaa äänen johtumista erityisesti tiivistettynä, puu myös materiaalina johtaa ääntä paremmin syyn pituussuunnassa kuin syitä vastaan kohtisuoraan suuntaan. Lisäksi äänen johtumisen estämiseen hirren varaukseen on mahdollista tarvittaessa asentaa esimerkiksi ääntä eristävä Sylomer- tai Sylodyn-nauha, mikäli sille jätetään varaukseen tila.



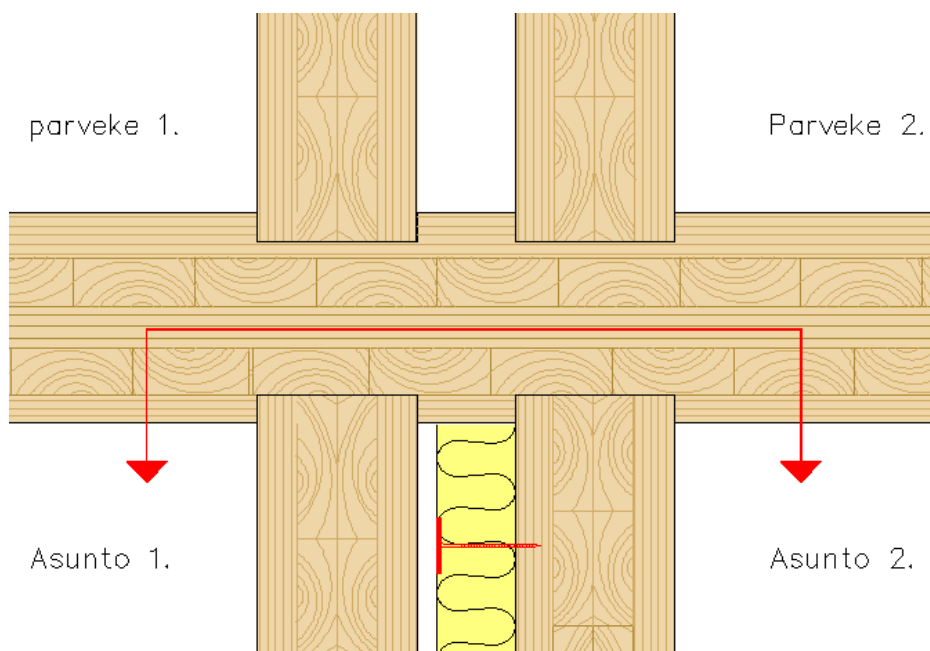
Kuva 23. Välipohjan liitos, tärinäeristimen sijoituskohta esitettyinä.

Tärinäeristimet, esimerkiksi Sylomer- ja Sylodyn –tuotteet ovat solumaisesta polyuretaanista valmistettuja tuotteita. Ne on suunniteltu eristämään tärinää, tai tässä tapauksessa runkomelua. Elinkaari tuotteella on yli sata vuotta, eikä

aine sidos kosteutta. Tuote tulee valita aina siihen kohdistuvan kuormituksen mukaisesti (getzner 2010). Jos tuotetta päädytään käyttämään hirsien välissä, on suositeltavaa selvittää tuotteen rakennusfysikaalinen toiminta tarkoin, kuten myös sen soveltuvuus kohteeseen. Vaihtoehtoisesti tuotteelle voisi suorittaa testauksen käyttöolosuhteissa rakennusfysikaalisen toiminnan todentamiseksi. Huolimatta siitä, että solumainen polyuretaani materiaalina on kosteutta sitomaton, ja ainakin teoriassa ei käytölle esteitä ole kuivan hirren välissä.

7.6.2 Äänen johtuminen huoneistojen välisten seinien kohdalla

Huoneistojen välisen seinän kohdalla noudatetaan työn rakennemallissa kaksoisrunkojärjestelmää, jolloin runko muodostuu kahdesta, noin 204 mm paksuisesta erillisestä ristiinlaminoidusta hirrestä (kuva 24). Rungot liittyvät toisiinsa ainoastaan perustusten, yläpohjarakenteiden ja ulkoseinien päälinojen välityksellä. Näin runkomallilla saadaan ääniteknisen suunnittelun haastavimmat osat karsittua minimiin.



Kuva 24. Huoneistojen välisen seinän liitos ulkoseinään ilman runkolinjan katkaisua.

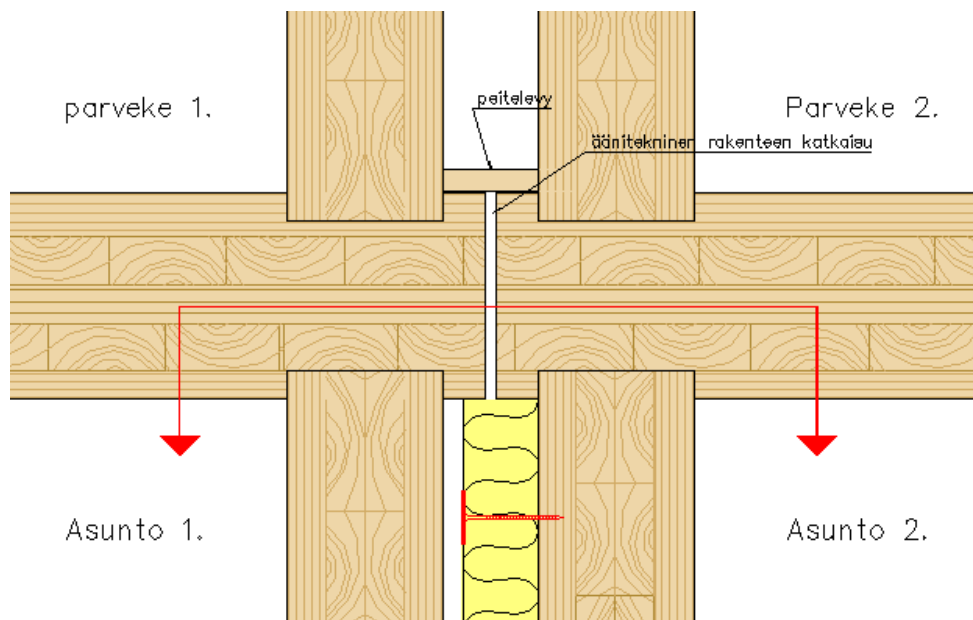
Käytännössä huoneistojen välisen seinän kohdalla sivutiesiirtymissä tarkastelun alaiseksi tulee ensisijaisesti ilmäänen johtuminen. Asuinhuoneistojen vä-

lisen seinän ääneneristävyyden vaatimus R'_w on 55 dB (C1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 1998, 5).

7.6.3 Äänieristys muihin tiloihin

Vaikka useimmiten kriittisimmiksi ja eniten huomiota vaativimmiksi äänitekni-
sen suunnittelun kohdiksi asuntorakentamisessa mielletään huoneistojen väli-
set sivutiesiirtymät, Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1 määritte-
lee maksimirajat myös muihin tiloihin rajoittuviin rakenteisiin. Esimerkiksi
asuntojen yhteiseen porrashuoneeseen rajoittuvan seinän ääneneristävyyden
vaatimus R'_w on 39 dB (C1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 1998, 5).
Asunnon ja porrashuoneen välisen seinän ääneneristävyys ei pitäisi muodos-
tua rajoittavaksi tekijäksi taulukon 5 perusteella. Tärkein tekijä ääneneristyk-
sessä tämän jälkeen on ovi.

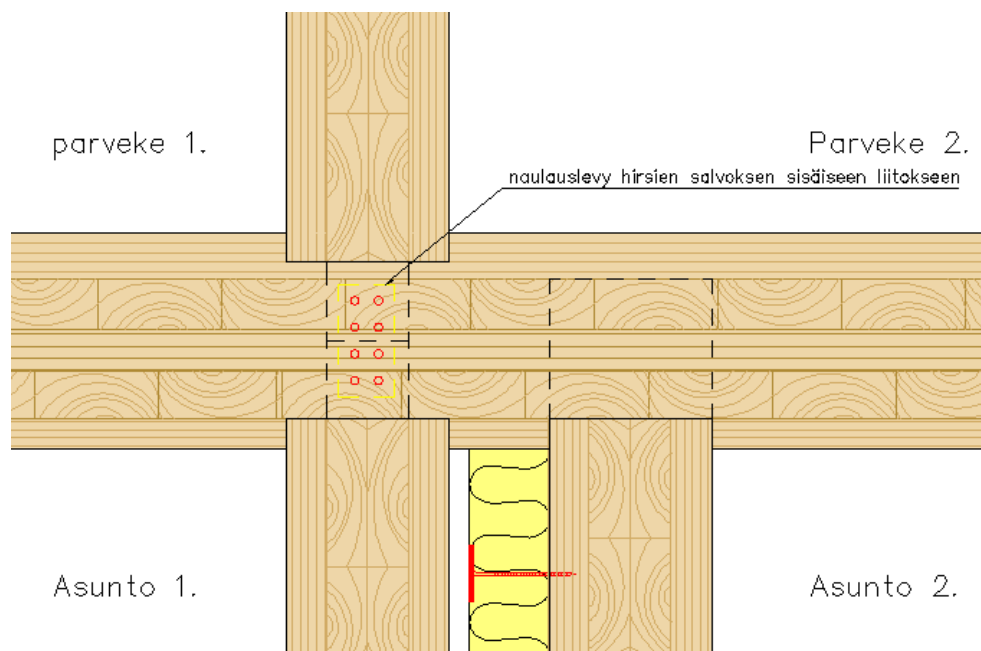
Koska on mahdollista, että huoneistojen välisessä seinässä sivutiesiirtymä
nousee raja-arvoa korkeammaksi, on päälinja rungosta mahdollista katkaista
kaksoisrungon välillä esimerkiksi kuvassa 25 esitettyyn tapaan.



Kuva 25. Katkaistu runkolinja.

Mikäli hirsirakenteessa tulee vaihtoehdoksi runkolinjan katkaiseminen, vaiku-
tuksia pitää tarkastella huolellisesti kohdekohtaisesti ennen ratkaisun käyttöä.
Riippuen toteutettavasta runkomallista ja sen korkeudesta, katkaiseminen voi

vaikuttaa rungon stabiileettiin siten, että se aiheuttaisi muutoksia esimerkiksi kattorakenteissa.



Kuva 26. Katkaisematon runkolinja, kun parvekkeiden jakoseinä on toteutettu yhdellä hirrellä.

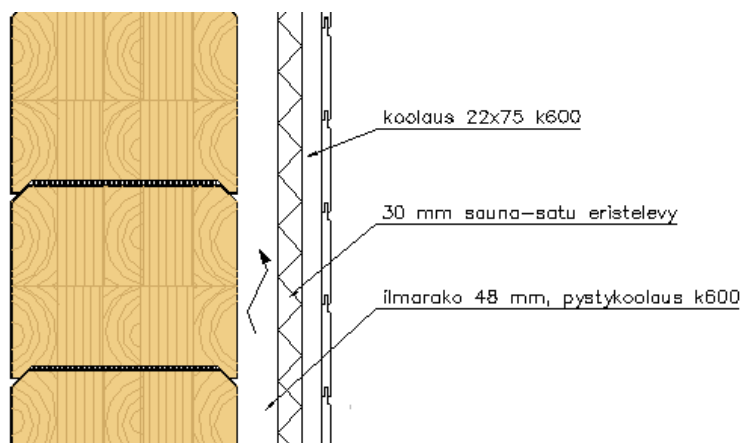
Huoneistojen välisissä seinissä on perusteltua kustannus- että rakenneteknisiin syistä käyttää kevyempää hirsiprofiilia, esimerkissä 204x260(271) mm. Seinän kantavuus kaksoisrunkorakenteena riittää eikä massiivisemmalle hirrelle ole tarvetta, näin yksittäisen seinän omamassa on myös pienempi kuin tarkastellun ulkoseinärakenteen. Kuitenkin erilliseksi tehdyt rungot on mahdollista sitoa seinän sisällä kulkevista puristusjärjestelmän terästangoista toisiinsa teräsosalla. Terässidosten kohdat ja jako on suunniteltava käytettävän runkomallin mukaan. Karkeasti arvioiden sidosterästen jaoks riittää ~ 2000 - 3000 mm vertikaalisesti, kun käytetään yhtäaikaisesti seinässä kohdassa 7.2 esitellyn kaltaista kiristysjärjestelmää ja seinä pysyy puristettuna. Käytettäessä liitostapaa, jossa seinälle ei haluta näkyvää hirsisalvosnurkkaa, sijoitetaan terässiteitä tarvittava määrä nurkan sisäpuolelle ja seinän pituudelle.

Kaksoisrunkoa ei ole välttämätöntä jatkaa parvekkeille saakka, vaan on mahdollista päättää jäykistävät seinän parvekelinjaan esimerkiksi lohenpyrstö – liitoksilla, ja liittää erillinen hirsiseinä parvekeväliseinäksi. Muutoksen vaikutukset on kuitenkin huomioitava myös parvekevälipohjien suunnittelussa.

7.7 Märkätilat

Kuten mihin tahansa kohteeseen, märkätilojen toteutus massiivihirsiseinäiseen kerrostaloon vaatii huolellisen suunnittelun. Märkätilojen toteutus on suunnittelijakohtaista: toteutustapoja on monia, myös hirsirunkoisiin rakennuksiin, eikä yhtä ainoaa absoluuttista oikeaa tapaa ole. P2 -paloluokan pintaluokkavaatimuksen huomiointi tuo oman osansa märkätilojen toteutusvaihtoehtoihin, kuin myös puurakenteinen välipohja.

Puun pintaluokkavaatimus on D-s2, d2. Tarkastelua tehdään asuinkerrostalossa joka kuuluu paloluokkaan P2, joka edellyttäisi saunarakenteissa toiminnallisen palomitoituksen käyttöä kuten muuallakin asunnossa, riippumatta siitä jätettäisiinkö seinä hirsipinnalle. Vaatimus ei muutu, vaikka sauna toteutettaisiin koolaamalla ja paneeloimalla seinä: paneeliseinä ei itsessään tuo parempaa pintaluokkaa kuin puu muutoinkaan.



Kuva 27. Saunan seinän rakennemalli. Kosteuden mahdollisen tiivistymisriskin vuoksi puupinnoille, on hirren ja märkätilan pintarakenteen väliin jätettävä ilmarävi.

Märkätilojen toteutus olisi syytä tehdä erillisenä vapaasti välipohjarakenteen päällä seisovana rakenteena rungon sisään. Märkätilan rakenteita ei voi tukea hirsiseinään painuman johdosta, vaikka painuma olisi hyvin vähäistä ja tapahtuisi pääasiassa toteutusvaiheen aikana. Rakennemallin kanssa ei tule ylimääräisiä haasteita, kun märkätiloille suunnitellaan harkkorakenteena kaikki seinät, jolloin märkätilojen rakenne toimii omana kokonaisuutenaan. Alaslas-kettu kattorakenne voidaan näin toteuttaa kokonaan harkkorakenteen varaan, jolloin puurungon elämisen kanssa ei tule ongelmia. Märkätila painuu kokonaisuudessaan hirteen kiinnitetyn välipohjan mukana.

Märkätilojen yläpuolisen talotekniikan on painuttava huoneiston kattoa rajaavan välipohjan mukana, joka on huomioitava jättämällä riittävä painumavarana välipohjan ja alaslasketun katon väliin.

Hirsiseinän ja märkätilarakenteen välinen tuuletusrako on tarkoituksenmukaista olla vähintään 30 mm, jotta ilma pääsee kiertämään kunnolla. Käytettävän seinärakenteen pituuksien päihin tulee jättää rako myös nurkissa, jotta ilman liikkuminen on mahdollista harkon takana.

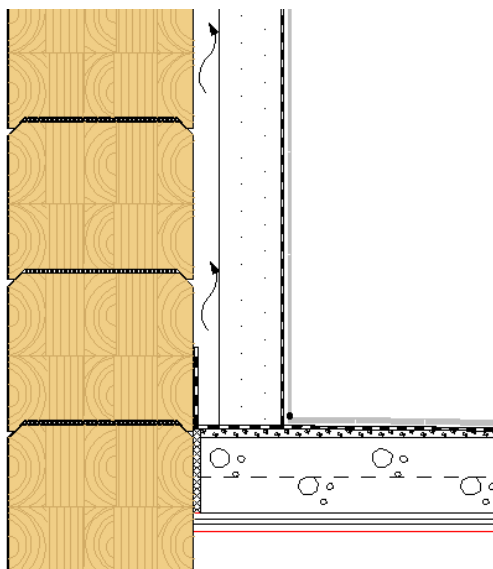
7.7.1 Märkätilan harkkorakenteet

Siporex – väliseinälaatta

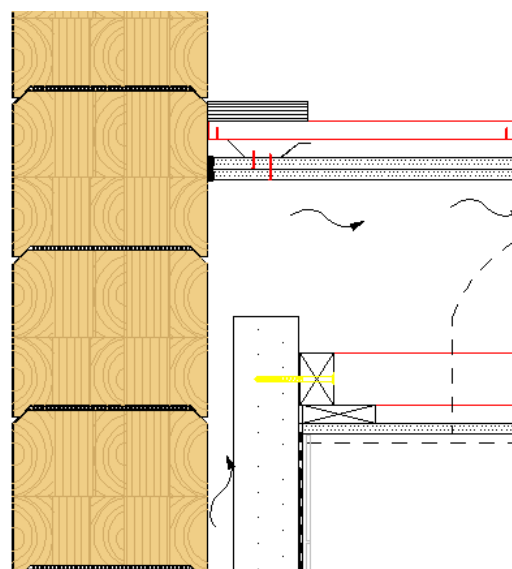
Siporex -laatta on kevyt verrattuna muihin harkkorakenteisiin. Laatan paino valmiina rakenteena ilman pintalaatoitusta on enimmillään 65 kg/m^2 . Laatta on mittatarkka, ja reunaponttien avulla asennus onnistuu tarkasti. Laatta voidaan rakentaa suoraan välipohjarakenteen päälle. Märkätiloissa suositeltava laatan paksuus on vähintään 90 mm, riippuen asennettavasta pinnoituksesta ja laitteista. Siporexin etu materiaalina on samankaltainen käyttäytyminen kuin puulla kosteusteknisessä mielessä: se ei sido kosteutta itseensä. Materiaali on helppo työstää roilojen ja putkivetojen kannalta. Siporex - tuotteissa on saatavana myös väliseinäelementtiä, joka on suurempana kappaleena hiukan nopeampi asentaa, mutta samalla myös raskaampi välipohjaan aiheutuvalta kuormaltaan, painaessaan noin 135 kg/m^2 . Materiaalina siporexin päästöluokka on myös M1, kuten muidenkin työssä käytettäväksi valittujen materiaalien. (H+H Finland 2004,7.)

Kahi -väliseinäpontti

Kahi-ponttiharkko on hyvin samankaltainen ominaisuuksiltaan kuin siporex -laatta. Sen paino on kuitenkin noin 135 kg/m^2 (Weber), joten se on huomattavasti siporex -laattaa raskaampaa, jolloin välipohjarakenne vaatii kantavuuden tarkastuksen. Etuna siporex -laattaan on valmiit roiloponttiharkot putkivedoille, jolloin säästetään työmaalta yksi työvaihe.



Kuva 28. Märkätilan seinärakenne, siporex.



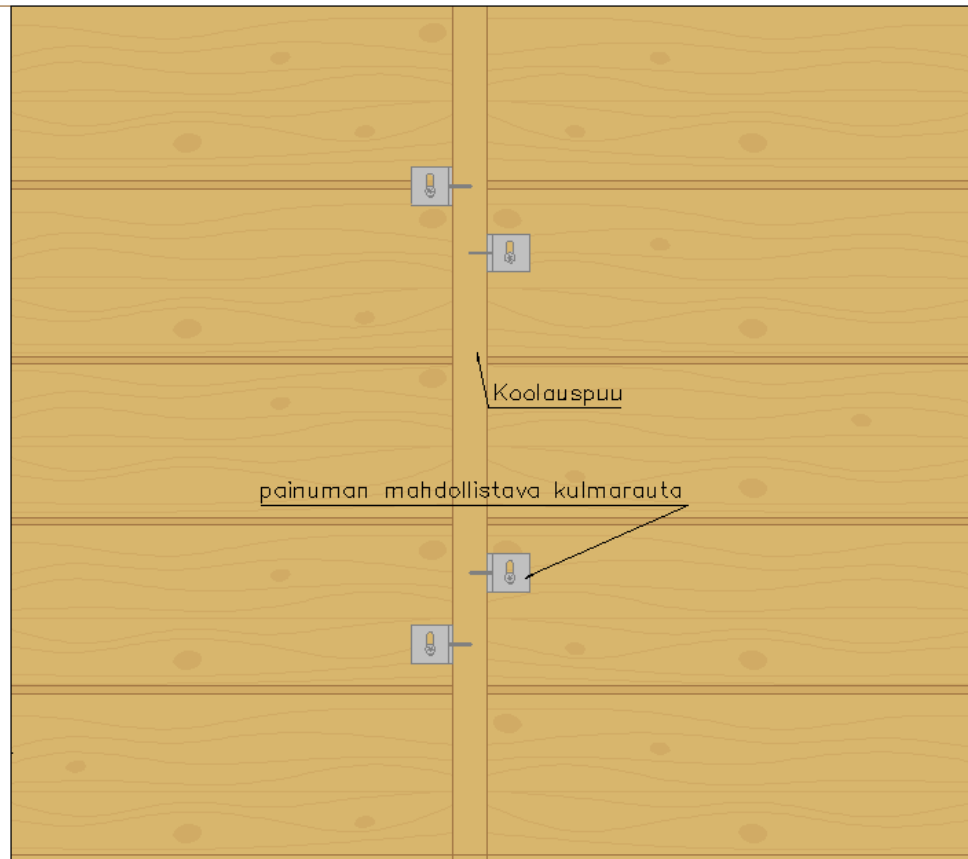
Kuva 29. Märkätilan katto, siporex.

7.7.2 Märkätilan rankarakenteet

Märkätilarakenteet on mahdollista tehdä vapaasti seisovana myös rankarakenteisena: sekä metallirankajärjestelmin, että puurunkoisena. Tällöin rakenteita suunniteltaessa on muistettava, että rangon valintaa ohjaa sen tarpeellisuus toimia myös kantavana rakenteena märkätilan sisäkatonle.

Kosteusteknisesti varmin olisi toteuttaa hirsiseinän viereiset suihkutilat suihku-kaapein, jolloin itse hirsiseinä ei teoriassa vaatisi erillistä suojaverhous-ta. Kuitenkin pesutiloilta vaaditaan asuntorakentamisessa yhtenäinen vedeneristys, jolloin hirsinen seinärakenne jää joka tapauksessa märkätilarakenteen suojiin.

Saunatiloissa ei rakennusfysikaalisten ominaisuuksien takia hirsiseinän peittäminen olisi tarpeellista, eikä sitä edellytä rakennusmääräyksetkään, mutta käytännössä nykyaikaisessa asunnossa on varmempaa toteuttaa myös sauna suojaverhottuna, sillä hirsiseinän ja pesutilojen sisäkattorakenteen sekä lattia-rakenteen liitoskohdat toisivat merkittäviä riskejä kosteuden pääsyn estämiseksi rakenteisiin.



Kuva 30. Koolauspuun kiinnitys hirsiseinään.

Vaikka saunarakenteiden toteutus hirsirakennuksessa ei pääperiaatteiltaan eroa muista kohteista, on koolausta (kuva 30) kiinnitettäessä tarpeellista tiedostaa painuman vaikutus. Koolaus on toteutettava liukuraudoin, ja ruuvit on kiinnitettävä liukuraudan alareunaan, jotta painuminen on mahdollista. Saunan rakenteessa, kuten märkätilan seinässäkin, hirren pinnan ja muun rakenteen väliin jätetään ilmarako: saunassa se on yksinkertaisin toteuttaa koolaamalla.

8 MITOITUS

Tässä työssä hirsirakentamiseen sovelletaan puurakentamisen eurokoodeja SFS-EN 1995-1-1 yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, sekä SFS-EN 1995-1-2 puurakenteiden palomitoitus. Mitoitustarkasteluissa käsitellään ainoastaan ristiinlaminoitua hirttä, eikä esimerkkien toimivuutta ole tarkasteltu pyöröhirren, perinteisen lamellihirren tai yhdestä kappaleesta valmistetun hirren näkökulmasta. Seuraamusluokkana 4.krs asuinkerrostalolle on CC2, jolloin kerroin K_{FI} on 1.0, SFS-EN 1990 suunnitteluperusteiden mukai-

sesti. Tällä hetkellä yleisesti saatavilla oleva suunnitteluohjeistus ei ristiriidattomasti käsittele hirsirungon stabiliteettia, ja suunnittelu on toteutettu osittain sovellettuna.

8.1 Materiaaliarvot

Koska tarkempia, kohdennettuja lujuusominaisuuksia ei ole painumattomalle lamellihirrelle saatavilla, käytetään kantavien kerrosten ominaislujuuksina ja jäykkyyksinä sahatavaran lujuusluokan mukaisia arvoja standardin SFS-EN 338 -2009 mukaan.

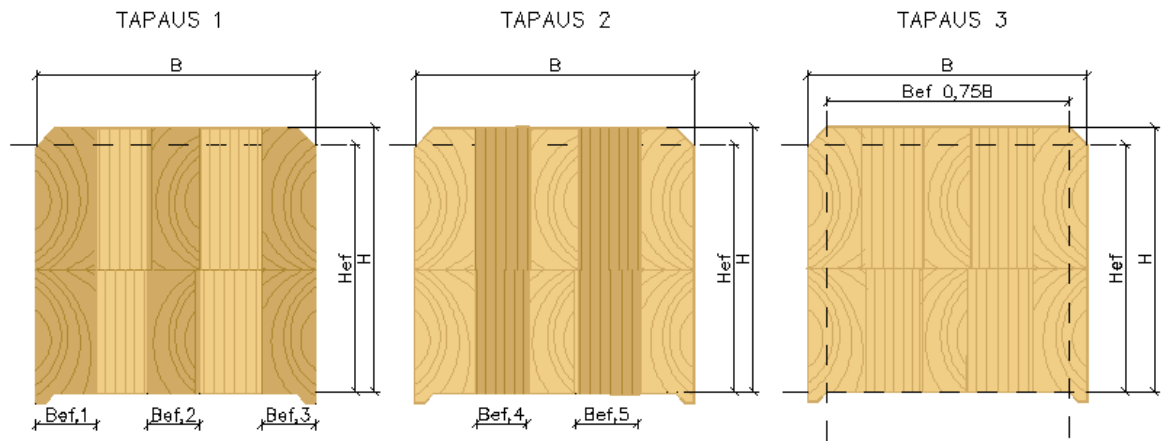
Ristiinlaminoidun hirren lujuusluokkana mitoituksessa käytetään yleensä eurokoodin mukaista C24 luokkaa, joka vastaa vanhaa insta -luokkaa T2 (HTT 2014, 7). C24 luokan puutavaran ominaistavutuslujuus on 24 N/mm^2 . Kuitenkin huomioitaessa työssä käytettävän hirsiaihion olevan ristiinlaminoitua, on lujuusluokka valittava valmistajan ilmoituksen mukaan, jolloin lujuusluokkana voidaan käyttää myös C18:ta. Puun tilavuuspainona ρ_k käytetään lamellihirrelle tyypillistä arvoa 450 kg/m^3 , liimatun lamellihirren tilavuuspainon ollessa hiukan suurempi kuin liimaamattoman höylähirren. Käytännössä materiaalivalmistajilta voi olla saatavana hirrelle omat, todennetut tilavuuspainot, joita on hyvä käyttää suunnittelun oikeellisuuden varmistamiseksi. Laskenta -arvona työssä käytetään hirrelle suunnitteluohjeistuksen mukaista arvoa 5 kN/m^2 . (RIL 205-1-2009, 31).

8.2 Poikkileikkaus

Painumattoman lamellihirren poikkileikkauksen mitoituksessa CLT -levyn tapaan otetaan huomioon kuormia kantavina vain ne kerrokset, joissa puun syysuunta on samansuuntainen ulkoisten kuormien aiheuttaminen jännitysten kanssa.
(Kevarinmäki 2014, 2).

Käytettävä poikkileikkauksen mitta riippuu poikkileikkauksen mallista, joka voi valmistajakohtaisesti vaihdella runsaastikin, ja yleensä voi olettaa valmistajien ilmoittavan oman hirsimallinsa teholliset mitat.

Tehollinen leveys B_{ef} on riippuvainen tarkasteltavasta rasituksesta kuvan 31 mukaisesti.



Kuva 31. Hirren poikkileikkauksen teholliset mitat ja niiden määrittäysperusteet.

Tapaus 1. Taivutus- tai leikkausrasitusta tarkasteltaessa otetaan huomioon ainoastaan poikkileikkauksen osat, jossa syysuunta on hirren pituussuuntaan.

$$B_{ef} = B_{ef,1} \cdot B_{ef,2} \cdot B_{ef,3} = 142 \text{ mm}$$

Tapaus 2. Toimivana leveytenä tukipainekestävyyttä tarkasteltaessa käytetään ainoastaan pystyyn liimattujen osien leveyttä.

$$B_{ef} = B_{ef,4} \cdot B_{ef,5} = 128 \text{ mm}$$

Tapaus 3. Toimivana leveytenä nurjahduskestävyyttä tarkasteltaessa käytetään tehollista leveyttä, joka saadaan käyttämällä RT –kortissa mainittua pienennyskerrointa 0,75. (RT 82-11168 2014, 7).

$$B_{ef} = 0,75B = 0,75 \cdot 270 \text{ mm} = 202,5 \text{ mm}$$

Hirren poikkileikkauksen korkeus H_{ef} vastaa hirren tehollista korkeutta = hirren nousu. Materiaalivalmistajat usein ilmoittavat hirren nousun jo profiilikoossa, työssä se on 260 mm (profiili 270x260(271)).

Hirsiseinissä yleisesti käytettävän tapituksen vaikutusta ei mitoituksessa huomioida, kuitenkin seinän toiminnan kannalta niitä ei voida jättää poiskaan. Tapitusta varten poratut reiät otetaan huomioon valmistajan ohjeen mukaan kuormitustapauksia tarkastellessa.

Taulukko 6. Sahatavaran suunnitteluarvot (RIL 205-1-2009, 47)

Lujuusluokka		Sahatavara		
		C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)
Ominaislujuudet (N/mm ²)				
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30
Veto	$f_{t,0,k}$	11	14	18
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	23
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0
Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²)				
Kimmomoduuli	E_{mean}	9000	11000	12000
	$E_{90, mean}$	300	370	400
Liukumoduuli	G_{mean}	560	690	750
Tiheydet (kg/m ³)				
Ominaisstiheys	ρ_k	320	350	380
Tiheyden keski-arvo	ρ_{mean}	380	420	460

Taulukko 7. Muunnoskerroimen k_{mod} arvot. (RIL 205-1-2009, 45)

Käyttöluokka		Kuorman aikaluokka		
sahatavara, liimapuu, vaneri ja pyöreä puu		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
	1	0,60	0,80	1,10
	2	0,60	0,80	1,10
	3	0,50	0,65	0,90

Taulukko 8. Virumaluvun k_{def} arvot sahatavaraalle. (RIL 205-1-2009, 46)

Käyttöluokka	Virumaluku K_{def}
1	0,60
2	0,60
3	0,50

Materiaalien lujuusominaisuuden mitoitusarvo palotilanteessa (RIL 205-2-2009, 16)

$$f_{d,fi} = k_{fi} \cdot f_k$$

$f_{d,fi}$ lujuuden mitoitusarvo palotilanteessa

f_k lujuuden ominaisarvo normaalilämpötilassa

k_{fi} kerroin, taulukko 9

TAULUKKO 9. k_{fi} -kertoimen arvot. (RIL 205-2-2009, 17)

Sahatavara (k_{fi})	1,25
Liimapuu, puulevyt (k_{fi})	1,15

Nykyaikaisissa rakennusprojekteissa käyttö- ja aikaluokkien määritelmä ei ole monialaisten rakennusprojektien kaikille osapuolille välttämättä selvää, joten aina käsiteltäessä kuormitusperusteita voisi olla perusteltua esitellä vähintään kuormitus- ja käyttöluokkien pääpiirteet alla olevaan tapaan.

Käyttöluokat

1. Materiaalien kosteus vastaa keskimäärin lämpötilaa 20 °C, eikä havupuun kosteus pääsääntöisesti ylitä arvoa 12 %. Esim. rakenneosat, jotka on normaalisti lämmitetyissä sisätiloissa.
2. Materiaalien kosteus vastaa keskimäärin lämpötilaa 20 °C, eikä havupuun kosteus pääsääntöisesti ylitä arvoa 20 %. Esimerkiksi ulkoilmassa kuivana oleva rakenneosa.
3. Materiaalien kosteusarvot aiheuttavat suuremmat kosteusarvot kuin käyttöluokassa 2. Sälle alttiit, kosteassa tilassa tai veden välittömässä läheisyydessä olevat rakenneosat. (RIL 205-1-2009, 30.)

Aikaluokat (muunnoskertoimen k_{mod} perusteet)

Pysyvä. Ominaiskuorman vaikutus yli 6kk: rakenteiden omapaino, kiintokalusteet, -varusteet sekä koneet, väliseinät ja varastoidun tavaran kuormat.

Keskipitkä. 10min. – 6kk. Asennusaikaiset kuormat, lumi- ja hyötykuormat ja muun säärasituksen aiheuttamat kuormat.

Lyhytaikainen. Alle yhden viikon.

Hetkellinen. >10min. Tuuli- ja onnettomuuskuormat. (RIL 205-1-2009, 30.)

8.3 Kuormat

Normaalisti vallitsevissa mitoitustilanteissa mitoituskorma muodostuu suunnitteluperusteet -standardin mukaan seuraavasti (SFS-EN 1990 2006, 80)

$$1,15K_{FI}G_{kj} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum \psi_{0,i}Q_{k,i}$$

G_{kj}	<i>Pysyvä kuorma</i>
$Q_{k,1}$	<i>Määräävä muuttuva kuorma</i>
$Q_{k,i}$	<i>Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat</i>
$\psi_{0,i}$	<i>Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin</i>
K_{FI}	<i>kerroin (RIL-1-2009, 26)</i>

Käytettävät kuormitusyhdistelmät

Nurjahdusmitoituksessa määräävä aikaluokka on keskipitkä, ja kokonaiskuormitus määritetään murtorajatilassa.

$$1,15K_{FI}g_k + 1,5K_{FI}q_k$$

g_k	<i>pysyvä kuorma, omapaino (kN)</i>
q_k	<i>muuttuva kuorma (kN)</i>
K_{FI}	<i>kerroin (RIL-1-2009, 26)</i>

Jäykistys- ja leikkaustarkastelussa määräävä aikaluokka on hetkellinen, ja kokonaiskuormitus määritetään murtorajatilassa. Jäykistystarkastelussa pysyvän kuorman kerroin 1,15 korvataan kertoimella 0,9, jotta seinälle saadaan mahdollisimman epäedullinen tarkastelukuorma.

$$0,9K_{FI}g_k + 1,5K_{FI}q_k$$

8.4 Painuman mitoitus

Painumalle ei ole saatavilla virallista mitoitushjeistusta, joka sopisi kerrostalorakenteen painuman arvioimiseen. Tästä johtuen painumaa arvioidaan työssä suuntaa-antavasti, jotta saadaan suuruusluokkatietoa. Arviolla todennetaan, ettei painuma muodostu rajoittavaksi seikaksi hirsikerrostalon toteuttamisessa. Ristiin laminoitussa hirressä merkittävin painuman aiheuttaja muodostuu varauksista, ja niihin jäävästä välyksestä. Välykset supistuvat pois kokonaan erityi-

sesti kerrostalokohteissa, johtuen suuresta omapainosta. Painuman johdosta tiivistysvarauksen sisältävän hirsiprofiilin käyttöä tulee tutkia tarkoin, juuri suuren omapainon takia, ettei painuma muodostu oletettua suuremmaksi. Toissijaisena painumaa aiheuttaa seinän (puun) kokoonpuristuma ja kosteusvaihtelu. Kosteusvaihtelun voidaan olettaa kuitenkin olevan hyvin pieni ristiinlaminoidulla hirrellä. Alla esitetty varauksista aiheutuva oletettu painuma, joka painuman aiheuttajista on merkittävin. Tarkempi painumatarkastelu liitteessä 7.

$$U_{varaus} = n_{varaus} h_{varaus}$$

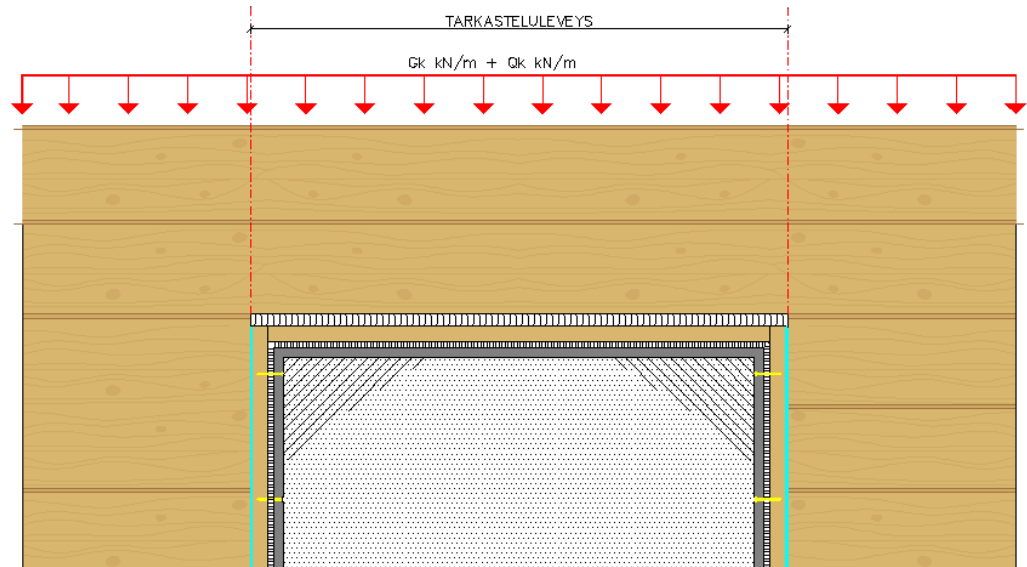
n_{varaus} (varausten/hirsivälkien lukumäärä)

h_{varaus} (varauksen alkuväly)

Jäykistävää seinää (kuva 36) tarkastellessa kun kaikki kohdat painumasta otetaan huomioon, jää painuma alle 30 mm koko seinällä. Suurin mittamuutos muodostuu ylimpään kerrokseen, kuitenkin omanpainon ansioista suurin osa painumasta tapahtuu työnaikana varausten kokoonpuristumisen johdosta, jolloin itse asumisaikaista painuman muodostumista jää hyvin marginaalisesti.

8.5 Mitoitus taivutukselle, aukot

Hirsiseinässä taivutusta pääsee muodostumaan kohteen rakennemallissa aukkojen kohdalla ja muilla ylityspalkeilla. Aukon ylittävän osan hirsiä käsitellään toisistaan irrallisina kappaleina, nivelellisesti päistään tuettuina palkkeina, joita kuormittaa tasainen kuorma. Tapituksen toteutusta tulisi välttää aukkojen yläpuolisissa osissa hirttä, jos halutaan välttää tapitusreikien huomiointitarve taivutusta määrittäessä, sen heikentäessä pituussuuntaisten lamellien kestävyttä.



Kuva 32. Ylityspalkin havainnekuva, kaksi hirsikertaa ikkunan päällä = kaksi ylityspalkkia. Mikäli aukon päälle jää vajaita hirsiiä, tulee ne laskea toteutuneilla mitoillaan. Jos aukotusta sovitaan työmaalla eikä jäljelle jäävän osan mitta tiedetä, sahattava hirsi jätetään huomiotta taivutusta määrittäessä

Taivutusjännityksen σ_b määrittäminen.

Tehollinen taivutusvastus

$$W = \frac{B_{ef} H_{ef}^2}{6}$$

Taivutuskestävyys

maksimimomentti, tasainen kuorma

$$M_d = \frac{g_d L^2}{8}$$

Taivutusjännitys σ_b

$$\sigma_b = \frac{M_d}{W}$$

Mitoitusehto taivutuskestävyydelle

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_m} f_{m,k} \geq \sigma_b$$

Tehollinen jäyhyysmomentti

$$I = \frac{B_{ef} H_{ef}^3}{12}$$

Momentin aiheuttama taipuma tasaisella kuormalla

$$\delta = \frac{5}{348} \cdot \frac{q_k L^4}{E_{mean} \cdot I}$$

L	<i>aukon leveys</i>
q_d	<i>ylityspalkille kohdistuva murtorajatilan laskentakuorma (kN/m)</i>
δ	<i>taipuma (mm)</i>
q_k	<i>ylityspalkille kohdistuva käyttörajatilan kuorma (kN/m)</i>
E_{mean}	<i>kimmomoduuli</i>
I	<i>jäyhyysmomentti</i>
H_{ef}	<i>hirren (palkin) tehollinen / nousukorkeus</i>
B_{ef}	<i>hirren tehollinen leveys</i>
V	<i>leikkausvoima tasaisella kuormalla</i>
τ_d	<i>leikkausjännitys</i>

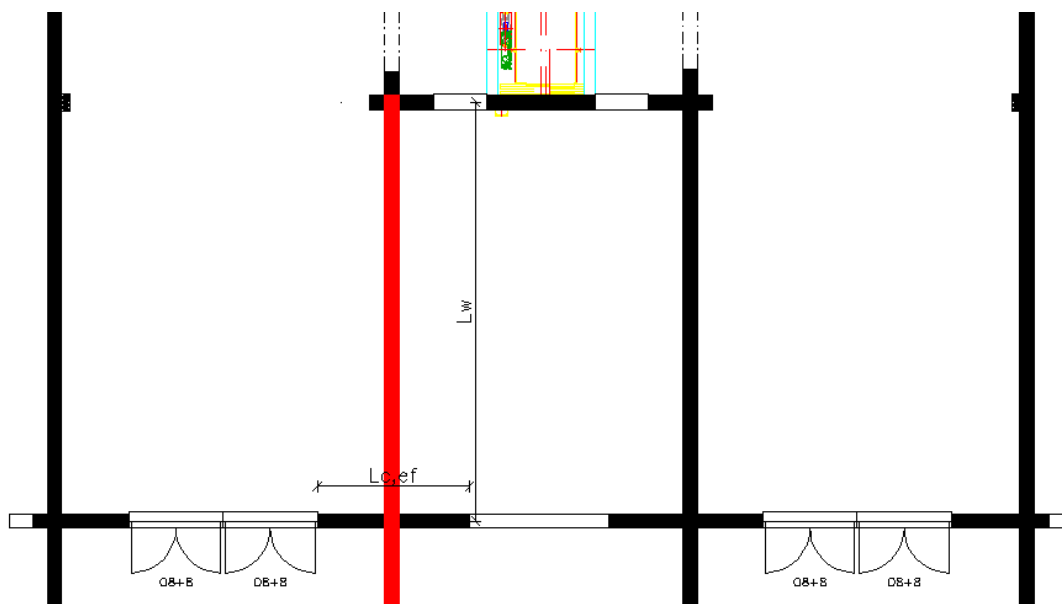
$$V = \frac{q_d L}{2}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V}{A}$$

8.6 Seinän nurjahduskestävyys

Nurjahduskestävyys muodostuu seinän puristuskestävyydestä, joka määräytyy nurkkien ja niiden välisen seinäosan puristuskestävyydestä. Kaavojen toimivuuden ehto on, ettei kuormituksessa esiinny epäkeskisyyttä ja että risteävän seinän pituus nurkassa on minimissään 600 mm. Koska mitoitusohjeistus hirrelle vaihtelee valmistajakohtaisesti toteutettujen testausten mukaan, mitoituksen pohjaksi työhön on valittu Hirsitalon suunnitteluperusteet RT -kortin 82-11168 Eurokoodin mukaiset mitoitusperusteet.

Aidossa kohteessa on kuitenkin syytä soveltaa käytettävälle tuotteelle tarkoitettua ohjeistusta, hirsiprofiilien poiketessa toisistaan valmistajakohtaisesti.



Kuva 33. Mittauskohdat rungossa. Punaisella merkitty seinä on laskelmissa tarkasteltava jäykistävä seinä.

Nurkan puristuskestävyys $F_{R,d,salvos}$. Vaadittava mitta $L_{c,ef}$ voi myös vaihdella vaihdella valmistajakohtaisesti, mutta RT 82-11168 kordin mukainen käytettävä pituus on 600 mm.

$$F_{R,d,salvos} = L_{c,ef} B_{ef} f_{c,90,k}$$

Nurkkien (följäreiden) välisen seinän puristuskapasiteetti $F_{R,d,hirsi}$.

$$F_{R,d,hirsi} = L_w B_{ef} f_{c,90,k}$$

$$f_{c,90,k} = 1,0 \text{ N/mm}^2$$

Koko seinän puristuskestävyyden ominaisarvo $F_{R,d,seinä}$, toisin sanoen kuorimankantokyky on nurkkien ja seinän puristuskestävyyksien arvon summa. Mikäli kerroskorkeus on yli 3 m, summa kerrotaan ns. reduktiokertoimella k_c , joka huomioi korkeuden aiheuttaman kestävyysalennuksen. Kerroin vaihtelee, ja on arvioitava tuote- ja tapauskohtaisesti.

$$F_{R,d,seinä} = (F_{R,d,salvos} \cdot 2) + F_{R,d,hirsi}$$

Seinän puristuskestävyyden laskenta-arvo käyttöluokassa 2, aikaluokalla keskipitkä.

$$F_{c,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} F_{R,d,salvos}$$

$L_{c,ef}$ ristinurkan toimiva pituus ristiinlaminoidulla hirrellä

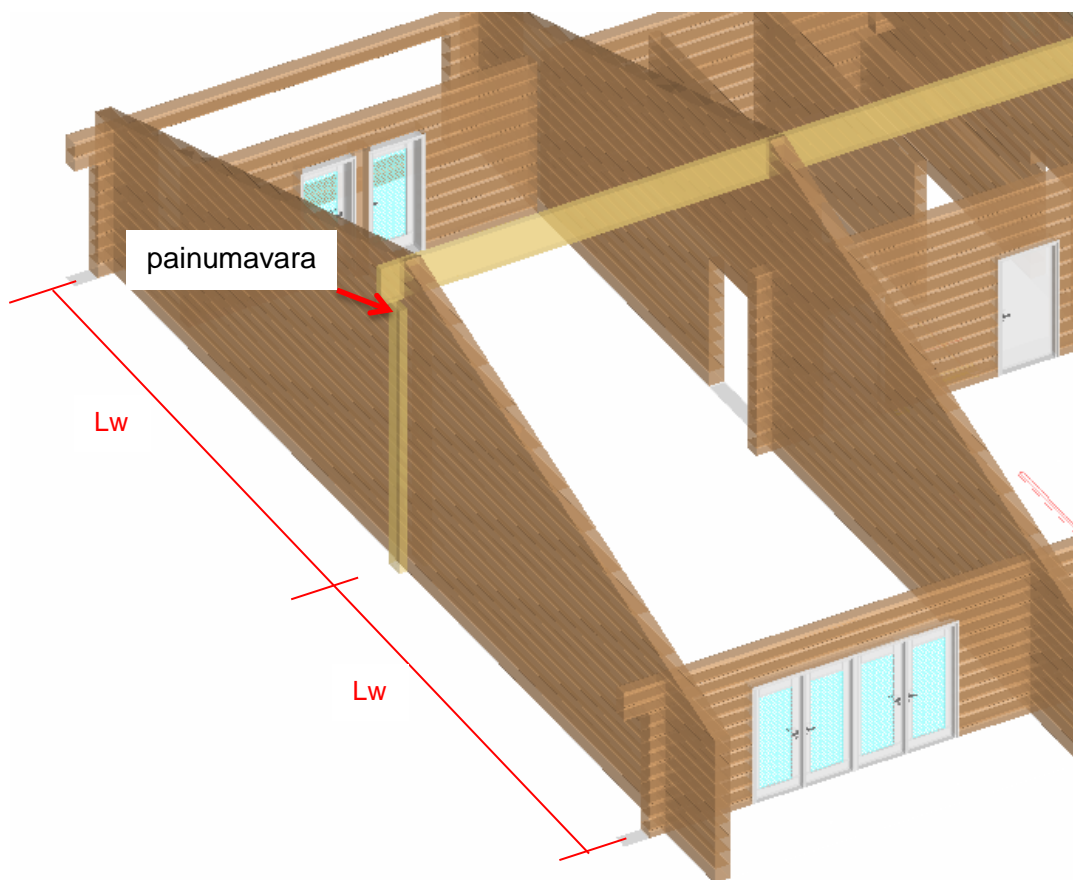
B_{ef} hirren tehollinen paksuus

l_w seinän pituus nurkkien välissä (tai föjärien) mitattuna tukipisteen keskeltä - keskelle.

$f_{c,90,k}$ ominaispuristuslujuus hirren poikkileikkauksen pystysuunnassa

Seinän murtorajatilan puristuskuorma N_d (kN) määritetään 8.3 esitetyn kuormitustapauksen mukaan.

Mitoitusehto nurjahdukselle on täten $N_d \leq F_{c,d}$.



Kuva 34. Föjäri seinän keskiosassa ylimmässä kerroksessa. Föjärin sijaitessa harjapalkin kohdalla, on pituutta suunniteltaessa huomioitava kerroksen painuma: föjärin kiinnitys on toteutettava liukuman sallivana, eikä föjäriä saa asentaa kiinni harjapalkkiin.

Käytännössä kaavojen toimivuutta suuremmilla seinäkorkeuksilla ei ole luotetavasti osoitettu ETA -lausunnoissa, Hirsitaloteollisuus Ry:n tuottamassa ai-neistossa, kuin muuallakaan saatavilla olevissa teoksissa niiden perustuessa koekuormituksiin. Käytön ehdoiksi on asetettu seinän maksimikorkeus 3 m, nurkkien / följäreiden väliin jäävän seinän pituus enintään 8 m, sekä nurkan pi-tuus min. 600 mm.

8.7 Jäykistävä hirsiseinä ja jäykistys

Rakennuksen runko ja siihen kuuluvat rakenteet suunnitellaan siten, että saa-vutetaan riittävä lopullinen kokonaisvakavuus että työnaikainen vakavuus. Ra-kenneosien mitoitus edellyttää, että rakenneosien väliset liitokset siirtävät kaikki vaakavoimat jäykistäville rakenteille ja perustuksille. Jäykistävinä raken-teina työssä käytetään hirsiseiniä joille vaakakuormitus ohjataan. Eniten vaa-kakuormitetuille jäykistäville seinille ohjataan myös välipohjien kuormat, jotta seinän ankkurointi voitaisiin välttää. Runkoon kuuluvat seinät limitetään toi-siinsa salvosten, tai muutoin kestävyydeltään riittävän vahvojen liitosten avul-la.

Jäykistäviä seiniä kuormittaa niiden tason suuntainen vaakakuorma ja mah-dollinen pystykuorma. Seinät mitoitetaan vaakakuormien aiheuttamalle leikka-ukselle ja pystykuormalle.

Vaakakuormina leikkausta aiheuttaa ensisijaisesti tuulikuorma. Tuulikuormista aiheutuva leikkausvoima jakaantuu hirsille palkiston tapaan. Hirsikertojen liu-kuma suhteessa toisiinsa muodostaa yläpään siirtymän.

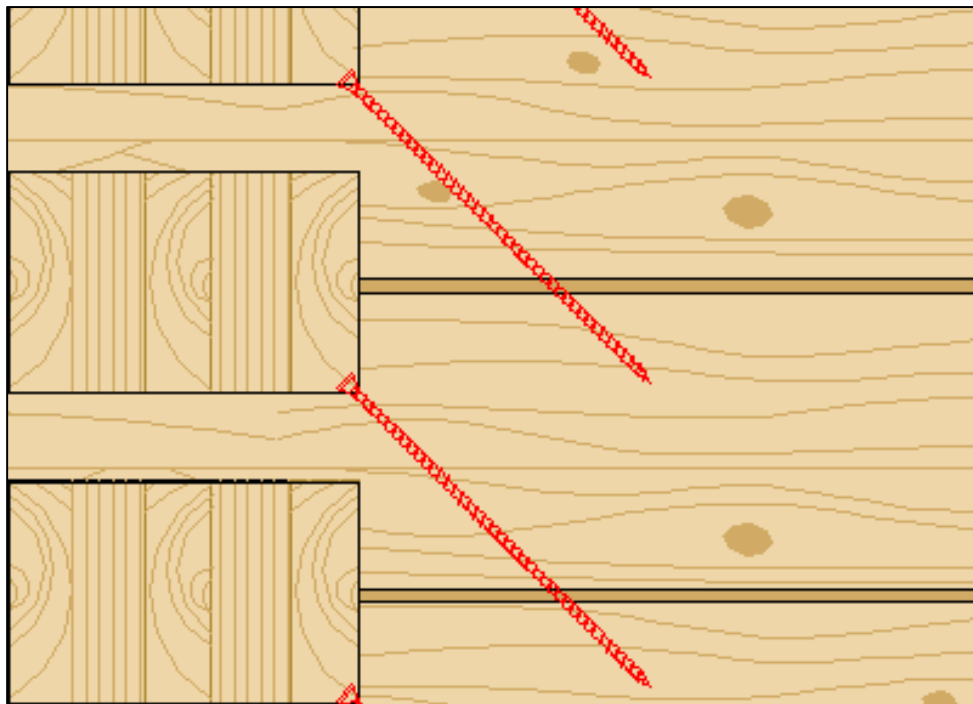
Jäykistävän seinän leikkausvoimakestävyyttä vastaanottavat esimerkkirun-gossa vinoruuviliitokset hirsikertojen välillä. Teoriassa myös kappaleessa 7 esitellyn kaltaisen kiristysjärjestelmän kierretangot osallistuvat leikkausvoiman vastaanottamiseen aiheuttamallaan kitkavoimalla hirsikertojen välissä. Kitka-voiman vaikutukset olisi kuitenkin koko seinän alueelle huomattavan työläs osoittaa ilman käyttötarkoitukseen tehtyä taulukkoa, joten se on rajattu työn ulkopuolelle, eikä sitä ei huomioida esimerkkilaskelmissa. On kuitenkin koh-teiden suunnittelun kannalta hyödyllistä tiedostaa tankojärjestelmän osallistu-

minen myös jäykistykseen, mikäli ilmenee tarvetta sen kapasiteetin huomioimiseen.

Jäykistävän seinän leikkausvoimakestävyys saadaan hirsiseinän ja vinoruuviliitoksen leikkausvoimakestävyiden ja hirren paneelileikkauskestävyyden perusteella. Näistä toinen on mitoittava. Vinoruuviliitoksen leikkausvoimakestävyttä määrittäessä voidaan huomioida höylättyjen pintojen kitkavoima hirsien välillä käyttämällä kitkakerrointa $\mu=0,26$ (RIL 205-1-2009, 126), vedetyn vinoruuviliitoksen puolella. Laskelmassa huomioidaan ainoastaan vedetty vinoruuviliitos, puristettu vinoruuviliitos vaatisi erillisen ankkuroinnin pystykomponentille.

Vinoruuvauus toteutetaan 45° kulmaan molempiin päihin jäykistävää seinää tarkastellessa. Ruuvien tarpeellinen lukumäärä on riippuvainen seinään kohdistuvasta leikkausvoimasta.

Vinoruuvauksen reuna- ja keskinäisetäisyydet tarkastettava suunnitteluohjeituksen mukaan.



Kuva 35. Vinoruuvauus piilonurkasta.

Alla esitetään jäykistävän seinän vinoruuviliitoksen leikkausvoimakestävyiden sekä seinän paneelileikkauskestävyyden määrittäminen, jotka on mitoitus-

sa huomioitava. Seinään on suunniteltu käytettäväksi Würth assy PLUS VG 45° kulmassa, joten huomioitava ruuvauksen leikkausvoimakkestävyys voidaan määrittää Würth:n ETA-11/0190 lausunnon mukaan ulosvetokestävyyden avulla. Mitoitustarkastelu on toteutettu kokonaisuudessaan liitteessä 6.

$$F_{ax,\alpha,Rk} = k_{ax} f_{ax,k} d l_{ef} \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8}$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,\alpha,Rk} n^{0,9} \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \\ n^{0,9} \frac{f_{tens,k}}{\gamma_{M2}} \end{array} \right.$$

$$R_k = F_{ax,\alpha,Rd} (\cos \alpha + \mu \sin \alpha)$$

Hirsiseinän paneelileikkauskestävyys aikaluokassa hetkellinen, käyttöluokassa 2.

$$\tau_d = \frac{V_d}{A}$$

$$A = k_{cr} t L_{w,1}$$

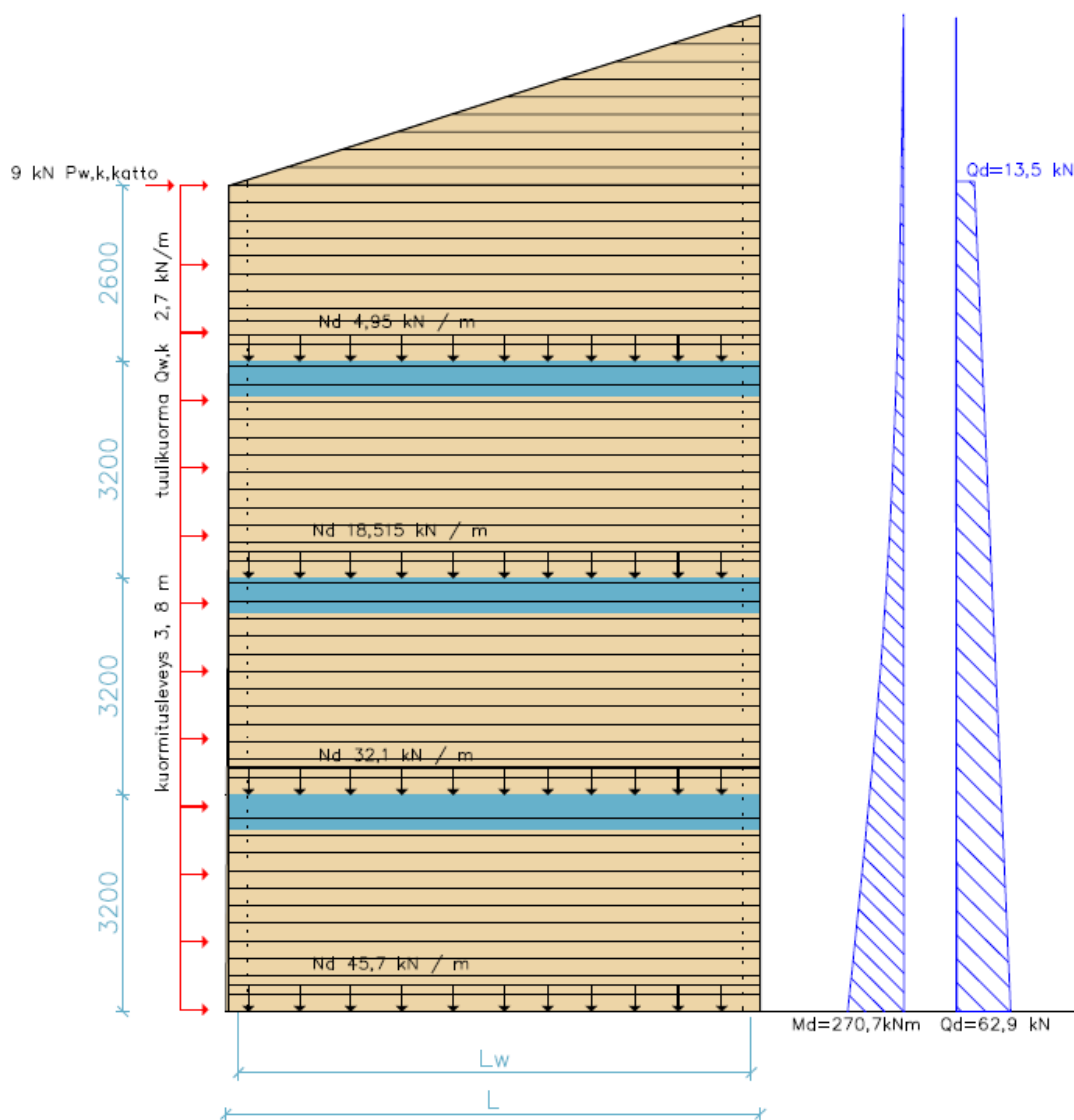
$$f_{v,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} f_{v,k}$$

$$V_d \leq R_k$$

k_{ax}	<i>kerroin, huomioiden ruuvien kulman α syynsuuntaan nähden kulmassa 45°-90°(ETA-11/0190 2013, 13)</i>
d	<i>ruuvien ulkomitta (mm)</i>
γ_M	<i>1,4 materiaaliosavarmuusluku (RIL 205-1-2009, 43)</i>
γ_{M2}	<i>1,25 materiaalin osavarmuusluku (EN 1993-1-1 2005, 52)</i>
k_{mod}	<i>kerroin, taulukko 7</i>
k_{cr}	<i>halkeilukerroin</i>
$f_{ax,k}$	<i>ulosvetolujuusparametri (N/mm²)</i>
$f_{tens,k}$	<i>vetomurtokestävyys</i>
$F_{ax,\alpha,k}$	<i>ruuvien ulosvetolujuuden ominaisarvo kohtisuorassa syynsuuntaa vastaan (N/mm²)</i>
n	<i>yhdessä toimivien ruuvien lukumäärä liitoksessa</i>

l_{ef}	ruuvien kierteistetyin osuuden tunkeumasyyvyys hirressä (mm)
R_k	hirsien välisen ruuviryhmän leikkauskestävyys
μ	kitkakerroin (RIL 205-1-2009, 126)
α	ruuvien kulma syysuuntaan nähden, kun $\alpha \geq 30^\circ$
$l_{w,1}$	seinän pituus nurkkien / följärien välissä, kuva 36
$M_{y,k}$	myötömomentti
$f_{tor,k}$	vääntökestävyys
$f_{u,k}$	vetomurtolujuus esiporatuilla rei'illä, ruuvit kuormitettu sivusuunnassa

Kiinnikekohtaiset suunnitteluarvot käytettäville Assy PLUS VG –täyskierteisille puuruuveille ETA 11/0190 suunnitteluohjeesta.



Kuva 36. Jäykistävä seinä. N_d = Rakennuksen omanpainon aiheuttamat rasitukset kerroskohtaisesti.

Leikkauskestävyyden lisäksi jäykistävässä hirsiseinässä on olennaista määrittää seinän leikkaussiirtymä, seinän tukipainekestävyys ja ankkuroinnin tarve, jotka on esitetty liitteessä 6.

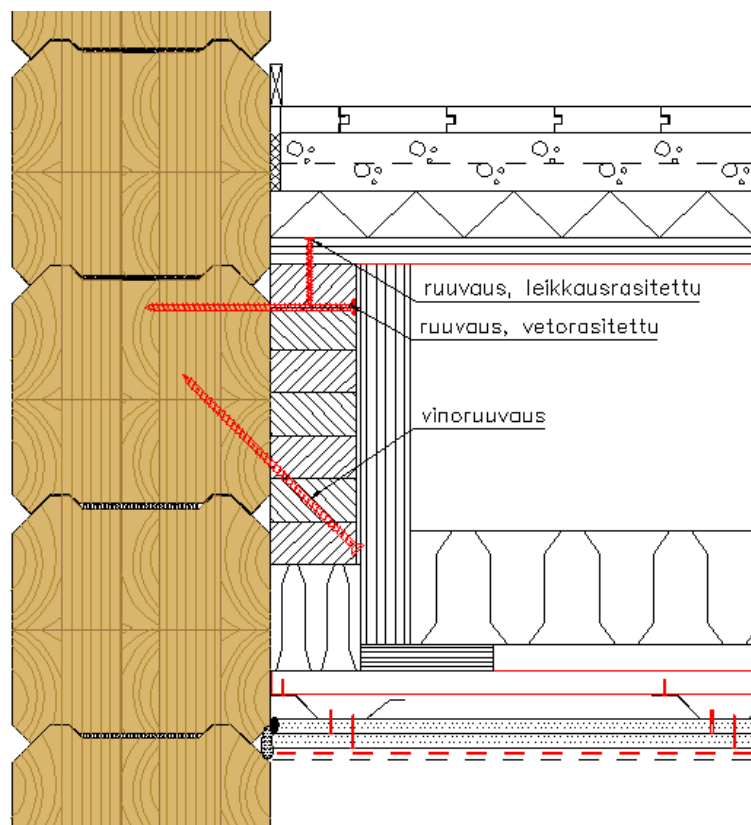
8.8 Liitokset

Hirsikerrostaloa suunniteltaessa rakenneliitokset, poislukien ankkurointi perustuksiin, on suositeltavaa toteuttaa ainoastaan ennalta suunnitellulla korkeudella yhteen hirsikertaan, tai liitettävän rakenteen on seisottava omana, erillisenä rakenteenaan hirsirungon sisällä. Kiinnityksissä on tarpeen huomioida aina puun painumisen mahdollisuus.

8.8.1 Välipohjan liitos

Välipohja on esimerkkidetalleissa suunniteltu teollisesti esivalmistettavaksi. Johtuen hirren pystytystavasta, on välipohjan liitos suunniteltava siten, että välipohjien lisääminen rakennusvaiheessa onnistuu mahdollisimman jouhevasti muun nostotyön ohessa. Näin rakennuksen pystytys onnistuu ilman erillisiä välipohjien asennusvaiheita nostotyön aikana, jotta päästään optimaaliseen etenemisaikatauluun.

Kuvassa 37 esitetty välipohjan liitos runkoon on suunniteltu siten, että hirren kylkeen asennettu, konsolina toimiva liimapuupalkki on kiinnitetty esiporattuihin reikiin mahdollisesti jo tehtaalla. Näin valmis huulellinen ripalaatta voidaan rungon pystytyksen edetessä vain nostaa paikalleen välipohjan ylälaipan varaan ja jatkaa rungon kasausta. Välipohjan kiinnitystyön voi toteuttaa vasta kaikkien laattojen ollessa paikallaan. Kuvassa 37 esitetään käytetty liitostapa, jossa ylimmän ruuvin tehtävä on ottaa vastaan myös vetoa.



Kuva 37. Välipohjan liitos runkoon.

Pituussuuntaan kuormitetuissa ruuveissa (kuva 38) kärjenpuoleisessa puussa kierteen vähimmäistunkeumasyvyys on $6d$. (Lyhennetty suunnitteluohje 2011, 36).

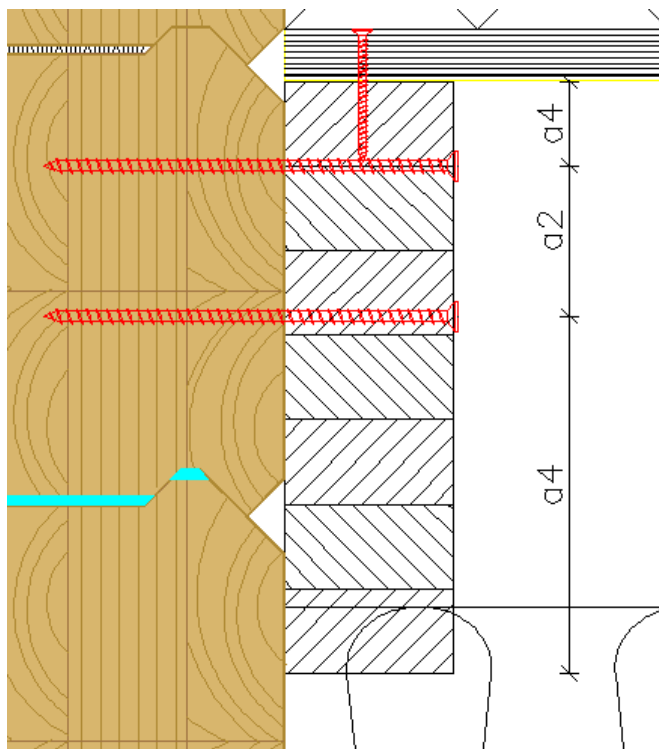
Välipohjarakenteen kannatuksen vinoruuviliitoksessa käytetään pitkiä Assy PLUS VG –puuruuveja, ja mitoitus toteutetaan kuten jäykistävän seinän vino-ruuvaus sivuilla 64-65. Ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla kiinnikkeillä on omat lujuusarvonsa, jotka tulee huomioida erityisesti ulkotilojen liitoksia suunniteltaessa.

Kiinnikkeiden keskinäiset etäisyydet on myös huomioitava (RIL 205-1-2009, 122).

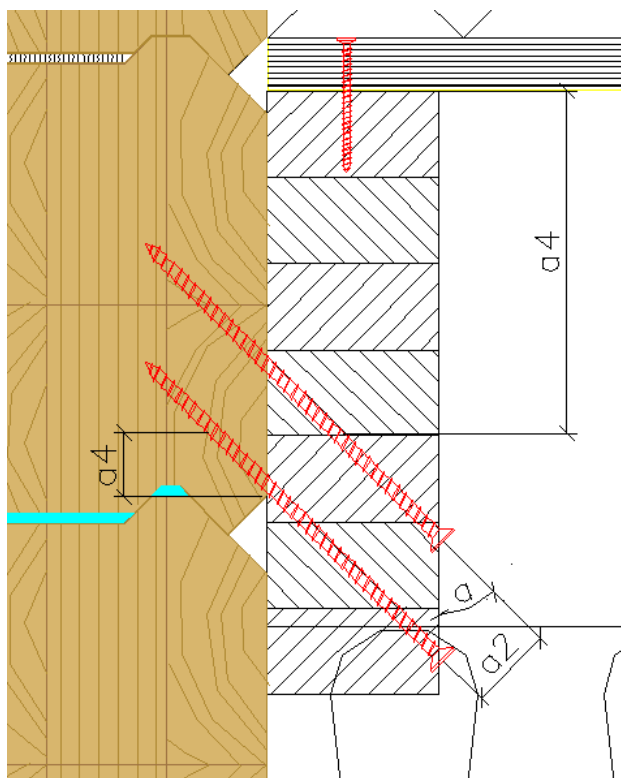
Ruuviväli kohtisuoraan syitä vastaan $a_2 = 5d$

Reunaetäisyys $a_4 = 4d$

Kulma α on ruivin kulma suhteessa kiinnitysalustaan (kuva 39).



Kuva 38. Ruuvien etäisyydet. Välipohjatason suuntainen ruuvaus vastaanottaa vedon. Käytännössä hirren korkeuteen on mahdollista saada vain rajallinen määrä ruuveja, jolloin liitospalkin kiinnitys hirsiseinään toteutetaan kuvan 37 mukaisesti, eikä kahdelle päällekkäiselle ve-torasitetulle ruuville ole perusteita.

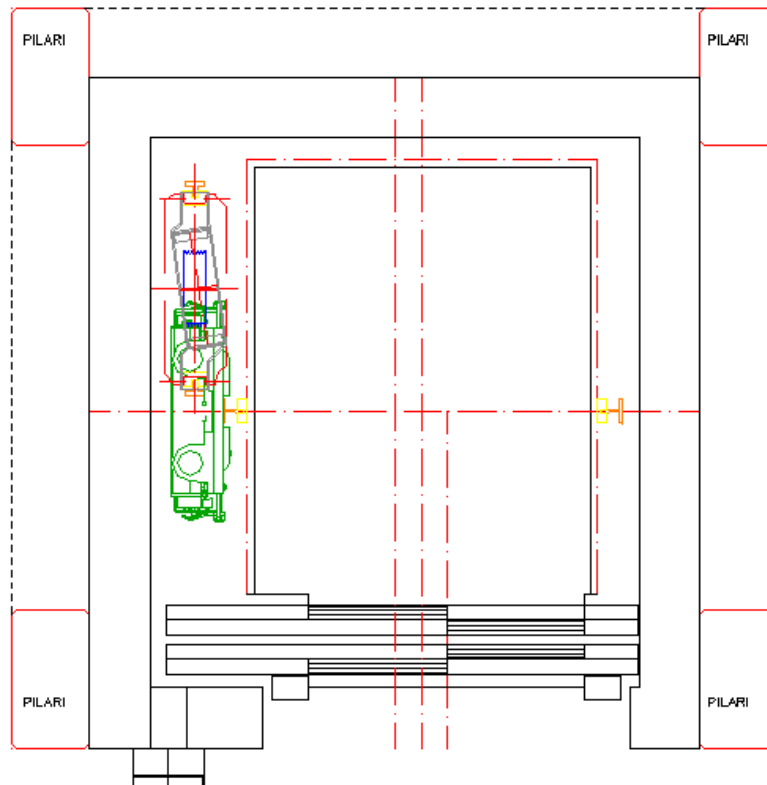


Kuva 39. Ruuvien etäisyydet. Vinoruuvauksella otetaan vastaan vertikaalisia kuormia. Samoin perustein kuin kuvassa 38, liitospalkin kiinnitys hirsiseinään toteutetaan kuvan 37 mukaisesti.

8.8.2 Liittyvien rakenteiden liitokset

Hissi

Hissin suunnittelussa on huomioitava, ettei sitä voida kiinnittää ympäröiviin rakenteisiin painuman tai ääniteknisten syiden takia. Tällöin vaihtoehto voi olla esimerkiksi sivuliukuinen hissi. Ripustettava hissi on toteutettavissa mastopilaristo- tai elementtikehän avulla, jonka päälle kannatetaan laatta, johon hissikori että mekanismi ripustetaan.



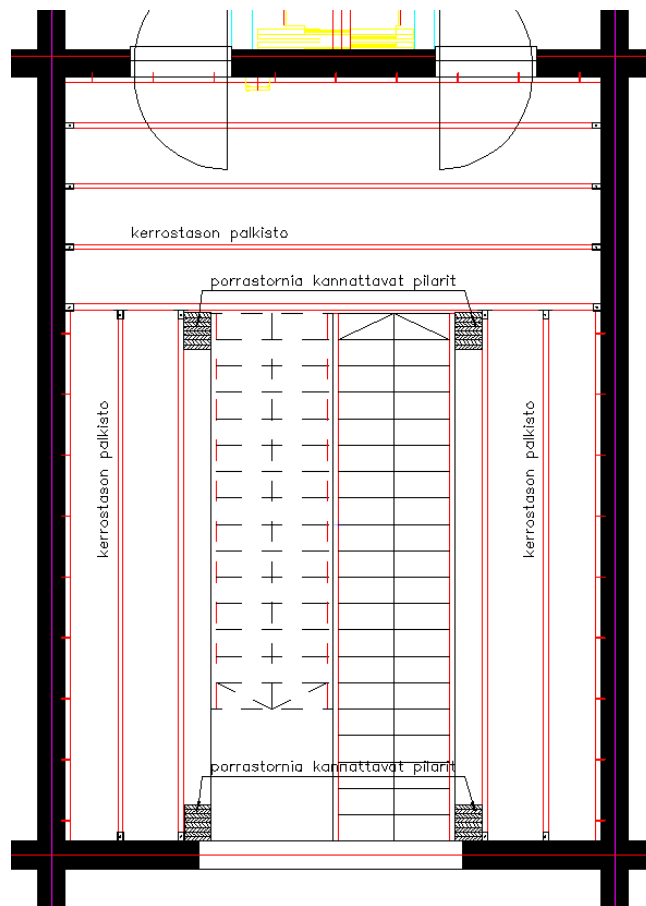
Kuva 40. Ripustettava hissi, jonka ympärillä kehärakenne, joka voi olla toteutettuna elementteinillä tai pilareilla.

Portaat

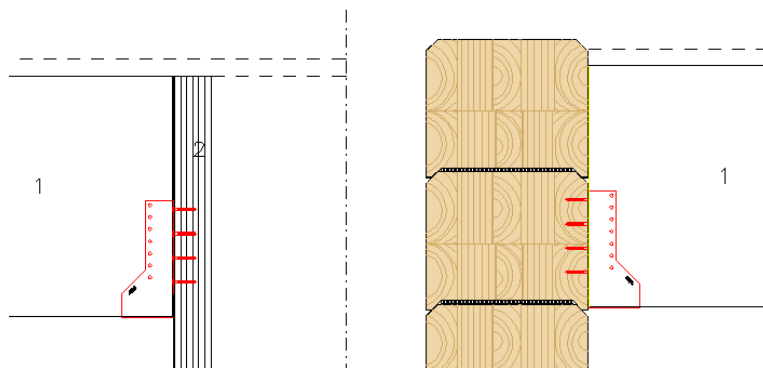
Portaat, kuten hissi ja muutkin liittyvät rakenteet, on toteutettava porraskäytävään omana vapaasti seisovana rakenteenaan. Hirsitaloissa portaat toteutetaan yleisesti pilarien varaan. Kerrostasoelementit kiinnitetään ympäröiviin hirsiseiniin, joten painuman takia kerrostason välipohjaa ei kiinnitetä lainkaan portaiden rakenteisiin.

Toteutustapa voidaan valita kustannustekijöiden, tai toteutuksellisuuden näkökulmasta. Kuvan 41 mukaan työmaalla toteutettavassa palkkivälipohjassa ker-

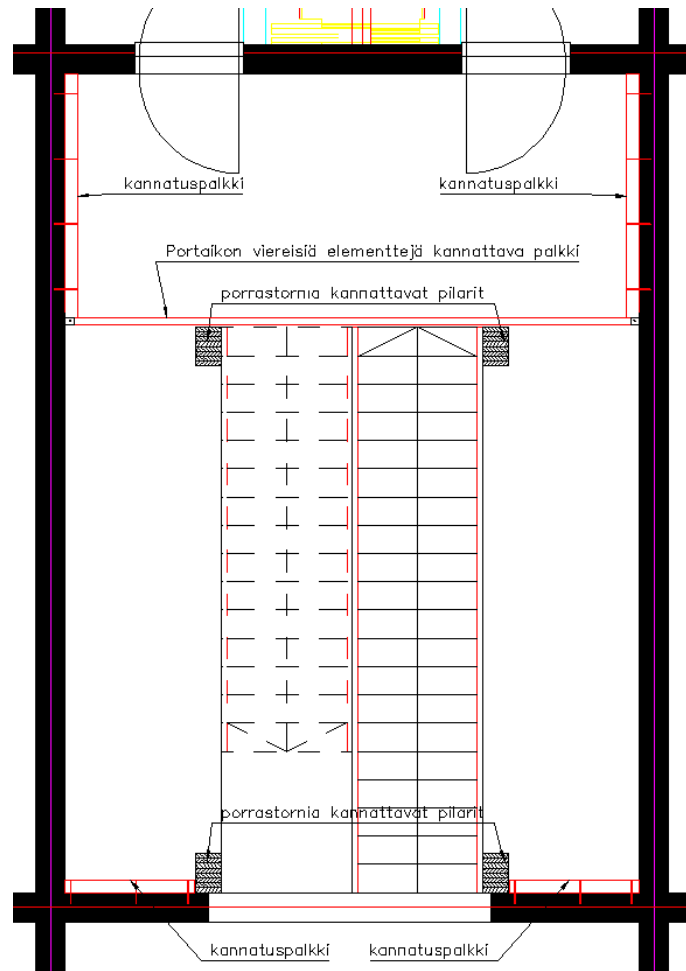
rostasojen palkistot on mahdollista kiinnittää portaiden pilareihin esimerkiksi kuvan 30 mukaisesti kulmaprofiileilla, joissa on riittävä liukuma. Se ei kuitenkaan ole välttämätöntä, koska on oletettavaa että portaiden pilaristo on jäykkä, eikä porrashuoneessa olevalle pilarille aiheudu vaakakuormia. Perustapauksessa välipohjapalkisto kiinnitetään ympäröivään hirsikertaan kuvan 42 mukaisesti.



Kuva 41. Esimerkki kerrostasoa kannattelevasta lattiapalkistosta, jos palkisto toteutetaan työmaalla.



Kuva 42. Palkiston liittymät kannatuspalkkiin ja hirsiseinään. Hirsiseinään kiinnitettäessä on korkeusaseman kanssa oltava huolellinen; kiinnityksen voi toteuttaa vain yhteen hirteen. Palkkien alapuolelle toteutetaan RakMk E1:n vaatima suojaverhous.



Kuva 43. Esimerkki lattiaelementtien kannatinpalkkien sijoittelusta.

Toteutuksellisesta näkökulmasta ajatellen asuntojen välipohjaelementtien kaltaiset esivalmistetut koteloelementit olisi järkevä ratkaisu myös porrashuoneessa. Tällöin hirren kylkeen kiinnitetään esimerkiksi liimapuupalkki, jonka päälle välipohjaelementit nostetaan. Koska portaan rakenteisiin ei elementtejä voi tukea, on porrasta sivuaville elementeille suunniteltava toisen reunan kannattava palkki, joka näkyy kuvassa 43.

Primäärit kattorakenteet

Hirsiseinän painuma aiheuttaa muutoksia myös kattorakenteisiin. Käytännössä se on huomioitava paitsi katto- ja seinärakenteen liitoksessa, myös harjalla. Malliratkaisuissa vaarnapalkkeihin on jätetty liukumavara, ja kiinnitys seinään toteutetaan liukuraudoin, jolloin vaakasuuntainen liukuma ei aiheuta jännityksiä seinärakenteelle. Harjaliitoksessa kattopalkkien kiinnitys harjalla olisi oltava puhdas nivel, sekä kattopalkkien yläreunassa on oltava tarpeellinen viisteytys katon kulman muutosta varten. Vaakasiirtymä seinärakenteen kohdalla, johon kattopalkisto tukeutuu, saadaan laskelmalla α_u .

$$\alpha_u = \tan^{-1} \cdot \frac{(H_1 - U_1)}{L}$$

α_u	<i>lappen kaltevuuskulma muodonmuutoksen jälkeen</i>
U_1	<i>harjapalkin pystysiirtymä suhteessa seinään, johon kattopalkisto tukeutuu</i>
H_1	<i>harjapalkin yläreunan ja seinän yläreunan välinen mitta</i>
L_1	<i>harjapalkin ja seinähirren keskilinjojen välinen vaakamitta</i>

$$U_2 = \left[R - \sqrt{(H - U_1)^2 + L^2} \right] \cos \alpha_u$$

U_2	<i>vaakasiirtymä seinärakenteen kohdalla, johon kattopalkisto tukeutuu</i>
R	<i>harjapalkin ja seinärakenteen keskilinjojen välinen mitta katon kulman mukaisesti</i>

9 KUSTANNUSTEKIJÄT JA TOTEUTUSAIKA

Kustannuksiltaan moni vierastaa hirsikerrostaloa massiivisen puun käytön johdosta, joka mielletään kalliiksi materiaaliksi suurissa kuin pienemmissäkin kohteissa. Kuitenkin materiaalin hankintakustannus on rakennusprojektissa vain yksi osa kokonaisuutta, jossa suuret kustannukset nykypäivänä tulevat myös työvaiheiden läpimenoajoista tuotannossa että työmaalla, sekä valitettavan usein myös takuutyöstä.

Hirren etu muihin materiaaleihin tulee tuotannon ja työmaavaiheen läpimenoajoista, toteuttavan henkilöstön tarpeen supistumisesta, rakennuksen

pitkäikäisyydestä ja varmuudesta, sekä asennusvirheiden vaikutusten minimoimisesta johtuen yksiaineisesta seinärakenteesta.

Taulukossa 10 on nähtävillä kooste kappaleessa 9.2 lasketuista kustannuksista. Kustannukset ovat minimimitoteutuskuluja, jotka kuitenkin realistisessa kohteessa olisivat huomattavasti suurempia, joten niitä ei pidä verrata toteutuneisiin kuluihin. Kustannukset sekä aikataulutekijät on laskettu antamaan minimimääriä kustannussäästöjen suuruusluokasta esimerkkikohteen rakentamistavalla.

Taulukko 10. Yhteenveto kustannus- ja aikataulutekijöistä levytystä poisjättäessä.

	levytys	koolaus	(pintakäsittely)
työkulu €	24 354	7 074	48 000
materiaalikulu €	48 000	3 999	
työmaa-aika tth	959	336	480
yhteensä €	72 162	11 793	48 000

9.1 Runkokustannus

Rungon kustannusarvion tekeminen on haasteellinen tekijä, koska kyseessä on materiaali, jota ei varsinaisesti ole vielä markkinoilla. Kuitenkin ottaen huomioon käypien markkinahintojen olemassaolon muilla puumateriaaleilla, ja puun menekin esimerkiksi hirsikerrostalossa, voidaan olettaa kuutiohinnan asettuvan sellaiseksi, että sen aiheuttama korkeampi kustannus kyetään kompensoimaan muualla, kuten usein OKT -rakentamisessakin.

9.2 Muut kustannukset

Työkustannuksissa voidaan olettaa tietty pystytysnopeus, perustukselta vesikattoon asti, joka perustuu nosturin toimintanopeuteen ja oletettuun hirren asennusaikaan. Koska vastaavanlaista kohdetta ei ole toteutettu, on kaikki oletetut toteutusajat laskennallisia, ja minimiaikoja muodostuen ihanneolosuhteissa.

Porrashuoneen levytys käsitellään erikseen koska levytystarve on todennäköinen huolimatta toiminnallisen palomitoituksen käytöstä, johtuen hätäpois-

tumistietä koskevista määräyksistä. Yhden kerroksen, yhden porrashuoneen levytettävä pinta-ala

$$= (7,6m * 3,2m) * 2 + 5m * 3,2m = 64,64m^2 \sim 65m^2$$

$$65m^2 * 2 = 130m^2 /kerros$$

Kipsilevytyksen toteutus yhteen porrashuoneeseen ilman pintakäsittelyn osuutta:

$$130m^2 * ((5 \text{ eur} * 2) + 0,98 \text{ eur} + (2,52 \text{ eur} * 2) + 1,47 \text{ eur}) \\ = 2\,273,7 \text{ eur} \sim 2\,274 \text{ eur}$$

Rakennuksesta pois jäävän levytyksen kustannukset

Levytystyöstä lasketaan pois jäävä työkustannus käytettäessä toiminnallista palomitoitusta. Laskelmissa ei ole otettu huomioon muita mahdollisia levytystöitä, ainoastaan hirsirungon paloverhoukseen tarkoitettu levytys- ja pintakäsittelytyö.

Koska hirsiseinää ei voida esivalmistaa niin, että levytys olisi valmiina hirressä kuten elementtirakenteissa, on se laskettava asennettavaksi työmaalla ja näin ollen lisäksi työmaa-aikaa. Laskennallisissa työkustannuksissa levyn asennus- ja neliöhinta ei juuri eroa siitä, olisiko se asennettu työmaa- vai tehdasolosuhteissa. Laskennassa ei ole huomioitu pienempiä aukotuksia, joten hävikki on jo mukana.

Yhden kerroksen sisätilojen seinien yhteenlaskettu pinta-ala (ei porrashuoneita):

$$= [(14m * 2,7m) * 4] + [(6m * 2,7m) * 8] + [(1,6m * 2,7) * 6] \\ + [(6,8m * 2,7) * 4] = 380,16m^2 \sim 380m^2$$

$$380m^2 * 4 + (\text{ylimmän kerroksen vinon sisäkaton osuus n. } 1x78m) = 1598m^2$$

Oletetaan kipsilevyn keskimääräisen sisäänostohinnan olevan 5 eur/m². Tällöin kustannus yhden porrashuoneen kahdeksaan asuntoon pelkästä levymateriaalista olisi jo noin 16 000 euroa.

$$(1598m^2 * 2) * \frac{5eur}{m^2} = 15\,980eur$$

Koolauksen arvioitu kustannus 0,50 eur/m jaolla k600.

$$(63m * 4) + (27m * 8) + (7,2m * 6) + (30,6m * 4) = 633,6m \sim 634m /kerros$$

$$634m * 4 + \text{vinon sisäkaton osuus } 130m = 2\,666m$$

$$2\,666m * \frac{0,5eur}{m} = 1\,333eur$$

Lisätään asennustyön kustannukset. Asennustyölle määritellään miniminelihinta urakkahinnoittelussa rakennusalan työehtosopimuksen (Rakennusalan työehtosopimus 2014) mukaisesti, joka ei kuitenkaan vastaa realistisia toteutuvia työkustannuksia, mutta niitä voi käyttää vertailupohjana työkustannuksille.

Levytystyön nelihinta on 2,52 euroa / levykerros (Rakennusalan työehtosopimus 2014, 103-144).

$$1598m^2 * 2 * \frac{2,54eur}{m^2} = 8117,84eur \sim 8\,118eur$$

Koolauksen asennustyön nelihinta on 1,47 euroa. Laskenta perustuu seinäneliöiden määrään, ei asennusmetreihin (Rakennusalan työehtosopimus 2014, 103-144).

$$1598m^2 * \frac{1,47eur}{m^2} = 2\,349,06eur \sim 2\,349eur$$

Koska paljas levytetty seinä ei ole käyttökelpoinen sellaisenaan, täytyisi kustannuslaskelmaan lisätä vielä sisäpinnan pinnoitustyön sekä pintamateriaalin hinta. Arvioidaan tähän kokonaiskustannus pinnoitustyöstä 10 eur/m², joka sisältää tasoitukset ja kittaukset ja pohjamaalauksen. Pintamaalin osuus on jätetty laskennassa pois, johtuen käytettävien maalien suuresta hintahaitarista.

$$1598m^2 * \frac{10eur}{m^2} = 15\,980\,eur$$

Mikäli rappuja olisi yhdessä talossa kolme kuten esimerkkitalossa, olisi 24 asunnon levytystyön hinta:

$$(15\,980\,eur + 1\,333\,eur + 8\,118\,eur + 2\,349\,eur + 15\,980\,eur) * 3 \\ = 131\,280\,eur$$

Näin ollen kokonaiskustannuksiltaan palosuojauksen pintaluokkavaatimuksen täyttämisen levytyksin tulisi maksamaan koko kolmen rapun ja 24 perheasunnon taloon noin 132 000 euroa. Vaikka todellisissa kustannuksissa pääsisikin alempiin kuluihin, toisi toiminnallisen palomitoituksen tilaaminen esimerkkilaskelmien mukaan vähintään 100 000 euron kustannussäästön verrattuna levytyksen toteutukseen, kun kohteessa on kaikkien rappujen runkoratkaisut ja aukotukset identtisiä.

9.3 Työmaa-aika

Vastaavasti palonsuojaverhouksen asennusaika ei lyhene, vaikka urakka- ja materiaalihintaa onnistuttaisiin saamaan kuinka alas.

Otetaan tarkastelussa huomioon rakennusteollisuuden arvioidut asennusajat Rakennusalan työehtosopimuksen urakkahinnoitteluliitteestä. Koolaustyölle lasketaan 0,07 tth/m² ja kaksoislevytystyölle 0,20 tth/m². (Rakennusalan työehtosopimus 2014, 103-144.)

$$\frac{0,07tth}{m^2} + \frac{0,20tth}{m^2} * 1598m^2 * 3 = 1294,38tth \sim 1\,294tth$$

1 294 työntekijätuntia. oletetaan että yhtä asuntoa kerrallaan tekee kaksi työntekijää, ja portaan kumpaakin puolta tehdään samanaikaisesti = 4 työntekijää. Tehokkaana työaikana käytetään 8 h – tauot 1 h = 7 h päivässä, viisi päivää viikossa, ottamatta huomioon sairastapauksia tai juhlapäiviä, jolloin tuottava viikkotyötuntiaika olisi 35h. Oletus on melko optimistinen realistisesta työskentelytehosta ja -nopeudesta. Näin kuitenkin saadaan yhden rapun kahdeksan asunnon sisäverhouksen työmaa-ajaksi ilman pintakäsittelyä:

$$\frac{1294h}{4hlö} = 323,5h$$

$$\frac{323,5h}{35} = 9,243 \sim 9 \text{ viikkoa}$$

Yhdeksän viikkoa tarkoittaa arviolta kahta kuukautta. Tähän ei ole huomioitu pintakäsittelyn työmaa-aikaa oletuksella, että pintakäsittely etenee rytmisissä kerroksittain kun seinäpintaa saadaan valmiiksi, jolloin käytännön työlle ei jää kokonaisuakataulutukseen aikaa kuin minimaalisesti.

Runkotyö

Runkovaihe etenee suhteellisen nopeasti, olettaen ammattitaitoisen nosturin käyttäjän ja ammattilaisten asentaman laskennallisen hirsimetrin asennusajaksi nostoineen 1 min. Tämä tarkoittaisi esimerkkikohteen talossa 15 minuuttia pitkälle hirsiseinälle. Aika on suhteutettu ainoastaan yksikertaisille runkolinjoille. Jos lyhyitä seinäosioita tai aukkoja on paljon, se pidentää asennusaikaa, mikäli työvoimaa ei ole käytettävissä riittävästi. Aidossa asennustilanteessa aika on täysin riippuvainen pohjan monimuotoisuudesta, käytettävien hirsien painosta, nostotavasta, sekä -kalustosta ja siitä, kuinka helposti hirret asettuvat paikalleen, eikä vertailu ole siinä määrin realistinen, sen jättäessä huomiotta paikalleen sovittelun vaatima, välttämätön aika. Arvioilla saadaan kuitenkin suunta toteutusaikojen ja kustannustenarvoille.

Näillä ehdoin laskettuna yksi hirsikerta olisi asennettuna nosturin ja kahden paikalleen laittavan asentajan avulla 80 min, jos oletuksena on että rakennusta kasataan yhden nosturin voimin/porras. Työn jouduttamisen ja työturvallisuuden takia tiivistenauha tulisi asentaa jo tehtaalla, tai viimeistään maassa ennen paikalleen nostoa detaljeissa esitetyn tavan mukaisesti.

Aikataulutuksessa on huomioitava, että välipohjaelementit on nostettava paikalleen runkotyön edetessä. koska hirsisiin, joihin välipohjat kiinnitetään, voidaan asentaa kannattava liimapuukonsoli jo tehtaalla, ei sille tarvitse varata työmaa-aikaa. Välipohjaelementtien asennuksessa voidaan olettaa että 1200 mm leveinä yhden kerroksen elementit saadaan nostetuksi paikalleen kahden

työpäivän aikana. Tällöin rungon eteneminen välipohjien kohdalla seisahtuisi aina kahdeksi päiväksi oletuksella, ettei enempää nostureita ole työmaalla. Etuna välipohjien asennustavalle on, että esimerkiksi märkätilarakennemateriaalit on myös mahdollista nostaa kerrokseen valmiiksi, jottei erilliseen materiaalin siirtoon mene aikaa.

Edellä oleva laskentaperiaate tarkoittaisi että työpäivän (7 h) aikana olisi mahdollista saada paikalleen 5-6 hirsikertaa, eli 1,35 m-1,62 m täysin valmista seinää. Tämä tarkoittaisi että hitaimmillaankin vesikattoa päästäisiin asentamaan noin 3,5 viikossa, nopeimmillaan 2,5 viikossa.

Runkovaihe kolmerappuisessa talossa olisi kolmesta neljään viikkoa. Menetelmän etuna on se, että välipohja kun on saatu paikalleen, pääsee kerrokseen asentamaan ikkunoita ja ovia, märkätilarakenteita ja aloittamaan LVIS -työt ja toteuttamaan tiivistyksiä välipohjiin. Voidaan siis olettaa, kun vesikatto on valmis, riittävällä työvoiman käytöllä ja suunnitelmallisella toteutusvaiheen organisoinnilla kaksi alinta kerrosta on valmiita yhtäaikaisesti. Kaikki aukot on saatu umpeen, sekä rakennus on säältä suojassa kokonaan. Sisäpintojen työvaihe, yhdeksän viikkoa jää pois. hirsii ei tarvitse saumata eikä lattiaa ole välttämätöntä toteuttaa betonivaluna pitkine kuivumisaikoineen, joten rakennus on mahdollista saada käyttövalmiiksi perustukselta eteenpäin kahdessa kuukaudessa.

10 YHTEENVETO

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin luotua toimivat perusliitosratkaisut hirsi-kerrostalolle sekä varmuus sille, että kohde olisi toteutettavissa nykymuotoisten rakentamista ohjaavien lakien puitteissa ilman merkittäviä haasteita. Lisäksi tutkimustyö toi suunnittelusta esille ne osat, jotka vaativat lisätutkimuksia optimaaliseen lopputulokseen pääsemiseksi, vaikka ne eivät olisikaan välttämättömiä ratkaisujen ottamiseksi käyttöön.

Työ osoitti edetessään tarpeellisuutensa sekä sen, kuinka vähän hirsirakenteen mitoittamisesta Suomessa on ohjeistusta yleisesti saatavilla. Alan yritysyhteistyö ei juuri auttanut työssä. Teoksia on lukuisia, mutta monet pohjautuvat samoihin, jokseenkin vaillinaisiin tai jo vanhentuneisiin mitoitusperusteisiin ja rakentamistapoihin.

Työ muotoutui tutkimustyöstä enemmän vastaamaan kehitystyötä työmäärän ja haastavuuden kannalta. Vaativuus osoittautui moninkertaiseksi ennalta odotettuun nähden saatavilla olevan tiedon niukkuuden johdosta. Työn haastavuus yllätti huolimatta siitä, että lähtökohtana olikin tuoda yleisesti tiedostetuksi niitä ratkaisumalleja, joita vähemmän tunnetaan. Työn alkuvaiheessa luoduista ratkaisuista suuri osa kehittyi ratkaisevasti ennen päätymistään työhön tai niiden todettiin olevan toimimattomia työn edetessä. Opinnäytetyössä suureksi eduksi oli aiempi henkilökohtainen kokemus hirsirakentamisesta, jota ilman työn tulos olisi todennäköisesti jäänyt pintapuolisemmaksi. Kuitenkaan pelkkään aiempaan osaamiseen nojautuen ei työ olisi valmistunut toteutuneella tarkkuudella. Toisaalta mikäli alakokemukseni hirsirakentamiseen olisi ollut liian syvä ja urautunut, olisi se saattanut kaventaa ajattelutapaa, jolla työssä on rakentamisen ratkaisuja lähestytty.

Työssä keskityttiin tarkastelemaan hirttä pelkästään asuinkerrostalokäytössä, jota Suomessa on tutkittu julkisesti hyvin vähän. Työn myötä selkeni tarve sekä henkilökohtainen kiinnostus syväluotaavammalle hirren käytön mahdollisuuksien tutkimukselle ja asiantuntijatyölle. Työstä saa hyvän pohjan jatkaa hirsirakentamisen ratkaisujen kehittämistä, sillä tutkimustyö osoitti hirsirakenteen käytön olevan mahdollista myös kerrostalorakentamisessa.

LÄHTEET

- Alasaarela, M. 2008. Hirsiseinään varastoituvan hiilen laskenta, skenaario seinän lämmönläpäisykertoimen kompensoimisesta hiilinielun avulla. Arkkitehtitoimisto Inspis Oy 2008. Saatavissa: http://www.kontio.fi/files/hirsiseinan_hiilinielu_h205.pdf [viitattu 3.2.2016]
- Anttila, M., Pekkonen, M. & Haverinen-Shaughnessy, U. 2012. Housing health and satisfaction in log-frame houses, THL-report based on ALTTI survey. Juvenes Print, Tampere 2012. Saatavissa: https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/90825/URN_ISBN_978-952-245-763-9.pdf?sequence=1
- C1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 1998. Äänieristys ja meluntorjunta rakennuksessa, määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakentamisosasto. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1917-c1.pdf> [viitattu 17.2.2016]
- C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2003. Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakentamisosasto, 2002. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf> [viitattu 30.1.2016]
- D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2012. Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf [viitattu 17.2.2016]
- EN 1990, 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.
- EN 338, 2009. Eurokoodi. Structural timber. Strength classes. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry 2009, Helsinki.
- ETA 11/0190, 2013. Würth Self-tapping screws for use in timber constructions. Deutsches Institut für Bautechnik. Saatavissa: http://www.wurth.fi/site/media/pdf/pdf/eta/ruuvit/assy_muut_yleisruuvit/Assy-ruuvit_ETA_110190.pdf [viitattu 3.4.2016]
- E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2011. Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf [viitattu 9.4.2016]
- Fell, D.R. 2010. Wood in human environment: restorative properties of wood in the build indoor environment. the university of British Columbia, 2010. Saatavissa: <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/ubctheses/24/items/1.0071305> [viitattu 15.3.2016]
- Finnlamelli, 2014. Tuotetietoa: tutkitusti tiivis- mittaustulosaineisto webissä. Finnlamelli Oy. Saatavissa: <http://www.finnlamelli.fi/fin/tuotetietoa/tutkitustitiivis> [viitattu 4.2.2016]
- Getzner, 2010. Sylomer detaildatenplatt. Getzner Werkstoffe GmbH. Saatavissa: <https://www.getzner.com/de/produkte/sylomer> [viitattu 10.2.2016]

Getzner, 2015. Übersicht Sylodyn. Getzner Werkstoffe GmbH. Saatavissa: <https://www.getzner.com/de/produkte/sylodyn> [viitattu, 13.3.2016]

H+H Finland Oy, 2004. Siporex väliseinät tuotetietokortti ja suunnitteluohjeistus. Saatavissa: <http://hhinter.steuerhaus.dk/documents/33973/35232/Cvaliseinat.pdf> [viitattu 1.4.2016]

HTT RY, 2012. Hirsitalon suunnitteluperusteet. Hirsitaloteollisuus Ry. Saatavissa: <http://www.hirsikoti.fi> [viitattu 25.2.2016]

HTT RY, 2014. Hirsirakentamisen perusteet, itseopiskelumateriaali. Hirsitaloteollisuus Ry. Saatavissa: http://www.hirsikoti.fi/assets/images/Koulutusmateriaali/Hirsirakentamisen_perusteet.pdf [viitattu 25.2.2016]

Hyttinen, H. 2006. Testausseloste, PP-Rakennusnauhan lämmönjohtavuuden ja ilmanläpäisevyyden määrittäminen eri tiheyksissä. VTT. Saatavissa: http://jyremark.fi/wp/wp-content/uploads/VTT_testaus [viitattu 11.3.2016]

Jokelainen, J. 2012. Hirsiseinän tilkermateriaalien ominaisuudet. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja A. Tutkimuksia 12. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://publications.theseus.fi> [viitattu 20.2.2016]

Kevarinmäki, A. 2014. RIL 205-1-2009 CLT päivitykset.

Lyhennetty suunnitteluohje, 2011. Puurakenteiden suunnittelu, lyhennetty suunnitteluohje Eurokoodi 5, kolmas painos. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/eurokoodit/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu> [viitattu 17.3.2016]

Oulu rakennusvalvonta. 2013. Tekninen kortti, tiiveyskorjaus. Saatavissa: http://www.energiakorjaus.info/wp-content/uploads/2013/08/Pientalo_9_Tiiveyskorjaus_2013_02_01.pdf [viitattu 13.4.2016]

Puuinfo Oy. Paloteknisiä ominaisuuksia –ohjesivu. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/paloteknisi%C3%A4-ominaisuuksia> [viitattu 15.3.2016]

Puuinfo Oy 1. Puurakentamisen asema ja mahdollisuudet Suomessa. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/node/1652> [viitattu 26.4.2016]

Rakennustieto. M1-vaatimukset ja luokiteltujen tuotteiden käyttö, tiedote. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/index/rakennustieto/rakennusmateriaalienpaastoluokitus/m1-vaatimuksetjaluokiteltujentuotteidenkaytto.html> [viitattu 30.4.2016]

Rakennusalan työehtosopimus, 2014. Talonrakennusala ry:n ja Rakennusliitto ry:n välinen rakennusalan työehtosopimus urakkahinnoitteluiineen 2014-2016. Vammalan Kirjapaino Oy, Sastamala 2014. Saatavissa: <http://rakennusliitto.fi/document/rakennusalan-tes/> [viitattu 2.2.2016]

RIL 205-1-2009. 2009. Puurakenteiden suunnitteluohje, yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, eurokoodi EN 1995-1-1. Hansaprint Oy: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL Oy.

RIL 205-2-2009. 2009. Puurakenteiden suunnitteluohje, puurakenteiden palomitoitus, eurokoodi EN 1995-1-2. Hansaprint Oy: Suomen rakennusinsinöörin liitto RIL Oy.

RT 82–11168. 2014. Hirsitalon suunnitteluperusteet. Rakennustieto Oy.

Ryynänen T. 2006. Testausseloste, PP-Saumaeristeen syttyvyyden määrittäminen menetelmän EN ISO 11925:2002 mukaisesti. VTT. Saatavissa: http://jyremark.fi/wp/wp-content/uploads/VTT_tutkimus_1.pdf [viitattu 1.3.2016]

Safa, 2015. Arkkitehtuurin Finlandia -palkinnon saa Puukuokka-asuinkerrostalo Jyväskylässä, artikkeli. Saatavissa: <http://www.arkkitehtuurinfinlandia.fi/fi/uutiset/> [viitattu 30.4.2016]

Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Rakennustieto.

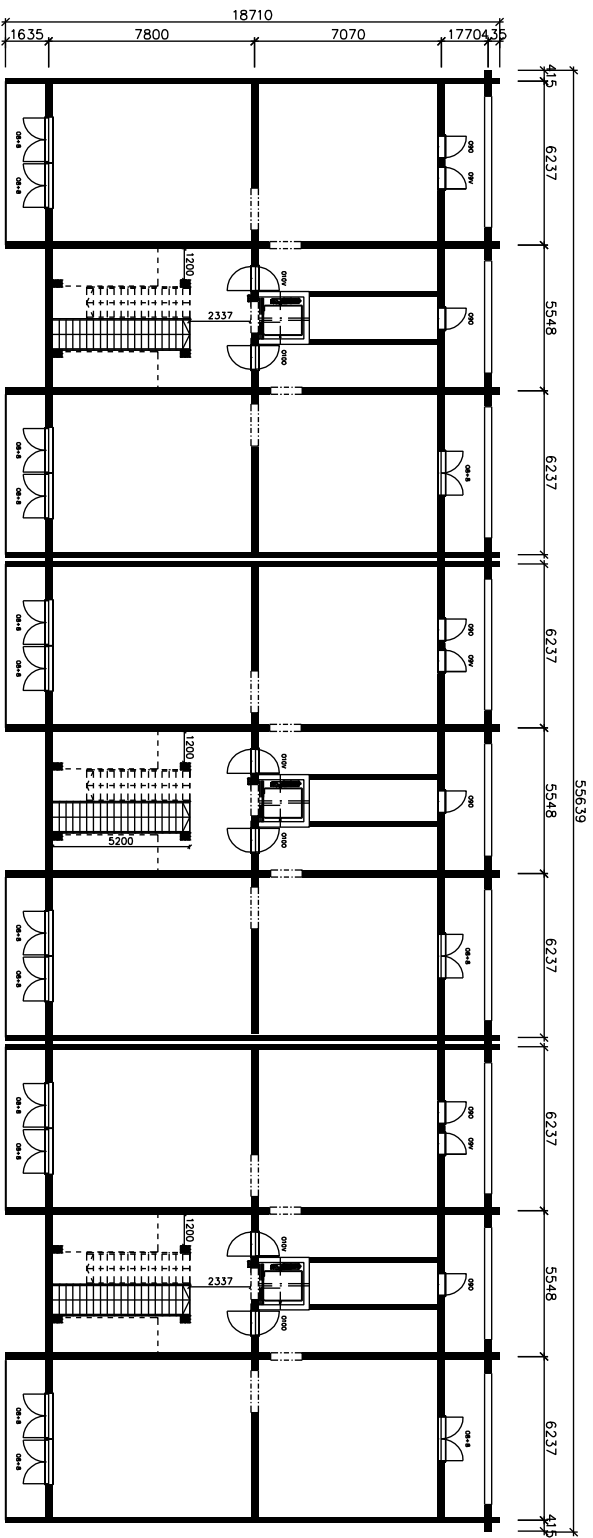
Taylor, A., Quarles, S., Vail, K. 2007. Wood protection for log home owners - publication. University of Tennessee Institute of Agriculture, U.S. [viitattu 24.3.2016]

Tiiveyskortti, 2012. Pientalon laatu- tiiveyskortti, versio 7.05.2012. Rakennusvalvonta Oulu. Saatavissa: http://www.ouka.fi/c/document_library/get_file?uuid=02a73f65-b284-44b7-869a-a36285bbe4a4&groupId=492090 [viitattu 24.3.2016]

Tiiveys pientaloissa, 2014. Tiiveys pientaloissa 2014, tilastot 2014/1. Rakennusvalvonta Oulu. Saatavissa: <http://www.ouka.fi/documents/486338/f3610730-9b99-4039-895d-0c62ca805f02> [viitattu 10.4.2016]

Weber. Kahi-väliseinäpöntti tuotetieto -ohjesivu. Saint Gobain Rakennustuotteet Oy. Saatavissa: <http://www.e-weber.fi/kahi-tiilet-ja-harkot/tuotteet/kahi-harkot/kahi-vaeliseinaepontti.html> [viitattu 19.4.2016]

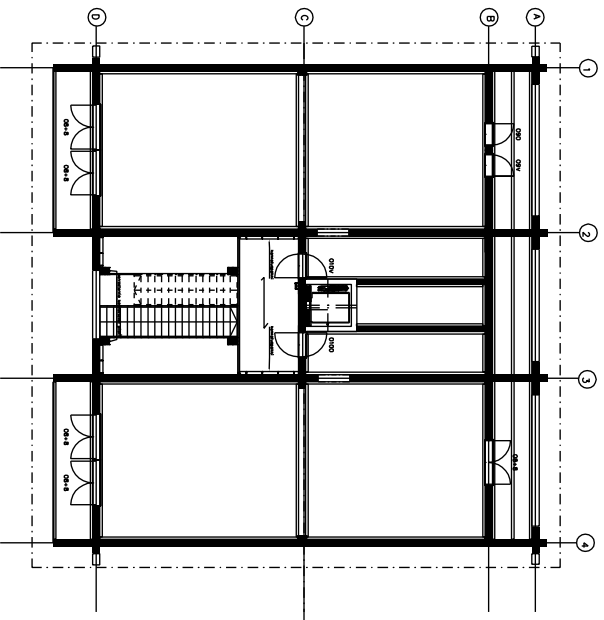
Wood Focus Oy, 2004. Äänieristys puutalossa, Puurakenteisen asuinrakennuksen ääneneristävyyden suunnitteluohje. Wood Focus Oy 2014. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf> [viitattu 30.4.2016]



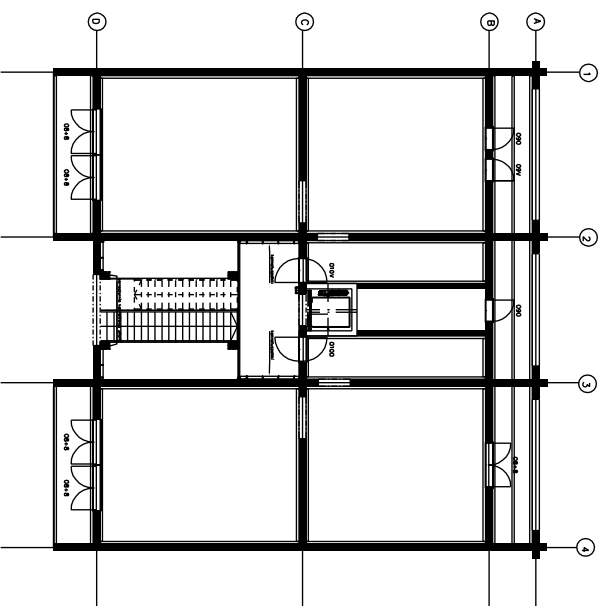
Huoneisto toteutetaan sellaisenaan kulkuväylä voi sijaita toiseen mukana.
 Kuitenkin huoneisto toteutetaan sellaisenaan suunnitelmalla 600 mm.

LOK. LUOK. KULUTS	KORTTI / ALA	TOIMIT. N:o 0	MAKSI. PVM
JUDISRAKENNUS			
LOK. Luok- / -ise		PÄÄPIIRUSTUS	MAKSI. 1:100
log- / -ise 3		Runkokompli	
PIKSI 10.7.2016	SOITIN, KORTTI, SÄÄT	ARKK	TOIM. N:o 0 JA MAKSUTUSSEN N:o 0
			MAKSUTOS
			1-001-1

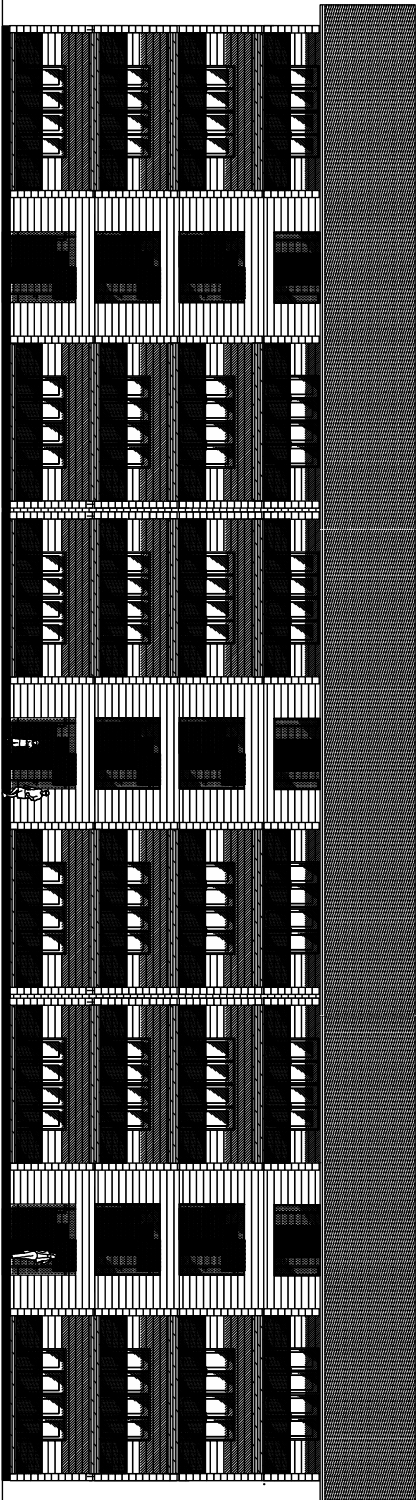
kerros 4



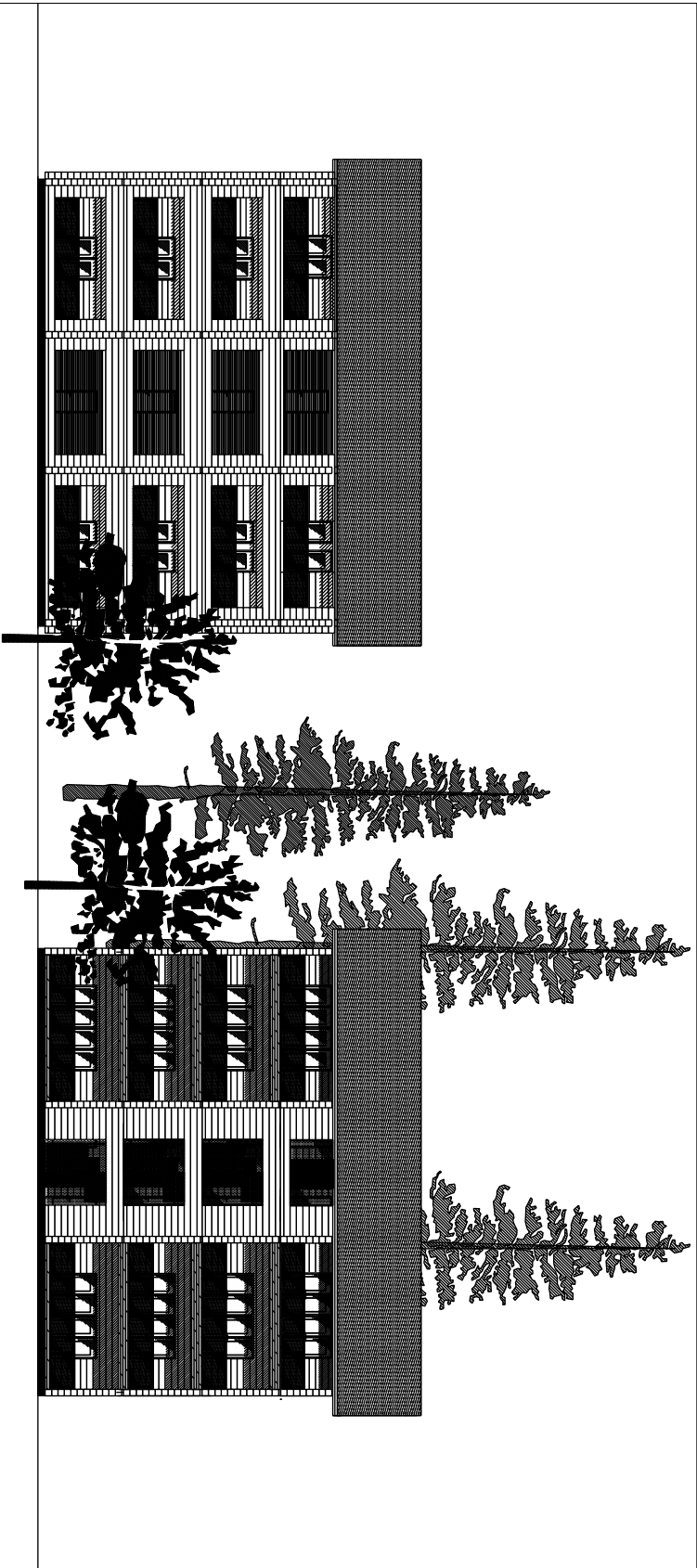
kerrokset 1-2(3)



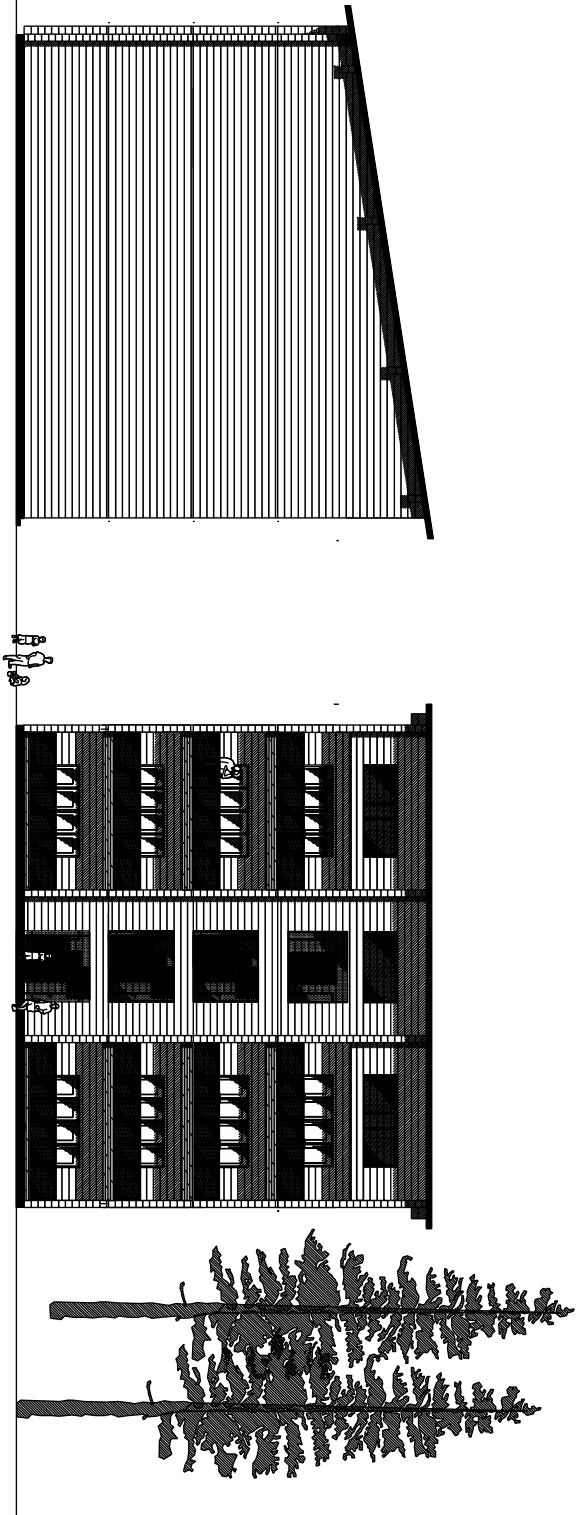
TARK. LASK. MUUTOS		NIMI: P.M.	
KOSVATTA	KORITTI/RA	TOIMIT. NRO	
JUDISRAKENNUS		PÄÄPIIRUSTUS	
LOJ_low-rise		Runkemuoti	
109-rise 1		1:100	
PIIRIT	ESKIZ. JENIT. SMI	ARK	109 N.O. JA PÄÄPIIRUSTUS N.O.
PVM: 10.4.2016	TARK.	1-001-2	MUUTOS



TÖN. LUOK. KULTUS		KOKOONTEK.		KORTTI / ALA		TOIMITT. N:o 0		MÄÄR. PÖY.	
JUUDISRAKENNUS				PÄÄPIIRUSTUS					
LOK. JOH--rise				Julkesuunnitelma					
log--rise 3				1:100					
PÖY.		SISÄIN. KORTTI SUUNN.		ARKK.		TÖN. N:o JA AMMATTILAINEN N:o		LAINUTOS	
PÖY. 10.7.2016		TÖN.		1-002-1					

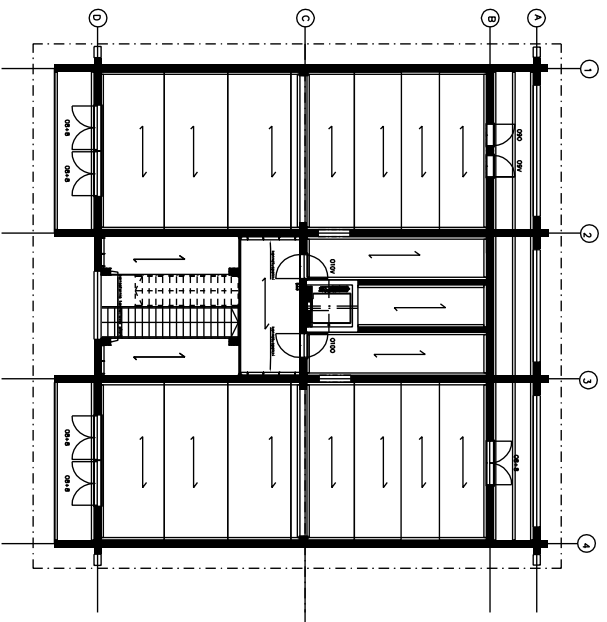


LOUN.	LURER.	KULUTS	TOGRTI / ALA	TOGRTI	NO. 0	ARVET. PAV
KOSK/VN/TA						
JUDISRAKENNUS			PÄÄPIIRUSTUS			
LO6_low-rise			Julkisivumalli 2			MER. 1:100
log-rise 1						
PROJ.	10.7.2016	SOITIN, Kerttu Sotti	ARK	TOIM. NO. JA ARVOSTUKSEN N.O.	1-002-2-1	LAUTIOS

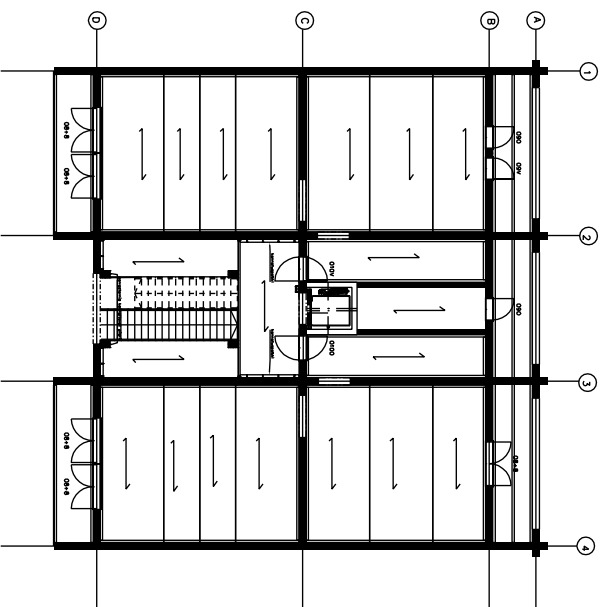


TOIM. LUOKA	KOULUTUS	KOKOAVINNA	KORTTI / ALUE	TOIMITTI	NO.0	MAKSET. PVM
JUDISRAKENNUS						PÄÄPIIRUSTUS
LOG-10w-rise log-rise 1						julkisivunmalli
MAKSET.	10.7.2016	SOITIN, KORTTI, SOSTI	ARKK	TOIM. NO. JA MAKSETUKSEN NO.	1-002-2	MAKSETUS
						MAK. 1:100

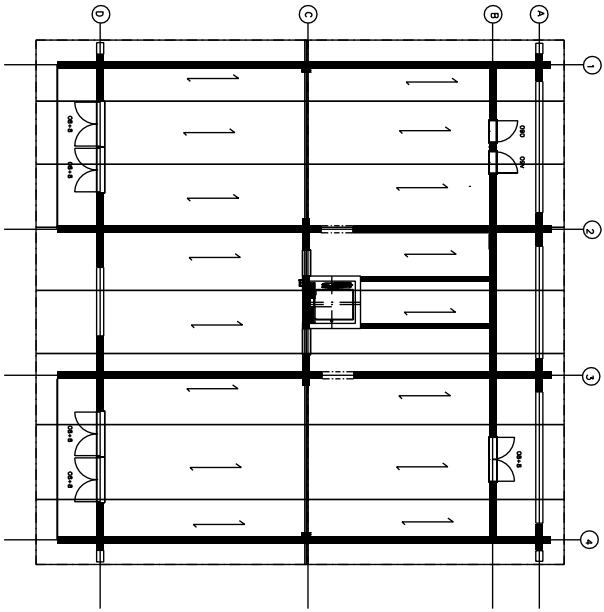
kerros 4



kerrokset 1-2(3)



TYÖN TILAAJA	KUNTO	TYÖN NIMI	MAKSUUS
KOSKENVÄLÄ	KORTTI / ALA	108111	RA:0
JUDISRAKENNUS		RAKENNEPIIRUSTUS	
LOO-10w-rise		valiokorjennus	
Log-rise 1		perioodiseitellu	
TYÖN N:o JA ERISTÄJÄSEN N:o	1-003-1	MAKSUUS	1:100
PIIRI	ARK	LAATIMINEN	
TYÖN	TYÖN	TYÖN	TYÖN



KESKIVÄIKÄ		KORTTI/RAK.		LOUNAI		RACIO	
KESKIVÄIKÄ		KORTTI/RAK.		LOUNAI		RACIO	
UUDISRAKENNUS				RAKENNEPIIRUSTUS			
LOG-LOW-RISE				Kallelehtipöytä			
LOG-RISE 1				esimerkkiohjelma			
PÄIVÄ		EHDOTUS		JÄRVI		SÄÄ	
PVM		TAVOK		ARK		MUNIOS	
TOD. N. O. JA MAALUSTUS N. O.				1-003-2			
MUNIOS				MUNIOS			

Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
Hirsikerrostalon rakenneratkaisut	1	1 / 3
	Päiväys	
	17.3.2016	JS
Rakennuskohde	Sisältö	
Hirsikerrostalo, ilman lievenyskerrointa	E-lukulaskuri	

 Täytä oletusarvot**RAKENNUKSEN TIEDOT**

Info

Rakennusluokka	Asuinkerrostalot	
Lämmitetty nettopinta-ala, A _{netto}	860	m ²
Kerroslukumäärä	4	Rakennusvaipan massiivisuus Keskiraskas II

RAKENTEIDEN TIEDOT

Info

	Pinta-ala m ²	U-arvon vertailuarvo W/m ² K	Käytettävä U-arvo W/m ² K	
Ulkoseinät	938,0	0,40	0,38	Ulkoseinän tyyppi Hirsi
Yläpohja	284,5	0,09	0,09	
Alapohja	215,0	0,16	0,16	Alapohjan tyyppi Maata vasten
Kattoikkunat	0,0	1,00		
Ulko-ovet	25,2	1,00	0,80	
Ikkunapinta-ala	14 %			Ikkunoiden U-arvo: 0,80
Ikkunat pohjoiseen	48,1	1,00	0,8	Ikkunan g-arvo 0,6
Ikkunat itään	0,0	1,00	0,8	Ikkunan g-arvo 0,6
Ikkunat etelään	72,3	1,00	0,8	Ikkunan g-arvo 0,6
Ikkunat länteen	0,0	1,00	0,8	Ikkunan g-arvo 0,6

RAKENTEIDEN LIITTYMIEN KYLMÄSILTOJEN TIEDOT

Info

	Pituus m	Lisäkonduktanssi W/mK	Huonekorkeus
Ulkoseinä - Yläpohja	109,4	0,0	2,7 m
Ulkoseinä - Alapohja	82,7	0,1	
Ulkoseinä - Välipohja	0,0	0,0	
Ulkoseinän ulkonurkka	0,0	0,1	
Ulkoseinän sisänurkka	0,0	-0,1	
Ulkoseinä - ikkuna	344,0	0,0	
Ulkoseinä - ovi	60,7	0,0	

Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
Hirsikerrostalon rakenneratkaisut	1	2 / 3
	Päiväys	
Rakennuskohde	Sisältö	
Hirsikerrostalo, ilman lievenyskerrointa	E-lukulaskuri	

ILMANVAIHDON TIEDOT**Info**

Koneellinen ilmanvaihto	Korkealla hyötysuhteella toimiva ilmanvaihto	
IV-koneen LTO:n poistoilman vuosihyötysuhde	0,8	
SFP-luku	1,5	kW/(m ³ /s)
Tuloilman lämpötila jälkilämmityspatterin jälkeen	18,0	°C
Jälkilämmityspatteri	Kytetty lämmitysjärjestelmään	
Ilmanvuotoluku (q ₅₀)	4	m ³ /(hm ²)

LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN TIEDOT**Info**

Lämmitystapa	Kaukolämpö
Tilojen lämmönjakojärjestelmä	Vesiradiaattori 70/40 °C - jakojohdot eristetty
Varaavien tulisijojen määrä	0
Lämpimän käyttöveden varastointi	ei varaajaa
Lämpimän käyttöveden kierto- ja siirtojohdot	Kiertojohto - suojaputki + eristetty korkeaan tasoon
Käyttöveteen kytkettyjä lämmityslaitteita	Ei

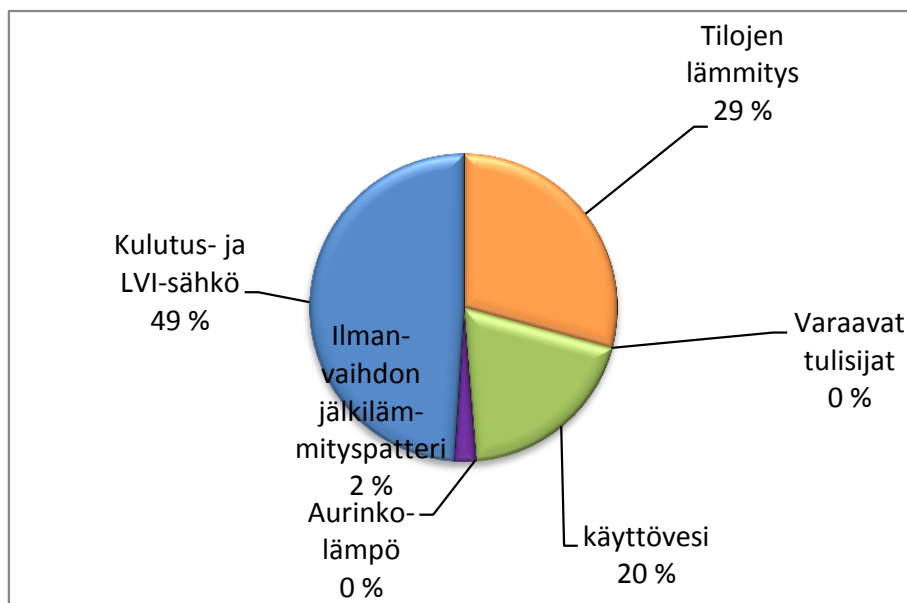
(Maalämpöpumppu)**Info (Poistoilmalämpöpumppu)****Info**

Tuotto-osuus	0,0	Info Tuotto-osuus	0,0	Info
SPF-luku (tilat)	0,0	Info SPF-luku	0,0	Info
SPF-luku (käyttövesi)	0,0	Info		
Aurinkolämpö (tukemaan käyttöveden lämmitystä)	Ei			
Aurinkokeräiman pinta-ala	50			m ²
Suuntaus	pohjoinen/koillinen/luode			
Omavaraissähkö	0	kWh/a		Info

Suunnittelutoimisto	Työn nro 1	Sivu 3 / 3
Hirsikerrostalon rakenneratkaisut	Päiväys 17.3.2016	Tekijä JS
Rakennuskohde Hirsikerrostalo, ilman lievenyskerrointa	Sisältö E-lukulaskuri	

LASKENTATULOKSET VALITUILLA ARVOILLA

Info



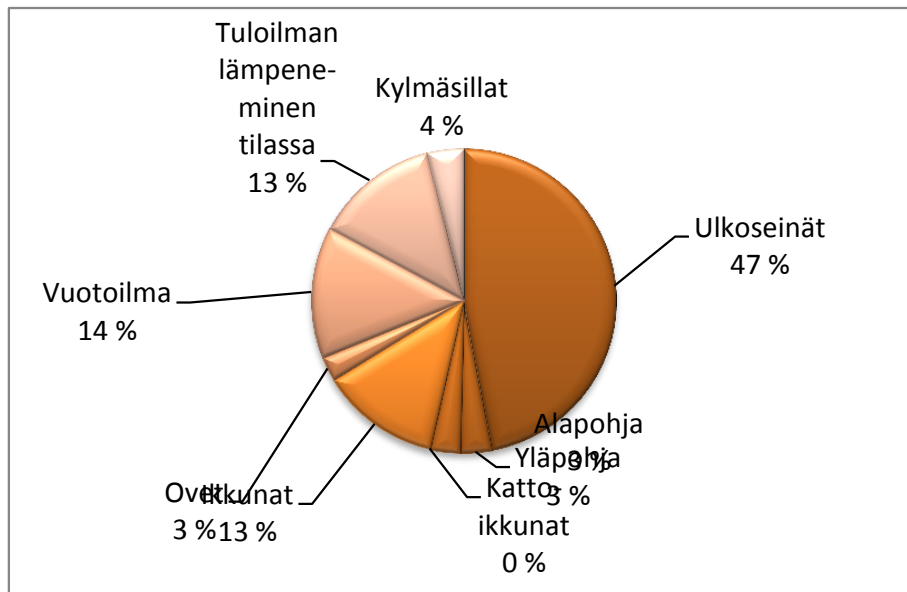
Kuvaaja 1. Energiamuotojen kertoimilla painotettu kokonaisenergiantarve

Laskennassa käytetyt U-arvot, W/m²K

Ulkoseinät	0,38
Yläpohja	0,09
Alapohja	0,16
Kattoikkunat	0,00
Ulko-ovet	0,80

Ikkunat

pohjonen	0,80
itä	0,80
etelä	0,80
länsi	0,80



Kuvaaja 2. Sisätilojen lämmitystarpeen jakautuminen

Kuvaajan 2 osuuksissa on huomioitu energiamuotojen kertoimien painotukset rakentamismääräysräskekoelman osan D3-2012 mukaisesti seuraavasti:

1,7 - sähkö

0,7 - kaukolämpö

1,0 - fossiiliset polttoaineet

0,5 - rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet

E-luku valituilla U-arvoilla

136 kWh/m² a

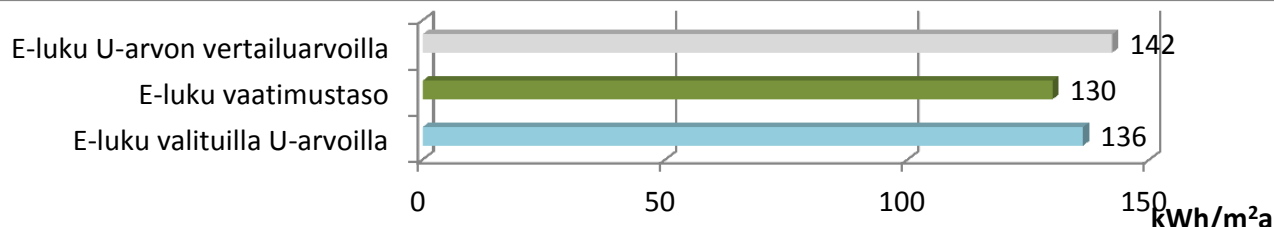
E-luku vaatimustaso

130 kWh/m² a

E-luku U-arvon vertailuarvoilla

142 kWh/m² a

EI TÄYTÄ ENERGIA-TEHOKKUUS-VAATIMUKSIA



Rakennuskohde	Asuikerrostalo
Rakennuslupatunnus	alustava suunnittelu
Rakennustyyppi	4-kerroksinen hirsikerrostalo
Pääsuunnittelija	Jenni Sani
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	29.4.2016
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	2 316 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	1 250 m ²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	860 m ²
Lämmitetty nettoala, puoliilämpimät tilat	m ²
Rakennusluokka (1 - 9)	2
Ilmanvaihdon huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus (0 tai 1)	1
Rakennuksen kerrosmäärä	4 kerrosta

Lasketatuloksia

Julkisivupinta-ala on 978 m²
 Ikkunapinta-ala on 1 % maanpäällisestä kerrostasoalasta
 Ikkunapinta-ala on 2 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 100 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT							
<i>Lämpimät tilat</i>							
Ulkoseinä			0,17	0,60		-	-
Hirsiseinä	766	938	0,40	0,60	0,38	306,2	356,4
Yläpohja	285	285	0,09	0,60	0,08	25,6	22,8
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾	215		0,17	0,60	0,15	36,6	32,3
Alapohja (maanvastainen) ²⁾			0,16	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	187,5	15,0	1,00	1,80	0,80	187,5	12,0
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾	25,2		1,00	1,80	0,80	25,2	20,2
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Kattovalokuvut			1,00	2,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	1 478	1 478				581,1	443,6
<i>Puoliilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset</i>							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen) ²⁾			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾			1,40	2,80		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Kattovalokuvut			1,40	2,80		-	-
Puoliilämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)		Vuotoilmavirta, m ³ /s		Ominaislämpöhäviö, W/K		
	[q ₅₀]		[q _{v,v} = q ₅₀ / 20 · A/3600]		[H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Vuotoilma							
Lämpimät tilat	2,0		0,0410		49,3	-	
Puoliilämpimät tilat	2,0				-	-	
ILMANVAIHTO							
	Poistoilmavirta, m ³ /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [h _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K		
	[q _{v,p}]		[h _a]		[H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-h _a)]		
Hallittu ilmanvaihto	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimät tilat	0,344		45		227,0	412,8	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Puoliilämpimät tilat			45		-	-	
Puoliilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
					Ominaislämpöhäviö, W/K		
					[H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]		
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä	857	856					
Puoliilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä	-	-					

- ¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämmönläpäisykertoimen laskennassa voidaan ottaa huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila, jos ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta. Tällöin osan C4 ohjeen mukaan yksityiskohtaisesti lasketun U-arvon sijaan voidaan käyttää rakenteen U-arvoa kerrottuna kertoimella 0,9. Jos ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on yli 8 promillea alapohjan pinta-alasta, alapohja lasketaan ulkoilmaan rajoittuvana.
- ²⁾ Maanvastaisen lattia- tai seinärakenteen lämmönläpäisykerroin voidaan osan C4 mukaisesti laskea yksinkertaistetusti kertomalla pelkän lattia- tai seinärakenteen lämmönläpäisykerroin kertoimella 0,9. Kerroin ottaa huomioon maan lämmönvastuksen. Yksinkertaistettu menetelmä ei ota huomioon rakenteen geometrian vaikutusta.
- ³⁾ Ulko-oviin ja tuuletusluukuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.

Rakennuskohde	Asuinkerrostalo
Rakennuslupatunnus	alustava suunnittelu

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista (osa D3)							
Pinta-alat							
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td>v</td><td></td></tr></table>	kyllä	ei	v		
kyllä	ei						
v							
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuisissa							
- lämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td>v</td><td></td></tr></table>	v				
v							
- puolilämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td></td><td></td></tr></table>					
Rakennusosien U-arvot							
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td>v</td><td></td></tr></table>	kyllä	ei	v		
kyllä	ei						
v							
Rakennusvaipan ilmanpitävyys							
Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td><td>Enimmäisarvo</td><td>Suunnitteluarvo</td></tr></table>	kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnitteluarvo	
kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnitteluarvo				
- lämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>4</td><td></td></tr></table>			4		
		4					
- puolilämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>4</td><td></td></tr></table>			4		
		4					
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td><td>Vertailuarvo</td><td>Suunnitteluarvo</td></tr></table>	kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo	
kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo				
- lämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td>v</td><td></td><td>857 W/K</td><td>856 W/K</td></tr></table>	v		857 W/K	856 W/K	
v		857 W/K	856 W/K				
- puolilämpimissä tiloissa		<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>					
Tarkistuslistan yhteenveto							
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset		<table border="1"><tr><td>kyllä</td><td>ei</td></tr><tr><td>v</td><td></td></tr></table>	kyllä	ei	v		
kyllä	ei						
v							

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2012 (versio joulukuun 2012)

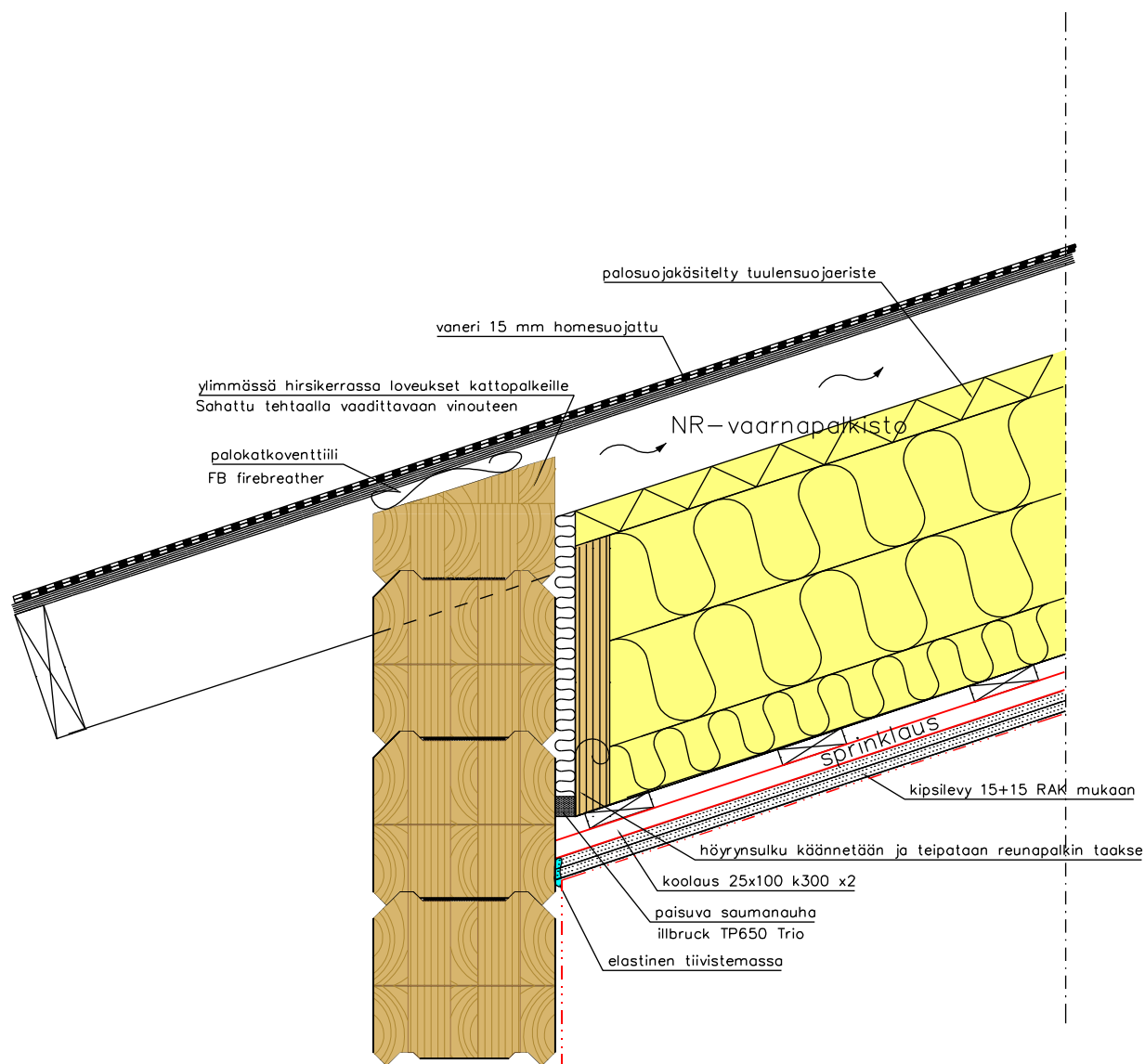
Lisäselvitykset
Rakennuksen ilmanpitävyys
Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvoa. Suunnitteluarvon valinnasta on esitettävä selvitys. Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys. Rakennuksen ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan määrittää lämmöntalteenottolaitteen valmistajan ilmoittaman varmennetun vuosihyötysuhteen perusteella. Ohjeita vuosihyötysuhteen määrittämiseksi esitetään ympäristöministeriön monisteessa 122 ja tasauslaskentaoppaassa. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään osassa D3/2012 esitetyn säävyöhyke I:n säätiedoilla (Helsinki-Vantaa).

DETALJILUETTELO**LOG-RISE**

YP1	Yläpohjan liitos hirsiseinään, sivuräystä
YP2	Yläpohjan liitos hirsiseinään, pätyräystä
YP3	Yläpohjan liitos huoneistojen väliseen seinään
VP1	Välipohjan sivuliitos ulkoseinään
VP2	Välipohjan päätyliitos ulkoseinään
VP3	Parvekkeen liitos ulkoseinään
VP4	Porrashuoneen kerrostasoelementtien liitos hirsiseinään
VP5	Porrashuoneen kerrostasoelementin risteävä liitos
VP7M	Märkätiladetalji, pesutilat siporex / harkko
VP8M	Märkätiladetalji, pesutilat teräsranka
VP9M	Märkätiladetalji, pesutilat puuranka
VP10M	Märkätiladetalji, sauna
VP11M	Märkätiladetalji, KHH
AP1	Alapohjaliitos sokkelipalkkiin tai kellarin elementtiseinään
AP2	Alapohjaliitos sokkelipalkkiin tai kellarin elementtiseinään
AP3	Huoneistojen välisen seinän alapohjaliitos kellari/rossipohja
AP4	Alapohjan liitos märkätilan kohdalla
AP5	Alapohjan liitos märkätilan kohdalla, huoneistojen välinen seinä
AP6	Hirsiseinän ankkurointi sokkeliin tai elementtiin
US1	Hirsiseinän nurkkaliitos, lohenpyrstö
US2	Hirsiseinän nurkkaliitos, piilonurkka
US3	Ikkunadetalji
US4	Ovidetalji
US5	Ikkuna/ovidetalji, naamakuva
US6	Ikkunadetalji, naamakuva
VS1	Huoneistojen välinen seinä
VS2	Huoneistojen välinen seinä ulkoseinäliitos, jatkuva kaksoisrunko
VS3	Huoneistojen välinen seinä, ulkoseinäliitos, pilarirunko
VS4	Huoneistojen välinen seinä, ulkoseinäliitos, jatkuva
TO1	Koolausperiaate

YP1

Yläpohja REI60
sivuräystään liitos hirsiseinään, paloräystä



REI60

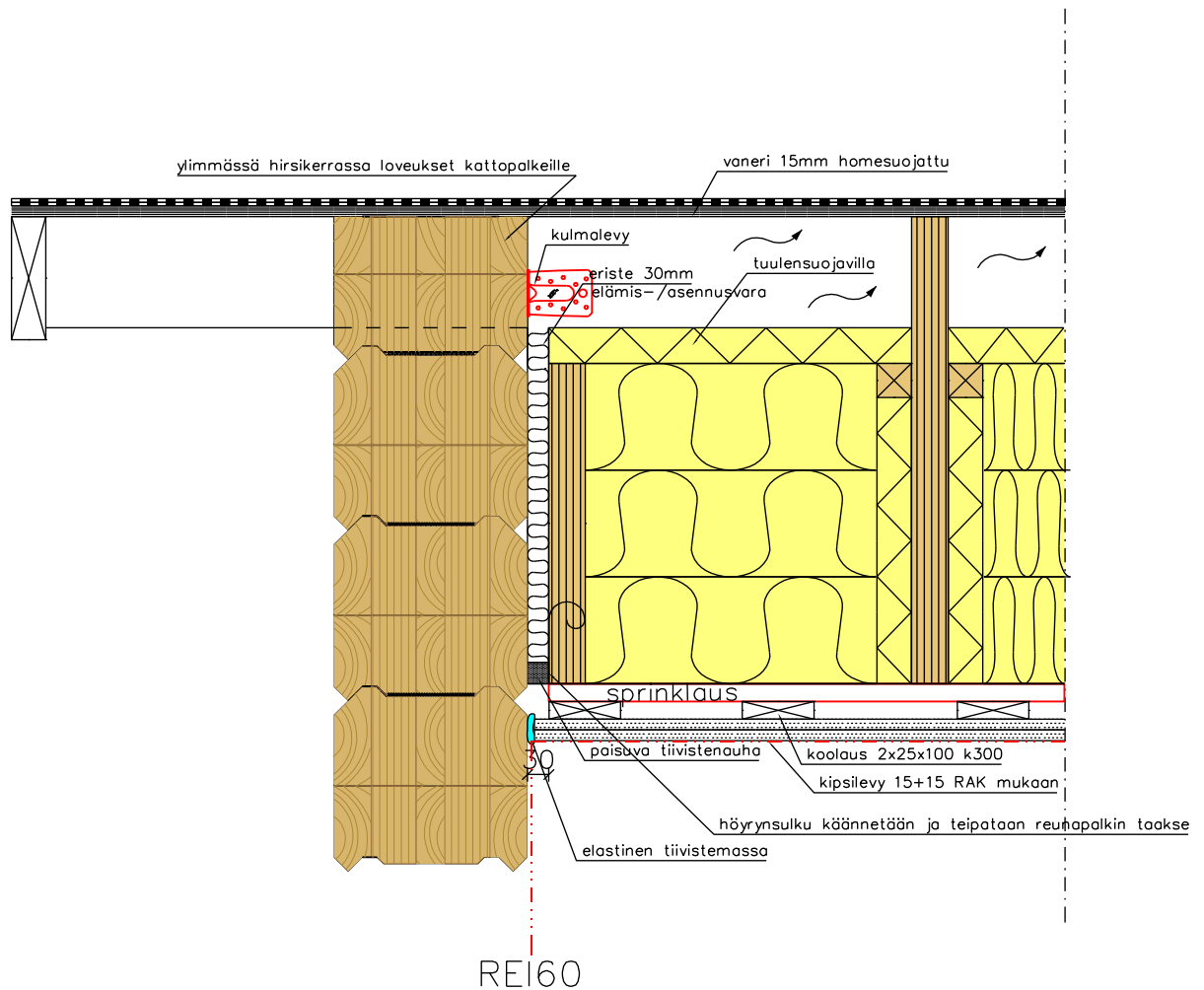
Kattorakenteet kootaan elementeiksi tehtaalla. Asennustyön helpottamiseksi reunimmaisat kipsilevykaistat kiinnitetään ja muotoillaan työmaalla.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

YP 2

Yläpohja REI60
päätyräystään liitos hirsiseinään, paloräystä



Kattorakenteet kootaan elementeiksi tehtaalla. Asennustyön helpottamiseksi reunimmaisat kipsilevykaistat kiinnitetään ja muotoillaan työmaalla.

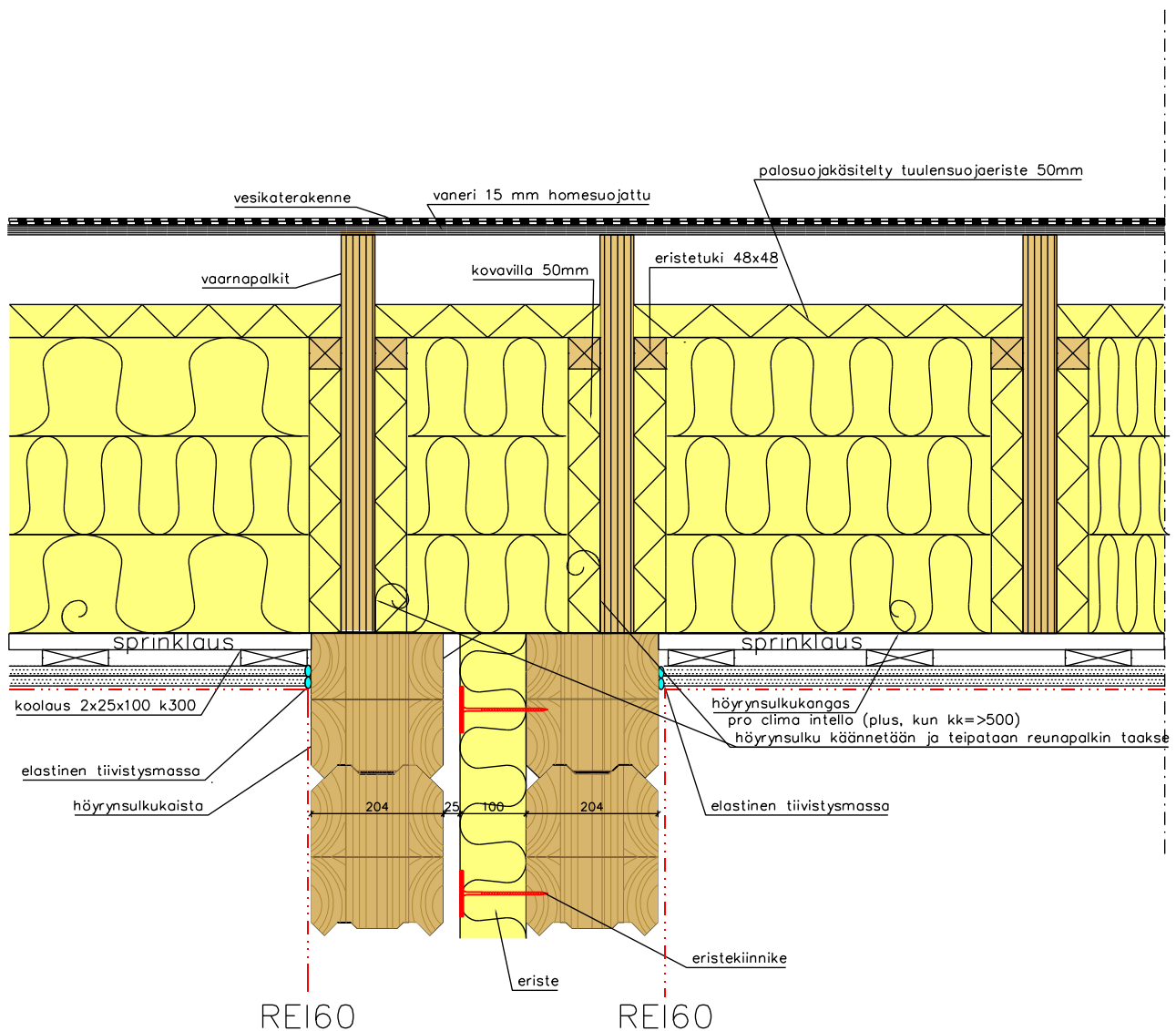
Yläpohjan tuuletus lappeen myötäisesti, jolloin päätyräystä voidaan sulkea.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

YP3

HVS – YP REI60 huoneistojen välisen seinän liitos yläpohjaan



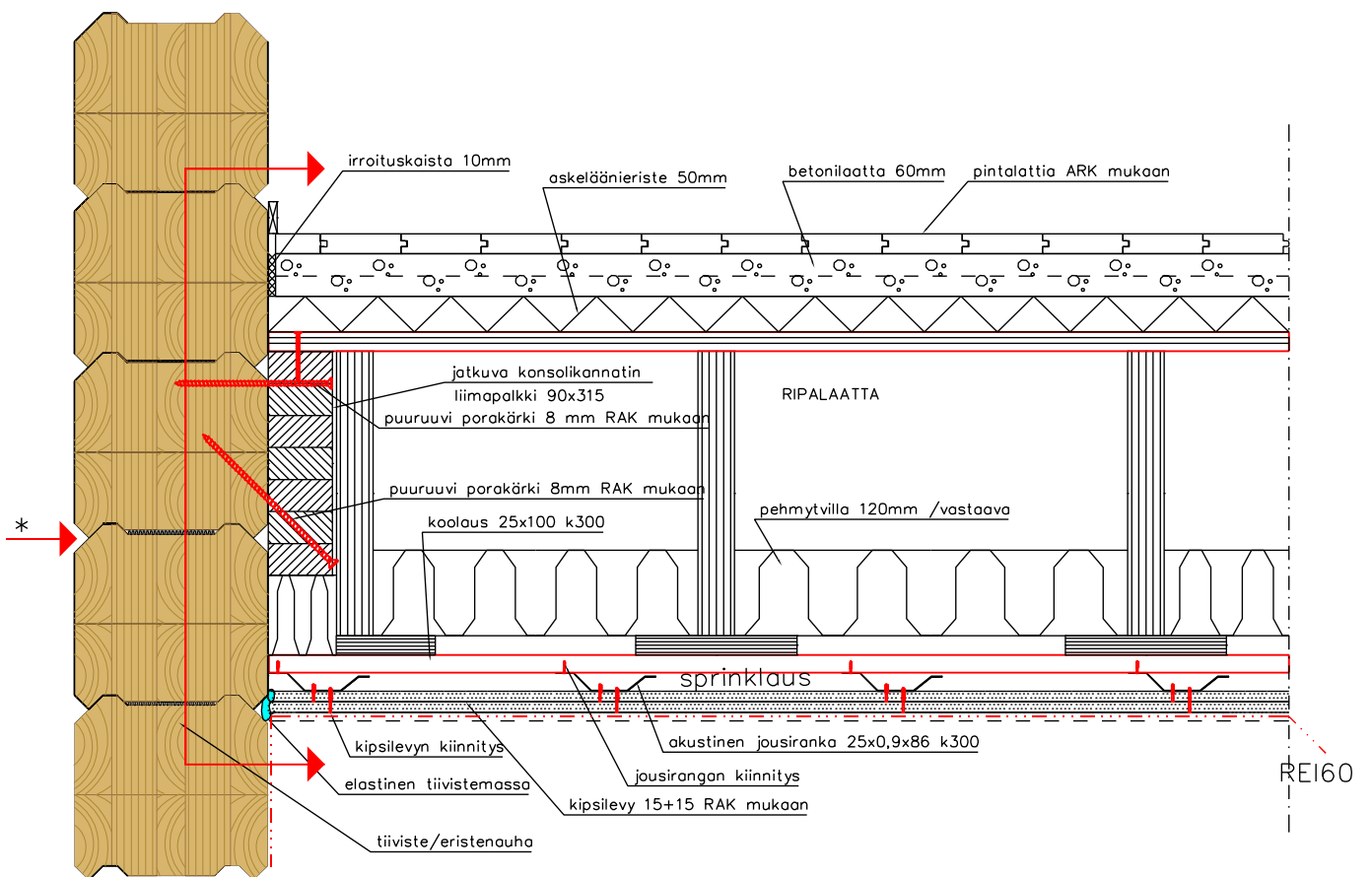
Huoneiston välisen seinän yli asennetaan höyrynsulku ennen kattorakenteiden asennusta. Kun kattorakenne on paikallaan, limitetään höyrynsulut reunimmaisten kipsilevykaistojen alle. Limitys tiivistetään Tescon tiivistysteipillä, joka on yhteensopiva intello–höyrynsulkukankaiden kanssa.

Kattoelementeissä höyrynsulku esiasennettuna, käännettynä ja tiivistettynä reunimmaisen palkin kylkeen.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

VP1

VP – US REI60
sivu, asuinhuoneisto

Kylpyhuoneirakenteiden ja ei-kantavien väliseinien sijoittelun ollessa hyvin vapaita, on rakennuksessa lisätty liimapalkki-konsoli tueksi kiertämään välipohjen sivu- että päätyreunat. Märkätilat toteutetaan itseseisovana rakenteena välipohjan päälle, joten sijoitus-suosituksen ollessa kantavien runkolinjojen lähellä, on perusteltua toteuttaa välipohjarakenteelle tuki myös sivuavalle seinälle taipumien välttämiseksi välipohjarakenteessa.

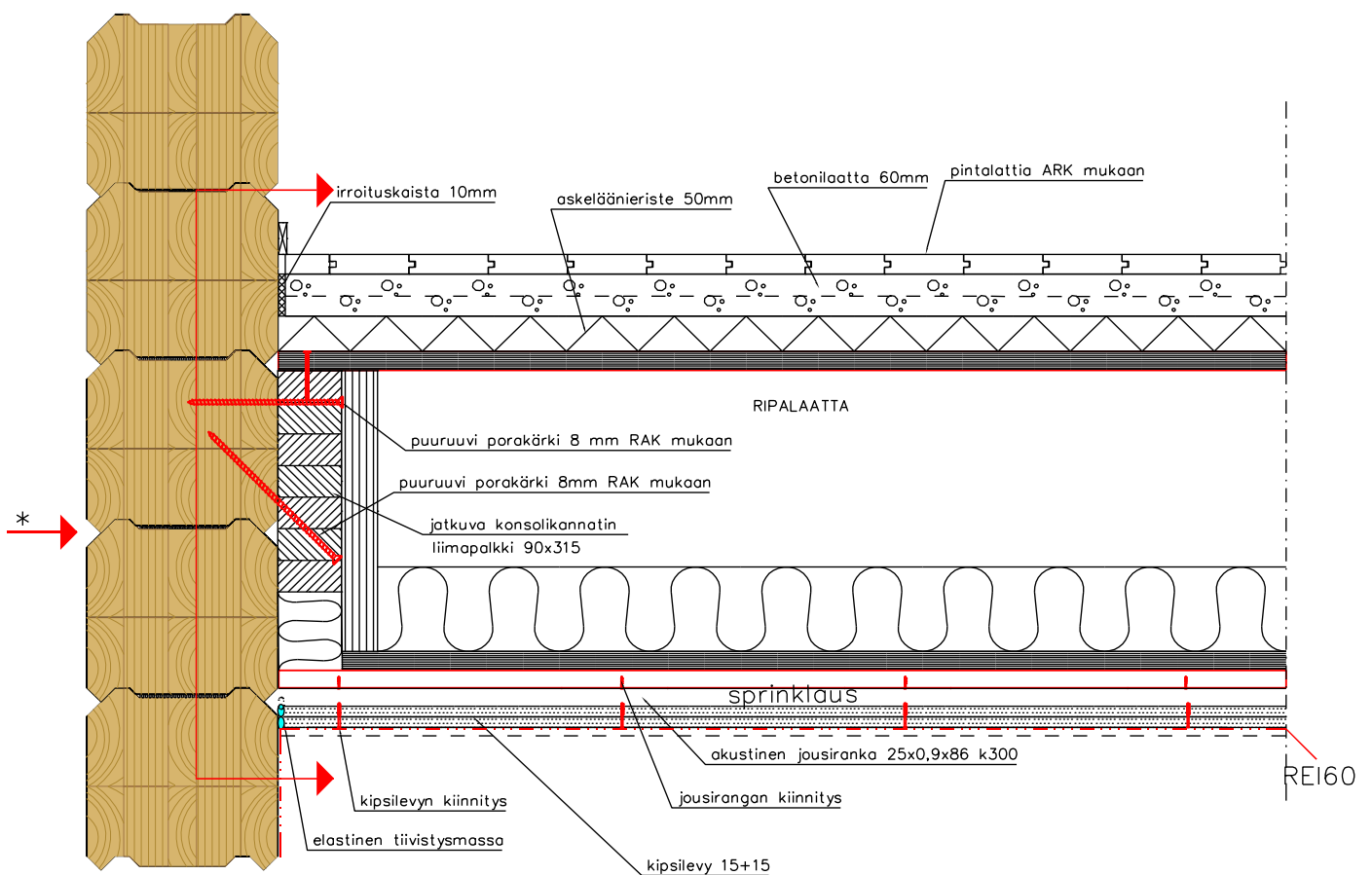
*Tarvittaessa tärinävaimennuksen eristin asennetaan yhteen varaukseen seinässä välipohjan kohdalla.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

VP 2

VP – US REI60
päätty, asuinhuoneisto



Kylpyhuoneirakenteiden ja ei-kantavien väliseinien sijoittelun ollessa hyvin vapaata, on rakennuksessa lisätty liimapalkki-konsoli tueksi kiertämään välipohjien sivu- että päätyreunat. Märkätilat toteutetaan itseseisovana rakenteena välipohjan päälle, joten sijoitus-suosituksen ollessa kantavien runkolinjojen lähellä, on perusteltua toteuttaa välipohjarakenteelle tuki myös sivuavalle seinälle taipumien välttämiseksi välipohjarakenteessa.

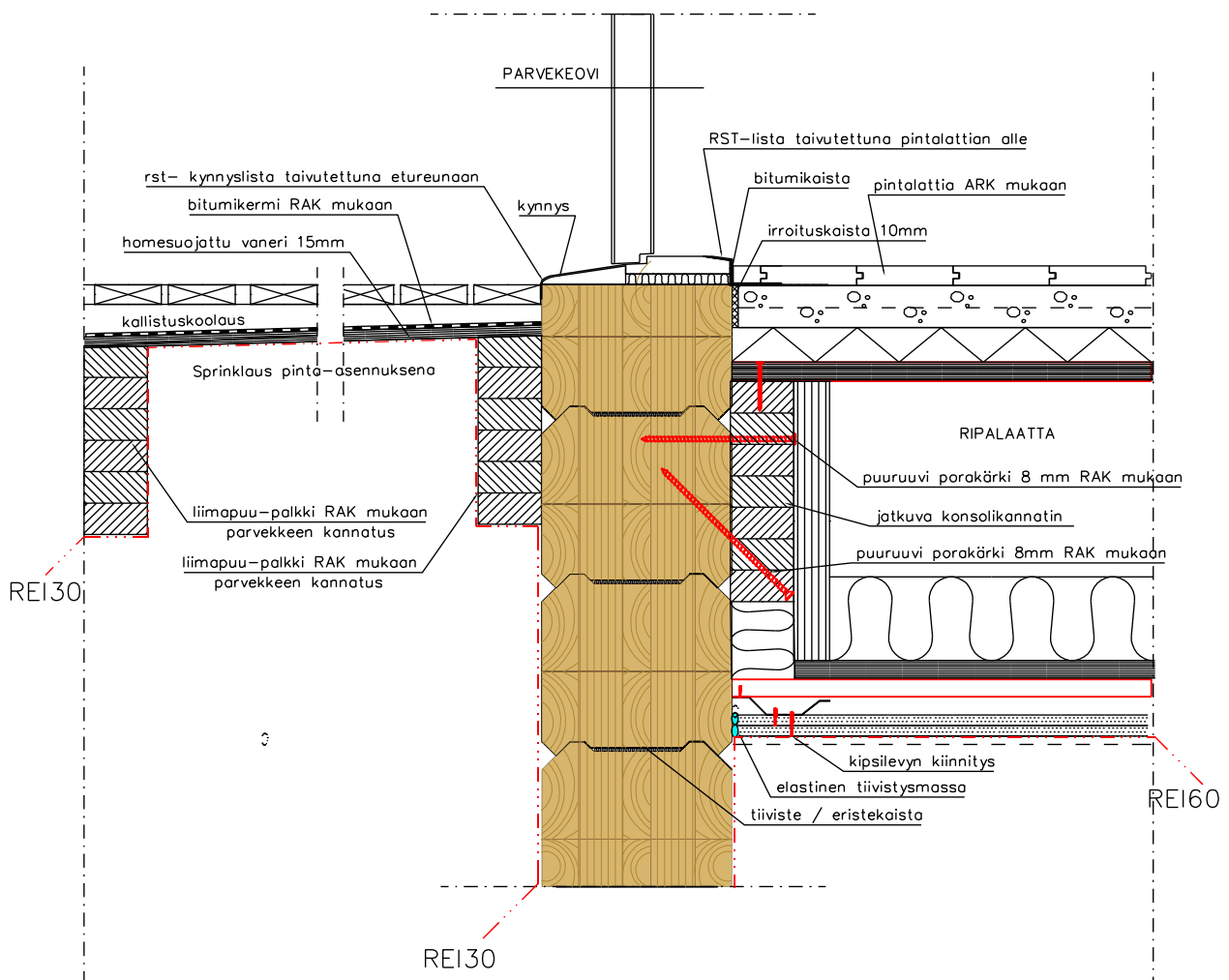
*Tarvittaessa tärinävaimennuksen eristin asennetaan yhteen varaukseen seinässä välipohjan kohdalla.

PERIAATEDETALJI

Rakennerratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

VP3

VP – US parvekerakenteiden liitos



Parvekeoven / avattavan parvekeseinän liitos rakenteeseen suunniteltava käytettävän oviratkaisun mukaisesti.

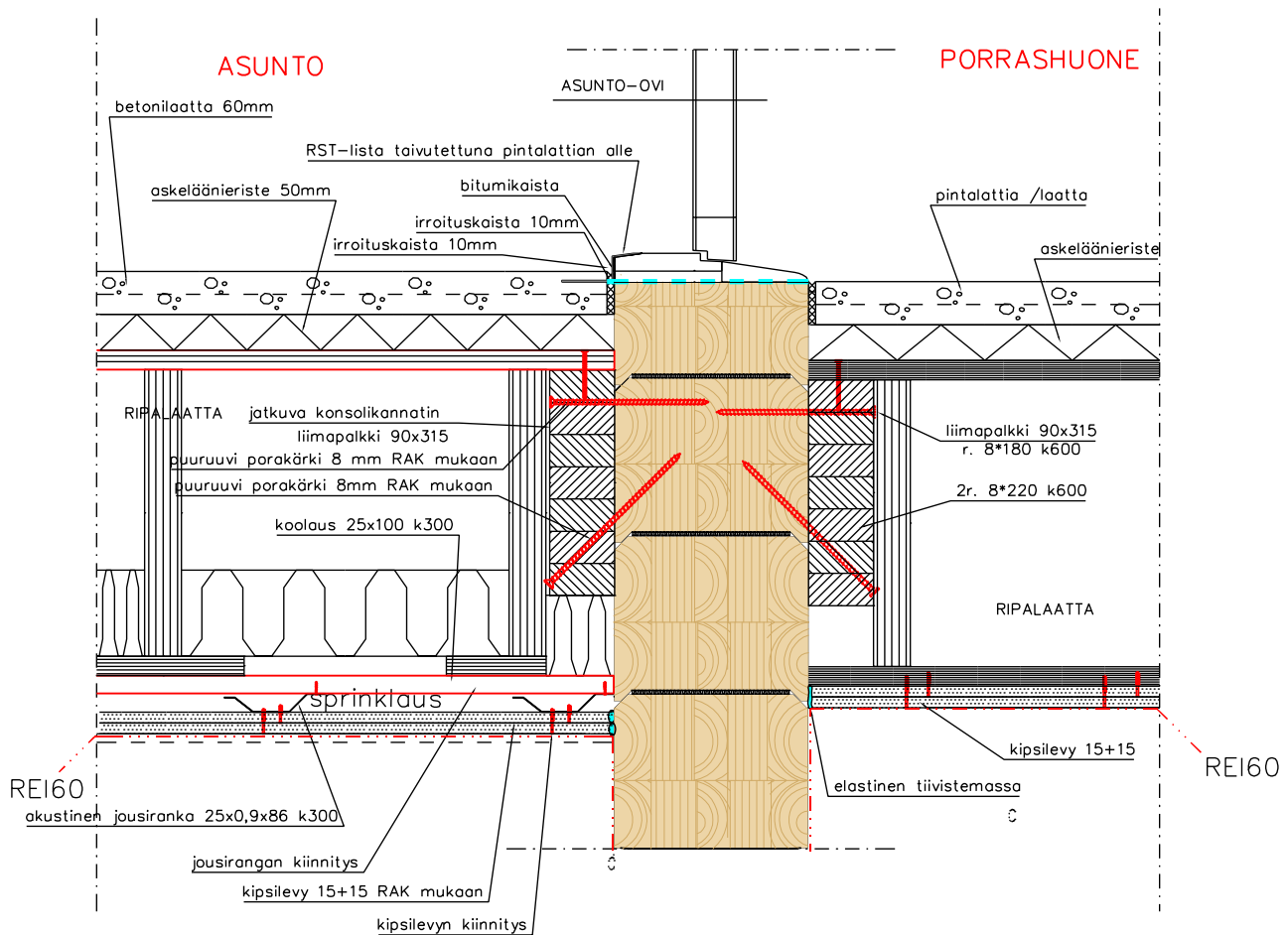
Parvekerakenteiden alapinnat käsiteltävä palonsuoja-ainein.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

VP 4

Porrashuone – US välipohjajaelementtien liitos hirsiseinään



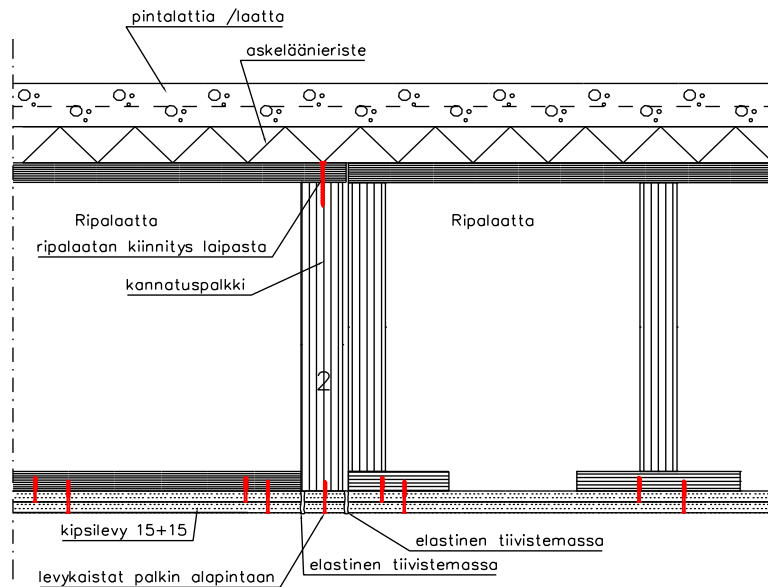
Rakennukseen kohdistuessa painumia, palkisto on kiinnitettävä vain yhteen hirsikertaan jokaiselta sivulta. Portaikon tukipilareihin palkistoa ei ole tarpeen kiinnittää. Pilarin ja välipohjajaelementin väliin on perusteltua jättää 5 mm elämisvara.

Huoneiston ja kerrostasanteen välipohja-elementtien kiinnityksen jako tulee sovittaa niin, ettei ruuvaukset kohta.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päarakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

VP 5 Porrashuone porrastaselementin liitos kannattavaan palkkiin

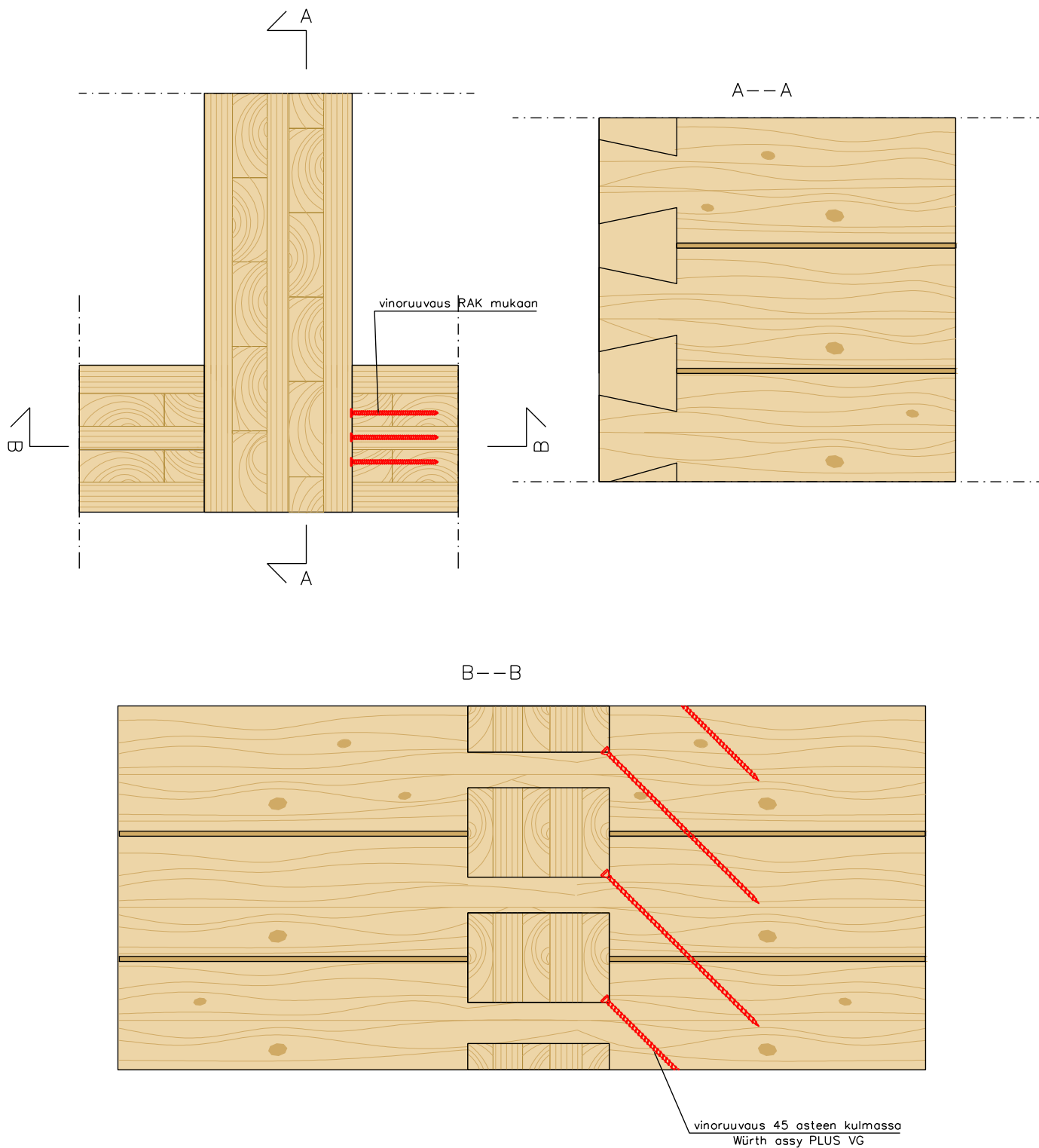


Elementit kannatetaan laipastaan porrashuoneen läpäisevän kannatuspalkin päälle, jonka päälle tarvittaessa valetaan teräsbetoni-laatta tai asennetaan muu valittu pintamateriaali. Askeläänieriste ei ole välttämättömyys porrashuoneessa koska kerrostasojen välillä ei ole ääneneristävyyksivaatimusta, mutta eriste on suositeltava askeläänien vaimentumisen takia.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö pääarakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

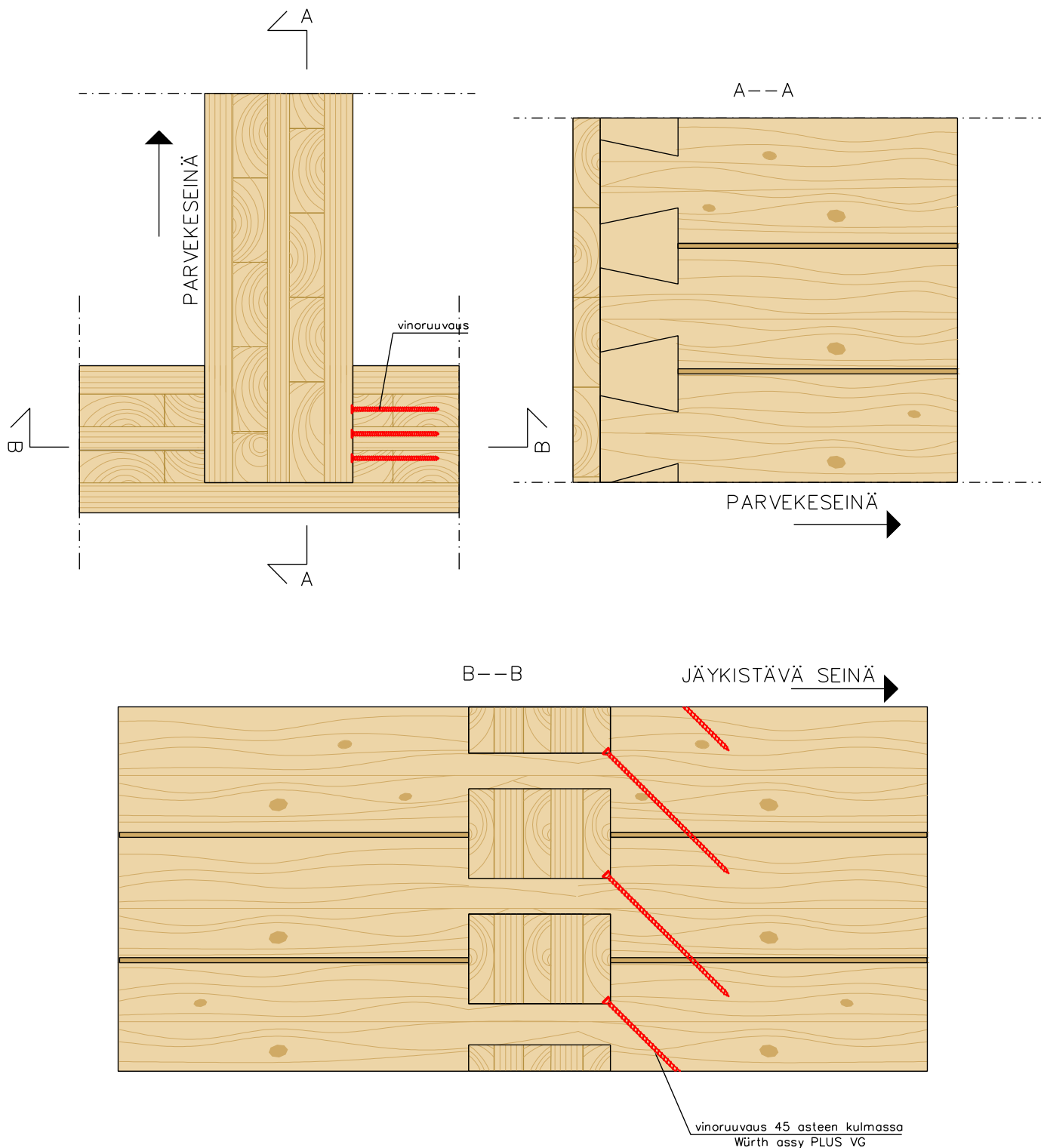
US1 US – US lohenpyrstö



PERIAATEDETALJI

Rakennetkaisuun käyttö päarakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

US2 Ulkoseinän liitos huoneiston kantavaan väliseinään piilonurkka

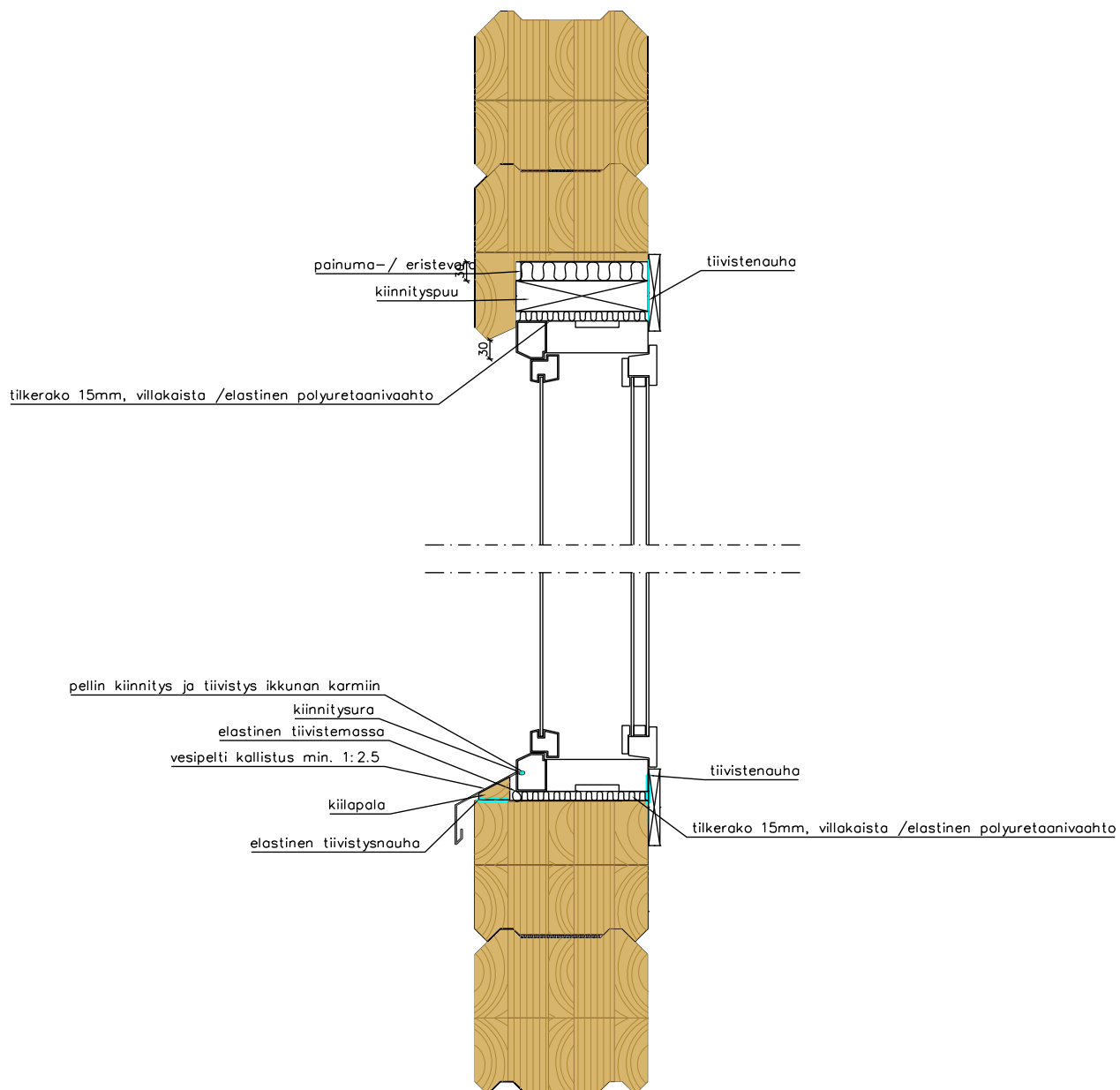


PERIAATEDETALJI

Rakennetarkoituksen käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

US3

Ikkuna liitos hirsiseinään

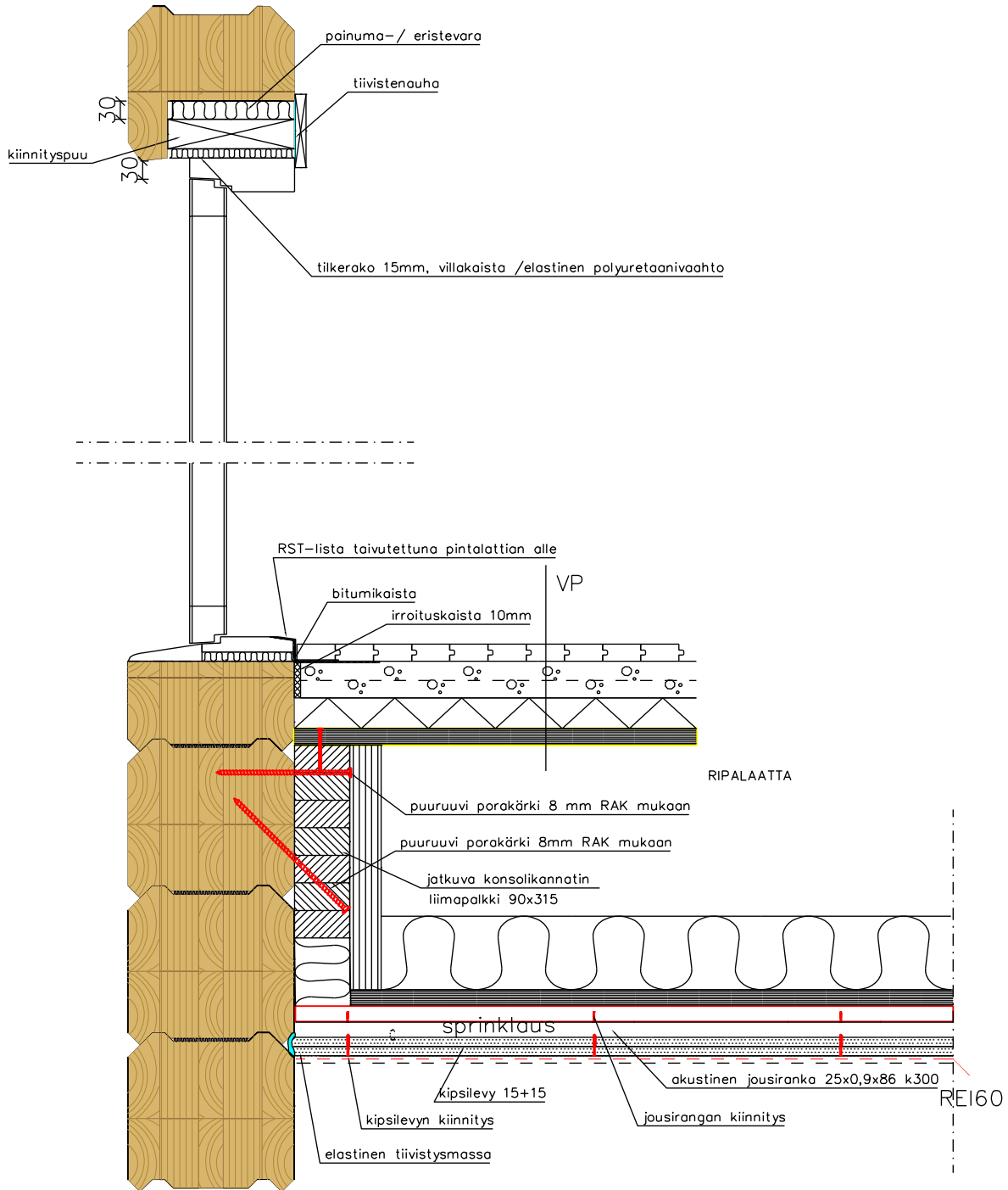


Ikkuna- ja oviliitoksissa on painuma aina huomioitava tapauskohtaisesti, eikä yhtä, yleismaallisesti toimivaa painumamittaa ole. Hirsikerrostalossa kuitenkin painumisvaran suuruus on hyvä suhteuttaa ns. painumattomaan hirren ominaisuuksiin.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

US4 ovi liitos hirsiseinään



Ikkuna- ja oviliitoksissa on painuma aina huomioitava tapauskohtaisesti, eikä yhtä, yleismaallisesti toimivaa painumamittaa ole. Hirsikerrostalossa kuitenkin painumisvaran suuruus on hyvä suhteuttaa ns. painumattomaan hirren ominaisuuksiin.

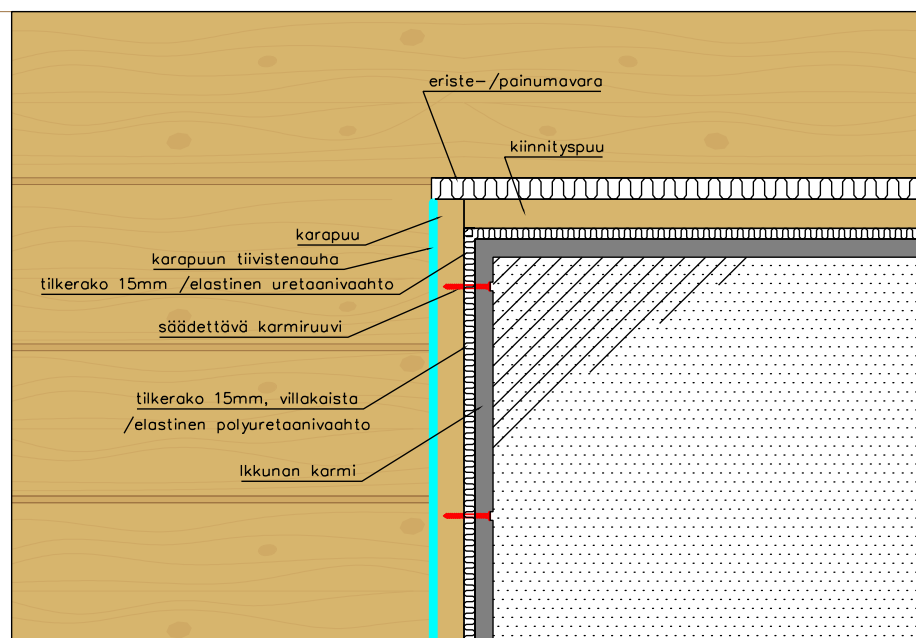
PERIAATEDETALJI

Rakenneratkaisun käyttö päarakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

US5

Naamakuva ikkuna / ovi
yläreunan liitos hirsiseinään

IKKUNALEIKKAUS KATSOMISSUUNTA SISÄLTÄ



Karmilankku kiinnitetään ainoastaan aukon alimpaan hirteen, ja yläpää jätetään vajaaksi laskennallisen painuman verran +15%, kuitenkin vähintään 5mm + painuma. Karmiruuvia kiinnitettäessä on huomioitava käytettävän ruuvien pituus, liian pitkien ruuvien käyttöä tulee ehdottomasti välttää, ettei kiinnitys ulotu hirsirunkoon asti.

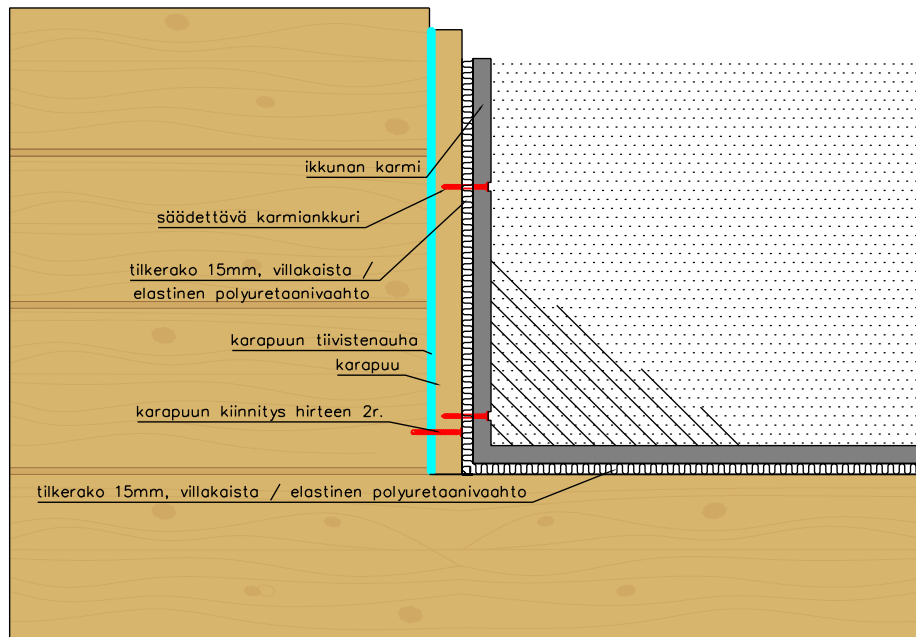
PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

US6

Naamakuva ikkuna alareunan liitos hirsiseinään

IKKUNALEIKKAUS KATSOMISSUUNTA SISÄLTÄ

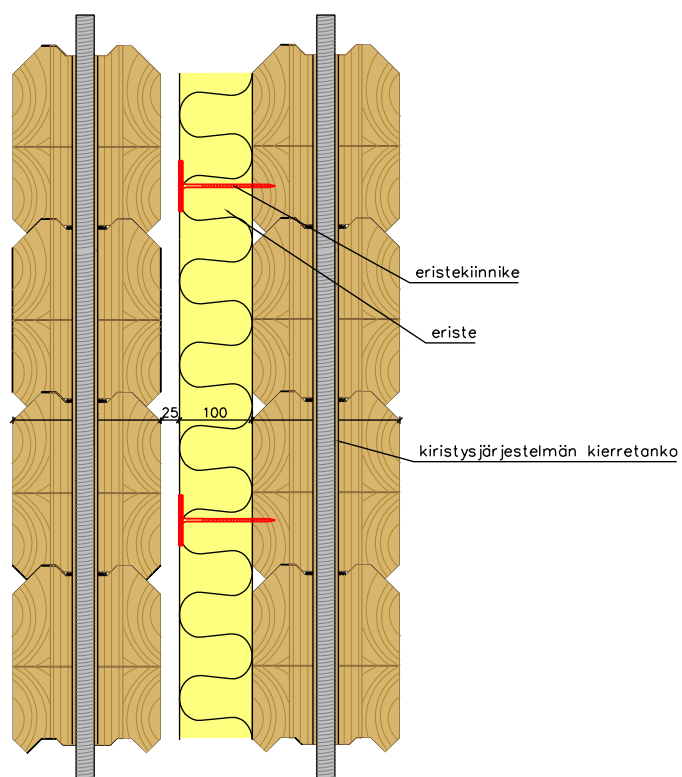


Karmilankku kiinnitetään ainoastaan aukon alimpaan hirteen, ja yläpää jätetään vajaaksi laskennallisen painuman verran +15%, kuitenkin vähintään 5mm + painuma. Karmiruuvia kiinnitettäessä on huomioitava käytettävän ruuvien pituus, liian pitkien ruuvien käyttöä tulee ehdottomasti välttää, ettei kiinnitys ulotu hirsirunkoon asti.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

VS1 Huoneistojen välinen seinä REI60

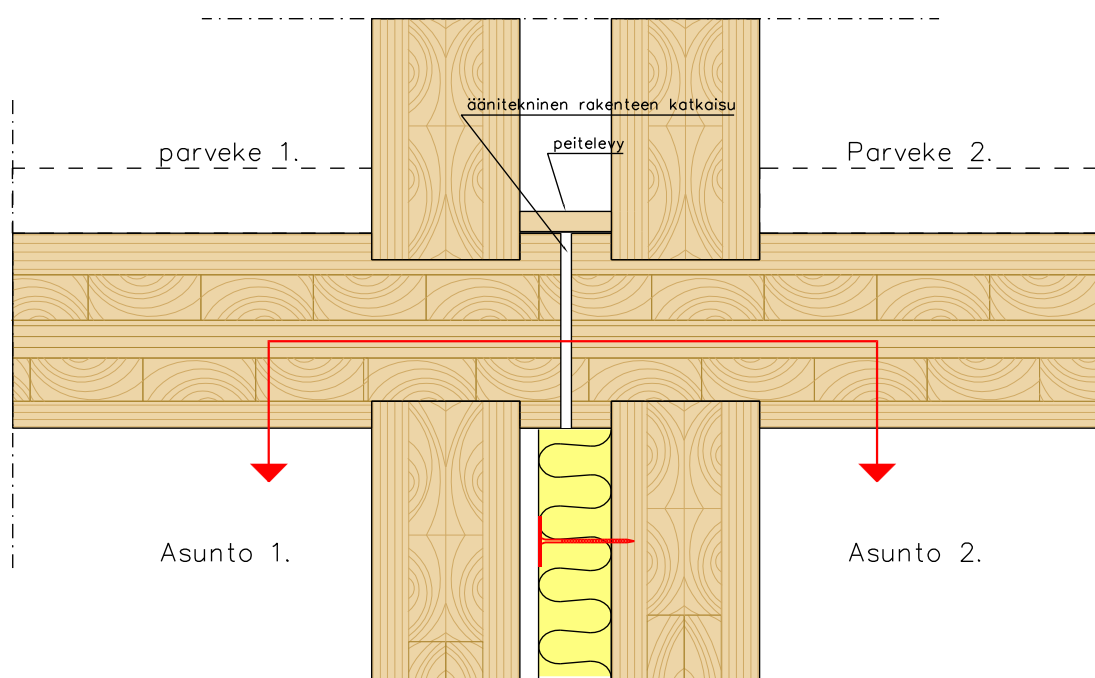


PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päarakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

VS2

HVS – US REI60
parvekeseinä, jatkuva kaksoisrunko

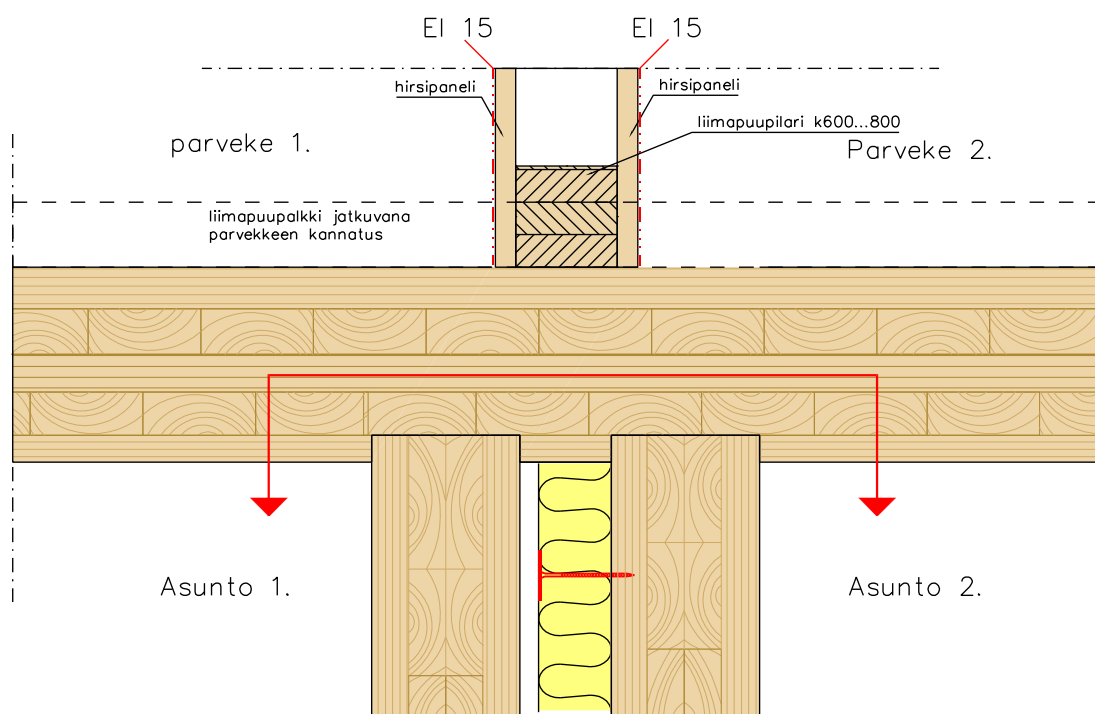


PERIAATEDETALJI

Rakennetarkoituksen käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

VS3

HVS – US REI60
parvekeseinä, pilarirunko + hirsipaneli



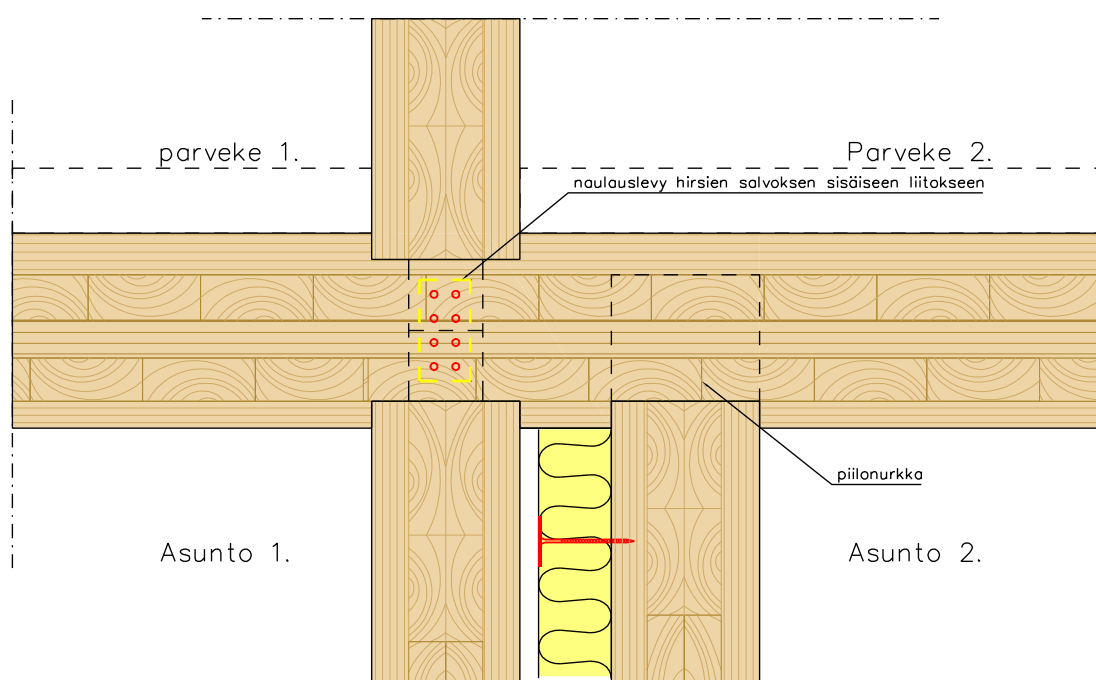
Parvekeseinä hirsipanelia, rungon pilarit kannattaa parveke-elementtejä

PERIAATEDETALJI

Rakennetkaisuun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

VS4

HVS – US REI60
parvekeseinä, jatkuva

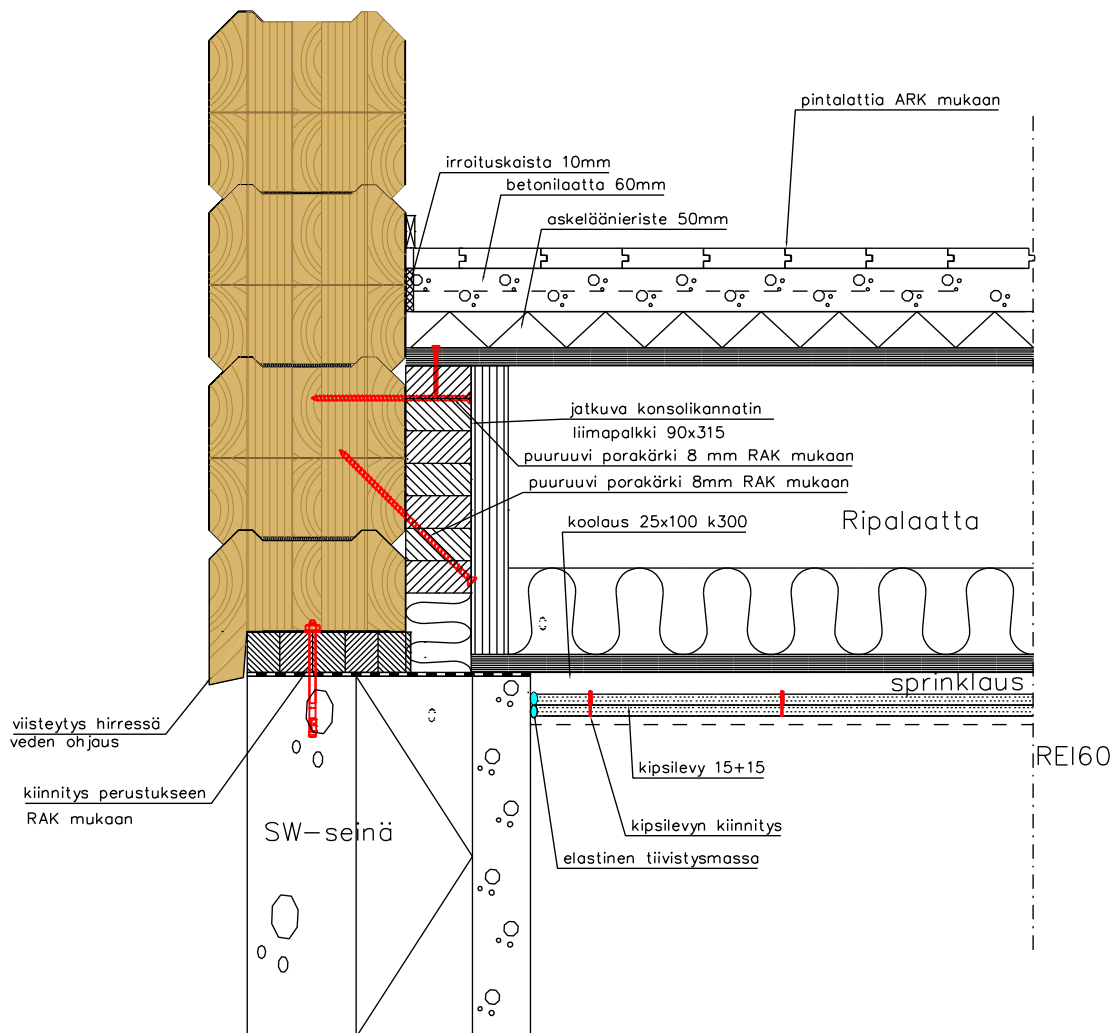
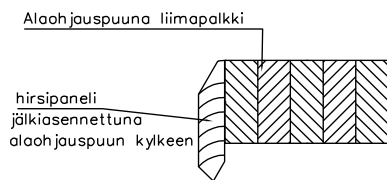


PERIAATEDETALJI

Rakennetkaisuun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

AP1 US – AP REI60 alapuolinen käyttötila

VAIHTOEHTO 2. alimman hirren korvaaminen kokonaan liimapuupalkilla

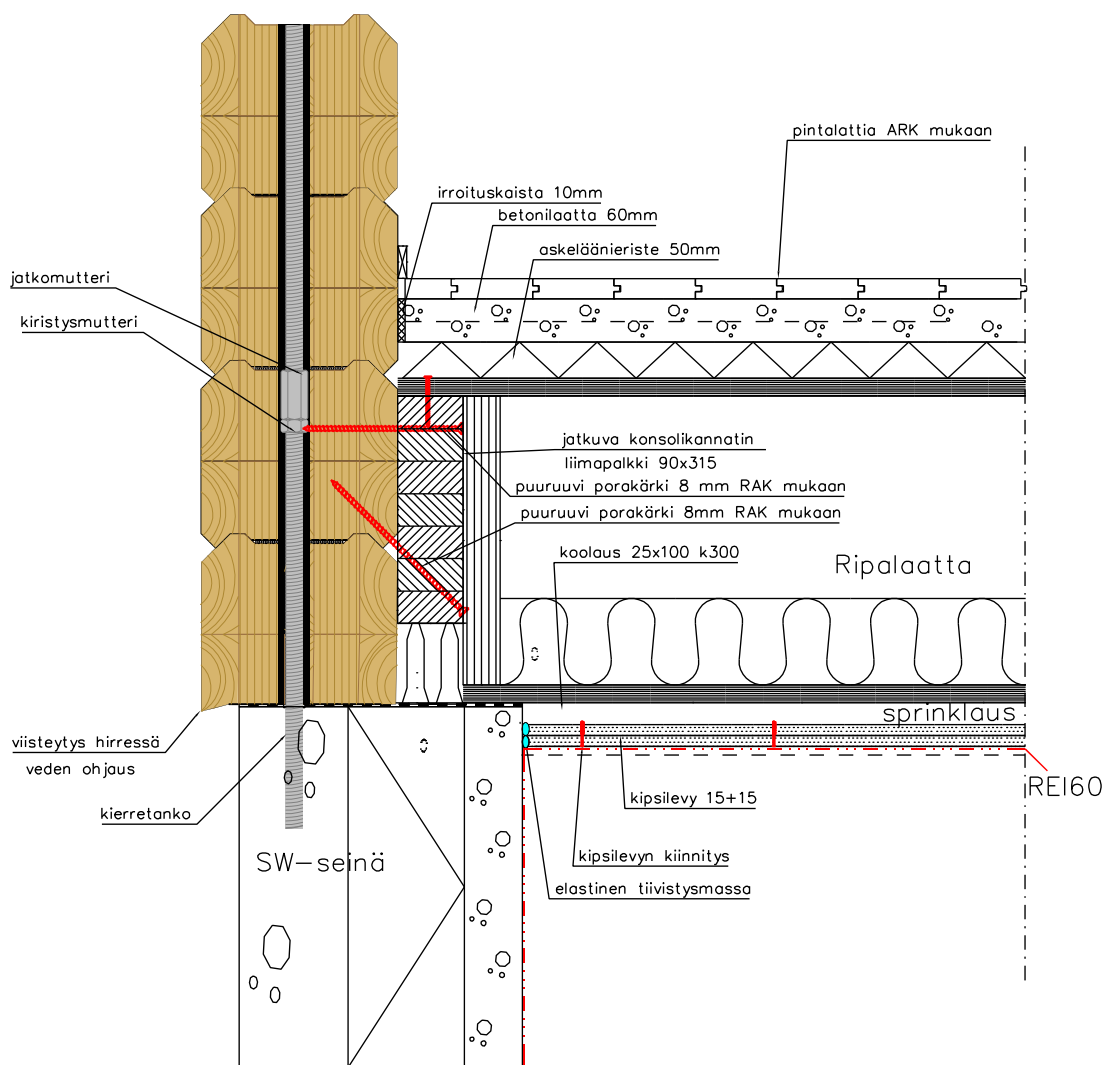


SW-elementti / sokkelipalkki
Ulkokuori kantava, eristys käyttötarkoituksen mukaan.

PERIAATEDETALJI

Rakennetarkoituksen käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

AP2 US – AP REI60 alapuolinen käyttötila

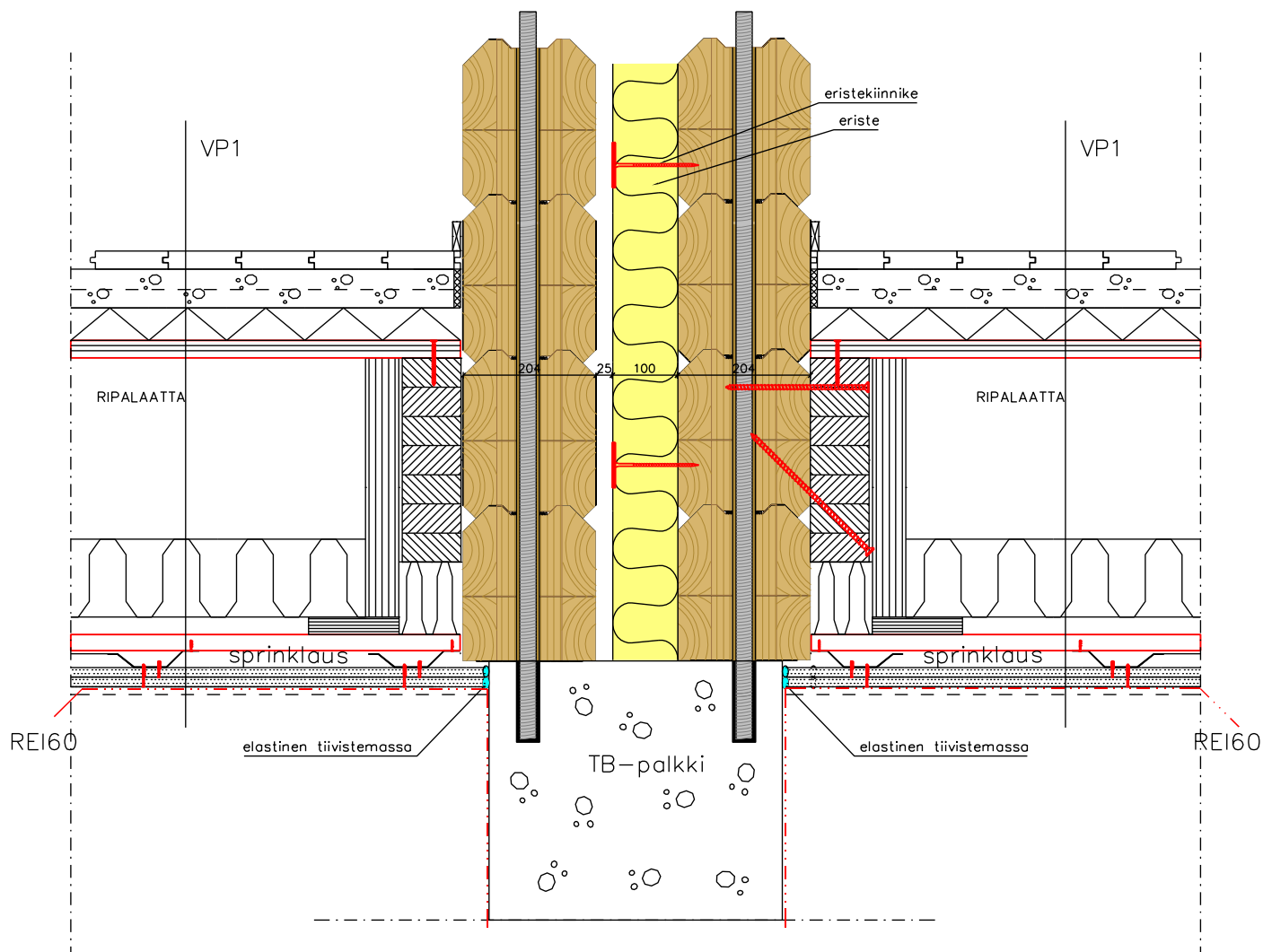


SW-elementti / sokkelipalkki
Ulkokuori kantava, eristys käyttötarkoituksen mukaan.

PERIAATEDETALJI

Rakennetarkoituksen käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

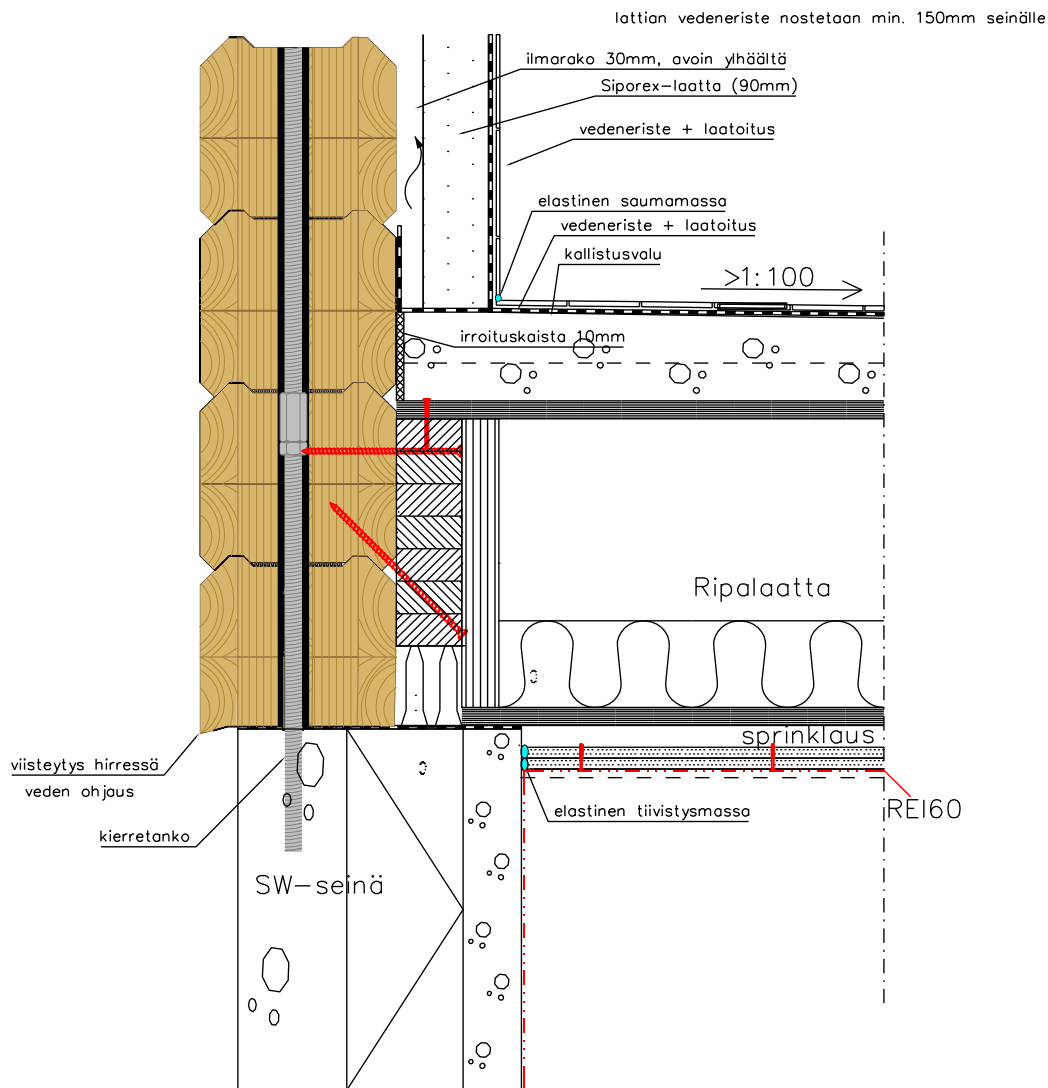
AP3 HVS – AP REI60 alapuolinen käyttötila



PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

AP4 US – AP REI60 märkätilan kohdalla



SW-elementti / sokkelipalkki, ulkokuori kantava, eristys käyttötarkoituksen mukaan.

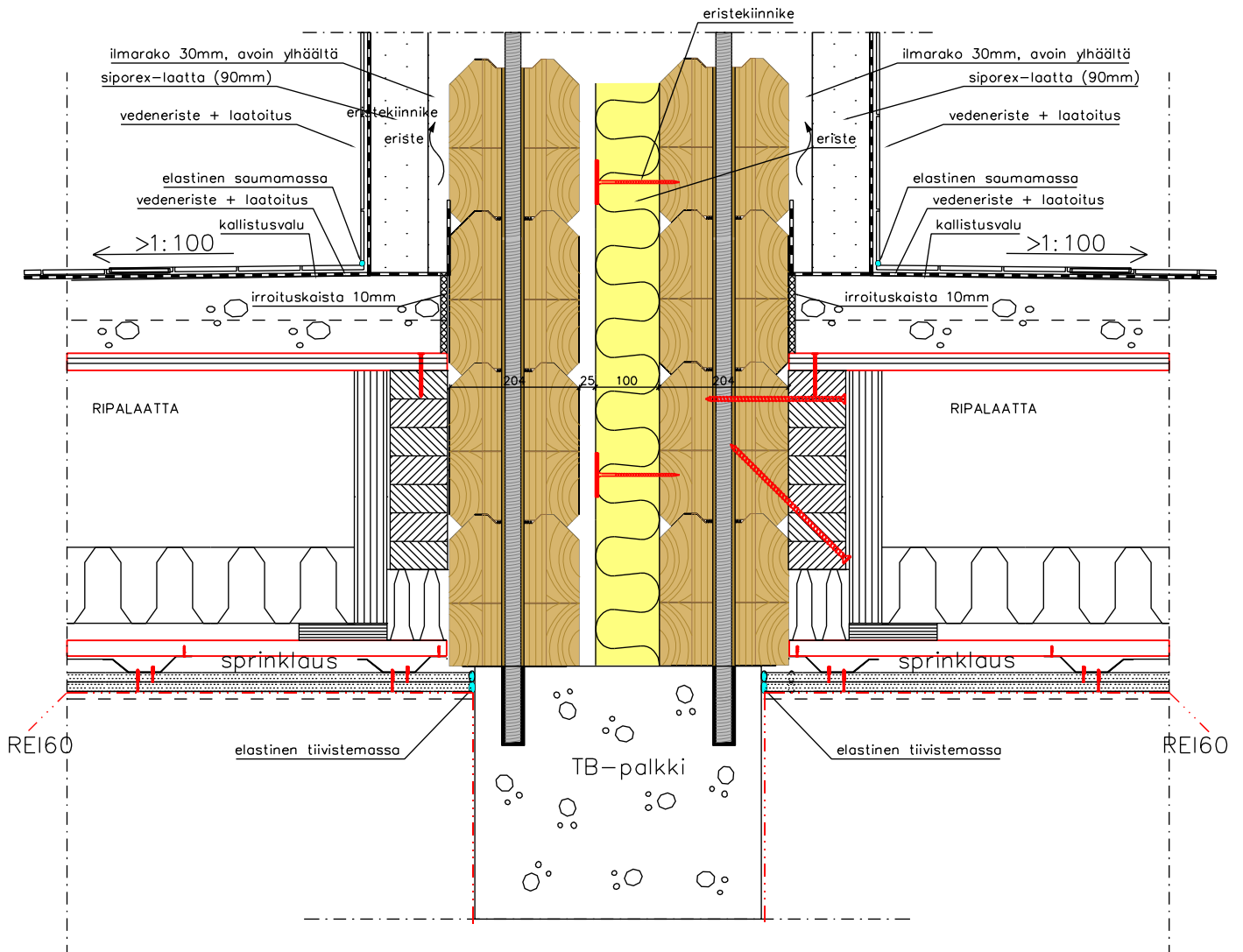
Märkätilojen kohdalla lattiavalu suoraan lattiapalkiston kansilevyn päältä, min. 110mm paksuisena kaatoineen. Näin lattia saadaan samaan tasoon muiden tilojen kanssa, Laatan syvyys riittää esimerkiksi kaivolle. Siporex-laatan alimman kerroksen alle tarvittaessa oikovalu tasaisen alustan varmistamiseksi märkätilarakenteille. Bitumikaistan asennus hirsiseinää vasten ennen ensimmäistä laattakerrosta, varmistamaan veden pääsyn estyminen runkorakenteen ja välipohjan väliin, mikäli vedeneristys pettäisi ja vesi pääsisi märkätilarakenteen välipohjajaelementin väliin.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päarakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

AP5 HVS – AP REI60 liitos rakenteita kannattavaan palkkiin märkätilan kohdalla

lattian vedeneriste nostetaan min. 150mm seinälle

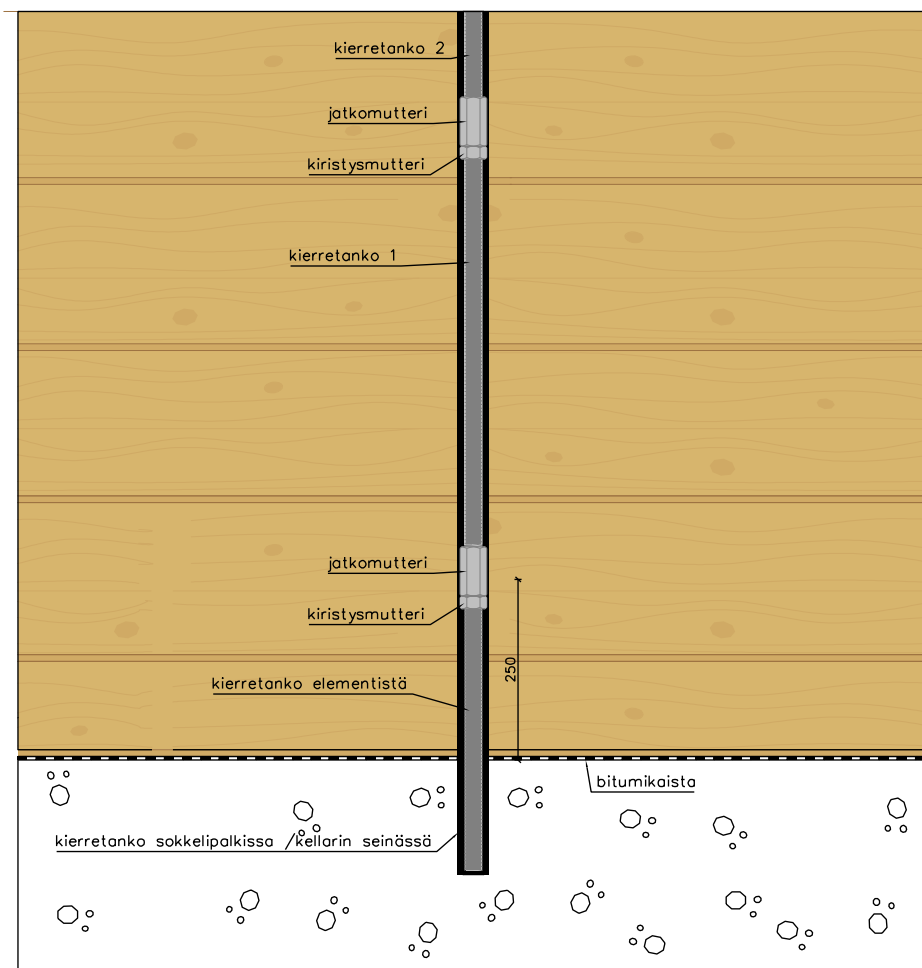


Märkätilojen kohdalla lattiavalu suoraan lattiapalkiston kansilevyn päältä, min. 110mm paksuisena kaatoineen. Näin lattia saadaan samaan tasoon muiden tilojen kanssa, Laatan syvyys riittää esimerkiksi kaivolle. Siporex-laatan alimman kerroksen alle tarvittaessa oikovalu tasaisen alustan varmistamiseksi märkätilarakenteille. Bitumikaistan asennus hirsiseinää vasten ennen ensimmäistä laattakerrosta, varmistamaan veden pääsyn estyminen runkorakenteen ja välipohjan väliin, mikäli vedeneristys pettäisi ja vesi pääsisi märkätilarakenteen välipohjajaelementin väliin.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

AP6 US – AP + HVS – AP hirsiseinän ankkurointi sokkeliin / elementtiseinään



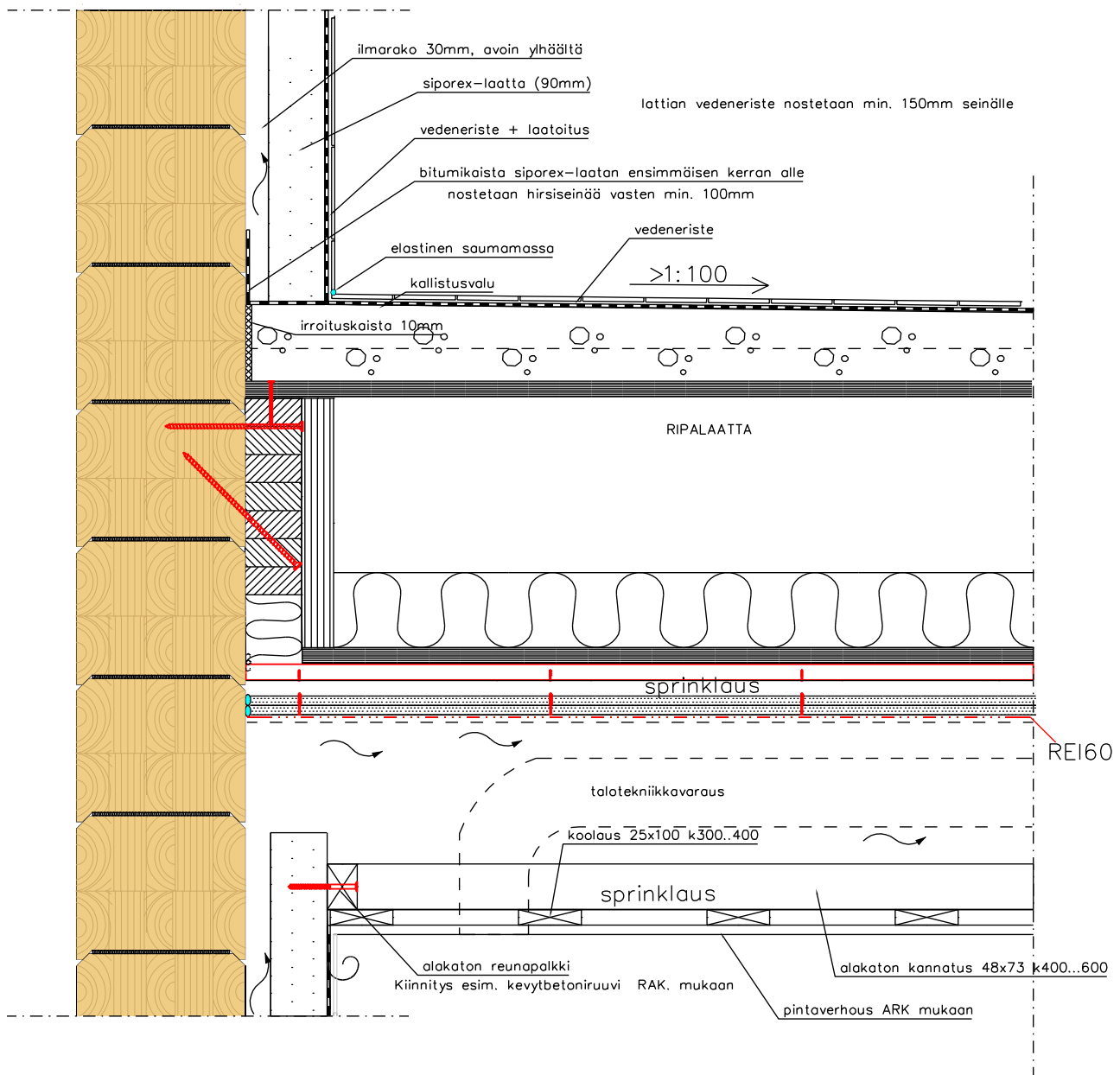
Ankkurointitapa ja -tarve on riippuvainen rakennuksen koosta ja mallista. Tilanteissa joissa ankkurointi perustukseen on tarpeen, se voidaan toteuttaa kiristystankojärjestelmän kanssa yhtenäiseksi. Kierretanko mahdollisuuksien mukaan sokkeli- tai kellarin seinäelementtiin tehtaalla, minimi ulostulo tangolle 250 mm.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päarakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

VP 7M

VP – US REI60
märkätila siporex-laatta / harkkorunko



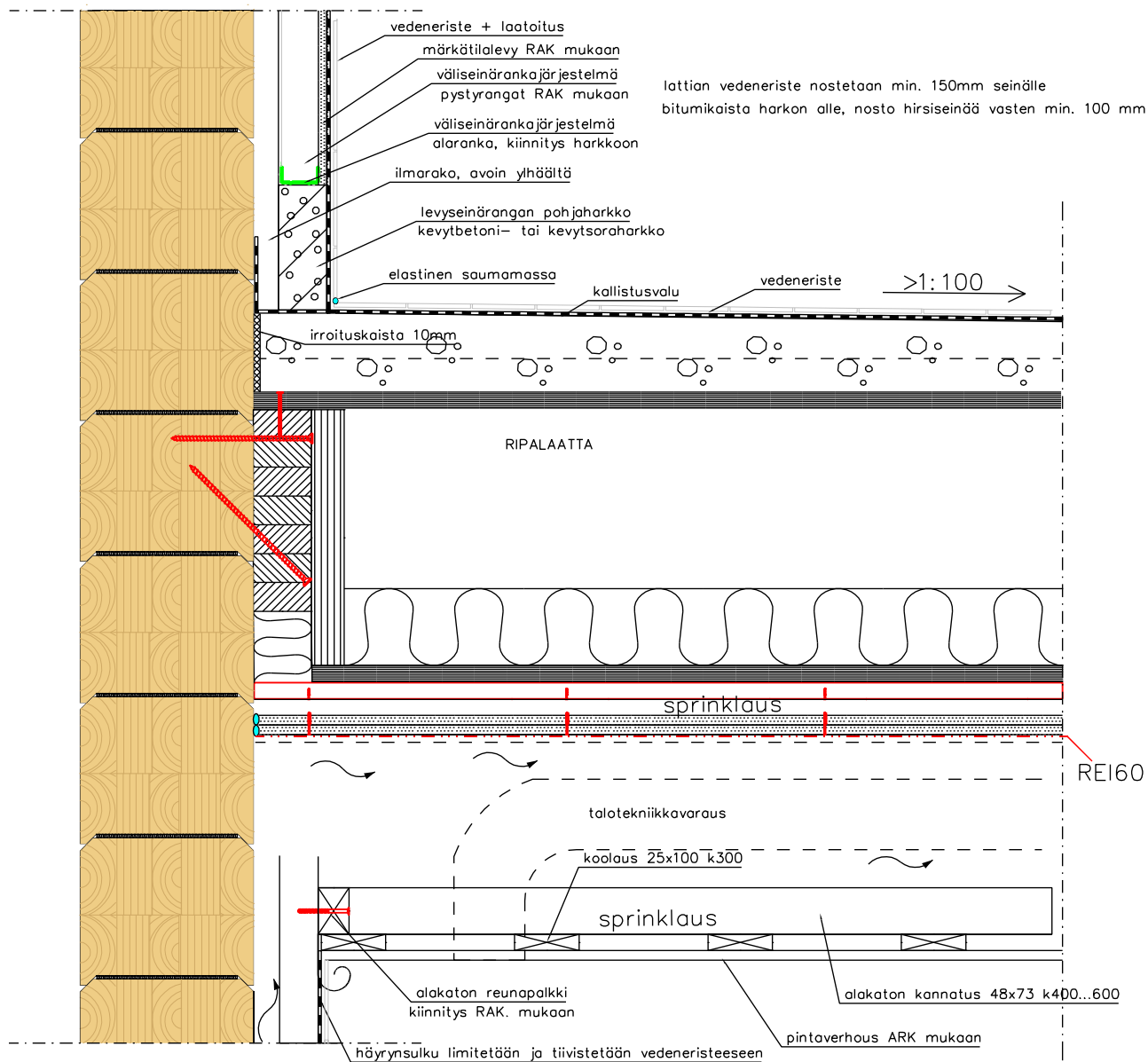
Märkätilojen kohdalla lattiavalu suoraan lattiapalkiston kansilevyn päältä, min. 110mm paksuisena kaatoineen. Näin lattia saadaan samaan tasoon muiden tilojen kanssa, Laatan syvyys riittää esimerkiksi kaivolle. Siporex-laatan alimman kerroksen alle tarvittaessa oikovalu tasaisen alustan varmistamiseksi märkätilarakenteille. Bitumikaistan asennus hirsiseiniä vasten ennen ensimmäistä laattakerrosta, varmistamaan veden pääsyn estyminen runkorakenteen ja välipohjan väliin, mikäli vedeneristys pettäisi ja vesi pääsisi siporex-laatan alle.

Alakatun runko esivalmistetaan tehtaalla tai työmaalla ennen asennusta. Kiinnitys suoraan laatta/harkkorunkoon.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

VP8M VP – US REI60 märkätila, teräsrankajärjestelmä



Märkätilojen kohdalla lattiavalu suoraan lattiapalkiston kansilevyn päältä, min. 110mm paksuisena kaatoineen. Näin lattia saadaan samaan tasoon muiden tilojen kanssa, Laatan syvyys riittää esimerkiksi kaivolle. Harkkokierroksen alle tarvittaessa oikovalu tasaisen alustan varmistamiseksi märkätilarakenteille. Bitumikaistan asennus hirsiseinää vasten ennen ensimmäistä laattakerrosta, varmistamaan veden pääsyn estyminen runkorakenteen ja välipohjan väliin, mikäli vedeneristys pettäisi ja vesi pääsisi siporex-laatan alle.

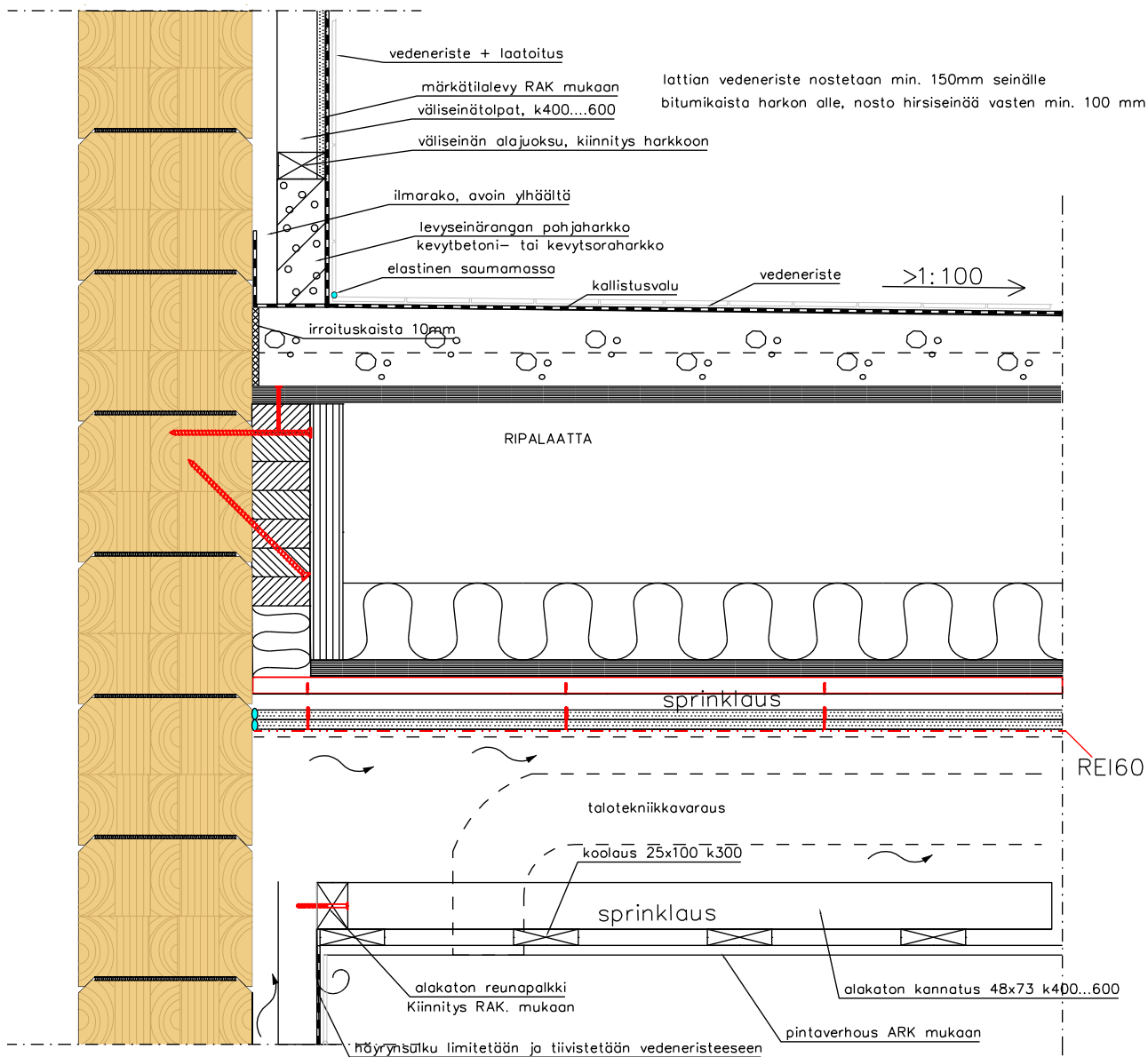
Alakatun runko esivalmistetaan tehtaalla tai työmaalla ennen asennusta. Kiinnitys suoraan rankarunkoon.

PERIAATEDETALJI

Rakenneratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

VP9M

VP – US REI60
märkätila, puurankarunko



Märkätilojen kohdalla lattiavalu suoraan lattiapalkiston kansilevyn päältä, min. 110mm paksuisena kaatoineen. Näin lattia saadaan samaan tasoon muiden tilojen kanssa, Laatan syvyys riittää esimerkiksi kaivolle. Harkkokierroksen alle tarvittaessa oikovalu tasaisen alustan varmistamiseksi märkätilarakenteille. Bitumikaistan asennus hirsiseinää vasten ennen harkkokierrosta, varmistamaan veden pääsyn estyminen runkorakenteen ja välipohjan väliin, mikäli vedeneristys pettäisi ja vesi pääsisi siporex-laatan alle.

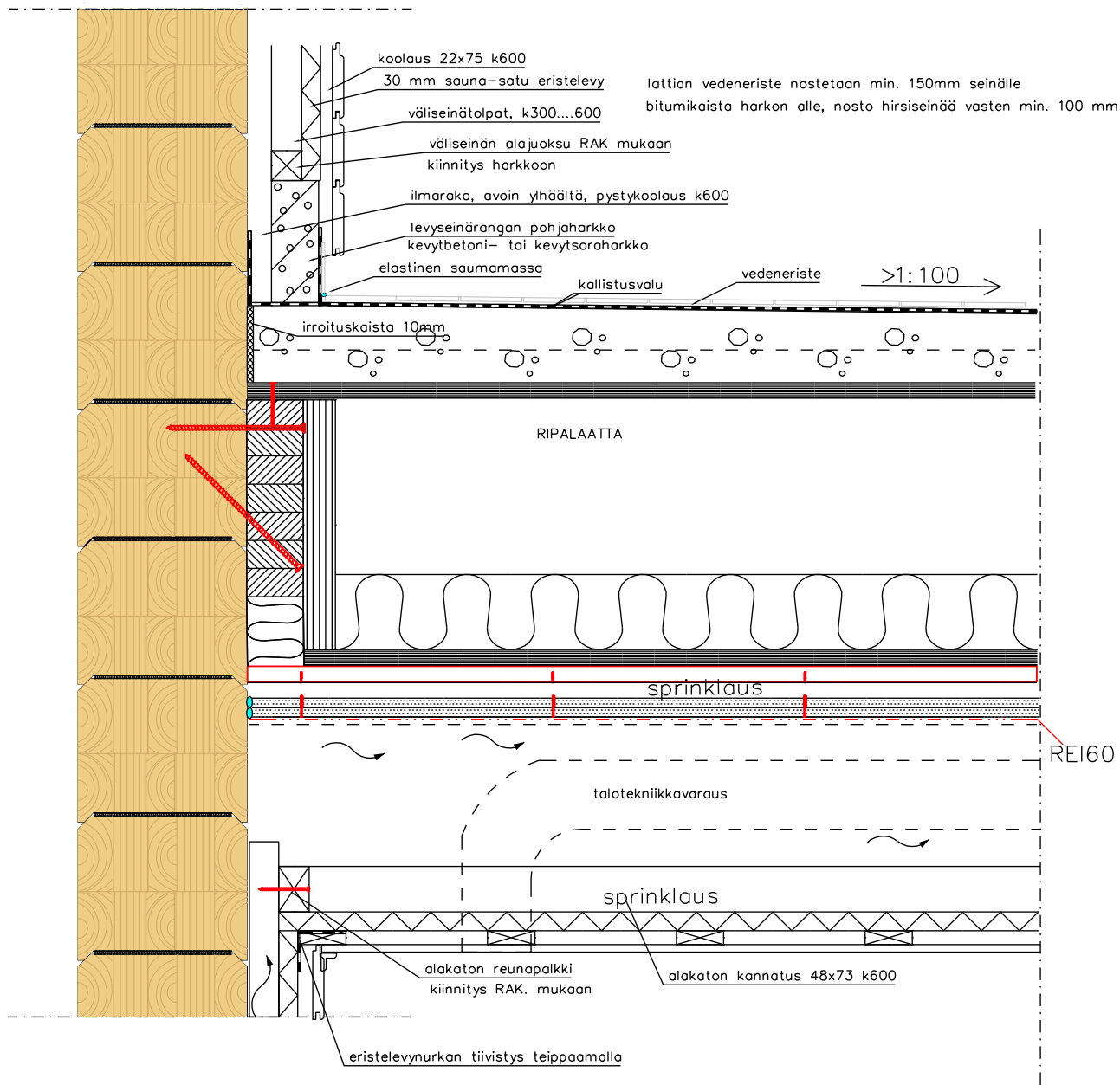
Alakatön runko esivalmistetaan tehtaalla tai työmaalla ennen asennusta. Kiinnitys suoraan rankarunkoon.

PERIAATEDETALJI

Rakeneratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

VP10M

VP – US REI60
märkätila, sauna /rankaseinä



Märkätilojen kohdalla lattiavalu toteutetaan suoraan lattiapalkiston kansilevyn päältä, min. 110mm paksuisena kaatoineen. Näin lattia saadaan samaan tasoon muiden huonetilojen kanssa, sekä laatan syvyys riittää esimerkiksi kaivolle. Bitumikaistan asennus hirsiseinää vasten ennen muita rakenteita, varmistamaan veden pääsyn estyminen runkorakenteen ja välipohjan väliin, mikäli vedeneristys jostain syystä pettäisi.

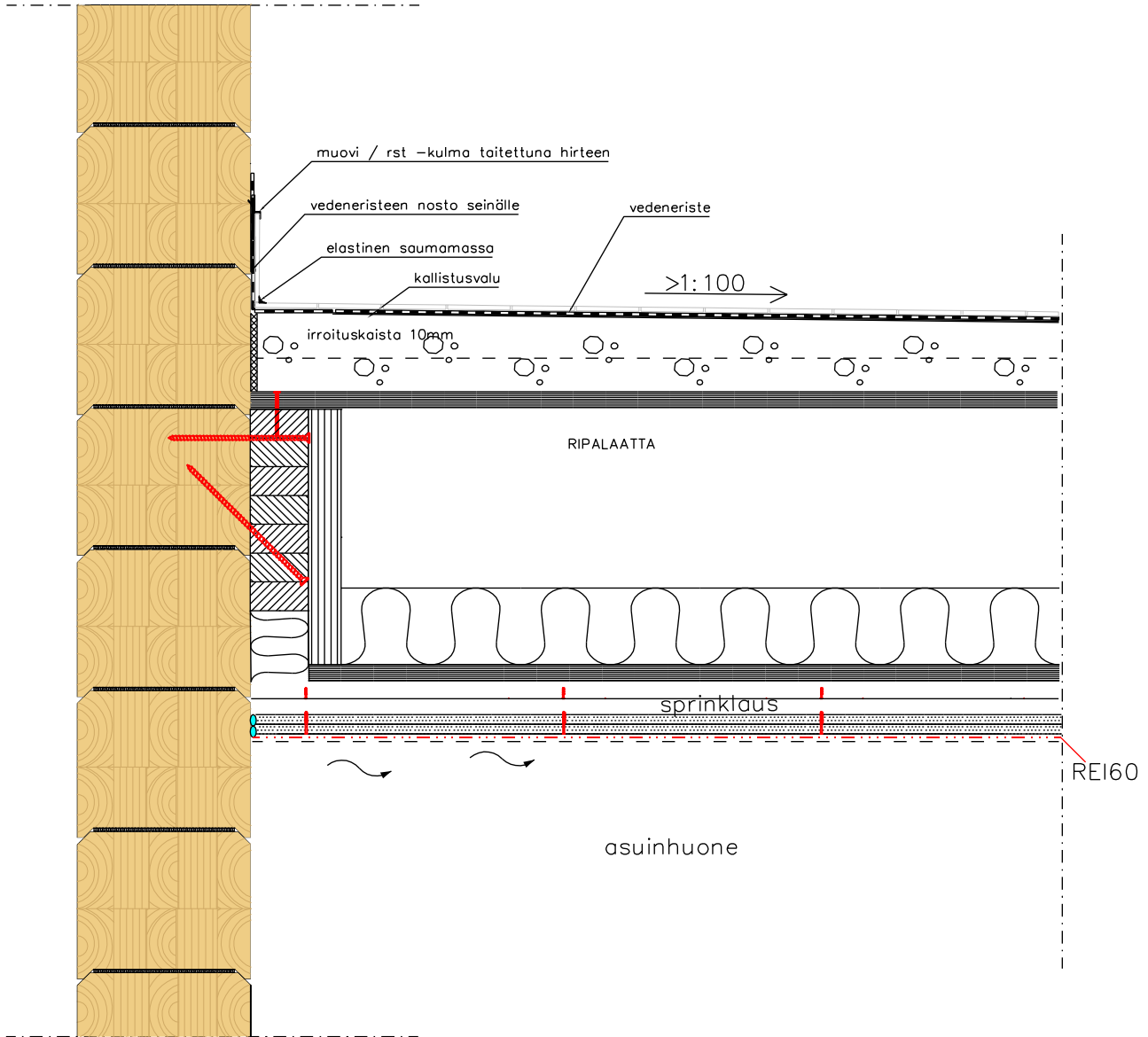
Lattialaatoitus nostetaan seinälle saunan seinäpanelöinnin taakse, eristelevyä vasten.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö pääarakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

VP11M

VP – US REI60
KHH lattia / puolikosteat tilat



Märkätilojen kohdalla lattiavalu toteutetaan suoraan lattiapalkiston kansilevyn päältä, min. 110mm paksuisena kaatoineen. Näin lattia saadaan samaan tasoon muiden huonetilojen kanssa, sekä laatan syvyys riittää esimerkiksi kaivolle.

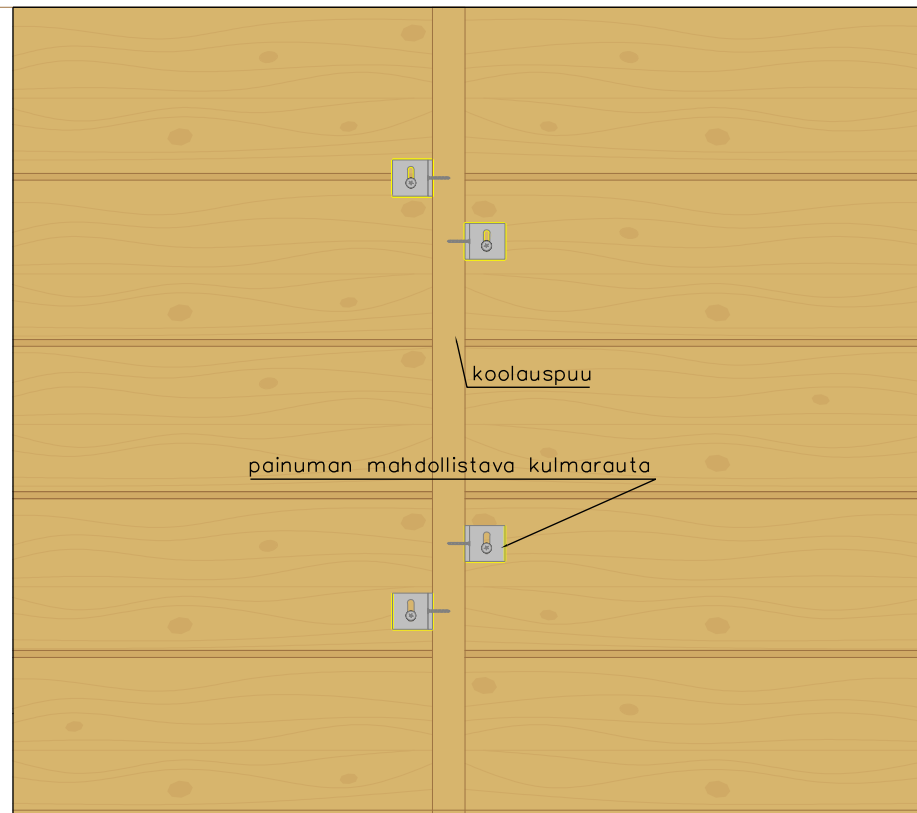
Vedeneriste + laatoitus suositellaan nostettavaksi hirttä vasten 150mm, jolloin vältetään mahdolliselle lattialle pääsevän veden ohjautumisesta rungon ja välipohjan liitokseen esimerkiksi tilanteissa, joissa lattiakaivo on tuntemattomasta syystä tukkeutunut.

PERIAATEDETALJI

Rakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

T01

Hirsiseinä koolausperiaate



Koolauksen toteutus hirsirunkoon. Mikäli on tarpeen toteuttaa koolausta hirteen, kiinnitykseen on käytettävä painumisen sallivia kulmia. Asennuksessa huolehdittava ruuvien kiinnittämisestä aukon alareunaan.

PERIAATEDETALJI

Rakennusratkaisun käyttö päärakennesuunnittelijan vastuulla ja tarkistettava aina tapauskohtaisesti.

HIRSISEINÄN NURJAHDUSMITOITUS perustapaus 1.

Nurjahdusmitoitus (RT 82-11168)

lähtöarvot: käyttöluokka 2, seuraamusluokka CC2, aikaluokka keskipitkä

seinäkorkeus 3000 mm

nurkan puristuskapasiteetti

$F_{R,d,salvos}$	600x202,5x1,0	121500	121,5 N
------------------	---------------	--------	---------

nurkkien välisen seinäosuuden L_w puristuskapasiteetti

$F_{R,d,hirsi}$	7800 x 202,5 x 1,0	1579500	1579,5 kN
-----------------	--------------------	---------	-----------

$F_{R,d,seinä}$	$F_{R,d,salvos} \times 2$	+	$F_{R,d,hirsi}$	1822,5 kN
-----------------	---------------------------	---	-----------------	-----------

$F_{C,d}$	0,8/1,4	x	$F_{R,d,seinä}$	1041,4 kN
-----------	---------	---	-----------------	-----------

seinäosuuden (4krs) mitoituskuorma

N_d			356,8 kN
-------	--	--	----------

seinäosuuden puristuskapasiteetti

356,8 kN	<	1041,4 kN
----------	---	-----------

käyttöaste

34,3 %

Hirsiseinän kuormankantokyky

$F_{C,d}$	/	l_w
-----------	---	-------

kapasiteetti

133,5 kN/m

Laskelmissa on käytetty varmalla puolella olevia HTT Ry:n mitoituskaavoja suuruusluokkatiedon saamiseksi hirsiseinän nurjahduskestävyydestä. Ominaispuristuslujuuden arvo $F_{C,90,k}$ on tuotekohtainen, ja aidossa tilanteessa suunniteltaessa ristiinlaminoitua hirttä, voisi arvon 1,0 sijasta olla mahdollista käyttää testauksella todennettua, parempaa arvoa joka vaikuttaa olennaisesti hirsiseinän parempaan kantavuuteen.

Laskelmassa 2. on otettu huomioon korkeampi seinäkorkeus erillisellä kertoimella sekä neljän kerroksen kuormat. Käytetty kerroin 0,9 on valmistajakohtainen, ja siksi vain suuntaa-antava tässä laskelmassa. Näin esimerkki on saatu vastaamaan paremmin aitoa kerrostalon mitoitustilannetta, kerroskorkeuden 3200 mm olevan tavoiteltavampi.

HIRSISEINÄN NURJAHDUSMITOITUS perustapaus 2.

Nurjahdusmitoitus (RT 82-11168)

lähtöarvot: käyttöluokka 2, seuraamusluokka CC2, aikaluokka keskipitkä

seinäkorkeus 3200 mm

nurkan puristuskapasiteetti

$F_{R,d,salvos}$ 600x202,5x1,0 121500 121,5 N

nurkkien välisen seinäosuuden l_w puristuskapasiteetti

$F_{R,d,hirsi}$ 7800 x 202,5 x 1,0 1579500 1579,5 kN

$F_{R,d,seinä}$ $F_{R,d,salvos} \times 2$ + $F_{R,d,hirsi}$ 1798,2 kN

$F_{C,d}$ 0,8/1,4 x $F_{R,d,seinä}$ 1027,5 kN

seinäosuuden (4krs) mitoituskuorma

N_d 356,8 kN

seinäosuuden puristuskapasiteetti

356,8 kN < 1027,5 kN

käyttöaste

34,7 %

Hirsiseinän kuormankantokyky

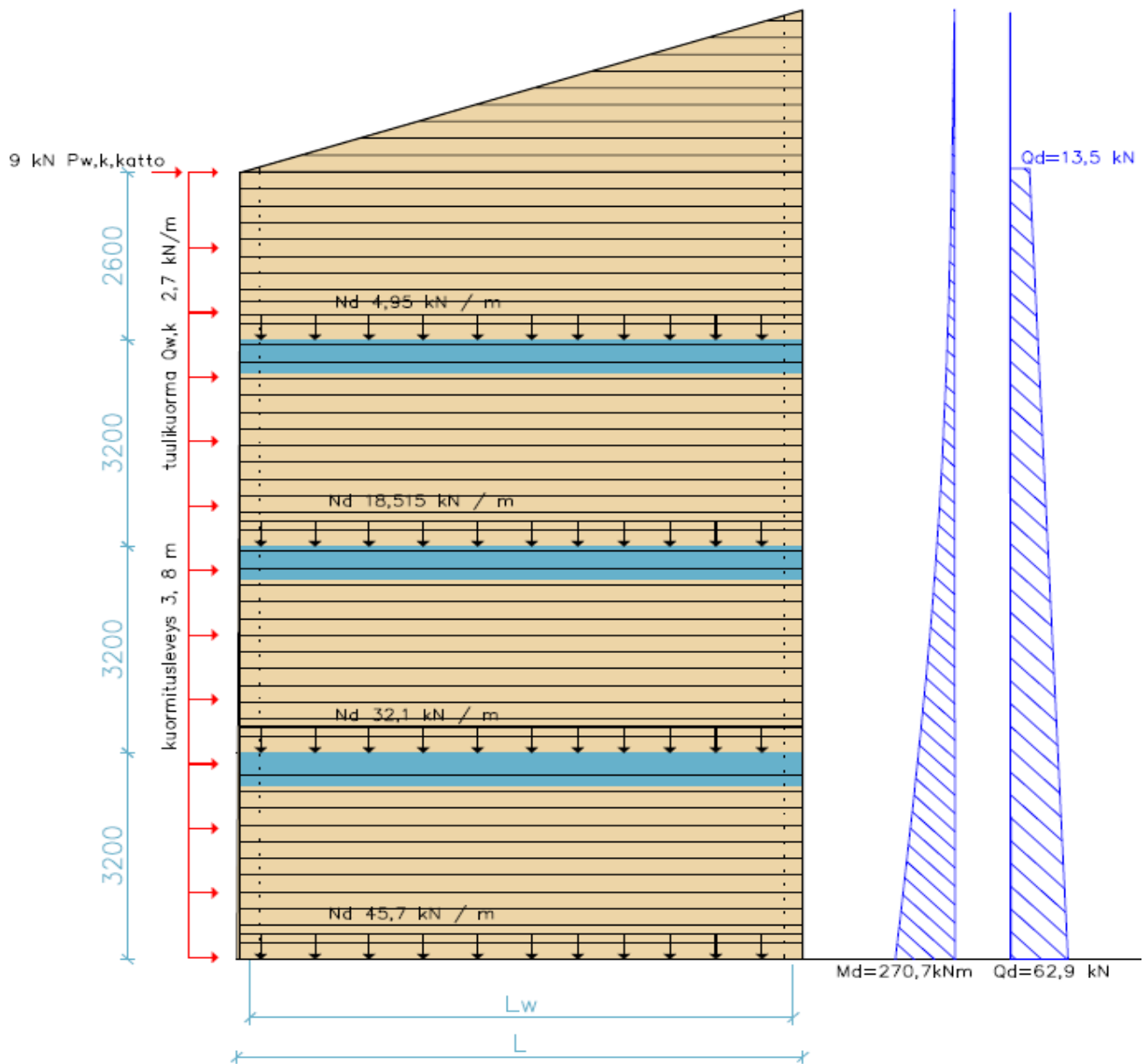
$F_{C,d}$ / l_w

kapasiteetti

131,7 kN/m²

N_d 1,15 x ($g_{k,vp} + g_{k,seinä}$)

$F_{c,90,k}$	1,0 N/mm ²	RT 82-11168
γ_m	1,4	RIL 205-1-2009, taulukko 2.10
k_{mod}	0,8	RIL 205-1-2009, taulukko 3.1 aikaluokka hetkellinen
k_{mod}	0,8	RIL 205-1-2009, taulukko 3.1 aikaluokka keskipitkä
ρ_k	450 kg/m ³	havupuu C24
G_{mean}	690 N/mm ²	RIL 205-1-2009, taulukko 3.3
l_w	7800 mm	seinä
b	270 mm	hirsiprofiili
V_d	28,2 kN	
$L_{c,ef}$	600 mm	RT 82-11168
b_{ef}	202,5 mm	
t	142 mm	



N_d = Rakennuksen omapainon aiheuttamat rasitukset kerroskohtaisesti.

PERIAATELASKELMA

Laskentaesimerkin oikeellisuus, käyttö ja soveltaminen päärakennesuunnittelijan vastuulla.

JÄYKISTÄVÄN HIRSEINÄN MITOITUS perustapaus

mitoitus leikkausvoimalle

lähtöarvot: käyttöluokka 2, seuraamusluokka CC2, aikaluokka hetkellinen

ruuviryhmän leikkausvoimakestävyys

$$F_{ax,\alpha,Rk} = k_{ax} \times f_{ax,k} \times d \times l_{ef} \times (\rho_k/350)^{0,8} = 26899,131 \quad 26,9 \text{ kN}$$

ulosvetokestävyys ruuviryhmälle

$$n_{ef} = \max(n^{0,9}; 0,9n) = 3,6 \text{ kpl}$$

pienempi on määräävä

$$F_{ax,\alpha,Rd} = F_{ax,\alpha,Rk} \times 3_{ef}(1,1/1,4) \quad \text{TAI} \quad n_{ef} \times (20 / 1,25) = 76,1 \text{ kN}$$

vinoruuvaus on vedetty, hyödynnetään liitoksen kitka puuosien välillä

$$R_k = F_{ax,\alpha,Rd} \times (\cos 45^\circ + \mu \sin 45^\circ) = 67,8 \text{ kN}$$

Seinän leikkausvoiman kestävyys kun ruuviryhmän kestävyys määräävä käyttöaste

$$V_d < R_k \quad 92,8 \%$$

seinän leikkausvoimakestävyys

paneelileikkauskestävyys

$$T_d = V_d / A = 0,06 \text{ N/mm}^2$$

$$A = k_{cr} \times t_{ef} \times L_w = 1069260 \text{ mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} / \gamma_M \times f_{v,k} = 3,14 \text{ N/mm}^2$$

Paneelileikkauskestävyys käyttöaste

$$f_{v,d} > T_d \quad 1,9 \%$$

hirren leikkaussiirtymä

$$C_v = 1 / (260 / (690 \times A)) = 2837652 \text{ N/mm}^2$$

$$U_{inst,seinä} = n_{hirsi} \times (V_d / C_v) = 0,61 \text{ mm}$$

ruuviryhmän siirtymä

$$F_{ax,\alpha,k} = V_k \times (n_{ef} / \cos 45^\circ) = 7502,1 \text{ N}$$

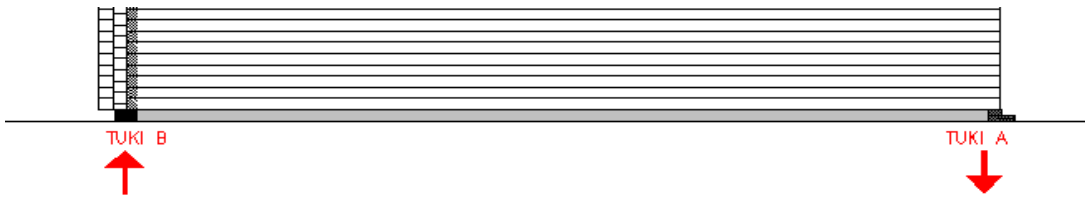
$$U_{inst,ruuvi} = n_{varaus} \times (F_{ax,\alpha,k} / k_{ser}) \cos \alpha = 21,83 \text{ mm}$$

$$k_{ser} = 780 \times 10^{0,2} \times 220^{0,4} = 10692 \text{ N/mm}^2$$

yhteenlaskettu kokonaisleikkaussiirtymä

$$U_{inst} = 0,61 \text{ mm} + 21,83 \text{ mm} = 22,43 \text{ mm}$$

jäkistyksen tukien kapasiteetti, periaatelaskelma



syysuuntainen puristus

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

RIL 205-1-2009 kaava 6.2

$$f_{c,0,d} \quad 1,1/1,4 \times 21$$

$$16,5 \text{ N/mm}^2$$

$$X = \frac{\frac{13800 \cdot 12200}{\left(L - \frac{x}{3}\right)} + \frac{42410 \cdot \frac{12200}{2}}{\left(L - \frac{x}{3}\right)} + \frac{279300 \cdot \frac{7800}{2}}{\left(L - \frac{x}{3}\right)}}{0,5 \cdot 16,5 \cdot b_{ef}}$$

$$X \quad (1593076500 / (8070 - (X / 3))) / 1056$$

$$\frac{1593076500}{1056}$$

$$1056X = 1593076500 / (8070 - (X / 3)) \rightarrow (8070 - (X / 3)) \times 1056X = 1593076500$$

$$352$$

$$8521920X - 352X^2 = 1593076500$$

$$352X^2 + 852190X - 1593076500 = 0$$

$$x = \frac{-852190 \pm \sqrt{852190^2 - 4 \cdot (-352) \cdot (-1593076500)}}{2 \cdot (-352)}$$

puristetun osan pituus tuella B

$$188,4 \text{ mm}$$

tukipainekestävyys

$$B = \frac{P_{w,d} \cdot h}{L_{ef}} + \frac{R_{q,w,d} \cdot \frac{h}{2}}{L_{ef}} + \frac{R_g \cdot \frac{L}{2}}{L_{ef}}$$

$$198955,5$$

$$199,0 \text{ kN}$$

$$L_{ef} \quad L - (X / 3)$$

$$8007,2 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,0,d} \quad B / (0,5 \times b_{ef} \times X)$$

$$16,5 \text{ N/mm}^2$$

ankkurointitarve

$$16,5 \text{ N/mm}^2$$

≤

$$16,5 \text{ N/mm}^2$$

$$100 \%$$

A tuen ankkurointitarpeen tarkastelu

1.kerros

$$A \quad B - R_G$$

$$-80,3 \text{ kN}$$

2.kerros

$$B \quad (M_{d,1} / L_{ef}) + ((N_{d,1} \times (L / 2)) / L_{ef})$$

$$119,1 \text{ kN}$$

$$A \quad B - N_{d,1}$$

$$-76,8 \text{ kN}$$

3.kerros

$$B \quad (M_{d,2} / L_{ef}) + ((N_{d,2} \times (L / 2)) / L_{ef})$$

$$67,2 \text{ kN}$$

$$A \quad B - N_{d,2}$$

$$-45,8 \text{ kN}$$

4.kerros

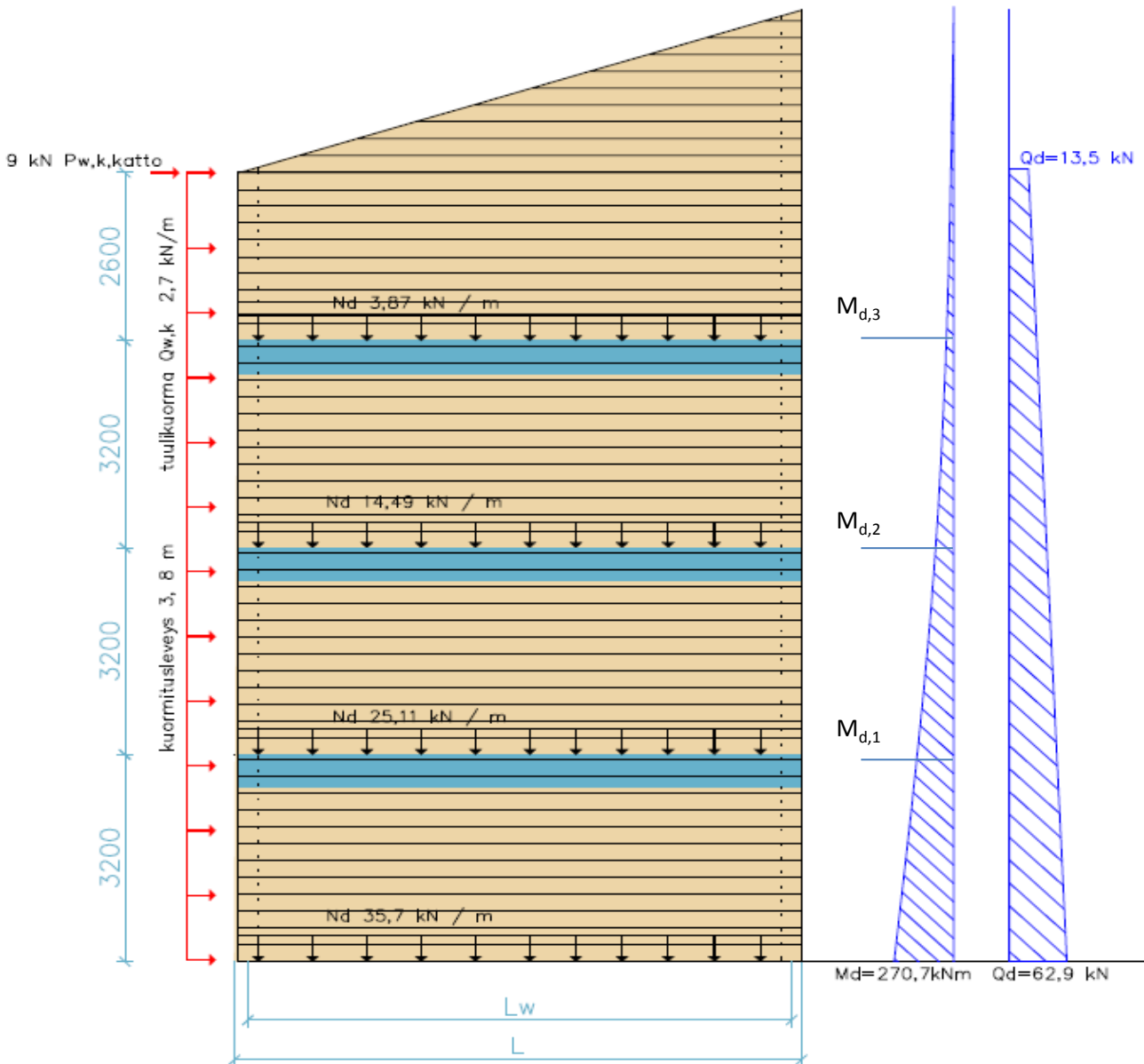
$$B \quad (M_{d,3} / L_{ef}) + ((N_{d,3} \times (L / 2)) / L_{ef})$$

$$18,5 \text{ kN}$$

$$A \quad B - N_{d,3}$$

$$-11,7 \text{ kN}$$

Ankkurointitarvetta on tarkasteltu kerroksittain, jakaen kerrostasot välipohjien kohdalta. Todellisessa kohteessa ankkurointitarve on olennaista tarkastaa jokaisen varauksen kohdalta. Koska tuen A puoleiset tulokset ovat negatiivisia, ei seinän ankkurointiin perustukseen ole tarpeen. Seinä kuitenkin kiinnitetään perustukseen vaakavoimalle $Q_d = 62,9\text{kN}$, leikkausvoiman suurimmalle arvolle. (kuva)



N_d = Rakennuksen omapainon aiheuttamat rasitukset kerroskohtaisesti.

PERIAATELASKELMA

Laskentaesimerkin oikeellisuus, käyttö ja soveltaminen päärakennesuunnittelijan vastuulla.

$f_{c,0,k}$	21 N/mm ²	RIL 205-1-2009, taulukko 3.3
$f_{v,k}$	4 N/mm ²	RIL 205-1-2009, taulukko 3.3
γ_m	1,4	RIL 205-1-2009, taulukko 2.10
γ_{m2}	1,25	EN 1993-1-1 2005, kohta 6.1
k_{ax}	1	ETA-11/0190, kohta 1.3.1
k_{mod}	1,1	RIL 205-1-2009, taulukko 3.1 aikaluokka keskipitkä
$f_{tens,k}$	32000 N	ETA-11/0190, kohta taulukko 1.1
$f_{ax,k}$	10 N/mm ²	ETA-11/0190, kohta 1.3.1
H_{ef}	260 mm	
μ	0,26	RIL 205-1-2009, kaava 8.84S
k_{cr}	1	
ρ_k	450 kg/m ³	havupuu C24
G_{mean}	690 N/mm ²	RIL 205-1-2009, taulukko 3.3
$Q_{mean} = V_k$	38200 N	
n	4 kpl	ryhmässä toimivien ruuvien määrä
n_{hirsi}	45 kpl	hirsien määrä laskettavalla seinällä
n_{varaus}	44 kpl	varausvälien määrä seinällä
ϱ_{ef}	220 mm	
d	10 mm	ruuvi
l_w	7530 mm	
L	8070 mm	
α	45 °	
V_d	62,9 kN	
b_{ef}	128 mm	
t_{ef}	142 mm	
h	12200 mm	
ρ_m	780 kg/m ³	RIL 205-1-2009 taulukko 3.3
C_f	1,3	RIL 205-1-2009 taulukko 2.7
$C_{k(h)}$	0,55 kN/m ³	RIL 205-1-2009 kuva 2.6 maastoluokka III
$C_{S_{Cd}}$	1,0 m ²	log-rise1
$f_{w,k}$	0,72 kN/m ²	RIL 205-1-2009 kaava 2.5.10
R	259,5 kN	
$M_{d,3}$	26,11 kNm	
$M_{d,2}$	81,73 kNm	
$M_{d,1}$	163,3 kNm	
M_d	270,7 kNm	
$N_{d,3}$	30,2 kN	
$N_{d,2}$	113,0 kN	
$N_{d,1}$	195,9 kN	
$P_{w,d}$	13,5 kN	
R_G	279,3 kN	
$R_{q,w,d}$	49,41 kN	

PAINUMA perustapaus

Seinäkorkeus 12 200mm

varausten aiheuttama painuma

$$U_{\text{varaus}} = n_{\text{varaus}} \times h_{\text{varaus}} = 22 \text{ mm}$$

seinän kokoonpuristuma

$$A_{\text{ef}} = B_{\text{ef}} \times H = 998400 \text{ mm}^2$$

Kuormat, pysyvä

$$\sigma_{\text{c,g,d}} = P_{\text{g,k}} / A_{\text{ef}} = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

$$U_{\text{inst,g}} = \sigma_{\text{c,g,d}} / E_{0,\text{mean}} = 0,34 \text{ mm}$$

Kuormat, muuttuva

$$\sigma_{\text{c,q,d}} = P_{\text{q,k}} / A_{\text{ef}} = 0,18 \text{ N/mm}^2$$

$$U_{\text{inst,q}} = \sigma_{\text{c,q,d}} / E_{0,\text{mean}} = 0,19 \text{ mm}$$

Seinän hetkellinen kokoonpuristuma yhteensä

$$U_{\text{inst}} = U_{\text{inst,q}} + U_{\text{inst,g}} = 0,54 \text{ mm}$$

Seinän loppukokoonpuristuma

$$U_{\text{fin}} = U_{\text{inst,g}} \times (1 + k_{\text{def}}) + (1 + \psi_0 \times k_{\text{def}}) \times U_{\text{inst,q}} = 0,86 \text{ mm}$$

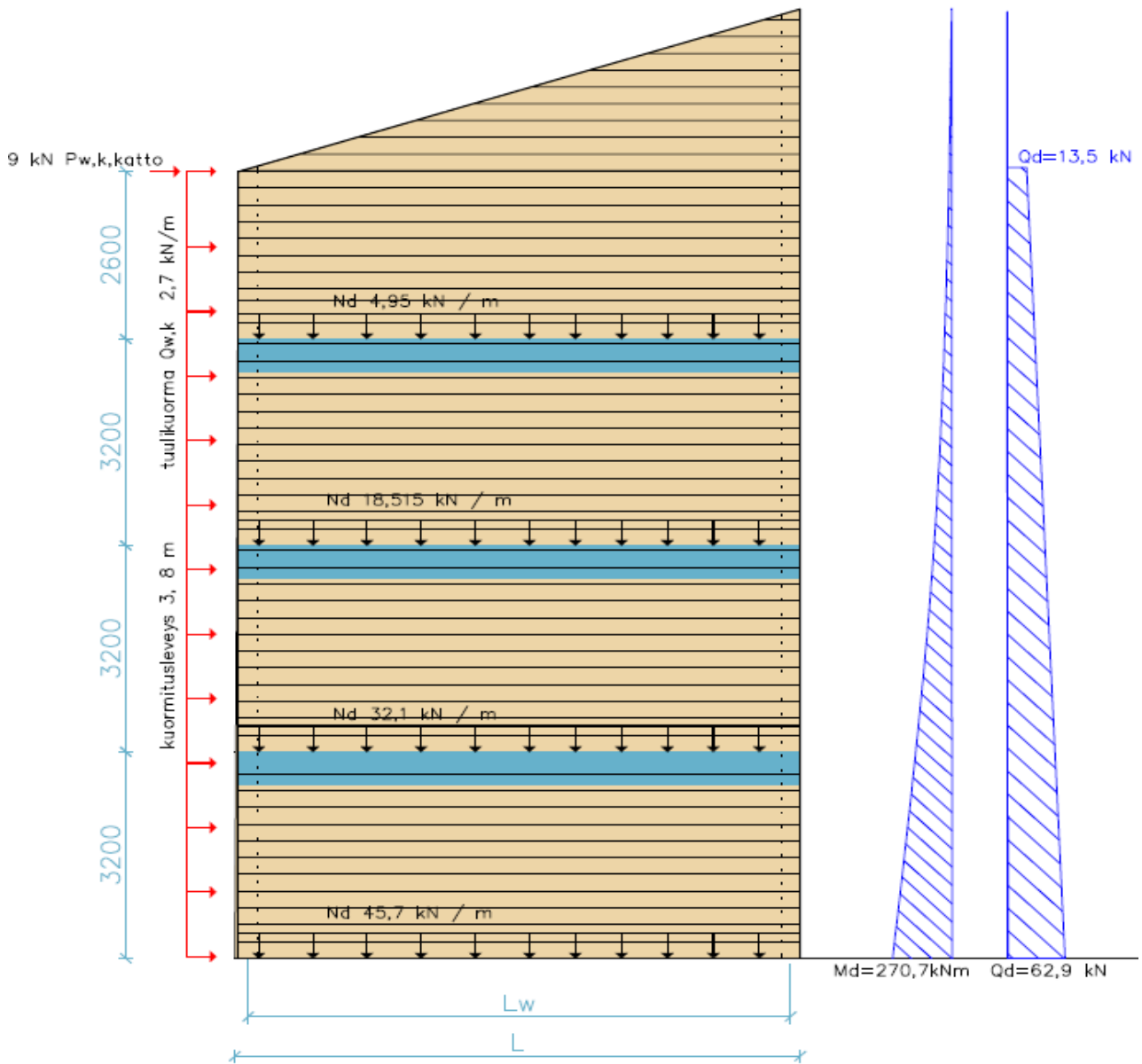
Kosteusmuodonmuutoksen arviointi

$$U_{\text{m}} = \Delta_{\text{M}} \times (\Delta_{\text{m}} / 100) \times H = 6,1 \text{ mm}$$

Kokonaispainuma

$$U = U_{\text{varaus}} + U_{\text{fin}} + U_{\text{m}} = 28,96 \text{ mm}$$

h_{varaus}	0,5 mm	oletusarvo
n_{varaus}	44 kpl	Log-rise1
H	12200 mm	Log-rise1
B_{ef}	128 mm	Log-rise1
$P_{\text{g,k}}$	310,3 kN	Log-rise1
L	7800 mm	Log-rise1
$P_{\text{q,k}}$	175,5 kN	Log-rise1
$E_{0,\text{mean}}$	11000 N/mm ²	RIL 205-1-2009, taulukko 3.3
ψ_0	0,3	
k_{def}	0,8	RIL 205-1-2009, taulukko 3.2 käyttöluokka 2
Δ_{M}	5 %	yksikkö
Δ_{m}	0,01 %	yksikkö



Nd = Rakennuksen omapainon aiheuttamat rasitukset kerroskohtaisesti.

PERIAATELASKELMA

Laskentaesimerkin oikeellisuus, käyttö ja soveltaminen päärakennesuunnittelijan vastuulla.