

Lauri Tienhaara 2018693, PRSA20SP

Rakenneliimatun korkean puuelementti- seinän mitoitus kantavana rakenteena

Opinnäytetyö

Insinööri(AMK)

Teollinen puurakentaminen

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Tausta.....	6
1.2	Tavoitteet.....	6
1.3	Rajaukset.....	7
2	TUTKIMUSMENETELMÄ	7
3	TUTKIMUKSEN RAKENNE.....	9
4	RAKENNELIIMATTU SEINÄRAKENNE JA MATERIAALIT	9
4.1	Ripaseinäelementti	9
4.2	LVL	10
4.2.1	Mitoitusarvot ja materiaaliominaisuudet	11
5	RIPASEINÄRAKENTEEN OMINAISUUDET	12
5.1	Kantava rakenneosa.....	12
5.2	Jäykistävä rakenneosa	13
6	TUTKIMUSMITOITUKSEN LÄHTÖTIEDOT	13
6.1	Urheiluhalli.....	13
6.2	Kuormitukset.....	14
6.3	Ripaseinä rakenne.....	18
7	RAKENTEIDEN PALOTURVALLISUUS URHEILUHALLISSA.....	19
7.1	Paloluokat.....	19
7.2	Kantavien ja jäykistävien rakenteiden palonkestoluokitus	20
7.3	Palokuorma	20
7.4	Palon leviämisen estäminen ja palo-osastointi	21
7.5	Palon kehittymisen rajoittaminen ja suojaverhous	21
8	RAKENTEEN ANALYYTTINEN TUTKIMUS	22
8.1	Taivutusjäykkyys Y-suunnassa.....	23
8.2	Taivutusjäykkyys X-suunnassa.....	25
8.3	Puristusjäykkyys	27

8.4	Leimapaine mitoitus.....	27
8.5	Lommahdus ja leikkausvoima kestävyys.....	28
8.6	Levyn ja rivan välinen leikkauskestävyys.....	31
8.7	Nurjahdusmitoitus.....	32
8.8	Palomitoitus.....	34
9	TULOKSET.....	35
9.1	Ripaelementin jäykkyys.....	35
9.2	Ripaelementin leikkaus ja lommahduskestävyys.....	36
9.3	Ripaseinäelementin nurjahduskestävyys.....	37
10	POHDINTA.....	38
	LÄHTEET.....	39
	KUVALUETTELO.....	40
	TAULUKKOLUETTELO.....	40
	LIITTEET	
	Liite 1. Manuaalinen laskenta	
	Liite 2. FEM-Desinge rivan jännitykset	
	Liite 3. DOF-Lämpö raportti	
	Liite 4. Finnwood tuloste	



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike	Teollinen puurakennus insinööri (AMK)
Tekijä	Lauri Tienhaara
Työn nimi	Rakenneliimatun korkean puuelementtiseinän mitoitus kantavana rakenteena
Toimeksiantaja	Punkaharjun Puutaito Oy
Vuosi	2024
Sivut	40 sivua, liitteitä 28 sivua
Työn ohjaajat	Verner Laari ja Marko Voutilainen

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä selvitetään korkean ripaseinäelementin toimintaa kantavana rakenteena urheiluhallissa. Opinnäytetyö aihe-ehdotus tuli Punkaharjun Puutaito Oy:ltä, jolle työ tehtiin toimeksiantona. Työn mitoitusmateriaalina käytetään pääsääntöisesti Puurakenteiden suunnitteluohjetta RIL 205-1-2017.

Työssä toteutettiin selkeä kaavapohja ripaseinän mitoituksesta ja sen eri vaiheista kohta kerrallaan ottaen rakenteen ominaispiirteet huomioon. Mitoituksessa tutkitaan rakenteen jäykkyydet, kestävyys ja taipumien raja-arvot. Tutkimuksesta on rajattu pois rakenteen ulkoiset liitokset, tarkempi rakennusfysikaalinen mitoitus, laajempi palomitoitus sekä laboratorio-osio.

Tuloksissa todettiin rakenteen toimivan muilta osin, paitsi 25 mm uumalevyn osalta taipuman kasvaessa liian suureksi y-suunnassa. Rakenteen palomitoituksessa saatiin levyn minimi paksuudeksi 69 mm, 30 minuutin palonkestoajalla, jolloin rakennuksen täytyy olla korkeudeltaan enintään 9 metriä.

Avainsanat: ripaelementti, seinäelementti, ripaseinä, puurakentaminen, kantavuus, LVL, jäykistys



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Lauri Tienhaara
Thesis title	Design of structurally bonded tall timber wall element as load-bearing structure
Commissioned by	Punkaharjun Puutaito Oy
Time	2024
Pages	40 pages, 28 attachment pages
Supervisors	Verner Laari and Marko Voutilainen

Abstract

The thesis investigates the behaviour of a high ribbed wall element as a load-bearing structure in a sports hall. Thesis topic proposal was suggested by Punkaharjun Puutaito Oy, a company that commissioned the work. Calculations in the thesis mainly follow RIL 205-1-2017 Design Guidelines for Timber Structures.

The thesis develops a clear template for the dimensioning of the ribbed wall and its various stages, considering the characteristics of the structure. The dimensioning examines the stiffness, strength, and limits of deflections of the structure. External connections of the structure, detailed building physics dimensioning, broader fire design, and laboratory testing were excluded from the study.

The results indicated that the structure performs well overall, except for the 25 mm flange plate, which experiences excessive deflection in the vertical direction. In the fire design of the structure, the minimum thickness of the plate was determined to be 69 mm, with a 30-minute fire resistance rating, requiring the building to have maximum height of 9 meters.

Keywords: rib element, wall element, rib wall, timber building, load bearing, LVL, stiffening

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Opinnäytetyöni aiheena on korkean rakenneliimatun puuelementtiseinän mitoitus kantavana rakenteena. Tarkoituksena on tutkia kymmenen metriä korkean urheiluhallin seinäelementin rakenteellista kapasiteettia. Tutkimuksen toimeksiantajana toimii Punkaharjun Puutaito Oy. Tutkimuksessa tehtiin yhteistyötä IdeaStructura Oy:n kanssa.

Aihe on kiintoisa ja ajankohtainen kasvavan puurakentamisen sekä uusien puurakentamisen suunnitteluratkaisujen takia. Puurakentaminen ei rajoitu pientalo- ja mökkirakentamiseen, vaan puuta hyödyntäen rakennetaan jopa kerrostaloja ja kouluja. Aiempaa useampi julkinen rakennus on toteutettu puurakentamisen avulla. Puurakennukset ovat saaneet mediassa näkyvyyttä ja synnyttävät ihmisten keskuudessa positiivista pohinää.

Uusien ja laadukkaiden insinööripuutuotteiden ansiosta puurakenteiden kestävyttä on saatu lisättyä merkittävästi. Tämä on mahdollistanut uuden sukupolven korkeiden puurakennuksien valmistuksen eri puolilla maailmaa. Puurakentamisen hyötyinä on helppo työstettävyys, materiaalin keveys, sekä elementtirakenteissa korkea esivalmistusaste (Hüseysin & Karjalainen 2022.).

1.2 Tavoitteet

Tutkimuksen lähtökohtana on rakenteen kestävyys ja lujuuksien mitoittaminen, ottaen huomioon rakennuksen käyttömahdollisuuden urheiluhallissa. Pääasiallinen tavoite on arvioida seinäelementin kyky vastata suunniteltuihin kuormituksiin ja varmistaa, että se noudattaa voimassa olevia rakennusmääräyksiä ja standardeja.

Opinnäytetyö sijoittuu tutkimuksen ja kehitystyön rajapinnalle, keskittyen erityisesti kantavaan rakenteeseen, jäykistäviin rakenteisiin ja puuelementin sisäisiin liimaliitoksiin. Erityistä huomiota kiinnitetään korkeiden ripaelementtien

poikittaiskestävyyden mitoitukseen, syventäen ymmärrystä ripaelementtien roolista ja suorituskyvystä rakennusprojekteissa.

Produktiona tutkimuksesta pyritään saamaan toimiva rakenne ja vertailukelpoista tietoa mitoituksien ja laboratoriotutkimuksen väliltä. Sekä löytämään vastaus kysymykseen: Mitä haasteita korkean ripaseinäelementin rakenteellisessa kestävyudessa ja mitoituksessa on, kun otetaan huomioon elementin toiminta kantavan rakenteena? Työn toissijaisena produktiona on kehittää parannusehdotuksia tai suosituksia haavoittuvuuksien vahvistustoimenpiteille.

1.3 Rajaukset

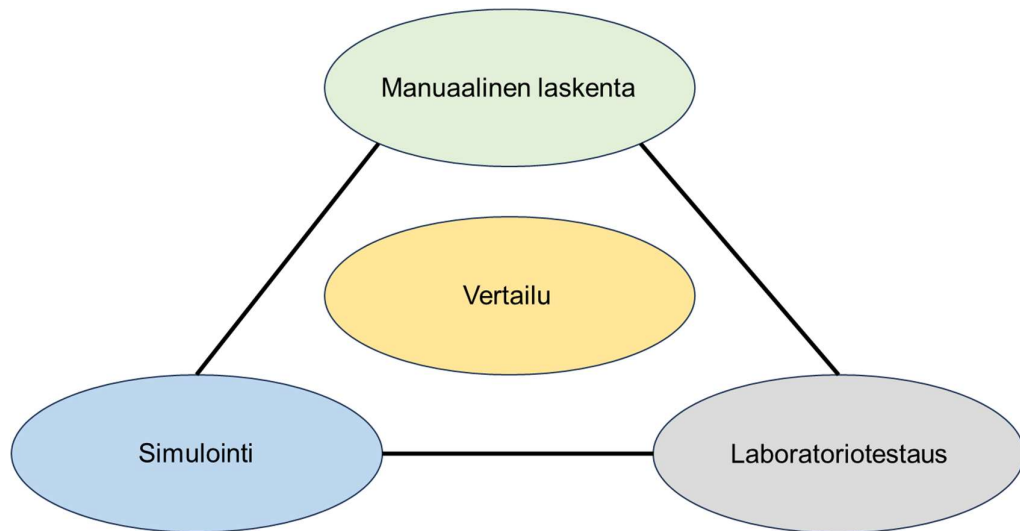
Opinnäytetyössä rajataan elementin ulkoisten liitoksien tarkastelu työn ulkopuolelle ja keskitytään elementin jäykkyyksiin ja lujuuksiin. Elementin lämpö- ja kosteusteknistä toimivuutta sivutetaan, mutta siihen ei syvennyttä. Muut rakennusfysikaaliset tutkimukset jätetään pois. Elementti suunnitellaan 10 metriä korkeana ja 2,4 metriä leveänä, sekä täysin aukottomana laskujen yksinkertaistamisen takia. Soveltuvuutta urheiluhallin seinäksi kantavana ja jäykistävänä rakenteena tarkastellaan mitoituksen avulla. Rakenteen elementtimenetelmänmitoitus (Finite Element Method, FEM) eli FEM mitoitus rajoittui opiskeluversion takia suppeaksi ja sisältää kevennetyn otoksen keskilinjan rivin jäykkyyksisarvoista sekä kuvan rakenteen levyypinnan jännitysjakaumasta.

Rakenteen laboratoriotutkimus jäi pois tutkimuksen loppuvaiheilla koestus aikataulujen takia.

2 TUTKIMUSMENETELMÄ

Tutkimusmenetelmänä opinnäytetyössä käytetään kvantitatiivista tapaustutkimusmenetelmää. Tapaustutkimuksella tarkoitetaan tietyn tapauksen laajaa ja syvää tutkimusta (Saukkonen s.a.) ja kvantitatiivinen tutkimus on tutkimusmenetelmä, joka perustuu numeeristen tietojen keräämiseen, analysointiin ja tulkintaan. Se pyrkii mittaamaan ilmiöitä objektiivisesti ja kvantifioimaan niitä tilastollisten menetelmien avulla. Tutkimusstrategiassa haetaan kokeellisen ja vertailevan tutkimuksen yhdistelmällä vertailukelpoista tietoa rakenteen

lasketusta, mallinnetusta, sekä todellista kestävydestä. Tarkoituksena on verrata eri tiedonhankintamenetelmien lopullisia tuloksia keskenään.



Kuva 1. Tutkimusmenetelmät

Manuaalinen laskenta

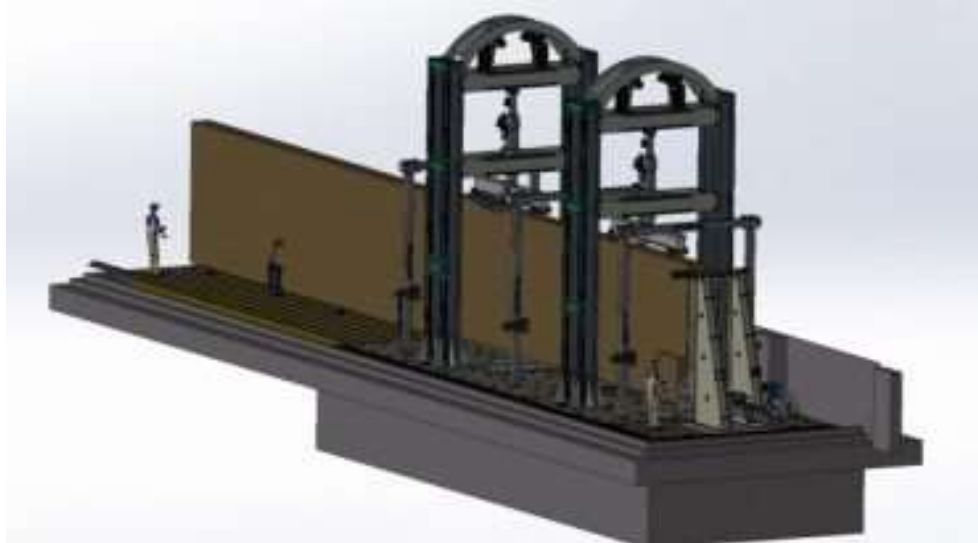
Laskenta sisältää Eurocode 5 suunnitteluohjeeseen (EN 1995) pohjautuvan puurakenteen mitoituksen kohta kerrallaan. Mitoitus sisältää kuormien mitoituksen, rakennemitoituksen, liimaliitoksien leikkauskestävyyden mitoituksen sekä yksinkertaistetun palomitoituksen. Laskennassa käytetään myös soveltavaa laskentaa.

Simulointi

Simulointi toteutetaan Fem-Design ohjelmalla. Mallinnettu rakenne analysoidaan kyseisen ohjelman omalla laskentaohjelmalla. Ohjelma käyttää suomessa rakentamiseen tarkoitettuja eurocoden varmuuskertoimia ja arvoja.

Laboratoriotestaus

Testauksessa on tarkoitus rakentaa mitoitettava elementti täysimittaisena ja puristaa se Load-frame testilaitteella murtumispisteeseen saakka. Tutkittavasta rakenteesta saadaan näin selville pystysuora normaalivoima kestävyys y-suuntainen taipuma sekä murtumistapa koe suoritetaan tutkimuksen valmistumisen jälkeen Savonlinnan uudessa puulaboratoriossa.



Kuva 2. Load-frame testilaite Savonlinnan puulaboratorio

3 TUTKIMUKSEN RAKENNE

Opinnäytetyö koostuu viidestä osasta. Ensimmäisessä vaiheessa käydään läpi ripaseinärakenteen käsite sekä LVL:n materiaaliominaisuuksia. Seuraavassa vaiheessa käsitellään lähtötiedot sekä kantavaa LVL-elementtiseinää koskevat normit ja standardit, josta saa käsityksen mitoitusvaiheesta. Kolmannessa vaiheessa käsitellään tulokset. Tulokset ovat yksinkertaisia ja selkeinä numeraalisina arvoina, jotka on taulukoitu. Viimeisessä kohdassa käydään läpi tuloksien yhteenveto sekä reflektio, jonka pohjalta tehdään mahdollisia lisätutkimus ja kehitysideoita. Lopussa on liitteinä manuaalinen mitoitus, joka sisältää staattiset ja dynaamiset kuormat, rakenteen sisäiset jännitteet ja jäykkyydet, yksinkertaistetun palomitoituksen sekä kestävyyskapasiteetin esimerkitilanteelle.

4 RAKENNELIIMATTU SEINÄRAKENNE JA MATERIAALIT

4.1 Ripaseinäelementti

Ripaseinäelementillä tarkoitetaan uumasta eli levystä ja siihen liimatuista pila-reista eli rivoista koostuvaa kokonaisuutta (Tirronen 2024). Tutkimuksessa käytetään ripaelementin materiaalina LVL:ää (Laminated veneer lumber)

suomeksi viilupuuta. Ripaelementin levynä toimii LVL:stä valmistettu Kerto-Q ja rivoina sekä poikittaistukina käytetään Kerto-S:sää.

4.2 LVL

LVL on puusta sorvatuista 3 mm viiluista liimattu puutuote. Viilut ovat aseteltu syysuuntaisesti samaan suuntaan, ristiin tai näitä molempia yhdistellen päällekkäin, jonka jälkeen ne liimataan. Asettelemalla yhden puulajin tai eri puulajikkeiden viiluja eri suuntiin saadaan lopulliselle tuotteelta erilaisia materiaaliominaisuuksia. Viilupuu, jossa viilut ovat samansuuntaisesti, voidaan käyttää tehokkaasti pilareina sekä kantavina palkkeina. Heikkoutena tällaisessa ladonnassa on kuitenkin materiaalin heikentyminen viiluja vastaan kohtisuoraan. Tämä pitää ottaa huomioon vaakavoimille tulevassa tuennassa, jossa kiepahdus ja lommahdusmitoitukset, ovat määrääviä. Jos viilupuussa tarvitaan myös kestävyyttä poikittain, saadaan sitä laittamalla viidennes viiluista ristiin. Tämä lisää lujuutta ja jäykkyyttä poikittain puun sisällä. Tällaisen LVL:n yleisimmät käyttökohteet ovat palkkeina sekä levyinä. (Mylly 2022.) LVL:n yleisimpiä käyttökohteita ovat kehärakenteet, kantavat palkit, kattoristikoiden paarteet, pilarit ja pystyrakenteet, sekä seinä-, lattia- ja kattoelementin osat. (Metsä Group s.a.)



Kuva 3. Kerto LVL

4.2.1 Mitoitusarvot ja materiaaliominaisuudet

LVL materiaalin mitoituksessa materiaalin jäykkyys- ja kestävyysominaisuuksien osavarmuuslukuna y_m käytetään 1,2 (ympäristöministeriö 2009). Osavarmuusluvulla saadaan otettua huomioon materiaalissa olevia poikkeuksia, jotka voivat vaikuttaa materiaalin kestävyteen. Kuormitusajan ja kosteuspitoisuuden muunnoskerroin k_{mod} on käyttöolosuhteet ja kuormituksen keston varmistava kerroin (Kevarinmäki 2019.) Arvot LVL:lle on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. k_{mod} muunnoskerroin eri luokissa.

LVL	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
	1	0,60	0,80	1,10
	2	0,60	0,80	1,10
	3	0,50	0,65	0,90

Käyttöluokat ilmaisevat materiaalin käyttökohteen olosuhteiden rasitusta materiaalille, näistä kosteus on puulle tärkein huomioida. Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat lämpimässä sisätiloissa olevat rakenteet. toiseen luokkaan kuuluvat rakenteet, jotka ovat suojattu kosteudelta ja kolmanteen luokkaan kosteudelle ja sääilmiöille altistuvat rakenteet. (Kevarinmäki 2019.)

Kuormien aikaluokalla tarkoitetaan kuormituksen pysyvyyttä rakenteella. Pysyviä kuormia syntyy rakenteen omapainosta, pysyvistä laitteista ja koneista sekä maanpaineesta. Keskipitkiin kuormiin kuuluvat hyötykuormat, sekä lumi-kuormat. Hyötykuormat koostuvat ihmisistä, tavaroista ja muista liikkuvista kuormista. Lopuksi ovat hetkelliset kuormat, joihin kuuluvat onnettomuus ja tuulikuorma. (Kevarinmäki 2019.)

Puunvirumalukkerroin k_{def} otetaan huomioon puun muodonmuutos mitoituksessa. Virumalukuun vaikuttaa materiaali, sekä käyttöluokka. LVL:n virumaluvut saadaan standardista EN 14374. Virumaluvut ovat esitetty taulukossa 2. (Kevarinmäki 2019.)

Taulukko 2. LVL:n virumaluvun k_{def} kerroin eri käyttöluokissa.

LVL	Käyttöluokka		
	1	2	3
	0,60	0,80	2,00

LVL:n tulee läpäistä EN 14374 -standardin rakenteelliset vaatimukset. Taulukossa 3 esitetään Kerto LVL:n ominaislujuudet, kokovaikutuseksponentti, tiheydet ja jäykkyysominaisuudet, jotka ovat saatu standardin mukaisilla testaus menetelmillä. (Kevarinmäki 2019.)

Taulukko 3. LVL Kertopuun ominaislujuudet, kokovaikutuseksponentti, tiheydet ja jäykkyysominaisuudet.

Tyyppi		Kerto-S Paksuus 21-90 mm	Kerto-T Paksuus 27-75 mm	Kerto-Q Paksuus 21-24 mm	Kerto-Q Paksuus 27-69 mm
Ominaislujuudet (N/mm ²)					
Taivutus	$f_{m,k}$	44	27	28	32
- Syrjällään	s	0,12	0,15	0,12	0,12
- Kokovaikutuseksponentti	$f_{m,0,flat,k}$	50	32	32	36
- Lappeellaan					
Veto					
- Syysuuntaan	$f_{m,0,k}$	35	24	19	26
- Poikittain syrjällään	$f_{t,90,edge,k}$	0,8	0,5	6,0	6,0
Puristus					
- Syysuuntaan	$f_{c,0,k}$	35	26	19	26
- Poikittain syrjällään	$f_{c,90,edge,k}$	6	4	9	9
- Poikittain lappeellaan	$f_{c,90,flat,k}$	1,8	1,0	2,2	2,2
Leikkaus					
- Syrjällään	$f_{v,k}$	4,1	2,4	4,5	4,5
- Lappeellaan pintaviilun suuntaan	$f_{r,0,k}$	2,3	1,3	1,3	1,3
Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²)					
Kimmomoduli	E_{mean}	13 800	10 000	10 000	10 500
	$E_{0,05}$	11 600	8 800	8 300	8 800
Liukumoduli	$G_{edge,mean}$	600	400	600	600
	$G_{edge,0,05}$	400	300	400	400
Ominaisstiheys (kg/m ³)	ρ_k	480	410	480	480
Tiheyden keskiarvo (kg/m ³)	ρ_{mean}	510	440	510	510

5 RIPASEINÄRAKENTEEN OMINAISUUDET

5.1 Kantava rakenneosa

Kantava rakenneosa on toiminnaltaan sellainen, joka siirtää pystysuuntaisia kuormia alas. Kantavat rakenteet ovat yleensä pilari- tai seinärakenteita, mutta vaakarakenteet voivat myös siirtää pystykuormia ja toimia kantavina

rakenteina ja siirtää saman aikaisesti pysty sekä vaakakuormia pystyrakenteille. (Insinööritoimisto K. Parila Oy 2019.)

5.2 Jäykistävä rakenneosa

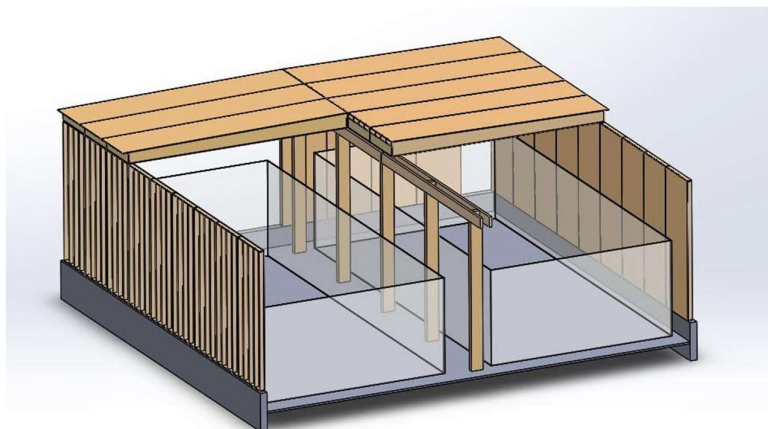
Jäykistävät rakenneosa ottaa vastaan vaakakuormasta tulevan voiman ja ohjaavat sen perustuksille, jolloin saadaan stabiili kokonaisuus. Jos jäykistystä ei tehdä ollenkaan rakennuksesta tulee labiili. Jäykistyksessä voidaan käyttää levyjäykistystä, joka toimii elementti rakentamisessa hyvin, kun otetaan huomioon elementtien väliset liitokset. (Insinööritoimisto K. Parila Oy, 2019.)

6 TUTKIMUSMITOITUKSEN LÄHTÖTIEDOT

Tutkimustapauksena on ripaseinäelementin soveltuvuus urheiluhallin kantavana rakenteena. Lähtötietoina käytetään mailapeleihin soveltuvaa urheiluhalli kokoa, jonka pohjalta määritetään kuormitukset seinä rakenteelle. Kuormitukset on määritetty RIL 201-1-2017 sekä RIL 205-1-2017 mukaan.

6.1 Urheiluhalli

Rakennus, johon seinäelementtiä suunnitellaan käytettäväksi, on 25 metriä leveä ja 24 metriä pitkä urheiluhallirakennus. Rakennus soveltuu kooltaan kahdelle padel-kentälle tai vaihtoehtoisesti kolmelle sulkapallokentälle. Halliin voi myös sijoittaa kaksi tenniskenttää. (Harrod sports 2020.)



Kuva 4. Hahmotelma hallista

Hallin korkeus on 10 metriä, josta vapaa korkeus voi olla 7–9 metrin välillä riippuen katon mallista ja talotekniikan tilan tarpeesta. Hallin kantavina osina toimii ulkoseinät ja keskilinjalla olevat mastojäykisteiset pilarit. Rakenteen jäykistyksenä toimii ulkoseinäelementit, keskilinjat pilarit, sekä kattoelementit.

6.2 Kuormitukset

Rakenteen kestävyyttä määrittäessä standardin EN 1990 kansallisen liitteen mukaan mitoittava kuorma saadaan laskettua muuttuvien kuormien ja pysyvien kuormien aikaluokkakaavojen avulla (1–2). Näistä tuloksista korkeampi on mitoittava kuorma.

Muuttuvien kuormien aikaluokan mukainen kaava (1)

$$P_d = 1,15 \cdot K_{FI} \cdot G_{kj} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,1} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot \sum_{l < 1} \psi_{0,j} \cdot Q_{k,l}$$

Pysyvien kuormien aikaluokan mukainen kaava (2)

$$P_d = 1,35 \cdot K_{FI} \cdot G_{kj}$$

jossa	K_{FI}	Seuraamusluokan kuormakerroin (RIL 205-1-2017 taulukko 2.1-FI)	
	G_{kj}	Pysyvien kuormien ominaisarvo	[kN/m ²]
	$Q_{k,1}$	Määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo	[kN/m ²]
	$Q_{k,l}$	Muun muuttuvan kuorman ominaisarvo	[kN/m ²]
	$\psi_{0,j}$	Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin (RIL 205-1-2017 taulukko 2.2-FI)	

Kuormituksen määrittämisessä kattorakenteena käytettiin puuelementtiä, joka on 2,4 metriä leveä ja 13 metriä pitkä. Elementin kokonaiskuorma on 14 kN. Katto tukeutuu keskilinjalla olevien pilareiden ja ulkoseinän päälle, kuorma jakautuu näin ollen puoliksi. Katon kuormaan lisätään myös ripustuskuormaa 0,5 kN/m² tähän kuormaan lasketaan kaikesta talotekniikasta tuleva kuormitus. Näillä arvoilla kattorakenne kuormittaa seinälinjaa 6,23 kN/m. Kyseiseen kuormaan lisätään vielä seinäelementin oma paino 12,2 kN, josta saadaan lopulliseksi metrikuormaksi 11,31 kN/m.

Lumikuorma määritetään kaavalla

$$q_k = \mu_i \cdot C_e \cdot S_k = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (3)$$

jossa	μ_i	Lumikuorman muotokerroin	
	C_e	Katon tuulensuojauk kertoimen arvo	
	S_k	Lumikuorman ominaisarvo maassa	[kN/m ²]

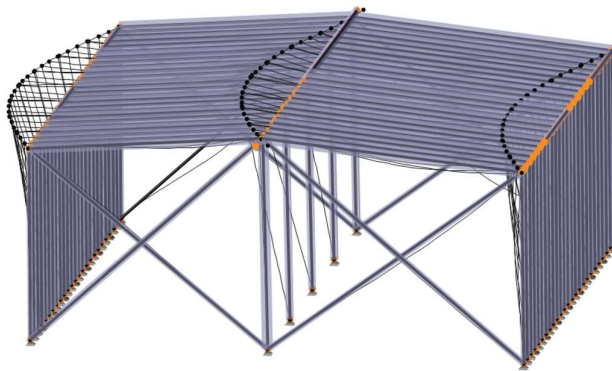
Muotokerroin μ_1 määritetään yksinkertaisessa harjakatossa RIL 205-1-2017 kuva 2.3 olevasta kaaviosta katonkaltevuuden α mukaan. Katon kaltevuus on tässä tutkimuksessa $\alpha = 8^\circ$. Kaaviosta määrittämällä μ_1 arvoksi saatiin 0,8.

Tuulensuojakertoimen arvo määritetään RIL 205-1-2017 taulukosta 2.6-FI maastotyyppin mukaan. Maastotyyppiä ovat tuulinen, normaali ja suojainen. Tutkimuksessa käytetään normaalia maastotyyppiä, jonka kerroin on 1.

Paikkakuntakohtainen lumikuorma maassa katsotaan RIL 205-1-2017 Liite F:stä. Selvityksessä rakennuksen sijainti on Savonlinnassa, missä lumikuorman ominaisarvo maassa on $S_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$.

Näillä tiedoilla kattoa rasittaa lumikuorma 2 kN/m^2 , joka muutettuna metri kuormaksi on.

$$q_k = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{13}{2} = 13 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Kuva 5. Yksinkertaistettu lankamalli hallirakenteesta

Tuulikuormia määrittäessä pintapaineiden avulla seinärakenteille mitoitus suoritetaan (RIL 201-1-2017 Osa 1.4 kohdan 5.3. 2S mukaan) kaavoilla (4–8).

Tuulikuorma

$$F_w = F_{w,e} + F_{w,i} \quad (4)$$

Ulkopuolinen kuorma

$$F_{w,e} = C_e C_d \cdot \sum_{p_{innat}} w_e \cdot A_{ref} \quad (5)$$

Sisäpuolinen kuorma

$$F_{w,i} = \sum_{p_{innat}} w_i \cdot A_{ref} \quad (6)$$

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (7)$$

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (8)$$

jossa	w_e	Yksittäiseen pintaan korkeudella z_e vaikuttava ulkopuolinen paine	[kN/m ²]
	c_{pe}	Ulkoisen paineen kerroin	
	$q_p(z_e)$	Puuskanopeuspaineen ominaisarvo	[kN/m ²]
	$C_e C_d$	Rakennekerroin (rakennuksen ollessa alle 15 metriä korkea $C_e C_d = 1$)	
	A_{ref}	Yksittäisen pinnan tuulenpaineen vaikutusala	[m ²]
	w_i	Yksittäiseen pintaan korkeudella z_e vaikuttava sisäpuolinen paine	[kN/m ²]
	z_i	Sisäpuolisen puuskanopeuspaineen korkeus ($z_i = z_e$)	
	c_{pi}	Sisäisen paineen kerroin	

Puuskanopeuspaineen ominaisarvo saadaan RIL 201-1-2017 Osa 1.4 kohdasta 4.5. Maaston ollessa tasaista ja kaltevuuksien olevan pieniä voidaan käyttää yksinkertaisempaa menetelmää ja katsoa arvo suoraan taulukosta korkeusaseman ja maastoluokan mukaan.

Kohteen puuskanopeuspaineen ominaisarvoksi saadaan 0,65 kN/m². Jos rakennuksen arvioitu käyttöikä poikkeaa 50 vuodesta voidaan puuskanopeuden ominaisarvoa korottaa tai pienentää C_{prob} kertoimella riippuen onko rakennuksen ikä $< 50 <$.

Kitkakuormaa ei tarvitse ottaa huomioon koska tuulen suuntaisten pintojen ala on vähemmän kuin neljä kertaa tuulta vastaan olevien pinta-ala.

Painekertoimien selvityksessä seinän lyhyempi sivu määritellään vyöhykkeisiin e arvolla RIL 201-1-2017 Osa 1.4 kuvan 7.5 mukaan. Kyseisessä tapauksessa pääty seinä jaetaan 2 vyöhykkeeseen A ja B kaavojen (9–12) mukaan.

$$e = \min, b \text{ tai } 2h \quad (9)$$

$$e > d \quad (10)$$

$$A = \frac{e}{5} \quad (11)$$

$$B = d - \frac{e}{5} \quad (12)$$

Ulkoisen paineen kerroin tulkitaan jokaiselle vyöhykkeelle RIL 201-1-2017 Osa 1.4 taulukosta 7.1 pinta-alan, sekä korkeuden ja kapeamman sivun suhteen avulla. Taulukosta saadaan kohteelle vyöhykkeelle A ulkopuoliseksi paine kertoimeksi -1,2 ja B vyöhykkeelle kerroin -0,8, sekä pitkille sivuille tuulen puolelle D kerroin +0,77 ja toiselle sivulle E kerroin -0,36. Koska taulukosta 7.1 ei saatu korkeuden suhteella kapeampaan sivuun tarkkaa arvo lasketaan suhteilla tarkka arvo.

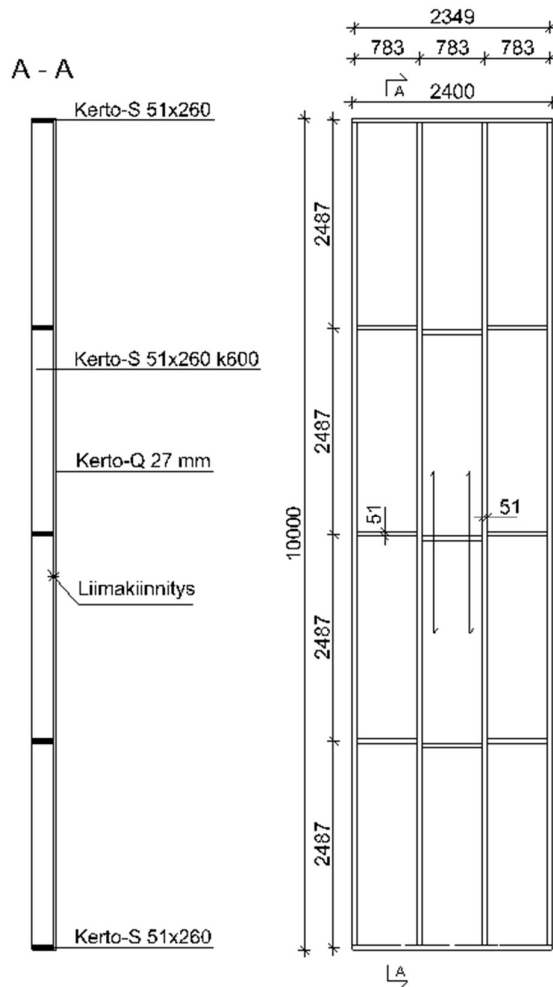
Sisäisen paineen kerroin saadaan laskemalla rakennuksen seinien aukkosuhde ja tulkitsemalla RIL 201-1-2017 Osa 1.4 kuvaa 7.13S. Kyseisessä kohteessa seinien tiiveys on sama, jolloin aukkosuhde lasketaan sivusuhteella b/d kaavalla (13).

$$\mu = \frac{2 \cdot d + b}{2 \cdot d + 2 \cdot b} = 0,745 \quad (13)$$

Tällöin sisäisen paineen kertoimeksi tulee -0.22

6.3 Ripaseinärakenne

Seinäelementti esivalmistetaan tehdas oloissa LVL:stä rakenne liimaamalla Kerto-Q levy ja Kerto-S rivat toisiinsa. Ennen liimausta levyyn työstetään CNC eli numeerisen ohjauksen koneella (computer numerical control) 2 mm urat, joihin rivat ja välituet liimataan kiinni polyuretaaniliimalla (PUR).



Kuva 6. Elementin rakennekuvat



Kuva 7. Elementin rakennetyyppi

7 RAKENTEIDEN PALOTURVALLISUUS URHEILUHALLISSA

Palomitoitus ohjaa rakenteen suunnittelua takamaan turvalliset ja kestävät rakenne ratkaisut erilaisille palotilanteille. Paloturvallisuus lähtee liikkeelle jo suunnitteluvaiheessa ja jatkuu rakennuksen elinkaaren läpi aina rakennuksen purkuun saakka. Seinäelementiltä vaadittavia paloturvallisuuteen liittyviä ominaisuuksia on tarkasteltu ympäristöministeriön asetuksen rakennusten paloturvallisuudesta 2017/848 mukaan, sekä käyttäen apua Puuinfon e-puu palomitoitus työkalua.

7.1 Paloluokat

Rakennukset jaetaan neljään paloluokkaan (P0, P1, P2 ja P3) noudattaen, ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017/848 joka tuli voimaan 1.1.2018 ja, joka päivitettiin 1.1.2021 ympäristöministeriön asetuksen 2020/927 mukaisesti. P0-luokkaa käytetään, kun rakennus perustuu oletettuun palonkehitykseen, esimerkiksi poistumisturvallisuuden tai rakenteiden palonkestävyyden ollessa toiminnallisen palomitoituksen varassa. (Puuinfo Oy 2021.)

Paloluokat P1, P2, P3 määritetään luokka- ja lukuarvoihin perustuvalla taulukkomitoituksella. Taulukkomitoitusta käyttäessä rakennuksen tulee täyttää asetuksessa määritellyt vaatimukset. Rakennuksessa voi olla eri paloluokkiin kuuluvia osia, jos palo on rajattu palomuurilla. (Puuinfo Oy 2021.)

Puu soveltuu käytettäväksi runkomateriaalina kaikissa paloluokissa kaksikerroksisissa rakennuksissa, ja paloluokkaan P2 kuuluvat rakennukset korkeintaan 28 metriä korkeissa asuin- ja työpaikkarakennuksissa (8 kerrosta), sekä enintään 14 metriä korkeissa muissa rakennuksissa (4 kerrosta). (Puuinfo Oy 2021.)

Urheiluhallissa, jonka korkeus on 10 m paloluokaksi määritetty P2, jos rakennuksessa on automaattinen sammutuslaitteisto. Ilman sammutuslaitteistoa paloluokka on P1. P2 paloluokan rakennuksen ilman sammutusjärjestelmää voi rakentaa 9 metriä korkeana. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017/848.)

7.2 Kantavien ja jäykistävien rakenteiden palonkestoluokitus

REI-luokitusta, eli palonkestoluokitusta käytetään jäykistävien ja kantavien rakenteiden palonkestävyyden ilmoittamisessa, missä R merkitsee rakenteen kantavuuden pysymistä palonkestonajan. E indikoi tiiveyden säilymistä ja I tarkoittaa lämmöneristävyyden pysymistä toimivana palonkestonajan. Esimerkiksi REI 15 ilmaisee rakenteen säilyttävän palotilanteessa kantavuutensa, tiiviytensä ja eristäväytensä 15 minuutin ajan (Puuinfo 2021.)

7.3 Palokuorma

Palokuorma määräytyy taulukkomitoitusta käytettäessä rakennuksen P2- ja P3-paloluokissa rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan ja P1-paloluokassa palokuormaryhmän mukaan. Puurungon palokuormaa ei tarvitse huomioida laskelmissa, koska se on huomioitu palokuormaryhmien ja käyttötarkoituksen mukaisissa palokuorma arvoissa. (Puuinfo 2021.)

Urheiluhallin kuuluu käyttötarkoitukseltaan kokoontumistiloihin. Kokoontumistiloille on määritetty palokuorman tiheyden arvoksi alle 600 MJ/m² poikkeuksena mahdollinen hallin varastotila enintään 50 m² asti, jossa palokuorma on vähintään 600 MJ/m² ja enintään 1200 MJ/m².

7.4 Palon leviämisen estäminen ja palo-osastointi

Rakennusosalle, joka toimii osastoivana, määritetään paloluokan ja palokuorman mukaan tiiveyden ja lämmöneristävyyden palonkesto-aika. Palo-osastointi on suunniteltava rakennuksiin, jos rakennuksen käyttötarkoitus, koko tai kerrosmäärä ylittää sallitut rajat. Palo-osastoinnilla pyritään estämään savun leviäminen, turvaamaan poistumistiet, sekä tehostamaan pelastus- ja sammutustöitä ja rajoittamaan kohtuuttoman suuria vahinkoja. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017/848.)

Yksi kerroksisessa urheiluhalli rakennuksessa, jossa paloluokka on P1 osastoinnin koko on 2400 m². P2 luokassa automaattisella sammutuslaitteistolla varustettuna osastointi on 9600 m². Palo-osastoivalta rakennus osalta vaaditaan P1 paloluokassa alle 600 MJ/m² palokuormalla EI 60 ja palokuormalla vähintään 600 MJ/m² ja enintään 1200 MJ/m² EI 90. P2 luokassa osastoiva seinä voi olla EI 30 (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017/848.)

7.5 Palon kehittymisen rajoittaminen ja suojaverhous

”22 § Rakennuksessa käytettävät tarvikkeet eivät saa myötävaikuttaa palon kehittymiseen vaaraa aiheuttavalla tavalla.” (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017/848). Materiaalien käyttöä säätelevät tarvikeluokat (A, B, C, D, E ja F), jotka ilmaisevat, kuinka materiaali osallistuu paloon. Puun yleisin saavutettava tarvikeluokka on D ja palosuojatulla puulla tarvikeluokka B. Tarvikeluokka on ilmoitettu jokaisen CE-merkityn tuotteen suoritustapailmoituksessa. (Puuinfo 2021.)

P1 luokan rakennuksen seinän runkomateriaalin on täytettävä A2-s1, d0 luokitus. Seinä- ja kattopintojen luokitus vaatimus määritetään taulukosta 7 (Ympäristöministeriö 2018.) Taulukosta voidaan todeta, että kohteen pintojen on kerroksessa täytettävä luokka C-s2, d1 ja automaattisella sammutuslaitteistolla luokka D-s2, d2. Taulukosta 8 ulkoseinän ulkopinnan ja tuuletusvälin pintojen luokkavaatimuksien taulukosta (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017/848.) saadaan ulkoseinän ja tuuletusvälin ulkopinnan pintavaatimukseksi D-s2, d2 ja tuuletusvälin sisäpinnan luokituksiksi B-s1, d0.

Luokitusten käytölle on asetettu lisävaatimukset, 3, 4, 5, 6 ja 7 joiden on täytettävä kohteessa:

3) Palon leviäminen tuuletusvälissä on oltava rajoitettu kerroksesta toiseen, sekä vaakasuunnassa etenevä palo täytyy olla estetty osastoidun porrashuoneen ulkoseinän tuuletusväliin.

4) Palon leviämistä on rajoitettava julkisivusta yläpohjaan ja ullakkoon, niin että rakenne vastaa EI 30 luokkaa. Jos kuitenkin yläpohjan olennaiset kantavat osat on toteutettu A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista, tai paremman luokituksen tarvikkeista ja yläpohja täyttää EI 60 luokan vaatimukset rajoittamista ei edellytetä.

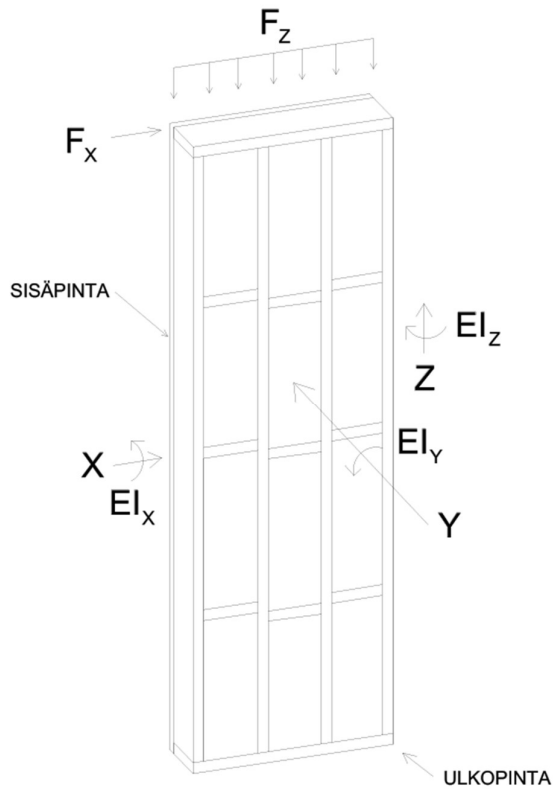
5) Julkisivurakenne täytyy toteuttaa palotilanteessa rajoittamaan laajojen rakenne osien putoaminen.

6) Jos lämmöneriste ei eristävältä osaltaan täytä B-s1, d0-luokan vaatimuksia, ulkopinnan pintarakenteiden on suojattava eristettä palolta niin, että suojaus vastaa vähintään EI 15 -luokan rakennusosaa tai tuuletusvälin sisäpinta on varustettava vähintään K210, A2-s1, d0 -luokan suojaverhouksella.

7) Ulkoseinän aukotuksien ja ikkunoiden on täytettävä E 30 -luokan vaatimukset, tai vaihto ehtoisesti palo-osaston, joka rajoittuu ulkoseinään, täytyy olla varustettu joko palovaroitinella mikä on kytketty tai tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017/848.)

8 RAKENTEEN ANALYYTTINEN TUTKIMUS

Rakenteen kestävyyttä tutkitaan käyttäen RIL 205-1-2017, RIL 205-2-2019, sekä sovellettujen kaavojen pohjalta. Rakenteen mitoituksessa käytettiin tehokkaita pituuksia.



Kuva 8. Voimien ja jäykkyyksien suunnat

8.1 Taivutusjäykkyys Y-suunnassa

Rakenteen heikomman suunnan (y-suunta) tehollinen taivutusjäykkyys EI_{ef} määritetään käyttäen RIL 205-1-2017 kohdan 9.1.3.2S mukaisia kaavoja (14–18).

$$EI_{ef,x} = \sum_{i=1} (E_i I_i + Y_i E_i A_i a_i^2) \quad (14)$$

$$A_i = b_i h_i \quad (15)$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12} \quad (16)$$

$$a_2 = \frac{Y_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2)}{2 \sum_{i=1} Y_i E_i A_i} \quad (17)$$

$$a_1 = \frac{(h_r + b_l)}{2} - a_2 \quad (18)$$

jossa	E_i	kimmokerroin	[N/mm ²]
	A_i	Poikkileikkauksen osan pinta-ala	[mm ²]

I_i	Poikkileikkauksen osan neliömomentti	[mm ⁴]
Y_i	Liitoksen kerroin (liimaliitokset ovat jäykkiä, jolloin $Y_i = 1$)	
b_i	Poikkileikkauksen osan y-suuntainen mitta	[mm]
h_i	Poikkileikkauksen osan z-suuntainen mitta	[mm]
a_1	Levyn painopisteen etäisyys rakenteen neutraaliakselista	[mm]
a_2	Rivan painopisteen ja rakenteen neutraaliakselin välinen etäisyys	[mm]

Riparakenteen T-poikkileikkauksen laipan tehollinen leveys määritetään RIL 205-1-2017 kohta 9.1.2 mukaan käyttäen kaavoja (19–22).

Puristettu laippa

$$b_{ef} = b_{c,ef} + b_w \quad (19)$$

Vedetty laippa

$$b_{ef} = b_{t,ef} + b_w \quad (20)$$

jossa	$b_{c,ef}$	Laipan toimivan leveyden enimmäisarvo puristuksella	[mm]
	$b_{t,ef}$	Laipan toimivan leveyden enimmäisarvo vedolla	[mm]
	b_w	Rivan paksuus	[mm]

Laipan tehokas leveys saadaan RIL 205-1-2017 taulukko 9.1. Taulukko arvot ovat enimmäisarvoja, joista valitaan pienin arvo leikkauksen ja lommahduksen arvojen väliltä. T-poikkileikkauksen tehollinen leveys ei kuitenkaan voi ylittää rivojen k-jakoa.

$$b_{c,ef} = \min(0,1 \cdot l, 20 \cdot h_l) \quad (21)$$

$$b_{ef} = \min(b_{c,ef} + b_w, k) \quad (22)$$

jossa	l	Korkeus	[mm]
	h_l	Levyn paksuus	[mm]

k Rivojen välinen etäisyys toisistaan (k-jako) [mm]

Rakenteelle laskettiin y-suuntainen siirtymä kaavoilla (23-25)

$$M_d = 1 m \cdot e \cdot P_d \quad (23)$$

$$q_d = \frac{8 \cdot M_d}{l_{ele}^2} + b_{ele} \cdot F_{w,d} \quad (24)$$

$$W = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_d \cdot l_{ele}^2}{EI_{ef,x}} \quad (25)$$

jossa	M_d	Momentti epäkeskisyydestä	[Nmm]
	l_{ele}	Rakenteen korkeus	[m]
	$F_{w,d}$	Mitoittava tuulikuorma	[N/mm]
	W	Taipuma rakenteen keskellä	[mm]
	q_d	Mitoittava tasainen kuorma	[N/mm]
	e	Seinäelementin yläpuolisen kuorman epäkeskisyys y-suunnassa	[mm]
	P_d	Z-suunnan mitoittavakuorma	[kN/m]

8.2 Taivutusjäykkyys X-suunnassa

X-suunnan taivutusjäykkyyden tarkastelussa käydään läpi levyn ja rivojen fuusioitunut jäykkyys Timeshenkon palkkiteorian mukaan, sekä rakenteen sallittu sivuttainen siirtymä. Taivutusjäykkyys saadaan levyjäykisteelle johon, on rakenneliimattu rivat kaavoilla (26–27).

Taivutusjäykkyys saadaan rakenteelle huomioimalla rivojen etäisyys neutraaliakselilta summalausekekaavalla (26). Rivat lasketaan pareina, jolloin jokaisen rivin täytyy tällöin olla yhtä kaukana x-suunnassa neutraaliakselilta, kuin parinsa. Tässä tapauksessa parit muodostavat jäykkyyttä sisäisellä jäykkyydellään sekä muodostamallaan kehällä neutraaliakselin ympäri. Levyn vaikutus lisätään kaavan alkuosassa sellaisenaan.

Taivutusjäykkyyksertoimenkaavalla (27) saadaan selvitettyä rakenteen jäykkyys siirtymän suhteen. Jäykkyyden mitoituksessa huomioidaan rivojen, sekä

levyn tehokas taivutusjäykkyys ensimmäisessä osassa ja toisessa osassa leikkauksesta aiheutuva muodon muutos (Luntta 2013).

Leikkauslujuudessa pinta-alana käytetään levyn poikkileikkauksen pinta-alaa, koska rivat eivät ota vastaan leikkaavaa voimaa. Samalla analysoidaan levyn leikkauskestävyys sivuttaiselle kuormalle.

$$EI_{ef,y} = E_l \cdot I_l + 2 \cdot E_r \cdot (I_r + A_r \cdot k_1^2) + 2 \cdot E_r \cdot (I_r + A_r \cdot k_2^2) \quad (26)$$

$$\frac{1}{k} = C_{ele} = \frac{1}{\frac{l_{ele}^3}{3 \cdot EI_y} + \frac{6 \cdot l_{ele}}{5 \cdot G_{LVL} \cdot A_l}} \quad (27)$$

jossa	$EI_{ef,y}$	Tehollinen taivutusjäykkyys	
		x-suunnassa	[N·mm ²]
	E_l	Levyn kimmokerroin	[N/mm ²]
	I_l	Levyn neliömomentti	[mm ⁴]
	E_r	Rivan kimmokerroin	[N/mm ²]
	I_r	Rivan neliömomentti	[mm ⁴]
	G_{LVL}	LVL:n liukumoduuli	[N/mm ²]
	k_i	Rivaparin etäisyys neutraaliakselilta	[mm]
	l_{ele}	Elementin korkeus	[mm]
	A_l	Levyn poikkileikkauksen pinta-ala	[mm ²]
	A_r	Rivan poikkileikkauksen pinta-ala	[mm ²]
	C_{ele}	Taivutusjäykkyys yksikköä kohti	[N/mm]

Rakenteen sivuttaissiirtymän raja arvoksi suositellaan kerrostaloissa H/500. RIL 205-1-2017 taulukosta 7.2-FI. Samaa arvoa voidaan käyttää rakenteen y-suuntaisen taipuman enimmäisarvona. Raja arvoa hyödyntämällä saadaan rakenteelle määritettyä sivuttaisen kuormituksen kestävyys kaavoilla (28–29).

$$W_{Max} = \frac{l_{ele}}{500} \quad (28)$$

$$F_{v,d} = W_{max} \cdot C_{ele} \quad (29)$$

jossa	W_{Max}	Rakenteelle hyväksytty taipuma	[mm]
	C_{ele}	Taivutusjäykkyys yksikköä kohti	[N/mm]
	l_{ele}	Elementin korkeus	[mm]

8.3 Puristusjäykkyys

Elementin puristusjäykkyyttä laskettaessa elementin suunnassa huomioidaan levyn paksuudesta puolet toisen puolen ollessa vedossa. Rivat otetaan huomioon laskennassa kokonaisina. Kaavasta saadaan koko elementin leveydelle puristusjäykkyys kaavalla (30).

$$EA = \frac{E_l \cdot h_l \cdot 0,5 \cdot b_{ele} + E_r \cdot A_r \cdot r}{l_{ele}} \quad (30)$$

jossa	E_l	Levyn kimmokerroin	[N/mm ²]
	E_r	Rivan kimmokerroin	[N/mm ²]
	h_l	Levyn paksuus	[mm]
	A_r	Rivan poikkileikkauksen pinta-ala	[mm ²]
	r	Rivojen lukumäärä elementissä	
	b_{ele}	Elementin leveys	[mm]
	l_{ele}	Elementin korkeus	[mm]

8.4 Leimapaine mitoitus

Rakenteen sisällä syysuuntaa vastaan kohtisuorapuristus rivojen ja ylä/alapään poikkipuiden välillä tarkastellaan huomioimatta levyn vaikutusta leimapaineeseen RIL 205-1-2017 kohdan 6.1.5 mukaan, jossa on seuraava ehto.

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{C,\perp} \cdot f_{c,90,d} \quad (31)$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_d}{l_{c,90,ef} \cdot h} \quad (32)$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} \quad (33)$$

jossa	$\sigma_{c,90,d}$	Puristusjäännityksen mitoitusarvo kappaleen
-------	-------------------	---

	kosketuspinnalla	[N/mm ²]
$f_{c,90,d}$	Puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaa vastaan kohtisuorassa puristuksessa	[N/mm ²]
$k_{C,\perp}$	Tukipainekerroin	
N_d	Rivaan vaikuttava normaalivoima	[N/mm ²]
$l_{c,90,ef}$	Tehollinen kosketuspinnan pituus	[mm]
h	Rivan poikkileikkauksen korkeus	[mm]
k_{mod}	Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin	
γ_M	Materiaaliominaisuuden osavarmuusluku	

Tukipainekerroin lasketaan kaavalla (34)

$$k_{C,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{C,90} \quad (34)$$

$$l_{c,90,ef} = l + \min \begin{cases} 15 \text{ mm} \\ l \\ \frac{k}{2} \end{cases} \quad (35)$$

jossa	l	Kosketuspinnanpituus syiden suunnassa	[mm]
	$k_{C,90}$	Kuorman sijainnin, halkeamisen ja puristuman huomioiva kerroin, joka on Kerto-LVL lapepinnalla 1,4	
	k	Rivojen välinen etäisyys toisistaan (k-jako)	[mm]

8.5 Lommahdus ja leikkausvoima kestävyys

Yksittäisen levyn tulee täyttää leikkausjännityksen ehto (RIL 205-1-2017 kaava 9.00.9S)

$$\tau_{d,i} = \frac{1.5 \cdot F_{i,v,Ed}}{b_i \cdot t_i} \leq \min(f_{v,crit}; f_{v,d,i}) \quad (36)$$

jossa	$F_{i,v,Ed}$	Levyä kuormittava vaakavoima	[N]
	b_i	Levyn leveys	[mm]
	t_i	Levyn paksuus	[mm]

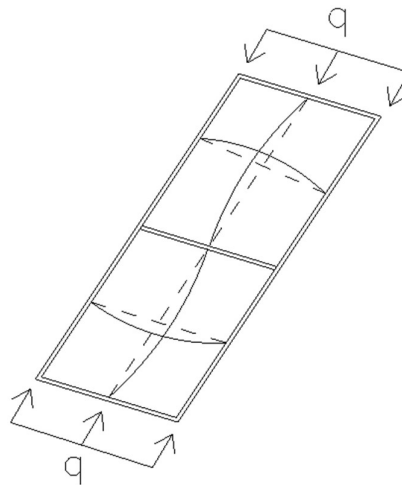
$f_{v,crit}$	Kriittinen leikkausjännitys lommahduksen suhteen	[N/mm ²]
$f_{v,d,i}$	Levyn mitoittava leikkauslujuus	[N/mm ²]

Tutkimuksessa halutaan selvittää rakenteen suurin leikkausvoimakestävyys, jolloin leikkausjännityksen kaava johdetaan muotoon, josta voidaan selvittää suurin vaakavoima leikkauksen suhteen jäykistävälle seinäelementille kaavalla (37).

$$F_{i,v,Ed} = \frac{\tau_{d,i} \cdot b_i \cdot t_i}{1.5} \quad (37)$$

$$\tau_{d,i} = \min(f_{v,crit}; f_{v,d,i}) \quad (38)$$

Lommahdus on yksi nurjahduksen eri muodoista. Tässä tapauksessa puhutaan levyn lommahduksesta (plate buckling). Puristusvoiman kohdistuessa joka reunalta tuettuun levyyn, muodostuu levyyn alue, joka pyrkii nurjahtamaan levyn pinnasta pois päin. Lommahduksessa nurjahdus ilmiö tapahtuu kahden akselin ympäri kuvan 8 mukaan.



Kuva 9. Lommahduksen vaikutusalueet

Yksittäisen levyn kriittinen leikkausjännitys lommahduksen suhteen saadaan määritettyä nivelellisesti joka reunalta tuetulle levylle alhaalla olevasta kaavoilla (39–44) (RIL 205-1-2017 kaavat 9.00.10S-9.00.16S,). Kaava (35) ottaa huomioon levyrakenteen, jonka taivutusjäykkyys on eri X ja Z akselin ympäri. Mitoituksessa verrataan kahta menetelmää käyttämällä rakenteen tehokasta paksuutta sekä pelkkää levyn paksuutta kaavassa (39,42).

Tehokkaan paksuuden määrittämisessä hyödynnetään kaavaa (41). Tässä tapauksessa runkotolpat toimivat levyn kanssa yhdessä jäykistäen levyä. (Koskinen 2021),

$$f_{v.crit} = 3,3 \cdot k \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_x}{EI_z} \cdot \frac{EI_z}{I_l} \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^2} \quad (39)$$

$$EI_z = E_l \cdot \frac{t_l^3}{12} \quad (40)$$

$$t_{ef} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot EI_x}{E_l}} \quad (41)$$

$$GI_l = \frac{1}{3} \cdot G_{LVL} \cdot t^3 \quad (42)$$

$$k_1 = \frac{c}{a} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_z}{EI_x}} \quad (43)$$

$$k_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{GI_l}{\sqrt[4]{EI_z \cdot EI_x}} \quad (44)$$

jossa	k_i	Lommahduskerroin	
	EI_x	Taivutusjäykkyys x-akselin ympäri	
		$EI_x = EI_{ef}$ y-suunnassa	[N·mm ²]
	EI_z	Taivutusjäykkyys z-akselin ympäri	[N·mm ²]
	GI_l	Vääntöjäykkyys	[kNm]
	t	Levyn paksuus tai rakenteen tehokaspaksuus (t_{ef})	[mm]
	I_l	Levyn neliömomentti pituusyksikköä kohti	[mm ³]
	a	Tarkasteltavan levykentän lyhempimitta	[mm]

c Tarkasteltavan levykentän pidempimitta [mm]

8.6 Levyn ja rivan välinen leikkauskestävyys

Levyn ja rivan välisen liimaliitoksen leikkausvoimakestävyyttä tarkasteltiin taipumasta aiheutuvan leikkauksen suhteen. Rakenteelle määritettiin kaavojen (23 ja 48) mukaan epäkeskisyydestä ja tuulikuormasta aiheutuva momentti, josta laskettiin leikkausvoima seinärakenteen tuille. Leikkausvoimaa pienennettiin kaavan (46) (RIL 205-1-2017 kuvan 6.7S) mukaan. Kaavasta (46) jätettiin tuen vaikutus pois, koska alapää on päästään kiinni perustuksessa ja taipuma ei välttämättä ole rakennusta kohti ja voi näin ollen olla vedossa yläpään kiinnityksen varassa, jolloin seinä rakenne ei ole tuella sivuttaissuunnassa.

$$\tau_{max} = \frac{y \cdot E_l \cdot A_l \cdot a_1}{b_r \cdot (EI)_{ef}} \cdot V_d \quad (45)$$

$$V_d = V_k \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot (h_l + h_r)}{l_{ele}}\right) \quad (46)$$

$$V_k = 0,5 \cdot l_{ele} \cdot k \cdot q_d \quad (47)$$

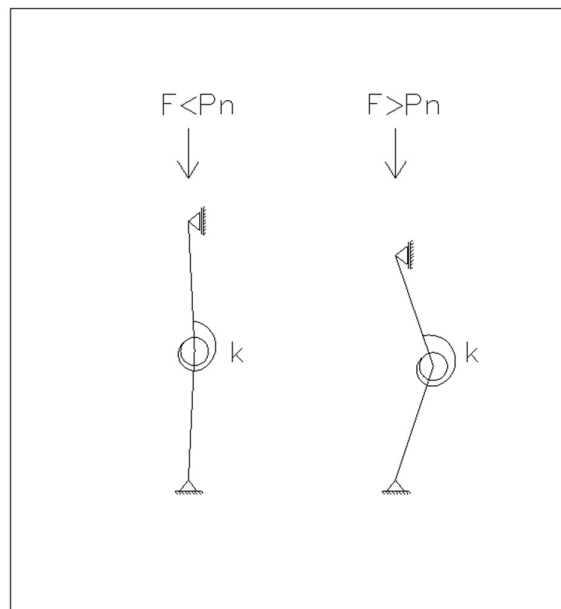
$$q_d = \frac{8 \cdot M_d}{l_{ele}^2} + F_{w,d} \quad (48)$$

jossa	V_i	Leikkausvoima	[kN]
	$F_{w,d}$	Mitoittava tuulikuorma	[kN/m ²]
	q_d	Z-suunnan mitoittavakuorma	[kN/m]
	M_d	Momentti epäkeskisyydestä	[Nmm]
	$(EI)_{ef}$	Taivutusjäykkyys y-suunta	[N·mm ²]
	E_l	Levyn kimmokerroin	[N/mm ²]
	Y	Liitoksen kerroin (liimaliitokset ovat jäykkiä, jolloin $Y = 1$)	
	a_1	Levyn painopisteen etäisyys rakenteen neutraaliakselista	[mm]
	l_{ele}	Elementin korkeus	[mm]
	A_l	Levyn poikkileikkauksen pinta-ala	[mm ²]

b_r	Rivan paksuus	[mm]
k	Rivojen etäisyys toisistaan	[mm]
h_t	Levyn paksuus	[mm]
h_r	Rivan kantin korkeus	[mm]

8.7 Nurjahdusmitoitus

Nurjahdus on aksiaalisesti keskeisesti kuormitetun suoran sauvan stabiilisuusongelma. Nurjahdus mitoituksella pyritään määrittämään kriittinen kuormitus, jolla sauva menettää stabiilisuutensa ja muuttuu indifferentiksi tätä kuormitusta, kutsutaan myös nurjahduskuormitukseksi ja se merkitään P_n . Nurjahdustilanteessa sauvan pienetkin taipuneet osat ovat tasapainoasemia. Tasapainoasemat pyrkivät säilyttämään rakenteen stabiilina jousen tavoin. Jos puristuskuormitus ylittää kriittisen kuormituksen arvon muuttuu rakenne labiiliksi ja sortuu (Outinen & Salmi 2004, 280.)



Kuva 10. Sauvan nurjahdusta vastustava jousinivel k

Nurjahdusmitoitus toteutettiin käyttämällä t-poikkileikkauksen tehokkaita mittoja, jolloin rakenne muuttuu mitoituksessa suorakulmioksi (koskinen 2021). Tehokkaiden mittojen käyttöön liimarakenteessa on koskisen työssä todettu olevan kuitenkin 17 % ero todellisen ja tehokkaiden mittojen välillä, joten

lopullisessa laskennassa se otettiin huomioon. Tehokkaina mittoina käytettiin leveyden b_{ef} kaavoja (19–22), sekä y-suunnan t-poikkileikkauksen taivutusjäykkyydestä johdetulla kaavalla (53) saatavaa rakenteen korkeutta h_{ef} .

Nurjahduskestävyyden mitoitus suoritettiin muilta osin (RIL 205-1-2017 kohdan 6.3.2 mukaan). Taivutusjäännityksen ja puristusjäännityksen kaavat (50–51) on toteutettu (RIL 205-1-2017 kohdan 6.41 ja 6.4.2 mukaan).

Rakenteeseen syntyvän jäännityksen täytyy täyttää ehto (49)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (49)$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b_{ef} \cdot h_{ef}} \quad (50)$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{ef}} \quad (51)$$

$$M_d = e \cdot P_d + \frac{F_{w,d} \cdot l_{ef} e^2}{2} \quad (52)$$

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot E I_{ef,t,x}}{b_{ef} \cdot E I}} \quad (53)$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} \quad (54)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_{ef}}} \quad (55)$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (56)$$

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2 \quad (57)$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \leq 1 \quad (58)$$

jossa	M_d	Mitoittava momentti y-suunnassa	[kNm]
	$\sigma_{c,0,d}$	Mitoittava puristusjännitys	[N/mm ²]
	$\sigma_{m,y,d}$	Mitoittava taivutusjännitys	[N/mm ²]
	$f_{c,0,d}$	Mitoittava puristuskestävyys puunsyiden suunnassa	[N/mm ²]
	$f_{m,d}$	Mitoittava taivutuslujuus	[N/mm ²]
	λ_y	Hoikkuusluku	
	$L_{c,z}$	Nurjahduspituus rakenteen y-akselinsuhteen (eli z-akselin suuntaan taulukko 6.1-FI).	[mm]
	i_y	Poikkileikkauksen jäyhyys säde y-akselin suhteen	[mm]
	I_y	Neliömomentti	[mm ⁴]
	A_{ef}	Tehokaspinta-ala	[mm ²]
	$\lambda_{rel,y}$	Muunnettu hoikkuusluku	
	$E_{0,05}$	Syysuuntaista rasitusta vastaavan kimmokertoimen ominaisarvo LVL	[N/mm ²]
	β_c	Alkukäyrydestä riippuva kerroin (liimapuu- ja LVL- sauvalla 0,1)	
	k_y	Nurjahduskerroin	
	$k_{c,y}$	Nurjahduskerroin	

8.8 Palomitoitus

Palomitoituksessa seinärakennetta tarkasteltiin 60 minuutin paloajalla (RIL 205-2-2019 mukaan). Tarkastelussa haettiin sisäpuoliselle levyllä paksuutta, jolla seinäelementti säilyttäisi vähintään 25 mm seinämän ja täyttäisi tällöin laskelmien vahvuudet ja jäykkyydet 60 minuutin ajan. Tutkimuksessa mitoitettiin myös palotilanteen kuormitusyhdistely.

Rakenteen palomitoituksessa kuormitusyhdistelmänä käytetään onnettomuus tilanteen yhdistelmiä (59–60) joista toinen valitaan suuremman kuorman mukaan.

$$E_{d,fi} = G_{kj} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{l < 1} \psi_{2,l} \cdot Q_{k,l} \quad (59)$$

Hyötykuorma määräävänä

$$E_{d,fi} = G_{kj} + \sum_{l < 1} \psi_{2,1} \cdot Q_{k,l} \quad (60)$$

jossa	E_d	Kuormitus normaali lämpötilassa	
	G_{kj}	Pysyvien kuormien ominaisarvo	[kN/m ²]
	$Q_{k,1}$	Määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo	[kN/m ²]
	$Q_{k,l}$	Muun muuttuvan kuorman ominaisarvo	[kN/m ²]
	$\psi_{0,j}$	Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin	
		(RIL 205-2-2019 taulukko 2.2)	

Yksidimensionaalinen hiiltymisnopeus määritetään kaavalla

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t \quad (61)$$

jossa	$d_{char,0}$	Yksidimensionaalisen hiiltymissyvyyden mitoitussarvo	[mm]
	β_0	Yksidimensionaalisen hiiltymisnopeuden mitoitussarvo (RIL 205-2-2019 taulukko 3.2)	[mm/min]
	t	Palorasituksen kesto	[min]

9 TULOKSET

9.1 Ripaelementin jäykkyys

Kaikki käyttöasteet on laskettu tutkimustapauksen mitoittaville kuormituksille. Taulukossa (4–6) on havainnollistettu tutkimuksen tuloksia koskien korkeaa ripaseinäelementtiä. Taulukossa (4) on kuvattu rakenteen jäykkyyttä y- ja x-suunnissa sekä puristusjäykkyyttä koko elementin leveydelle. Puristusjäykkyyden sarakkeessa on ilmoitettu rakenteen leimapaineen kriittinen kuormitus ja käyttöaste.

Taulukko 4. Taivutus- ja puristuskestävyyden arvot

	Jäykkyys	Max kuormitus	Käyttöaste	Lisätiedot
Taivutusjäykkyys Y-suunta	8 210,4 kNm^2	1,26 $\frac{kN}{m}$	209 %	Suurin sallittu kuormitus elementin leveydelle y-suunnassa taipuman suhteen
Taivutusjäykkyys X-suunta	863 498,3 kNm^2	27,8 kN	100 %	Suurin sallittu kuormitus on esitetty pistekuormana elementin yläreunaan x-suunnassa taipuman suhteen
Puristusjäykkyys	104,7 $\frac{kN}{mm}$	85,9 $\frac{kN}{m}$	41,7 %	Elementin suurin kantavuus leimapaineen suhteen z-suunnassa

Rakenteen taivutus jäykkyyden kestävyys y-suuntaan vaatii lisätuentaa.

Rakenne taipuu y-suunnassa 41,7 mm, joka on 21,7 mm yli sallitun rajan (20 mm). Rakenteen x-suuntaista kuormitusta ei tässä työssä käsitelty, joten käyttöaste ilmaisee ainoastaan raja-arvon.

9.2 Ripaelementin leikkaus ja lommahdukskestävyys

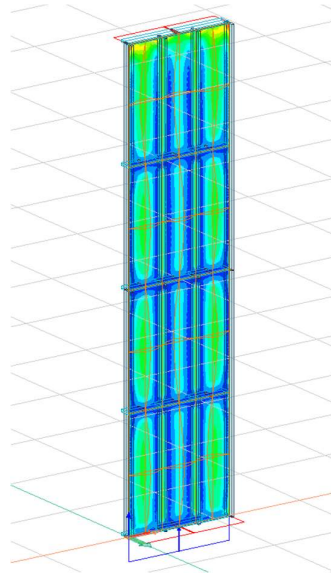
Taulukossa (5) on esitetty tutkimuksen elementin maksimaaliset kuormat ensimmäisessä sarakkeessa. Kaikki taulukon käyttöasteet on laskettu liitteissä tapauksen mitoittaville kuormituksille.

Taulukko 5. Lommahduksen- ja liimaliitoskestävyyden arvot

	Max kuormitus z-suunnassa	Käyttöaste	Lisätiedot
Lommahdus (levy)	50 $\frac{kN}{m}$	71,4%	Mitoitettu käyttöaste on ainoastaan levyyn suoraan vaikuttavien voimien kestävyysarvo
Lommahdus (tehokas paksuus)	315,1 $\frac{kN}{m}$	11,3%	Tehokkaan paksuuden kestävyys ottaa huomioon rakenteen kokonaisjäykkyyden
	Max kuormitus y-suunnassa	Käyttöaste	Lisätiedot
Levyn ja rivojen välinen leikkauskestävyys y-suuntainen kuormitus	2,79 $\frac{kN}{m}$	44 %	Käyttöaste on mitoitettu tasaisenkuormituksen ja momentin aiheuttamasta rasituksesta liitospinnassa

Levyn lommahduksen mitoituksessa toteutettiin kahta laskenta tapaa. Levyn omaa kestävyttä lommahduksen aiheuttaman leikkauskestävyyden suhteen sekä rakenteen tuottamaa tehokasta paksuutta lommahduksen suhteen.

Tehokkaassa paksuudessa rakenteen kokonaisjäykkyys otetaan huomioon koko rakenteen tehokkaan paksuuden alalla.



Kuva 11. Levyn taivutusjännitys alueet

Todellisuudessa, jos levy on asennettu hieman alle rivojen puristuspintojen pintaa, voidaan rakenteen lommahduksen kriittisenä kuormana pitää leimapai-
neen kriittistä kuormitusta. Ajatuksena hypoteesissa on rakenteen painuminen ja tätä kautta jännityksen siirtyminen levykenttään joka kestävyuden ylittyessä aiheuttaa välittömän lommahduksen.

9.3 Ripaseinäelementin nurjahduskestävyys

Rakenteen nurjahduskestävyys tarkasteltiin ainoastaan y-suunnassa, x-suunnan ollessa tuettuna levyllä.

Taulukko 6. Nurjahduskestävyyden arvot

	Max kuormitus z-suunnassa	Käyttöaste	Lisätiedot
Nurjahdus y-suunta	$103,75 \frac{kN}{m}$	50,3%	Rakenteen kriittinen kuormitus ottaa huomioon epäkeskisyydestä sekä tuulesta tulevan kuormituksen

Nurjahdusmitoituksessa esiin nousi rakenteen hoikkuusluku 194.9, jonka raja arvo pysyvillä rakenteilla on 200. Rakenne on nurjahduksen suhteen nivelellisellä tuennalla toimiva.

Mitoituksessa on käytetty Koskisen työssä todennettua 17 % käyttöasteen poikkeavuutta varmuuskertoimena, joka on otettu käyttöasteessa ja kriittisessä kuormituksessa huomioon korottamalla käyttö astetta ja pienentämällä kriittistä kuormitusta 17 % verran (koskinen 2021.)

10 POHDINTA

Tutkimuksen pohjalta voidaan todeta rakenteen toimivan lisäjäykistyksellä, joko rivoja lisäämällä tai levyä paksuntamalla huomioiden levyn 39 mm paksuuden 60 minuutin paloaikana. Tällöin rakenteen y-suuntaista jäykkyyttä pystyttäisiin kohottamaan vastaamaan tapauskuormitusta.

Kohderakennus on mahdollista saada paloluokkaan 2 rakenteen korkeuden rajaamisella 9 metriin. Tällöin rakenteelta vaadittaisiin 30 minuutin palonkestoaika, jolloin 69 mm paksusta levystä pystyttäisiin ulosmittaamaan 9 metriä korkeana tarvittava jäykkyys y-suuntaan.

Rakennetta on myös hyvä lähteä tutkimaan lisää koteloelementtimallilla, jolloin rakenteelle saataisiin jäykkyyttä molemmille puolille mikä lisäisi jäykkyyttä myös y-suunnassa. Tällaisen rakenteen lähtö mittoina voisi toimia 50 mm sisälevylle ja 25 mm ulkolevylle. Tutkimuksessa täytyisi ottaa huomioon rakennefysikallinen mitoitus kosteuden tiivistymismahdollisuuden takia sekä palomitoitus tarvittavan jäykkyyden takaamiseksi.

Vertailevana lähtökohtana tutkimusta tutkittiin alku taipaleella Finnwood ohjelmalla, joka aluksi tuntui sopimattomalta mitoitukseen, mutta käsin mitoituksen jälkeen jälkitarkastelussa suoriutui kuitenkin kohtuullisen hyvin niillä tarkastelulalueilla mitä ohjelma sisältää. Rakenteelle tehtiin lopussa mitoitus 9 metriä korkeana ja 69 mm uumalevyllä tutkimuksen kaavastoa mukailevalla Excelillä. Mitoituksesta saatiin taipuman arvoksi 15,8 mm ja Finnwoodilla 16,7 mm, jolloin mitta eroksi jäi 5,4 % ero, josta voidaan päätellä Finnwoodin toimivan jossain määrin toimivana mitoitustyökaluna myös Ripaseinäelementin mitoituksessa. Finnwoodin otos löytyy liitteistä.

LÄHTEET

Harrod sports. 2020. Basketball Court Size Dimensions and Markings. Saatavissa: <https://www.harrodspport.com/advice-and-guides/basketball-court-dimensions-markings> [viitattu 21.2.2024].

Hüseyin, I & Karjalainen, M, Tampereen yliopisto. 2022. Korkeat puurakennukset: mahdollisuudet, edut, haasteet ja näkymät. PUU-LEHTI. Verkkolehti. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/2022/10/21/korkeat-puurakennukset-mahdollisuudet-edut-haasteet-ja-nakymat/> [viitattu 21.2.2024].

Insinööritoimisto K. Parila Oy. 2019. Asuinrakennuksien kantavien ja jäykistävien rakenteiden perusteet – Raksatuntija. Blogi. Päivitetty 21.3.2019. Saatavissa: <https://kariparila.fi/contact/raksatuntija/kantavatrakenteet> [viitattu 21.2.2024].

Kevarinmäki, A. 2017. Puurakenteiden suunnitteluohje: Eurokoodi EN 1995-1-1. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. [viitattu 21.2.2024].

Koskinen, T. 2021. Ripaseinärakenteen kantavuus- ja jäykkyysominaisuudet tilaelementtikerrostalossa. Diplomityö. Tampereen-Yliopisto. Rakennustekniikka. Saatavuus: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/132655/KoskinenTopi.pdf?sequence=3&isAllowed=y> [viitattu 14.5.2024]

Luntta J. 2013. Ristiinliimattu massiivipuulevykenttä rungon vaakakuormia siirtävänä rakenteena. Diplomityö. Aalto-Yliopisto. Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma. Rakennetekniikka. Sähköinen arkistokappale on luettavissa Aalto Thesis Databasen kautta [viitattu 21.2.2024].

Metsä Group. s.a. Kerto® LVL. Saatavuus: <https://www.metsagroup.com/fi/metsawood/tuotteet-ja-palvelut/tuotteet/kerto-lvl/> [viitattu 21.2.2024].

Mylly, M. Ammattiopisto Lappia. 2022. Teollisen puurakentamisen opetusmateriaali -aineistot. 7.5 LVL-levyjen valmistus WWW-dokumentti. Päivitetty 22.3.2023 Saatavissa: <https://puuinfo.fi/koulutus/teollisen-puurakentamisen-oppimateriaali-tpuur-aineistot/> [viitattu 21.2.2024].

Outinen, H. & Salmi, T. 2004. Lujuusopin perusteet. Tampere: Pressus Oy. [viitattu 21.2.2024].

Puuinfo Oy. (2021). Paloturvallinen puutalo. Asuin- ja toimitilarakentaminen. Saatavuus: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/paloturvallinen-puutalo-asuin-ja-toimitilarakentaminen/> [viitattu 21.2.2024].

Saukkonen, P. s.a. Helsingin yliopiston yleisen valtio-opin laitos <https://www.mv.helsinki.fi/home/psaukkon/tutkielma/Tutkimusasetelma%202.html> [viitattu 21.2.2024].

Tirronen, T. 2024. Haastattelu 9.3.2024 Punkaharjun Puutaito Oy

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017/848

KUVALUETTELO

Kuva 1. Tutkimusmenetelmä.

Kuva 2. Load-frame testilaitte Savonlinnan puulaboratorio. Kaakkois- Suomen ammattikorkeakoulu. s.a. Teollisen puurakentamisen laboratorio palvelut.

Saatavissa: https://www.xamk.fi/puuraklab_palvelut/?_gl=1%2Acpkiiq%2A_up%2AMQ..%2A_ga%2AMTlz-MTE0MDgzNy4xNzE1Njk5OTM4%2A_ga_77W4RRPCQV%2AMTcxNTY5OTkzNy4xLjAuMTcxNTY5OTkzNy4wLjAuMA..%2A_ga_VVNN9RNCBX%2AMTcxNTY5OTkzNy4xLjAuMTcxNTY5OTkzNy4wLjAuMA. [viitattu 14.5.2024]

Kuva 3. Kerto LVL. Metsä Group. s.a. Tuotteet ja palvelut. Saatavissa: <https://www.metsagroup.com/fi/metsawood/tuotteet-ja-palvelut/> [viitattu 14.5.2024]

Kuva 4. Hahmotelma hallista Punkaharjun Puutaito Oy. s.a.

Kuva 5. Yksinkertaistettu lankamalli hallirakenteesta

Kuva 6. Elementin rakennekuvat

Kuva 7. Elementin rakennetyyppi

Kuva 8. Voimien ja jäykkyyksien suunnat

Kuva 9. Lommahduksen vaikutusalueet

Kuva 10. Sauvan nurjaldusta vastustava jousinivel k.

Kuva 11. Levyn taivutusjäännitys alueet

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1–3. Kevarinmäki, A. 2017. Puurakenteiden suunnitteluohje: Eurokoodi EN 1995-1-1. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Taulukko 4. Taivutus- ja puristuskestävyyden arvot

Taulukko 5. Lommahduksen- ja liimaliitoskestävyyden arvot

Taulukko 6. Nurjahduskestävyyden arvot

LIITE 1: Manuaalinen laskenta

Kuormitukset

Seinärakenteen pysyvät kuormat

$$G_k = \frac{0,5 \cdot 14,3 \text{ kN}}{2,4 \text{ m}} + 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6,5 \text{ m} + \frac{12,2 \text{ kN}}{2,4 \text{ m}} = 11,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lumikuorma (Savonlinna)

$$S_k = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\mu_i = 0,8$$

$$C_e = 1$$

$$q_k = \mu_i \cdot C_e \cdot S_k = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_k = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{13}{2} = 13 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Muuttuvien kuormien aikaluokan mukainen kaava

$$K_{FI} = 1,1$$

$$P_d = 1,15 \cdot K_{FI} \cdot G_{kj} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,1} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot \sum_{l < 1} \psi_{0,j} \cdot Q_{k,l}$$

$$P_d = 1,15 \cdot 1,1 \cdot 11,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1,5 \cdot 1,1 \cdot 13 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 35,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Pysyvien kuormien aikaluokan mukainen kaava

$$K_{FI} = 1,1$$

$$P_d = 1,35 \cdot K_{FI} \cdot G_{kj}$$

$$P_d = 1,35 \cdot 1,1 \cdot 11,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 16,78 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tuulikuormien mitoitus painekertoimella

$$b=25 \text{ m}$$

$$d=24 \text{ m}$$

$$h=13 \text{ m (harjalta)}$$

$$e = \min, b \text{ tai } 2h = 25 \text{ m}$$

$$q_p(z_e) = 0,65 \text{ kN / m}^2$$

$$A = \frac{e}{5} = 5 \text{ m}$$

$$B = d - \frac{e}{5} = 19 \text{ m}$$

$$c_{pe,A} = -1,2$$

$$c_{pe,D} = \frac{0,8-0,7}{1-0,25} \cdot \frac{h}{d} + 0,7 = 0,77$$

$$c_{pe,B} = -0,8$$

$$c_{pe,E} = \frac{0,3 - 0,5}{1 - 0,25} \cdot \frac{h}{d} - 0,3 = -0,44$$

$$\mu = \frac{2 \cdot d + b}{2 \cdot d + 2 \cdot b} = 0,745$$

$$c_{pi} = -0,22$$

$$w_i = 0,65 \cdot (-0,22) = -0,143 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,A} = 0,65 \cdot (-1,2) = -0,78 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = 0,65 \cdot (-0,8) = -0,52 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = 0,65 \cdot 0,77 = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = 0,65 \cdot (-0,44) = -0,28 \text{ kN/m}^2$$

Koska $C_e C_d = 1$ ja tuulikuormaa tarkastellaan 1 m^2 alueella voidaan kaavaa johtaa yksinkertaisemmaksi muotoon:

$$F_w = W_e + W_i$$

$$F_{w,A} = -0,78 - 0,143 = -0,98 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{w,B} = -0,52 - 0,143 = -0,663 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{w,D} = 0,5 - 0,143 = 0,643 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{w,E} = -0,44 - 0,143 = -0,583 \text{ kN/m}^2$$

Elementin mitoitus

Lähtötiedot

Elementin leveys	l=	2400 mm
Elementin korkeus	helementti=	10 000 mm
Ripajako	kk=	783 mm
Liukumoduuli	G _{0.LVL} =	600,0 MPa
Kimmokerroin LVL-Q	E _{Q.LVL} =	10 500,0 MPa
Kimmokerroin LVL-S	E _{S.LVL} =	13 800,0 MPa

Rivan paksuus	b _r =	51 mm
Rivan leveys	h _r =	260 mm
Kansilevyn paksuus	h _l =	25 mm

Taivutus jäykkyys Y-suunnassa

T-poikkileikkauksen tehokas leveys

$$b_{c,ef} = \min \left(\begin{array}{l} 0,1 \cdot 10\,000 = 1\,000 \text{ mm} \\ 20 \cdot 25 = 500 \text{ mm} \end{array} \right) = 500 \text{ mm}$$

$$b_{ef} = \min \left(\begin{array}{l} 500 + 51 = 551 \text{ mm} \\ 783 \text{ mm} \end{array} \right) = 551 \text{ mm}$$

T-poikkileikkauksen pinta-alat

$$A_r = 51 \cdot 260 = 13\,260 \text{ mm}^2$$

$$A_l = 551 \cdot 25 = 13\,775 \text{ mm}^2$$

T-poikkileikkauksen jäyhyysmomentti y-suunnassa

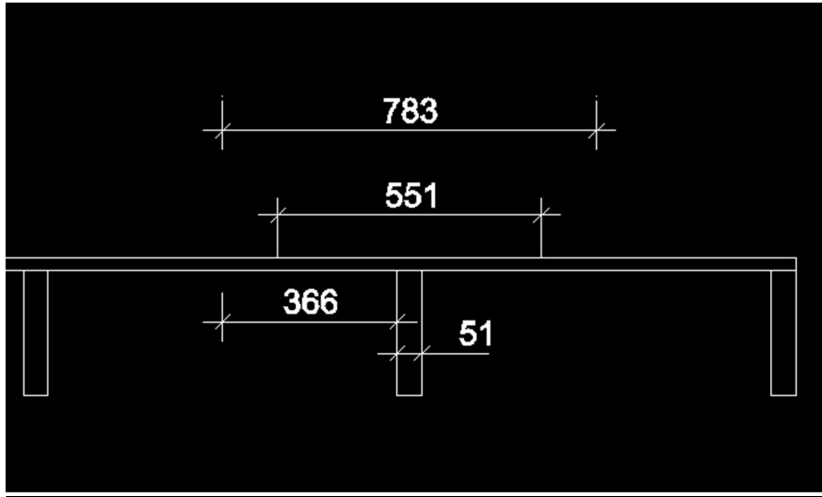
$$I_r = \frac{51 \cdot 260^3}{12} = 74\,698\,000 \text{ mm}^4$$

$$I_l = \frac{551 \cdot 25^3}{12} = 717\,447,9 \text{ mm}^4$$

Osien painopisteiden etäisyys kokoonpanon neutraali akselista

$$a_2 = \frac{10\,500 \cdot 13\,775(25 + 260)}{2(13\,800 \cdot 13\,260 + 10\,500 \cdot 13\,775)} = 62,9 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{(260 + 25)}{2} - 62,9 = 79,6 \text{ mm}$$



T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys (y-suunnassa)

$$Y_1 = 1$$

$$EI_{ef,x} = \frac{(E_l I_l + Y_l E_l A_l a_l^2) + (E_r I_r + Y_r E_r A_r a_r^2)}{kk}$$

$$EI_{ef,x} = \frac{l_{EI} + r_{EI}}{kk}$$

$$l_{EI} = \left(\frac{10\,500 \frac{N}{mm^2} \cdot 717\,447,9 \text{ mm}^4 + 10\,500 \frac{N}{mm^2} \cdot 13\,775 \text{ mm}^2 \cdot (79,6 \text{ mm})^2}{1\,000\,000\,000} \right)$$

$$= 924 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

$$\begin{aligned}
 r_{EI} &= \frac{\left(13\,800 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 74\,698\,000 \text{ mm}^4 + 13\,800 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 13\,260 \text{ mm}^2 \cdot (62,9 \text{ mm})^2\right)}{1\,000\,000\,000} \\
 &= 1\,755 \text{ kN} \cdot \text{m}^2
 \end{aligned}$$

Elementin taivutusjäykkyys

$$EI_{ef,x} = \frac{924 \text{ kN} \cdot \text{m}^2 + 1\,755 \text{ kN} \cdot \text{m}^2}{0,783 \text{ m}} \cdot 2,4 \text{ m} = 8\,210,4 \text{ kNm}^2$$

T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys

$$EI_{ef,t,x} = 924 \text{ kN} \cdot \text{m}^2 + 1\,755 \text{ kN} \cdot \text{m}^2 = 2\,697 \text{ kNm}^2$$

Taipuma y-suunnassa

$$M_d = 1 \text{ m} \cdot 0,0796 \text{ m} \cdot 35,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 2,84 \text{ kNm}$$

Tasainenkuorma elementin leveydelle

$$q_d = \frac{8 \cdot 2,84 \text{ kNm}}{(10 \text{ m})^2} + 2,4 \text{ m} \cdot 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 2,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Taipuma ja raja-arvo

$$W = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (10 \text{ m})^4}{8\,210,4 \text{ kNm}^2} = 0,0417 \text{ m} = 41,7 \text{ mm}$$

$$W_{max} = \frac{10\,000 \text{ mm}}{500} = 20 \text{ mm}$$

Suurin tasainenkuorma elementin leveydelle

$$q_{d,max} = \frac{384}{5} \cdot \frac{20 \text{ mm} \cdot 8\,210,4 \text{ kNm}^2}{(10 \text{ m})^4} = 1,26 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\frac{q_{d,max}}{q_d} = 209 \% \text{ (käyttöaste)}$$

Taipuma ylittää sallitun rajan

Taivutus jäykkyys X-suunnassa

T-poikkileikkauksen jäyhyysmomentit x-suunnassa

$$I_r = \frac{260 \cdot 51^3}{12} = 2\,874\,105 \text{ mm}^4 \quad I_l = \frac{25 \cdot 2400^3}{12} = 28\,800\,000\,000 \text{ mm}^4$$

Levyn pinta-ala

$$A_l = 2400 \cdot 25 = 60\,000 \text{ mm}^2$$

Elementin taivutusjäykkyys

$$EI_{ef,y} = EI_l + EI_{r,1} + EI_{r,2}$$

$$EI_l = 10\,500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 28\,800\,000\,000 \text{ mm}^4 = 302\,400\,000\,000\,000 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$$

$$\begin{aligned} EI_{r,1} &= 2 \cdot 13\,800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot (2\,874\,105 \text{ mm}^4 + 13\,260 \text{ mm}^2 \cdot (391,5 \text{ mm})^2) \\ &= 56\,173\,290\,264\,000 \text{ N} \cdot \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI_{r,2} &= 2 \cdot 13\,800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot (2\,874\,105 \text{ mm}^4 + 13\,260 \text{ mm}^2 \cdot (1174,5 \text{ mm})^2) \\ &= 504\,925\,009\,992\,000 \text{ N} \cdot \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI_{ef,y} &= \frac{302\,400 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}^2 + 56\,173 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}^2 + 504\,925 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}^2}{1\,000\,000\,000} \\ &= 863\,498,3 \text{ kNm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{1}{k} = C_{ele} = \frac{1}{\frac{(10\,000 \text{ mm})^3}{3 \cdot 863\,498,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} + \frac{6 \cdot 10\,000 \text{ mm}}{5 \cdot 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 60\,000 \text{ mm}^2}} = 1390,12 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Sallittu yläreunan siirtymä

$$W_{max} = \frac{10\,000\text{ mm}}{500} = 20\text{ mm}$$

Suurin sallittu kuormitus yläreunan siirtymän suhteen x-suunnassa

$$f_{y,max} = 1,390 \frac{\text{kN}}{\text{mm}} \cdot 20\text{ mm} = 27,8\text{ kN}$$

Puristusjäykkyys

$$EA = \frac{10\,500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 25\text{ mm} \cdot 0,5 \cdot 2\,400\text{ mm} + 13\,800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 13\,260\text{ mm}^2 \cdot 4}{10\,000\text{ mm}}$$

$$= 104\,695 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 104,7 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

Leimapainemitoitus

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

$$\gamma_M = 1,2$$

$$h = 260\text{ mm}$$

$$l = 51\text{ mm}$$

$$l_{c,90,ef} = l + \min \left\{ \begin{array}{l} 15\text{ mm} \\ l \\ \frac{kk}{2} \end{array} \right. = 81\text{ mm}$$

$$N_d = 35,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 0,783\text{ m} = 27,95\text{ kN}$$

$$k_{c,\perp} = \frac{81\text{ mm}}{51\text{ mm}} \cdot 1,4 = 2,22$$

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

$$f_{c,90,d} = 0,8 \cdot \frac{2,2 \frac{N}{mm^2}}{1,2} = 1,47 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} = 2,22 \cdot 1,47 \frac{N}{mm^2} = 3,26 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{27\,950\,N}{81\,mm \cdot 260\,mm} = 1,3 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} = 41,7\% \text{ (käyttöaste)}$$

Suurin sallittu kuormitus elementin leveydelle

$$N_{d,r} = k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \cdot l_{c,90,ef} \cdot h = 6\,868\,N = 68,7\,kN$$

$$N_{d,ele} = \frac{3 \cdot 68,7\,kN}{2,4\,m} = 85,9 \frac{kN}{m}$$

Lommahdus ja leikkausvoimamitoitus

$$l = 2,4\,m$$

$$a = k \text{ tai } l_{ele} = 783\,mm \text{ tai } 2\,400\,mm$$

$$c = 2\,500\,mm \text{ tai } 10\,000\,mm$$

$$t = 25\,mm \text{ tai } t_{ef}$$

$$G_{LVL} = 600 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_t = 10\,500 \frac{N}{mm^2}$$

Rakenteen taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohti

$$EI_{ef,x} = 8210,84\,kNm^2$$

$$EI_x = \frac{8210,84 \text{ kNm}^2}{2,4 \text{ m}} = 3421,18 \text{ kNm}$$

Neliömomentti pituusyksikköä kohti

$$I_x = \frac{EI_x}{E_l}$$

$$I_x = \frac{3\,421\,180\,000 \text{ Nmm}}{10\,500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 325\,827,1 \text{ mm}^3$$

Tehokkaan paksuuden johdanto

(huom! EI_x kNm tällöin $b = 1 \text{ m}$ ja supistuu pois)

$$I = \frac{b \cdot t_{ef}^3}{12}$$

$$EI = E \cdot \frac{t_{ef}^3}{12}$$

$$\frac{12 \cdot EI}{E} = t_{ef}^3$$

$$t_{ef} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot EI_x}{E_l}}$$

$$t_{ef} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 3\,421\,180\,000 \text{ Nmm}}{10\,500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 157,54 \text{ mm}$$

$$EI_z = 10\,500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{(25 \text{ mm})^3}{12} = 13\,671\,875 \text{ Nmm} = 13,67 \text{ kNm}$$

Tehokas vääntöjäykkyys

$$GI_{ef} = \frac{1}{3} \cdot 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot (157,54 \text{ mm})^3 = 781\,992\,376 \text{ Nmm} = 781,99 \text{ kNm}$$

Levyn vääntöjäykkyys

$$GI_l = \frac{1}{3} \cdot 600 \frac{N}{mm^2} \cdot (25 \text{ mm})^3 = 3\,125\,000 \text{ Nmm} = 3,125 \text{ kNm}$$

Lommahduskerroin

Tehokaan paksuuden lommahduskestävyys elementin leveydelle

$$k_1 = \frac{10 \text{ m}}{0,783 \text{ m}} \cdot \sqrt[4]{\frac{13,67 \text{ kNm}}{3421,18 \text{ kNm}}} = 3,2$$

$$k_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{781,99 \text{ kNm}}{\sqrt{13,67 \text{ kNm} \cdot 3421,18 \text{ kNm}}} = 1,81$$

$$k = 1,8$$

$$f_{v,crit} = 3,3 \cdot 1,8 \cdot \sqrt[4]{\frac{3421,18 \text{ kNm}}{13,67 \text{ kNm}}} \cdot \frac{13,67 \text{ kNm}}{0,3258271 \text{ m}^3} \cdot \left(\frac{157,54 \text{ mm}}{2\,400 \text{ mm}}\right)^2 = 4,25 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{v,d,i} = 3,0 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{d,i} = \min(f_{v,crit}; f_{v,d,i})$$

$$F_{i,v,Ed} = \frac{3,0 \frac{N}{mm^2} \cdot 2\,400 \text{ mm} \cdot 157,54 \text{ mm}}{1,5} = 756\,190 \text{ N} = 756,19 \text{ kN}$$

$$F_{i,v,Ed,ele} = \frac{756,19 \text{ kN}}{2,4 \text{ m}} = 315,1 \frac{kN}{m}$$

$$\frac{35,7 \frac{kN}{m}}{315,1 \frac{kN}{m}} = 11,3\% \text{ (käyttöaste)}$$

Levyn paksuuden lommahduskestävyys k-jaon leveydelle

$$k_1 = \frac{2,5 \text{ m}}{0,783 \text{ m}} \cdot \sqrt[4]{\frac{13,67 \text{ kNm}}{3421,18 \text{ kNm}}} = 0,8$$

$$k_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{3,125 \text{ kNm}}{\sqrt{13,67 \text{ kNm} \cdot 3421,18 \text{ kNm}}} = 0,007$$

$$k = 1,45$$

$$f_{v,crit} = 3,3 \cdot 1,45 \cdot \sqrt[4]{\frac{3421,18 \text{ kNm}}{13,67 \text{ kNm}} \cdot \frac{13,67 \text{ kNm}}{0,3258271 \text{ m}^3} \cdot \left(\frac{25 \text{ mm}}{783}\right)^2} = 32,33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v,d,i} = 3,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{d,i} = \min(f_{v,crit}; f_{v,d,i})$$

$$F_{i,v,Ed} = \frac{3,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 2\,400 \text{ mm} \cdot 25 \text{ mm}}{1,5} = 120\,000 \text{ N} = 120 \text{ kN}$$

$$F_{i,v,Ed,ele} = \frac{120 \text{ kN}}{2,4 \text{ m}} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\frac{35,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{50 \frac{\text{kN}}{\text{m}}} = 71,4\% \text{ (käyttöaste)}$$

Levyn ja rivan välinen leikkausvoimakkestävyys

$$A_l = 13\,775 \text{ mm}^2$$

$$F_{w,d} = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$e = a_1 = 79,6 \text{ mm}$$

$$M_d = 2,84 \text{ kNm}$$

$$q_d = \frac{8 \cdot 2,84 \text{ kNm}}{(10 \text{ m})^2} + 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1,23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$V_k = 0,5 \cdot 10 \text{ m} \cdot 1,23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,783 \text{ m} = 4,8 \text{ kN}$$

$$V_d = 4,8 \text{ kN} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot (25 \text{ mm} + 260 \text{ mm})}{10\,000 \text{ mm}}\right) = 4,54 \text{ kN}$$

$$\tau_{max} = \frac{1 \cdot 10\,500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 13\,775 \text{ mm}^2 \cdot 79,6 \text{ mm}}{51 \text{ mm} \cdot 2\,697 \cdot 10^9 \text{ Nmm}^2} \cdot 4\,540 \text{ N} = 0,38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kertopuu materiaalien leikkauslujuudet lappeellaan pintaviilun suuntaan

$$f_{r,0,k,kerto-Q} = 1,3 \frac{N}{mm^2} \qquad f_{r,0,k,kerto-S} = 2,3 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_{mod} = 0,8 \qquad \gamma_M = 1,2$$

$$f_{r,0,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{r,0,k,kerto} \\ f_{r,0,k,kerto} \end{array} \right. \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 0,87 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{\tau_{max}}{f_{r,0,d}} = 44 \% \text{ (käyttöaste)}$$

Nurjahdusmitoitus

$$EI_{ef,t,x} = 2\,697 \text{ kNm}^2$$

$$k = 783 \text{ mm}$$

$$b_{ef} = 551 \text{ mm}$$

$$L_{c,z} = 10\,000 \text{ mm}$$

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

$$\gamma_M = 1,2$$

$$f_{c,0,k,kerto} = 26,0 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c,0,d,kerto} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k,kerto}}{\gamma_M} = 17,3 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{m,0,k,kerto-Q} = 32,0 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{m,0,d,kerto} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,0,k,kerto}}{\gamma_M} = 21,3 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{0,05} = 8\,800 \frac{N}{mm^2}$$

$$\beta_{c,LVL} = 0,1$$

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot EI_{ef,t,x}}{b_{ef} \cdot E_l}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 2\,697 \cdot 10^9 \text{ Nmm}^2}{551 \text{ mm} \cdot 10\,500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 177,12 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = 177,12 \text{ mm} \cdot 551 \text{ mm} = 97\,593,12 \text{ mm}^2$$

$$M_d = 1 \text{ m} \cdot 0,0796 \text{ m} \cdot 35,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + \frac{1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (10 \text{ m})^2}{8} = 14,47 \text{ kNm}$$

$$N_{d,t} = P_d \cdot k = 35,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 0,783 \text{ m} = 27,95 \text{ kN}$$

$$I_y = \frac{2\,697 \cdot 10^6 \text{ Nmm}^2}{10\,500 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 257 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{257 \cdot 10^6 \text{ mm}^4}{97\,593,12 \text{ mm}^2}} = 51,3 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{10\,000 \text{ mm}}{51,3 \text{ mm}} = 194,9$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{194,9}{\pi} \sqrt{\frac{26,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{8\,800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 3,37$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (3,37 - 0,3)) + 3,37^2 = 6,34$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{6,34 + \sqrt{6,34^2 - 3,37^2}} = 0,085 \leq 1$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot 14,47 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{551 \text{ mm} \cdot (177,12 \text{ mm})^2} = 5,02 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{27\,950 \text{ N}}{97\,593,12 \text{ mm}^2} = 0,29 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{0,29 \frac{N}{mm^2}}{0,085 \cdot 17,3 \frac{N}{mm^2}} + \frac{5,02 \frac{N}{mm^2}}{21,3 \frac{N}{mm^2}} \leq 1 = 43\% \text{ (käyttöaste)}$$

17 % varmuuskerroin tehokkaille mitoille (koskinen)

Max kuormitus 125kN/m (laskettu Excelillä)

$$125 \text{ kN} - \frac{125 \text{ kN}}{100} \cdot 17 = 103,75 \text{ kN}$$

Käyttöaste

$$0,43 \cdot 17 + 43 = 50,3\%$$

Palomitoitus

Luonnonkuorman määrävänä

$$E_{d,fi} = 11,3 \frac{kN}{m} + 0,4 \cdot 13 \frac{kN}{m} = 16,5 \frac{kN}{m}$$

Hyötykuorma määrävänä

$$E_{d,fi} = 11,3 \frac{kN}{m} = 11,3 \frac{kN}{m}$$

Rakenteen hiiltymisnopeus

$$\beta_{0,LVL} = 0,65 \frac{mm}{min}$$

$$t = 60 \text{ min}$$

$$h_l = 25 \text{ mm}$$

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

$$\frac{25 \text{ mm}}{39 \text{ mm}} = 156\% \text{ (käyttöaste) Levy palaa kokonaan pois}$$

Tarvittava levyn paksuus

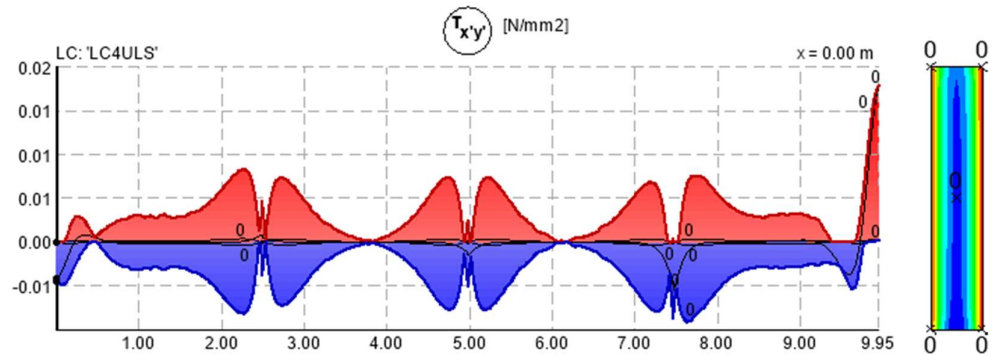
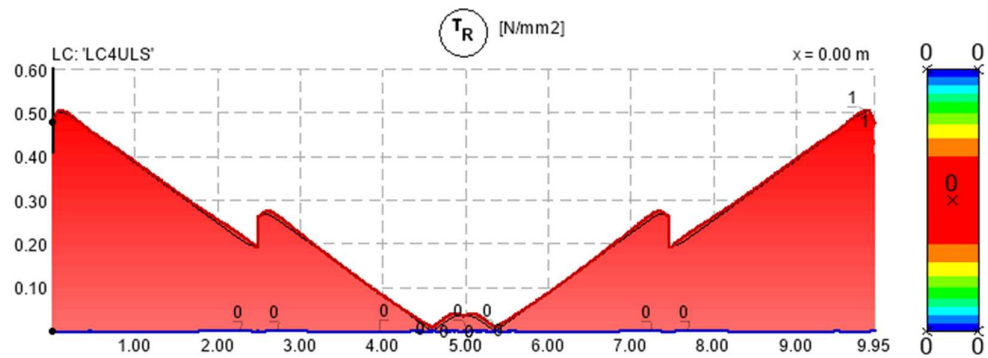
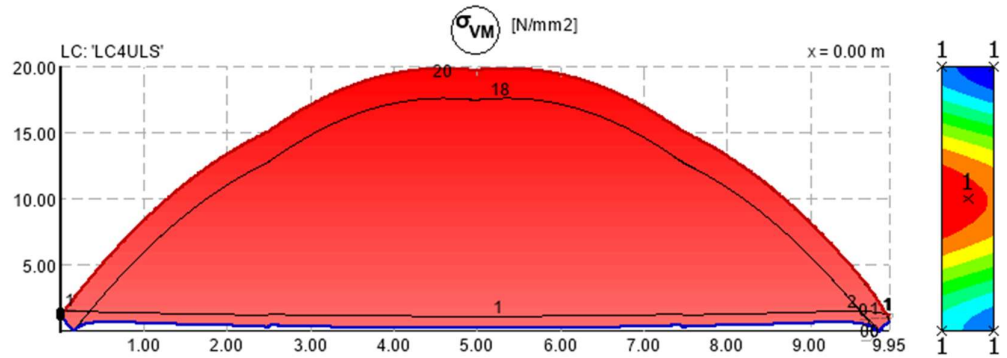
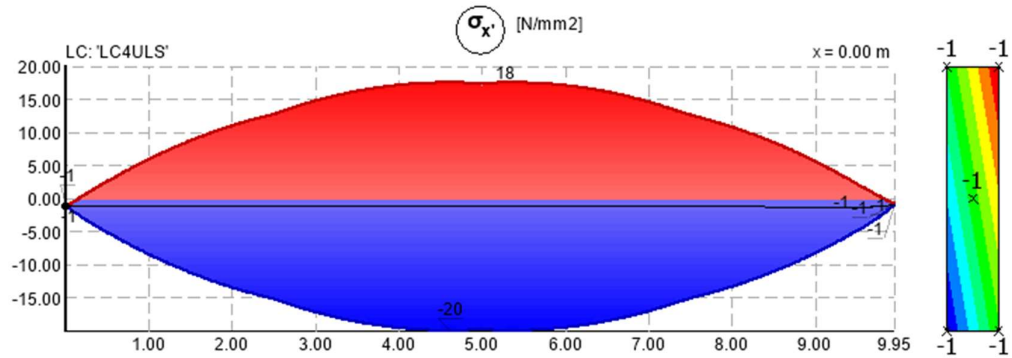
$$39 \text{ mm} + 25 \text{ mm} = 64 \text{ mm}$$

Vaadittava tehdaspaksuus 69 mm

LIITE 2: Keskialueen rivojen jännityksiä (FEM Designe)

C.2.1

Maximum of load combinations

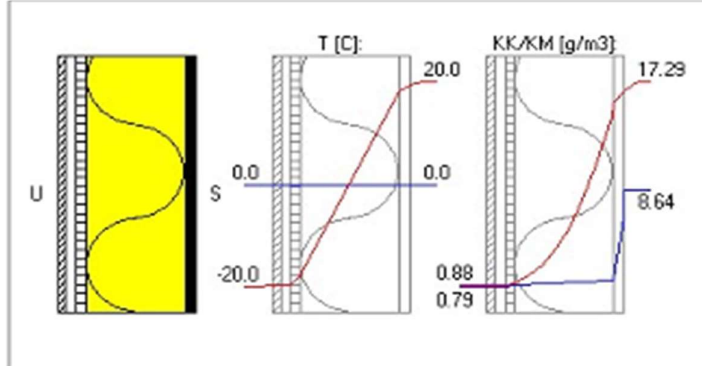


LIITE 3: DOF-Lämpö raportti

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 17.4.2023	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.146 W/m ² K
Paksuus:	357.300 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	50.72 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.048e+04 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	9.544e-05 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	6.833 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000



Rakenteen kerrostiedot:

		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Puutavara 450 kg/m ³	22.00	---	---	0.00	450.00
2	Ilma	25.00	---	---	0.00	1.23
3	Kuitulevy, mukaan lu	25.00	0.0700	4.000000e-11	0.00	250.00
4	Puhallus selluvilla	260.00	0.0380	1.400000e-10	0.00	0.00
5	Kerto-Q	25.00	0.1300	1.000000e-12	0.00	1100.00
6	TKR HYYTELÖ 2 TAI 4	0.30	0.3300	2.930000e-14	0.00	920.00
	KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
4	Kerto-S 480 kg/m ³	0.1300	5.4	0.00	480.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

Lämpötilat ja kosteudet:

		3:n päivän kylmin (0.0 h)				
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:	
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00	
1	-19.79	0.90	0.79	88.3	0.00	
2	-19.79	0.90	0.79	88.3	0.00	
3	-19.79	0.90	0.79	88.3	0.00	
4	-17.90	1.07	0.92	86.4	0.00	
5	18.29	15.63	1.31	8.4	0.00	
6	19.31	16.60	6.51	39.2	0.00	
7	19.31	16.60	8.64	52.1	0.00	
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00	

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

LIITE 4: Finnwood tuloste

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

?

15.5.2024

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

RIL 205-1-2017 (02.01.2024)

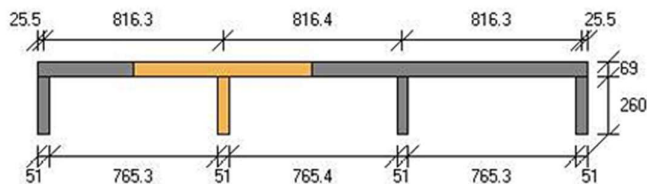
Rakennemitoitus ilman onnettomuus-/palotilannetta



PROJEKTITIEDOT:

Nimi: _____ ?

C:\Users\lauri\Desktop\Oppari\Finnwood\Opinnäytetyön mitoitus REI 30, 9m korkea, 69mm uumalla 4 riva.s01



RAKENNETIEDOT:

Rakennetyyppi: Pilari
 Poikkileikkaus: Ripa elementti 2400*69-4(2)x51x260
 Käyttöluokka: 3 (edellyttää suojakäsittelyä)
 Seuraamusluokka: CC3 (KFI=1.1)
 Kulma: 90.0 astetta
 Jako/kuormituslev.: 816 mm (pintakuormille)

Uloke-/jännevälipituudet:

Uloke/jänneväli: Pystymitta [mm]:
 Jänneväli 1: 9000.0
 Yhteensä: 9000.0

Tuki: Sijainti x [mm]: Tyyppi:
 1: 0 Kiinteä niveltuki (X,Z)
 2: 9000 Liikutuki (X)

Laatan osat:

Ylälevy: 2500x69 0.069 m3/m2 KERTO-Q (27-69)
 Rivat: 4x51x260 0.021 m3/m2 KERTO-S

Mitoitettu ripa:	Ripa 2	(= 51.0x260.0)
Kokonaispaino:	51 kg/m ²	sisältää levyt, rivat ja poikittaiset rakenneosat

Teholliset jäykkyydet:

Uloke-/jänneväli:	EI,ef,MRT:	EI,ef,KRT:
Jänneväli 1	5047.2 kNm ²	5047.2 kNm ²

	Ylälevy:	Ripa:
fm,k (My):	36.00 N/mm ²	44.76 N/mm ²
fc,0,k:	26.00 N/mm ²	35.00 N/mm ²
fc,90,k:	2.20 N/mm ²	6.00 N/mm ²
ft,0,k:	24.34 N/mm ²	32.77 N/mm ²
fv,k (Vz):	1.30 N/mm ²	4.10 N/mm ²
E,mean:	10500 N/mm ²	13800 N/mm ²
G,mean:	120 N/mm ²	600 N/mm ²
E 0.05:	8800 N/mm ²	11600 N/mm ²
fv,k(sauma):	1.30 N/mm ²	4.10 N/mm ²

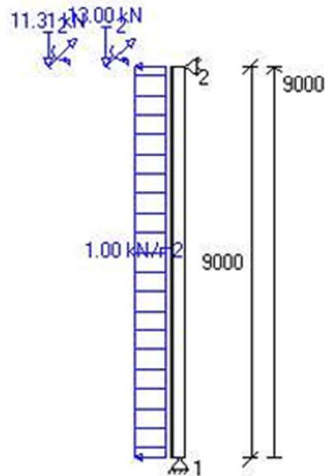
Varmuuskertoimet:

Ylälevy:	1.20
Ripa:	1.20

Kmod kerroin:

Aikaluokka:	Ylälevy:	Ripa:
Pysyvä:	0.500	0.500
Pitkäaikainen:	0.550	0.550
Keskipitkä:	0.650	0.650
Lyhytaikainen:	0.700	0.700
Hetkellinen:	0.900	0.900

	Ylälevy:	Ripa:
Kdef kerroin:	2.000	2.000

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Pistekuorma: 1:	FZ = 11.31 kN	x = 9000.0 mm
Pistekuorma: 2:	My = -0.900 kNm	x = 9000.0 mm
Rakennesosan paino:	QZ = 0.355 kN/m	x = 0 - 9000 mm

Lumikuorma (Lumikuorma $Sk < 2.75$ kN/m², Keskipitkä):

Pistekuorma: 1:	FZ = 13.00 kN	x = 9000.0 mm
Pistekuorma: 2:	My = -1.035 kNm	x = 9000.0 mm

Tuulikuorma (Tuulikuorma, Hetkellinen):

Pintakuorma: 1:	Qz = -1.000 kN/m ²	x = 0 - 9000 mm
-----------------	-------------------------------	-----------------

KUORMITUSYHDISTELMÄT:

Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)

0.90*Omapaino

Yhdistelmä 2 (MRT, Pysyvä)

1.10*1.35*Omapaino

Yhdistelmä 3 (MRT, Pysyvä)

1.10*1.15*Omapaino

Yhdistelmä 4 (MRT, Keskipitkä)

1.10*1.15*Omapaino + 1.10*1.50*0.70*Lumikuorma

Yhdistelmä 5 (MRT, Keskipitkä)

1.10*1.15*Omapaino + 1.10*1.50*Lumikuorma

Yhdistelmä 6 (MRT, Hetkellinen)

1.10*1.15*Omapaino + 1.10*1.50*0.70*Lumikuorma + 1.10*1.50*0.60*Tuulikuorma

Yhdistelmä 7 (MRT, Hetkellinen)

1.10*1.15*Omapaino + 1.10*1.50*Lumikuorma + 1.10*1.50*0.60*Tuulikuorma

Yhdistelmä 8 (MRT, Hetkellinen)

1.10*1.15*Omapaino + 1.10*1.50*0.70*Lumikuorma + 1.10*1.50*Tuulikuorma

Yhdistelmä 9 (KRT)

1.00*Omapaino

Yhdistelmä 10 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*0.70*Lumikuorma

Yhdistelmä 11 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*Lumikuorma

Yhdistelmä 12 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*0.70*Lumikuorma + 1.00*Tuulikuorma

MITOITUS:

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + A2:2014 + RIL 205-1-2017

Kokonaiskäyttöaste: 92.7 %

MITOITUSPARAMETRIT:

Taipumaraja Winst: L/500

Korotuskerroin, vasen uloke: 2.00

Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00

Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)

Kiepahdus on estetty

MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
V, yläsauma, leikkaus:	0.34 N/mm ²	0.98 N/mm ²	34.6 %	0 mm	Yhdistelmä 8/1, Hetkellinen
V, uuma, leikkaus:	0.56 N/mm ²	3.07 N/mm ²	18.4 %	0 mm	Yhdistelmä 8/1, Hetkellinen
M, ylälevy, kesk. veto:	1.20 N/mm ²	18.26 N/mm ²	6.6 %	4725 mm	Yhdistelmä 8/1, Hetkellinen
M, uuma, reunataivutus:	10.36 N/mm ²	33.57 N/mm ²	30.9 %	4725 mm	Yhdistelmä 8/1, Hetkellinen

M, uuma, kesk. puristus:	5.09 N/mm ²	26.25 N/mm ²	19.4 %	4725 mm	Yhdistelmä 8/1, Hetkellinen
N, ylälevy, puristus:	0.54 N/mm ²	14.08 N/mm ²	3.8 %	0 mm	Yhdistelmä 5/1, Keskipitkä
N, uuma, puristus:	0.71 N/mm ²	18.96 N/mm ²	3.7 %	0 mm	Yhdistelmä 5/1, Keskipitkä
M+N, ylä., kesk. puristus:	0.53 N/mm ²	14.08 N/mm ²	3.8 %	234 mm	Yhdistelmä 5/1, Keskipitkä
M+N, ylä., levy, kesk. veto:	0.78 N/mm ²	18.26 N/mm ²	4.2 %	4725 mm	Yhdistelmä 8/1, Hetkellinen
M+N, uuma, kesk. puristus:	5.65 N/mm ²	26.25 N/mm ²	21.5 %	4725 mm	Yhdistelmä 8/1, Hetkellinen
M+N, uuma, M + (+N):	0.37	1.00	37.2 %	4725 mm	Yhdistelmä 8/1, Hetkellinen
jänneväli 1, Wz, inst:	-16.7 mm	18.0 mm	92.7 %	4500 mm	Yhdistelmä 12/1

ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 8/1 (Hetskellinen):

1.26*Omapaino + 1.16*Lumikuorma + 1.65*Tuulikuorma

Yhdistelmä 5/1 (Keskipitkä):

1.26*Omapaino + 1.65*Lumikuorma

Yhdistelmä 12/1 :

1.00*Omapaino + 0.70*Lumikuorma + 1.00*Tuulikuorma

VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:

Tulos:	Maksimi-arvo:	Sijainti x:
N _{x,max}	39.80 kN	0 mm
V _{z,max}	6.32 kN	0 mm
M _{y,max}	14.83 kNm	4725 mm

HUOMIOT:

- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosien A1:2008, A2:2014 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2017 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
- VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03665-17 ja VTT-S-05393-17)
- MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila
- *) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
- Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen
- Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
- Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
- Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttörajatilamitoituksessa
- Leikkausmuodonmuutos on mukana voimasuureiden laskennassa
- Leikkausvoiman pienentäminen on otettu huomioon Kerto-Ripa -elementin keski- tai väliuilla ja lisäksi on oletettu, että kuormat vaikuttavat tukipintaan nähden elementin vastakkaisella puolella
- Kerto-Ripa -laatan mitoitus noudattaa ETA-07/0029 mukaista suunnitteluohjetta
- Kerto-Ripa -laatalta rakenneosien koon vaikutus lujuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
- Yllä esitetty mitoitus koskee vain valittua ripaa, muut rivat on tarkasteltava erikseen
- Jatkuvalle Kerto-Ripa -ripalaatalla ripojen puristettu alareuna on kiepahdustuettava
- Aksiaalisesi puristetun Kerto-Ripa -elementin nurjahdus laatan tasosta pois päin tulee tarkistaa erikseen
- Kerto-Ripa -laatan mitoitus ei sisällä pintalevyn taivutuskestävyys-, leikkauskestävyys- ja taipumatarkastelua poikittain ripoihin nähden

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

?

15.5.2024

- Kerto-Ripa -elementin päissä ja välituilla on aina oltava joko yhtenäiset päätypalkit tai välipuut
 - Kerto-Ripa -elementissä on poikittaiskapuloita myös nostopisteiden kohdalla ja jäykistyksen takia
 - Kerto-Ripa -elementin poikittaisosien painoksi on oletettu 10% ylä- ja alalevyjen sekä ripojen painosta
-

Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

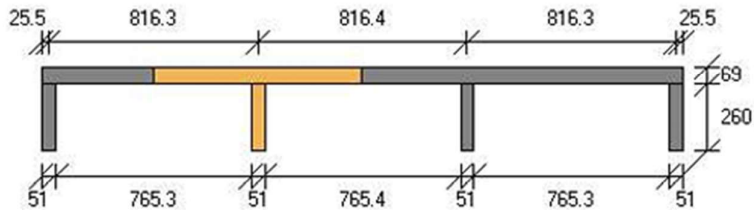
RIL 205-1-2017 (02.01.2024)

Rakennemitoitus palotilanteelle (treg=30 min)

**PROJEKTITIEDOT:**

Nimi: _____ ?

C:\Users\lauri\Desktop\Oppari\Finwood\Opinnäytetyön mitoitus REI 30, 9m korkea, 69mm uumalla 4 riva.s01

**RAKENNETIEDOT:**

Rakennetyyppi:	Pilari
Poikkileikkaus:	Ripa elementti 2400*69-4(2)x51x260
Käyttöluokka:	3 (edellyttää suojakäsittelyä)
Seuraamusluokka:	CC3 (KFI=1.1)
Kulma:	90.0 astetta
Jako/kuormituslev.:	816 mm (pintakuormille)

Uloke-/jännevälipituudet:

Uloke/jänneväli:	Pystymitta [mm]:
Jänneväli 1	9000.0
Yhteensä:	9000.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Tyyppi:
1:	0	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	9000	Liukutuki (X)

Laatan osat:

Ylälevy:	2500x69	0.069 m ³ /m ²	KERTO-Q (27-69)
Rivat:	4x51x224	0.018 m ³ /m ²	KERTO-S
Mitoitettu ripa:	Ripa 2	(= 51.0x224.3)	
Kokonaispaino:	51 kg/m ²	sisältää levyt, rivat ja poikittaiset rakenneosat	

Teholliset jäykkyydet:

Uloke-/jänneväli:	EI,ef,MRT:	EI,ef,KRT:
Jänneväli 1	3576.8 kNm ²	3576.8 kNm ²

	Ylälevy:	Ripa:
fm,20 (My):	39.60 N/mm ²	50.12 N/mm ²
fc,0,20:	28.60 N/mm ²	38.50 N/mm ²
fc,90,20:	2.42 N/mm ²	6.60 N/mm ²
ft,0,20:	26.78 N/mm ²	36.04 N/mm ²
fv,20 (Vz):	1.43 N/mm ²	4.51 N/mm ²
E,mean:	10500 N/mm ²	13800 N/mm ²
G,mean:	120 N/mm ²	600 N/mm ²
E 0.20:	9680 N/mm ²	12760 N/mm ²
fv,20(sauma):	1.43 N/mm ²	4.51 N/mm ²

Varmuuskertoimet:

Ylälevy:	1.00
Ripa:	1.00

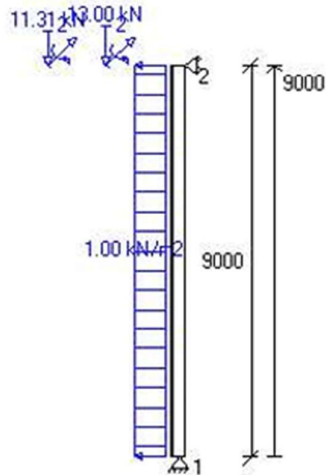
Kmod kerroin:

kmod,fm,fi (palo +M puol.):	0.81
kmod,fm,fi (palo -M puol.):	0.70
kmod,t,fi:	0.81
kmod,c,fi:	0.70
kmod,E,z,fi:	1.00

	Ylälevy:	Ripa:
Kdef kerroin:	0.600	0.600

Palomitoituksen asetukset:

Palonkesto (min):	30
Suojaus:	Ei suojausta

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Pistekuorma: 1:	FZ = 11.31 kN	x = 9000.0 mm
Pistekuorma: 2:	My = -0.900 kNm	x = 9000.0 mm
Rakenneosan paino:	QZ = 0.355 kN/m	x = 0 - 9000 mm

Lumikuorma (Lumikuorma Sk<2.75 kN/m2, Keskipitkä):

Pistekuorma: 1:	FZ = 13.00 kN	x = 9000.0 mm
Pistekuorma: 2:	My = -1.035 kNm	x = 9000.0 mm

Tuulikuorma (Tuulikuorma, Hetkellinen):

Pintakuorma: 1:	Qz = -1.000 kN/m2	x = 0 - 9000 mm
-----------------	-------------------	-----------------

KUORMITUSYHDISTELMÄT:

Yhdistelmä 13 palo-/onnettomuusmitoitukseen (MRT, Hetkellinen)

$$1.10 \cdot 0.91 \cdot \text{Omapaino} + 1.10 \cdot 0.91 \cdot 0.20 \cdot \text{Lumikuorma} + 1.10 \cdot 0.91 \cdot 0.00 \cdot \text{Tuulikuorma}$$

Yhdistelmä 14 palo-/onnettomuusmitoitukseen (MRT, Hetkellinen)

$$1.10 \cdot 0.91 \cdot \text{Omapaino} + 1.10 \cdot 0.91 \cdot 0.40 \cdot \text{Lumikuorma} + 1.10 \cdot 0.91 \cdot 0.00 \cdot \text{Tuulikuorma}$$

Yhdistelmä 15 palo-/onnettomuusmitoitukseen (MRT, Hetkellinen)

$$1.10 \cdot 0.91 \cdot \text{Omapaino} + 1.10 \cdot 0.91 \cdot 0.20 \cdot \text{Lumikuorma} + 1.10 \cdot 0.91 \cdot 0.20 \cdot \text{Tuulikuorma}$$

Yhdistelmä 16 palo-/onnettomuusmitoitukseen (KRT)
1.00*Omapaino + 1.00*0.20*Lumikuorma + 1.00*0.00*Tuulikuorma

Yhdistelmä 17 palo-/onnettomuusmitoitukseen (KRT)
1.00*Omapaino + 1.00*0.40*Lumikuorma + 1.00*0.00*Tuulikuorma

Yhdistelmä 18 palo-/onnettomuusmitoitukseen (KRT)
1.00*Omapaino + 1.00*0.20*Lumikuorma + 1.00*0.20*Tuulikuorma

MITOITUS:

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + A2:2014 + RIL 205-1-2017
Kokonaiskäyttöaste: 32.0 %

MITOITUSPARAMETRIT:

Taipumaraja Winst: L/500
Korotuskerroin, vasen uloke: 1.00
Korotuskerroin, oikea uloke: 1.00
Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)
Kiepahdus on estetty

MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
V, yläsauma, leikkaus:	0.05 N/mm ²	1.43 N/mm ²	3.6 %	0 mm	Yhdistelmä 15/1, Hetkellinen
V, uuma, leikkaus:	0.09 N/mm ²	4.51 N/mm ²	1.9 %	0 mm	Yhdistelmä 15/1, Hetkellinen
M, ylälevy, kesk. veto:	0.20 N/mm ²	21.79 N/mm ²	0.9 %	5175 mm	Yhdistelmä 15/1, Hetkellinen
M, uuma, reunataivutus:	1.98 N/mm ²	35.30 N/mm ²	5.6 %	5175 mm	Yhdistelmä 15/1, Hetkellinen
M, uuma, kesk. puristus:	1.01 N/mm ²	27.12 N/mm ²	3.7 %	5175 mm	Yhdistelmä 15/1, Hetkellinen
N, ylälevy, puristus:	0.28 N/mm ²	20.15 N/mm ²	1.4 %	0 mm	Yhdistelmä 14/1, Keskipitkä
N, uuma, puristus:	0.36 N/mm ²	27.12 N/mm ²	1.3 %	0 mm	Yhdistelmä 14/1, Keskipitkä
M+N, yläl., kesk. puristus:	0.27 N/mm ²	20.15 N/mm ²	1.4 %	202 mm	Yhdistelmä 14/1, Keskipitkä
M+N, uuma, kesk. puristus:	1.29 N/mm ²	27.12 N/mm ²	4.7 %	5175 mm	Yhdistelmä 15/1, Hetkellinen
M+N, uuma, M + (+N):	0.08	1.00	7.5 %	5175 mm	Yhdistelmä 15/1, Hetkellinen
jänneväli 1, Wz, inst:	-5.8 mm	18.0 mm	32.0 %	4725 mm	Yhdistelmä 18/1

ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 15/1 (Hetskellinen):
1.00*Omapaino + 0.20*Lumikuorma + 0.20*Tuulikuorma
Yhdistelmä 14/1 (Keskipitkä):
1.00*Omapaino + 0.40*Lumikuorma
Yhdistelmä 18/1 :
1.00*Omapaino + 0.20*Lumikuorma + 0.20*Tuulikuorma

VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:

Tulos: Maksimiarvo: Sijainti x:

Nx,max	19.70 kN	0 mm
Vz,max	0.86 kN	0 mm
My,max	2.25 kNm	5175 mm

HUOMIOT:

-
- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosien A1:2008, A2:2014 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2017 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
 - VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03665-17 ja VTT-S-05393-17)
 - MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila
 - *) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
 - Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen
 - Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
 - Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
 - Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttörajatilamitoituksessa
 - Leikkausmuodonmuutos on mukana voimasuureiden laskennassa
 - Leikkausvoiman pienentäminen on otettu huomioon Kerto-Ripa -elementin keski- tai välituilla ja lisäksi on oletettu, että kuormat vaikuttavat tukipintaan nähden elementin vastakkaisella puolella
 - Kerto-Ripa -laatan mitoitus noudattaa ETA-07/0029 mukaista suunnitteluohjetta
 - Kerto-Ripa -laatalta rakenneosien koon vaikutus lujuuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
 - Yllä esitetty mitoitus koskee vain valittua ripaa, muut rivat on tarkasteltava erikseen
 - Jatkuvalle Kerto-Ripa -ripalaatalla ripojen puristettu alareuna on kiepahdustuettava
 - Aksiaalisesi puristetun Kerto-Ripa -elementin nurjahdus laatan tasosta pois päin tulee tarkistaa erikseen
 - Kerto-Ripa -laatan mitoitus ei sisällä pintalevyn taivutuskestävyys-, leikkauskestävyys- ja taipumatarkastelua poikittain ripoihin nähden
 - Kerto-Ripa -elementin päissä ja välituilla on aina oltava joko yhtenäiset päätypalkit tai välipuut
 - Kerto-Ripa -elementissä on poikittaiskapuloita myös nostopisteiden kohdalla ja jäykistyksen takia
 - Kerto-Ripa -elementin poikittaisosien painoksi on oletettu 10% ylä- ja alalevyjen sekä ripojen painosta
-

Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakenneseosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Woodin tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.
