

Mika Koskela

KEVYT ELEMENTTIRAKENTEINEN VAPAA-AJAN ASUNTO

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
2020

KEVYT ELEMENTTIRAKENTEINEN VAPAA-AJAN ASUNTO

Mika Koskela
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma
Tammikuu 2020
Sivumäärä: 32
Liitteitä: 2

Asiasanat: rakentaminen, rakennuselementit, puurakentaminen

Opinnäytetyössä suunniteltiin kevyt elementtirakenteinen puolilämmin vapaa-ajan rakennus.

Tarkoituksena oli suunnitella rakennus, joka voisi toimia, vaikka metsästyksen tai muun harrasteen majoitustilana tai kesämökinä.

Suunnittelun päämääränä oli rakennus, joka ei vaadi rakennuslupaa, enintään toimenpideluvalla toteutettavissa. Rakennusjärjestysten vaatimukset vaihtelevat hieman kunta ja kaupunki kohtaisesti, joten rakennuksen pinta-alan muokattavuus on oltava helppoa.

Rakennus oli tarkoitus suunnitella edulliseksi ja nopeaksi siirtää ja nopeaksi pystyttää rakennuskohteelle. Suunnittelu ohjautui perustamistavan, kuljetuksen ja paikalleen noston ehdoilla.

Aloitettaessa suunnittelua, vaihtoehtoina oli elementtirakenteinen- ja tilaelementtiratkaisu. Optiona oli saada rakennuksesta energian osalta omavarainen ja täysin kotimaista tuotantoa oleva rakennus.

LIGHTWEIGHT PREFABRICATED HOLIDAY HOME

Mika Koskela

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Building and civil engineering

January 2020

Number of pages: 32

Appendices: 2

Keywords: construction, prefabrication, wood construction

The thesis was designed as a lightweight element-built semi-recreational building.

The purpose was to design a building that could work, even when hunting or other hobby accommodation or a summer cottage.

The aim of the design was a building that does not require a building permit, up to a measure of authorisation feasible. The requirements of the building arrangements vary slightly between the municipality and the city, so the customisability of the building area must be easy.

The building was designed to be inexpensive and quick to move and quickly erect a building for the object. The design was guided by the conditions of incorporation, transport and place of withdrawal.

When starting the design, the options were the element structured and status element solution. The option was to have a building that was self-sufficient and completely domestic in terms of energy from the building.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Lähtötiedot	5
1.2	Taustaa	6
1.3	Tavoite	7
1.4	Työn suoritus	7
1.5	Suunnittelun lähtökohdat	8
1.6	Materiaalien valinta	10
1.6.1	CLT-massiivipuulementti	10
1.6.2	Ruuvipaalu	14
2	SUUNNITTELU	16
2.1	CLT-rakenteet	16
2.1.1	Rakennusfysikaalinen suunnittelu	16
2.2	Ruuvipaalu	16
3	SUUNNITELMAT.....	18
3.1.1	Lujuuslaskelmat.....	18
3.1.2	Kattoelementti	24
3.1.3	Seinäelementti	24
3.1.4	Lattiaelementti.....	25
3.1.5	Ruuvipaalu	26
3.2	Energiatalous.....	26
3.2.1	Energian tarve	27
4	ELEMENTIT.....	30
4.1	Elementit mitat ja painot.....	30
4.2	Elementtien asennus.....	30
5	YHTEENVETO	31
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

1.1 Lähtötiedot

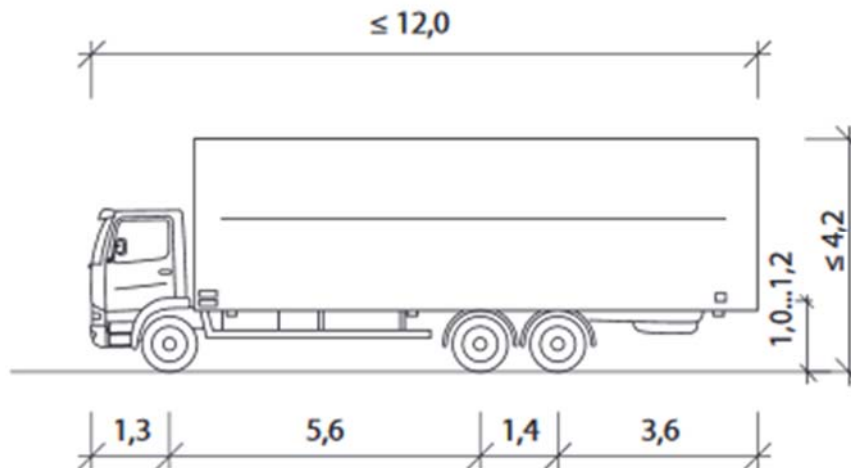
Rakennuksen ulkomitat määrittelevät rakennusmääräykset ja kuljetus.

Sallittujen kuljetusmittojen (vapaa erikoiskuljetus) mukaan rakennuksen maksimileveys räystäään reunasta reunaan on 4,40 m ja korkeus katon korkeimpaan kohtaan 3,30 m, auton kuormaus korkeuden ollessa kuvan 1. mukaisesti 1,20 m ja pituus kuorma-auton tyyppin mukaisesti n. 10 m (RT 98-10914 2016, RTS 16:2).

Edellä mainittujen arvojen perusteella rakennuksen äärimitat ovat:

- korkeus 3,30 m
- leveys 4,40 m
- pituus 3,0...6,25m (rakennusmääräykset koskien pinta-alaa)

Vapaan erikoiskuljetuksen mittojen sallimissa rajoissa rakennus voidaan suunnitella myös tilaelementtinä.



Kuva 1. Kuorma-auton mittoja.

Rakennuksen tilaelementin leveys tulee olemaan 3,20 m kun räystäään mitta on 0,60 m ja rakennuksen pituudeksi valitaan 4,5 m. Tällöin rakennuksen pinta-ala jää alle 15 m². Korkeimman seinä korkeus tulee olemaan rakennuksen alapinnasta katon alapintaan noin 3 m. Pulpettikatolla kaltevuudella 1:10 saadaan matalamman seinän korkeudeksi 2.55 m.

Näiden mittojen mukaisesti elementtien alustavat mitat:

- etuseinä 3,00 m * 3,20 m
- takaseinä 2,55 m * 3,20 m
- sivuseinät 3,00 m (2,55 m) * 4,50 m (puolisuunnikas)
- katon lape 4,40 m * 5,70 m
- lattia 5,00 m * 3,20 m (0,50 m ”terassilla”)

1.2 Taustaa

Suomessa on vuonna 2018 Tilastokeskuksen mukaan yli 500 000 kpl ja loma- ja vapaa-ajan asuntojen uudistuotanto on 2000 -luvulla ollut keskimäärin 4000 asuntoa vuodessa

Mökkien koko on tilastojen mukaan kasvamassa, mutta kokonaismäärästä vielä yli 40% on pinta-alaltaan alle 19...39 m² (Tilastokeskus www-sivut 2019). Nyt suunnitella oleva rakennus sijoittuu tähän osuuteen n. 15...20 m² kokoisena.

Taulukko 1. Tilastokeskus, kesämökit pinta-alan mukaan 2019.

Pinta-alaluokka, m ²	Mökkien määrä	%
Mökkejä yhteensä	509 785	100,0
-19	45 477	8,9
20-39	183 111	35,9
40-59	138 952	27,3
60-79	66 828	13,1
80-99	32 111	6,3
100-	31 607	6,2
Tuntematon	11 697	2,3
Keskipinta-ala	49	.
Mediaani	41	.

Jos vuotuisesta keskimääräisestä uudistuotannosta yli 40 % on tätä kokoluokkaa, tarkoittaa se n. 1600 kpl vuosituotantoa.

Tämä opinnäytetyö on suunniteltu omaan tuotantoon ja siitä on myös suunnitelma toteuttaa tulevaisuudessa kaupallinen ratkaisu ja mahdollisesti yhteistyötä suomalaisen elementtitoimittajan kanssa.

1.3 Tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella elementtirakenteinen kevyt ja puolilämmin vapaa-ajan asunto, joka palvelee esimerkiksi metsästysmajana tai kesämökkinä.

Rakennuksesta oli tarkoitus suunnitella sellainen, joka voidaan pystyttää ja siirtää toimenpideluvallisesti, minne tahansa Suomessa, ottaen huomioon kuitenkin alueelliset kunnalliset rakennussäännökset. Elementtien tulisi olla muunneltavissa, jolloin paikalliset rakennussäännökset tulee täytettyä ja mahdolliset käyttötarpeet huomioitua.

Rakennuksen tulee täyttää vaatimukset puolilämpimän tilan lämmitysenergian kulutuksen osalta ja sen tulisi olla myös muokattavissa lämpimäksi tilaksi tarvittaessa.

1.4 Työn suoritus

Kun kuljetuksen ja valmistuksen rajoittavat mitat olivat tiedossa, lähdettiin mitoittamaan elementtejä. Mitoituksen jälkeen tehtiin lujuuslaskelmat ja määritettiin perustamistapa sekä rakennuksen energiatalous, jonka perusteella määriteltiin lopulliset elementtien koot sekä laskettiin energian tarve.

Opinnäytetyön pääsisältö muodostuu rakennuksen elementtien mitoituksesta ja lujuuslaskennasta sekä energian tarpeesta. Rakennuksen suunnitelmapiirustukset laaditaan opinnäytetyön perusteella.

1.5 Suunnittelun lähtökohdat

Suunnittelun lähtökohtia ovat karkeasti rakennusjärjestyksen määrittelemä perustamistapa ja koko, joka on vielä toteutettavissa kevyesti toimenpideluvalla sekä kuljetuksen sallimat enimmäismitat ja asennustyön vaatima nostokapasiteetti.


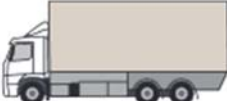




Jo työn alkuvaiheessa oli selvää, että rakennuksen rakennusmateriaaliksi valittiin suomalainen puu ja toteutustavaksi CLT -massiivipuuelementti painonsa ja kotimaisen tuotannon vuoksi.

Rakennusmääräykset vaihtelevat kunnissa ja kaupungeissa, joten tarkkaa rakennuksen kokoa, joka sopisi kaikkiin kohteisiin toimenpideluvallisena ei voi määrittellä. Näin ollen rakennuksesta on tehtävä sellainen, joka on helposti muunneltavissa eri mittoihin ja tarpeisiin.

Kuljetus ilman erikoiskuljetuslupaa rajaa kuljetuksen maksimi mitat: leveys 4,00 m ja korkeus 4,40 m tien pinnasta mitattuna sekä kokonaispituudeksi kuorma-autolla 12,00 m. Kokonaispainoksi kuorma-autolla on rajattu 48 t (5-akselinen), mutta paino ei yleensä tule rajoittavaksi tekijäksi (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus [www-sivut](http://www.sivut) 2019).

Korkeus ja leveys			
	normaaliliikenteen mittarajat	vapaat mittarajat	suuremmalle mitalle saa kuljetusluvan
Korkeus	4,20 m	4,40 m	kyllä
Leveys	2,55 - 2,60 m	4,00 m	kyllä
Poikkeukset • kuljetusritilällä varustettu kuorma-auto, jossa kuormana työkone	2,60 m	3,50 m	ei

Pituus			
	normaaliliikenteen mittarajat	vapaat mittarajat	suuremmalle mitalle saa kuljetusluvan
Kuorma-auto • kuorma-auto • kuljetusritilällä varustettu kuorma-auto, jossa kuormana työkone	12,00 m		ei
	12,00 m	16,00 m	ei
Ajoneuvoyhdistelmät Kuorma-auto ja puoliperävaunu	16,50 m	30,00 m	kyllä
Kuorma-auto ja varsinainen perävaunu (kuorman ylitys takana enintään 3 m)	25,25 m		ei
Kuorma-auto ja keskiakseliperävaunu	18,75 m		ei
Moduuliyhdistelmät Suomessa	25,25 m		ei
Muu ajoneuvoyhdistelmä • kuorma-auto ja hinattava laite • kuorma-auto ja varsinainen erikoiskuljetusperävaunu	16,50 m 22,00 m	30,00 m	ei kyllä
		27,00 m*	kyllä

Massa		Suurin sallittu kokonaisuudessa
Kuorma-auto (2-akselinen)		18 t
Kuorma-auto (3-akselinen)		25 t
Kuorma-auto (5-akselinen)		38 t
Kuorma-auto ja puoliperävaunu		48 t
Kuorma-auto ja varsinainen perävaunu (vähintään 7-akselinen)		60 t
Kuorma-auto, puoliperävaunu ja keskiakseliperävaunu (vähintään 7-akselinen)		60 t

Kuva 2. EU- ja ETA-maissa rekisteröityjen kuorma-autojen ja ajoneuvoyhdistelmien mitta- ja massarajat. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus www.sivut).

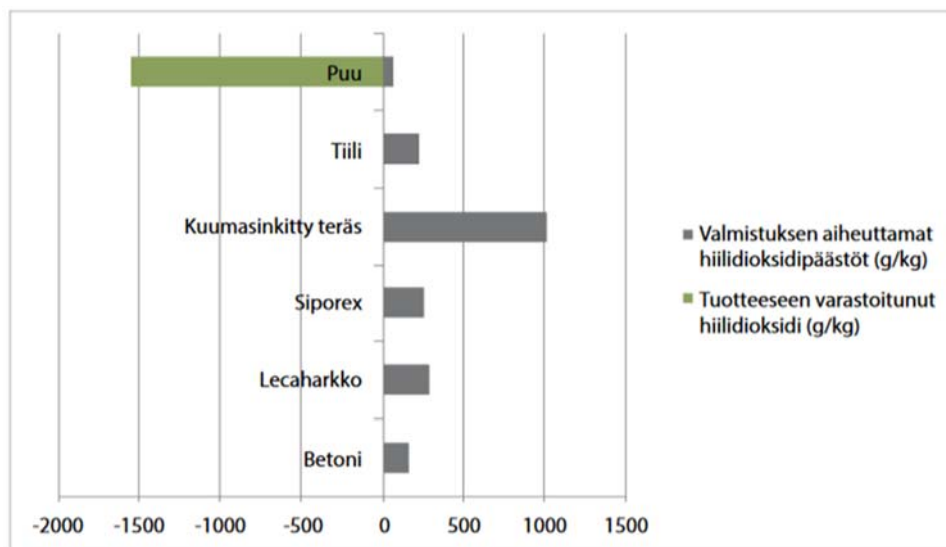
1.6 Materiaalien valinta

1.6.1 CLT-massiivipuuelementti

CLT (cross -laminated timber) massiivipuuelementti koostuu yleensä 3...10 ristiin liimatusta puulautalamellikerroksesta. Suomessa on kolme CLT valmistajaa, mutta vain kaksi valmistaa tuotteet kotimaassa. Stora Enson valmistus sijaitsee Itävallassa.

Kotimaisista valmistajista Hoiskon valmistus sijaitsee Alajärvellä ja CrossLam Kuhmon valmistus Kuhmossa. Hoisko ja CrossLam käyttävät raaka-aineena kotimaista puuta, mäntyä tai kuusta (Puuinfo www-sivut 2019).

CLT:n ekologisuuden, pienen hiilijalanjäljen ja kotimaisen valmistuksen vuoksi se nähdään tulevaisuudessa potentiaalisesti rakennevaihtoehdoksi. CLT puurakenteena se varastoi hiiltä rakenteisiinsa ja toimii näin pitkäaikaisena hiilivarastona. Lisäksi puutuotteiden valmistuksessa syntyy hiilidioksidipäästöjä vähän verrattaessa muihin rakennusmateriaaleihin. (Sirkka, A. & Pirttinen, V. 2017, 46)



Kuva 3. Eri rakennusmateriaalien valmistuksen hiilidioksidipäästöt, Rakennusteollisuus 2013. (Sirkka, A. & Pirttinen, V. 2017, 46)

Hoiskon ja CrossLam Kuhmon CLT-levyjen ominaisuuksia (Puuinfo www-sivut 2019):

Hoiskon CLT-levy:

- Ristiin laminoitu massiivipuuelementti.
- Käyttöluokka 1 ja 2.
- Raaka-aine lujuuslajiteltu kuusi ja mänty.
- Liima päästöluokka E1.
- Lamellin paksuus 20-60 mm 10 mm jaolla.
- Levyn leveys maks. 3500 mm.
- Levyn pituus maks. 12000 mm.
- Levyn paksuus 60 – 400 mm.
- Levyn pinta höylätty/plaanattu/hiottu.
- Levyn pinnan paloluokka D-s2, d0, palosuojamaalilla B-s1, d0, hiiltymisnopeus $\beta_0 = 1,0$ mm/min.
- Kosteuspitoisuus 12 % \pm 2 % toimitettaessa.
- Tilavuuspaino rakennelaskelmissa (ei ilmoitettu)
- Lämmönjohtavuus $\lambda = 0,12$ W/mk.
- Lujuusluokka C24.
- Hyväksynnät: tuotesertifikaatti.

V-panels		Surface lamella to the vertical direction							
Nominal thickness (mm)	Designation	Layers	V	H	V	H	V	H	V
60	V3	3	20	20	20				
70	V3	3	20	30	20				
80	V3	3	20	40	20				
90	V3	3	30	30	30				
100	V3	3	30	40	30				
110	V3	3	40	30	40				
120	V3	3	40	40	40				
140	V3	3	40	60	40				
100	V5	5	20	20	20	20	20		
120	V5	5	20	30	20	30	20		
140	V5	5	30	30	20	30	30		
150	V5	5	30	30	30	30	30		
160	V5	5	30	30	40	30	30		
180	V5	5	40	30	40	30	40		
200	V5	5	40	40	40	40	40		
240	V7	7	30	40	30	40	30	40	30
260	V7	7	30	40	40	40	40	40	30
280	V7	7	40	40	40	40	40	40	40

Kuva 3. Hoisko, V-pystypaneelit.

H-panels		Surface lamella to the longitudinal direction										
Nominal thickness (mm)	Designation	Layers	H		V		H		V		H	
			H	V	H	V	H	V	H	V	H	
60	H3	3	20	20	20							
70	H3	3	20	30	20							
80	H3	3	30	20	30							
90	H3	3	30	30	30							
100	H3	3	30	40	30							
110	H3	3	40	30	40							
120	H3	3	40	40	40							
140	H3	3	40	60	40							
100	H5	5	20	20	20	20	20					
120	H5	5	30	20	20	20	30					
140	H5	5	30	30	20	30	30					
150	H5	5	30	30	30	30	30					
160	H5	5	30	30	40	30	30					
180	H5	5	40	30	40	30	40					
200	H5	5	40	40	40	40	40					
200	H7	7	30	30	30	20	30	30			30	
210	H7	7	30	30	30	30	30	30	30		30	
220	H7	7	30	30	30	40	30	30	30		30	
240	H7	7	30	40	30	40	30	40	40		30	
260	H7	7	30	40	40	40	40	40	40		30	
280	H7	7	40	40	40	40	40	40	40		40	
160	H5-2 **	5	60	40	60							
200	H5-2 **	5	80	40	80							
210	H7-2 **	7	60	30	30	30	60					
220	H7-2 **	7	60	30	40	30	60					
240	H7-2 **	7	80	20	40	20	80					
260	H7-2 **	7	80	30	40	30	80					
280	H7-2 **	7	80	40	40	40	80					
280	H7-2 **	7	40	80	40	80	40					
300	H8-2 ***	8	80	30	80	30	80					
320	H8-2 ***	8	80	40	80	40	80					
400	H10-2 *	10	40	40	40	40	80	40	40	40	40	40

Kuva 4. Hoisko, H-vaakapaneelit.

CrossLam Kuhmon CLT-levy:

- ristiin laminoitu massiivipuulementti
- käyttöluokka 1 ja 2
- raaka-aine lujuuslajiteltu kuusi ja mänty
- liima päästöluokka E1
- lamellin paksuus 20-60 mm 10 mm jaolla
- levyn leveys maks. 3200 mm
- levyn pituus maks. 12000 mm
- levyn paksuus 60 – 300 mm
- levyn pinta höylätty
- levyn pinnan paloluokka D-s2, d0, hiiltymisnopeus $\beta_0 = 1,0$ mm/min
- kosteuspitoisuus tehtaalla 6...15 %
- tilavuuspaino rakennelaskelmissa $5,0$ kN/m³
- lujuusluokka C24
- hyväksynnät: tuotesertifikaatti

C-levyt										
koodi	paksuus		kerroksia	C	L	C	L	C	L	C
	mm									
C3-60-20	60		3	20	20	20				
C3-70-20	70		3	20	30	20				
C3-80-20	80		3	20	40	20				
C3-80-30	80		3	30	20	30				
C3-90-20	90		3	20	50	20				
C3-90-30	90		3	30	30	30				
C3-100-30	100		3	30	40	30				
C3-100-40	100		3	40	20	40				
C3-110-30	110		3	30	50	30				
C3-120-40	120		3	40	40	40				
C3-130-50	130		3	40	30	50				
C3-140-50	140		3	50	40	50				
C3-160-60	160		3	60	40	60				
C5-100-20	100		5	20	20	20	20	20		
C5-120-20	120		5	20	30	20	30	20		
C5-130-30	130		5	30	20	30	20	30		
C5-150-30	150		5	30	30	30	30	30		
C5-160-40	160		5	40	20	40	20	40		
C5-180-40	180		5	40	30	40	30	40		
C5-200-40	200		5	40	40	40	40	40		
C5-220-60	220		5	60	20	60	20	60		
C5-240-40	240		5	40	60	40	60	40		
C7-140-20	140		7	20	20	20	20	20	20	20
C7-180-30	180		7	30	20	30	20	30	20	30
C7-200-20	200		7	20	40	20	40	20	40	20
C7-220-40	220		7	40	20	40	20	40	20	40
C7-240-30	240		7	30	40	30	40	30	40	30
C7-260-50	260		7	50	20	50	20	50	20	50
C7-300-60	300		7	60	20	60	20	60	20	60

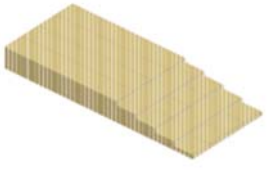


Kuva 5. CrossLam Kuhmo, levyrakennetaulukko, pystypaneelit.

L-levyt										
koodi	paksuus		kerroksia	L	C	L	C	L	C	L
	mm									
L3-60-20	60		3	20	20	20				
L3-70-20	70		3	20	30	20				
L3-80-20	80		3	20	40	20				
L3-80-30	80		3	30	20	30				
L3-90-20	90		3	20	50	20				
L3-90-30	90		3	30	30	30				
L3-100-30	100		3	30	40	30				
L3-100-40	100		3	40	20	40				
L3-110-30	110		3	30	50	30				
L3-120-40	120		3	40	40	40				
L3-130-50	130		3	40	30	50				
L3-140-50	140		3	50	40	50				
L3-160-60	160		3	60	40	60				
L5-100-20	100		5	20	20	20	20	20		
L5-120-20	120		5	20	30	20	30	20		
L5-130-30	130		5	30	20	30	20	30		
L5-150-30	150		5	30	30	30	30	30		
L5-160-40	160		5	40	20	40	20	40		
L5-180-40	180		5	40	30	40	30	40		
L5-200-40	200		5	40	40	40	40	40		
L5-220-60	220		5	60	20	60	20	60		
L5-240-40	240		5	40	60	40	60	40		
L7-140-20	140		7	20	20	20	20	20	20	20
L7-180-30	180		7	30	20	30	20	30	20	30
L7-200-20	200		7	20	40	20	40	20	40	20
L7-220-40	220		7	40	20	40	20	40	20	40
L7-240-30	240		7	30	40	30	40	30	40	30
L7-260-50	260		7	50	20	50	20	50	20	50
L7-300-60	300		7	60	20	60	20	60	20	60



Kuva 6. CrossLam Kuhmo, levyrakennetaulukko, vaakapaneelit.

	CLT
	
Rakenne	Ristiinliimatuista lautalevyistä valmistettu rakenteellinen levytuote. Kerrokset 90° kulmassa suhteessa toisiinsa. Kerrokset on valmistajasta riippuen, joko syrjäilmattu tai syrjäilmaamattomia.
Kerrosrakenne	3 - 10 kerrosta, riippuu valmistajasta ja tuotteen käyttökohteesta.
Kerrosten kiinnitys	Liimauksessa käytetään PUR-liimaa.
Käyttökohteet	Seinä- ja laattarakenteet
Puulaji	Kuusi ja mänty
Tiheys ($\rho_{0,0}$) ($\rho_{0,090}$)	350 kg/m ³ (C24) ^a 420 kg/m ³ (C24) ^b
Pinnat	Pintaluokat riippuvat valmistajasta, yleensä luokkia on kolme: näkyvä, teollinen ja ei näkyvä. ^a
Käyttöluokka	1 ja 2 ^b
Lämmönjohtokyky (λ)	0,13 W/(m °C) ^b
Ilmantiiveys	Syrjäilmattu levy on ilmatiiviimpi kuin syrjäilmaamaton, valmistajakohtainen.
Paloluokka	D-s2, d0 (ei palokäsittely)
Hiiltymänopeus	0,6 - 1,1 mm/min ^b Tarkistettava valmistajakohtaisesti
Valmistaja	Stora Enso, CrossLam Kuhmo Oy, HOISKO, CLT Plant Oy

Kuva 8. CLT-massiivipuulevyn teknisiä ominaisuuksia (Puuinfo www-sivut 2019).

CLT levyille ei ole toistaiseksi harmonisoitua tuotestandardia eli levyt voidaan CE-merkitä eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaan (Puuinfo www-sivut 2019).

1.6.2 Ruuvipaalu

Koska rakennuksesta suunnitellaan toimenpideluvallista, on perustuksen oltava kevyt, siirrettävissä ja uudelleen käytettävissä. Näillä kriteereillä rakennuksen perustustavaksi on valikoitu kotimainen ruuvipaalu. Ruuvipaaluja jälleenmyy Suomessa useampi yritys (Paalupiste Oy www-sivut 2019).

Ruuvipaalun ominaisuuksia:

- putkikoko 60,3 x 2,9 – 114,3 x 6,3
- teräslaatu SH355MH, SH420MH
- pintakäsittely HTG
- kierrelaipan halkaisija 150...400 mm
- kierrelaipan ainevahvuus 5...10 mm
- takuu 30 vuotta
- vakiopituudet 1,15...6,0 m
- uudelleen käytettävä
- kotimainen valmiste
- tuotesertifikaatti



Kuva 9. Ruuvipaaluja (Ruuvipaalu.com www-sivut 2020).

2 SUUNNITTELU

2.1 CLT-rakenteet

CLT-levy on ristiin laminoitua, molempiin suuntiin jäykkä elementti. Näin ollen sitä voidaan sitä käyttää kantavissa ja kevyissä rakenteissa pysty- sekä vaakarakenteissa. Levyn jäykkyys ominaisuuksien vuoksi, sitä voidaan käyttää myös rakennusta jäykistävänä rakennusosana.

Suunnitellussa rakennuksessa kaikki rakennuksen elementit suunniteltiin kantavina ja jäykkinä CLT-elementteinä. Katto, seinät ja lattia suunniteltiin ja mitoitettiin jokainen yhtenä elementtinä. Kattoelementti pitää katon leveyden vuoksi toteuttaa kahtena kappaaleena, muut elementit pystytään työstämään tehtaalla yhtenä elementtinä (Puuinfo www-sivut 2019).

2.1.1 Rakennusfysikaalinen suunnittelu

Puu on eristävä ja hygroskooppinen materiaali, joka toimii kosteuspuskurina, tasaa sisäilman kosteutta ja parantaa siten sisäilman laatua. CLT-rakenne on hengittävä ja yksiaineisena rakenteena se sallii ilman sisältämien kaasujen osapaineiden tasoittumisen diffuusiona rakenteen läpi. Toisaalta CLT-rakenne toimii rakennuksen höyrynsulkuna puukerrostojen ja liimakalvojen muodostaessa yhdessä tiiviin höyrynsulkurakenteen. Puukerrokset ja liimakalvo eivät kuitenkaan ole yksistään täysin tiiviitä, joten kosteuden siirtyminen hitaasti kerrostojen läpi molempiin suuntiin on mahdollista. Tämä on hyvä ominaisuus, joka pitää rakenteet terveinä vaikeissakin olosuhteissa.

Suomalaisen männyn ja kuusen keskimääräinen ominaislämpöarvo + 0...100 °C:ssa on 2300 J/kg °C. Lämpökapasiteetin ollessa melkein yhtä hyvä kuin tiilellä, sopii massiivi puuseinä suhteellisen hyvin ulkoseinärakenteeksi (Puuinfo www-sivut 2019).

2.2 Ruuvipaalu

Ruuvipaalun käytön etuja ovat kiinteiden perustusten vaatimat perustusten alustäyttöjen ja kuivatuksen pois jäänti sekä rakennustöissä saavutettavat säästöt. Paalun käyttö

sopii erityisen hyvin myös radon pitoiseen maaperään, kun rakennuksen ja maanpinnan väliin jää aina tuuletusrako.

Betoniperustukseen verrattuna säästetään kiviainesluonnonvaroja ja kuljetuskustannuksia. Näin saadaan myös rakentamisen hiilijalanjälkeä pienennettyä merkittävästi. Ekologisuutena voidaan pitää myös paalun uudelleen käytettävyys ja teräsmateriaalin kierrätettävyys.

Rakennuksen paalun pituudessa tulee huomioida ainakin mahdollisesti tuulen aiheuttaman momentin vuoksi paaluun kohdistuva veto ja paikkakuntokohtainen routasyvyys, mikäli routaeristystä ei tehdä sekä maalajikerrostumat. Ruuvipaalun mitoitetaan maan leikkauslujuuden mukaan tapauskohtaisesti valmistajan ohjeiden mukaisesti. Taulukossa 2 ja 3 on esitetty soveltuva ruuvipaalu pienimmillä mitoilla koheesio- ja moreenimaahan (Paalupiste Oy [www-sivut](http://www-paalupiste.fi)).

Taulukko 2 ja 3. Ruuvipaalu.com, taulukko ruuvipaalujen kantavuudesta.

GEOTEKNINEN PURISTUSMURTOKUORMA [kN] - varmuuskerroin huomioitava rakennuskohteen mukaan
3x kierrelaippa 250mm, putki 76.1 x 6.3mm
Koheesiomaa (savimaa)

Upotussyvyys	Maaperän suljettu leikkauslujuus c_u [kPa]						
	15 kPa	20 kPa	30 kPa	40 kPa	50 kPa	60 kPa	70 kPa
1,5 m	19,3 kN	24,4 kN	36,5 kN	48,7 kN	60,9 kN	73,1 kN	85,3 kN
3,0 m	26,3 kN	34,1 kN	46,1 kN	55,9 kN	69,9 kN	83,8 kN	97,8 kN
4,5 m	31,1 kN	41,4 kN	59,9 kN	73,5 kN	83,9 kN	93,3 kN	108,9 kN
6,0 m	34,4 kN	45,9 kN	68,9 kN	88,1 kN	102,9 kN	114,8 kN	123,7 kN

GEOTEKNINEN PURISTUSMURTOKUORMA [kN] - varmuuskerroin huomioitava rakennuskohteen mukaan
Kierrelaippa 250mm, putki 76.1 x 6.3mm
Kitkamaa (moreenimaa)

Upotussyvyys	Maaperän sisäinen kitkakulma $[\varphi]$						
	30°	31°	32°	33°	34°	35°	36°
1,5 m	32,3 kN	37,8 kN	44,3 kN	52,0 kN	61,0 kN	71,5 kN	83,8 kN
3,0 m	67,3 kN	78,9 kN	92,5 kN	108,5 kN	127,2 kN	149,1 kN	174,8 kN
4,5 m	105,2 kN	123,3 kN	144,6 kN	169,5 kN	198,6 kN	232,8 kN	272,9 kN
6,0 m	145,9 kN	171,0 kN	200,5 kN	234,9 kN	275,4 kN	322,7 kN	378,3 kN

3 SUUNNITELMAT

3.1.1 Lujuuslaskelmat

Lujuuslaskelmissa käytettiin CrossLam Kuhmon CLT -elementin lujuuslaskennan ohjeita. CrossLamin lujuuslaskentaohjeen mukaan elementti mitoitetaan aina 1 m:n levyisenä kappaleena. Seinäelementissä otetaan huomioon mahdolliset aukot, esim. ikkuna-aukko siten, että aukosta lasketaan puolet tarkasteltavaan 1 m:n leveyteen mukaan. CrossLamin mitoitusmenetelmä pätee, kun CLT -levyssä on enintään viisi lamellikerrosta (Oy CrossLam Kuhmo Ltd www-sivut 2019).

Lujuuslaskennan ja CrossLam Kuhmo CLT:n lähtöarvoja:

- $E_{0,mean} = 11500 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT -lamellin kimmomoduuli)
- $f_{m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT -lamellin taivutuslujuus)
- $f_{v,k} = 4,0 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT -lamellin leikkauslujuus)
- $f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT -lamellin puristuslujuus, vaaka)
- $f_{c,0,k} = 21,0 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT -lamellin puristuslujuus, pysty)
- $f_{R,k,0^\circ} = 0,95$ tai $1,03 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT -tasoleikkauslujuus, riippuen elementin lamellien määrästä)
- $G_{R,mean} = 65 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT -lamellin tasoleikkauksen liukumoduuli)
- $\gamma_M = 1,25$ (CrossLam Kuhmo CLT -materiaalin osavarmuusluku)
- $k_{mod} = 0.8$ (keskipitkä aikaluokka, käyttöluokka 2)
- $k_{c,90} = 1,25$ (CrossLam Kuhmo CLT)
- $k_{def} = 0,6$ (CrossLam Kuhmo CLT -virumakerroin syrjällään taivutuksessa)
- $k_{def} = 0,8$ (CrossLam Kuhmo CLT -virumakerroin lappeeltaan taivutuksessa)
- $k_{sys} = \min(1+0,025*n, 1,2)$ (CrossLam Kuhmo CLT -kuormanjakoluku), jossa n on vierekkäisten lamellinen määrä tarkasteltavassa poikkileikkauksessa
- $\beta_c = 0,1$ (CrossLam Kuhmo CLT -lamellin alkukäyryskerroin)

Lujuuslaskenta (Liite 1.) aloitettiin kattoelementistä, jossa ensi laskettiin kattomateriaalin omakuorma sekä tuuli- ja lumikuormat. Lumikuorma mitoitettiin Pohjois-Suomen olosuhteiden mukaisesti ja tuulikuorma rannikon olosuhteita vastaavaksi

maastoluokassa 0. Kattomateriaaliksi valittiin 2 -kertainen bitumikate asennettuna 12,0 mm havuvanerilevyille, joka asennetaan 100*50 mm koolauksen päälle. 100 mm:n koolauksella saadaan katteen alle riittävä tuuletusrako. Suunnittelukuormaksi kattoelementille saatiin $p_d = 15,20$ kN/m, maksimi momentiksi 39,33 kNm ja maksimi leikkausvoimaksi 34,58 kN.

Lasketaan kattoelementin koko. Kattoelementiksi valitaan CrossLam L5-220-60, jossa kerroksia on viisi ja levyn kokonaispaksuus 220 mm. Lasketaan elementille ensin tehollinen jäyhyysmomentti $I_{ef,L} = 7,51 \cdot 10^8$ mm⁴, joka saadaan laskemalla kerroin γ_1 (kaava 1), ylemmän ja alemman lamellikerroksen tehollinen leikkauspinta-ala A_1 ja A_2 , keskimmäisen ja ylemmän kerroksen teholliset korkeuden keskikohdat a_2 ja d_1 sekä neutraaliakselin a_1 sijainti levyn yläpinnasta.

γ_1 kerroin huomioi vaakasuuntaisten lamellikerrosten liukuman.

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 * E_{0,mean} * A_1 * t^3}{L^2 * G_{R,mean} * b} \right)} \quad (1)$$

Tehollinen taivutusvastus $W_{ef,L} = 7,32 \cdot 10^6$ mm³ (kaava 2) saadaan jakamalla tehollisen jäyhyysmomentin arvo kertoimen γ_1 ja a_1 tulolla summattuna d_1 arvolla.

$$W_{ef,L} = \frac{I_{ef,L}}{\gamma_1 * a_1 * d_1} \quad (2)$$

Tehollinen staattinen momentti $S_{ef,1}$ tarvitaan tarkasteltaessa lamellin kestävyyttä neutraaliakselilla ja $S_{ef,2}$ tarkasteltaessa liimasauman tasokestävyyttä. Tehollinen staattinen momentti $S_{ef,1} = 4,36 \cdot 10^6$ mm³ saadaan ylemmän lamellikerroksen A_1 , kertoimen γ_1 ja neutraaliakselin a_1 mitan tulona. $S_{ef,2}$ saadaan lisäämällä $S_{ef,1}$ arvoon lamellin alemman pinta-alan A_2 puolikkaan ja a_2 tulo. Tarkastetaan CLT -elementin taivutuskestävyys. $f_{m,d} = 18,43$ N/mm² saadaan, kun kertoimien k_{mod} ja γ_M suhde kerrotaan kertoimella k_{sys} . Mitoittava taivutusjännitys $\sigma_{m,y,d} = 5,37$ N/mm² (kaava 3) on maksimimomentin suhde teholliseen taivutusvastukseen.

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{ef,L}} \quad (3)$$

$\sigma_{m,y,d} = 5,37 \text{ N/mm}^2 < f_{m,d} = 18,43 \text{ N/mm}^2$, jolloin taivutuskestävyyden käyttöasteeksi saadaan 29 % => OK.

Tarkastetaan liimasauman leikkauskestävyys. Jännitys liimasaumassa $\tau_d = 0,20 \text{ N/mm}^2$ saadaan kaavalla 4, kun leikkausvoiman V_d ja tehollinen staattinen momentin $S_{ef,1}$ tulo jaetaan tehollisen jäyhyysmomentin $I_{ef,L}$ ja tarkasteltavan leveyden b tulolla. Sauman leikkauskestävyys $f_{R,d,0} = 0,61 \text{ N/mm}^2$ saadaan kertoimien k_{mod} ja γ_M sekä tasoleikkauslujuuden $f_{R,k,0}$ tulona.

$$\tau_d = \frac{V_d * S_{ef,1}}{I_{ef,L} * b} \quad (4)$$

$\tau_d = 0,20 \text{ N/mm}^2 < f_{R,d,0} = 0,61 \text{ N/mm}^2$, jolloin liimasauman leikkauskestävyyden käyttöasteeksi saadaan 33 % => OK.

Tarkastetaan lamellin leikkauskestävyys neutraaliakselilla. Jännitys neutraaliakselilla $\tau_d = 0,22 \text{ N/mm}^2$ saadaan, kun leikkausvoiman V_d ja tehollinen staattinen momentin $S_{ef,2}$ tulo jaetaan tehollisen jäyhyysmomentin $I_{ef,L}$ ja tarkasteltavan leveyden b tulolla. Lamellin leikkauskestävyys $f_{v,d} = 2,56 \text{ N/mm}^2$ saadaan, kun kertoimien k_{mod} ja γ_M suhde kerrotaan lamellin leikkauskestävyydellä $f_{v,k}$.

$\tau_d = 0,22 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 2,56 \text{ N/mm}^2$, jolloin leikkauskestävyyden käyttöasteeksi saadaan 9 % => OK.

Tarkastellaan elementin taipuma. Pysyvien kuormien aiheuttama taipuma w_{instG} ja muuttuvien kuormien aiheuttama taipuma w_{instQ} , joista saadaan kokonaistaipuma w_{fin} (kaava 5), joka jää sallitun taipuma-arvon alle.

$$w_{fin} = w_{instG} * (1 * k_{def}) + w_{instQ} * (1 + \psi_2 * k_{def}) \quad (5)$$

$w_{fin} = 10,58 \text{ mm} < L/300 = 15,17 \text{ mm}$, jolloin taipuman käyttöasteeksi saadaan 70 % => OK. Todetaan kattoelementin CrossLam L5-220-60 täyttävän katolta vaadittavat mitoitus ehdot.

Lasketaan seinäelementin koko. Seinäelementiksi valitaan CrossLam C3-130-50, jossa kerroksia on kolme ja levyn kokonaispaksuus 130 mm. Tehollinen jäyhyysmomentti $I_{ef,L}$ taivutusvastus $W_{ef,L}$ ja staattinen momentti $S_{ef,1}$ laskettiin samalla periaatteella kuin edellä kattoelementissä. Elementin tehollinen pinta-ala A_{ef} saadaan pystysuuntaisten lamellien yhteenlasketusta poikkipinta-alasta. Vaakasuuntaista lamellikerrosta ei huomioida.

Tarkastellaan elementin nurjahduskestävyys. Kuormanjakoluvun k_{sys} arvo on 1,2 kolmen lamellikerroksen mukaan. Lasketaan jäyhyysmomentti i_y ja suhteellinen hoikkuus λ_y .

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6)$$

Kaavalla 6 $k_{c,y}$ arvoksi saadaan alle 1, jolloin se täyttää ehdon $k_{c,y} < 1 \Rightarrow$ OK.

Tarkastetaan kuormitus ikkuna-aukon kohdalla. Ikkuna-aukon leveys 1,5 m, jolloin tarkasteltavaksi kuormitusleveydeksi saadaan 1,75 m, joka on tarkasteltavan 1 m:n ja ikkuna-aukon puolikkaan summa. Syynsuuntainen puristusjäännityksen mitoitusarvo saadaan kertomalla ikkuna-aukon tarkasteltavan leveyden B ja kuormitusleveyden b suhde suunnittelukuormilla ja jakamalla nämä tehollisella pinta-alalla A_{ef} .

Aukolle kohdistuva momentin mitoitusarvo $M_{y,d} = 9,98$ kNm saadaan laskemalla momentin kaavalla (kaava 7), jossa yhdistelmäkertoimena φ_0 ja tuulikuormana q_{wk} . Momentista aiheutuva jäännitys $\sigma_{m,y,d} = 3,71$ N/mm² saadaan jakamalla $M_{y,d}$ arvolla $W_{ef,L}$.

$$M_{y,d} = \frac{\frac{B}{b} * (1,5 * \psi_0 * q_{wk}) * L^2}{8} \quad (7)$$

Puristus- ja taivutuslujuuden mitoitusarvojen perusteella saadaan tarkastettua kaavalla 8, että se täyttää ehdon $0,24 < 1 \Rightarrow$ OK.

$$\frac{\sigma_{c.o.d}}{k_{c,y} * f_{c.o.d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} < 1 \quad (8)$$

Tarkistetaan leikkauskestävyys liimasaumassa samalla periaatteella kuin kattoelementissä. Mitoitusarvon $f_{R,d,0}$ ja τ_d perusteella voidaan todeta liimasauman leikkauskestävyyden käyttöasteeksi 22 % => OK.

Tarkastetaan seinäelementin taipuma. $w_{inst} = 4,03 \text{ mm} < L/300 = 11,0 \text{ mm}$, jolloin taipuman käyttöasteeksi saadaan 37 % => OK.

Tarkastetaan seinän tukipainekestävyys. Tukipaineen mitoitusleveys $b = 1000 \text{ mm}$ ja mitoituskuorma $V_d = 12,09 \text{ kN}$. Tukipainekestävyyden mitoituksessa voidaan huomioida vain pystysuuntaiset lamellit.

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} * f_{c,90,k} \quad (9)$$

$f_{c,90,d}$ kerrottuna tukipainekertoimella k_c saadaan kaavalla 9 tarkasteltavan ehdon arvoksi $4,0 \text{ N/mm}^2$, jolloin ehto $4,0 \text{ N/mm}^2 > \sigma_{c,90,d} = 0,12 \text{ N/mm}^2$, josta saadaan käyttöasteeksi 3,0 % => OK.

Tarkistetaan jäykistävän seinän kestävyys. Tarkistettava seinä on etuseinä, jossa on sekä ovi-, että ikkuna-aukko. Aukot vähennetään seinän tarkasteluleveydestä, jolloin tarkastettavan seinän osuuden pituudeksi jää 0,5 m.

Tarkistetaan ensin seinän leikkauskestävyys. Leikkaava voima saadaan kaavalla 10 tuulen suunnittelukuorman resultantista $F_{v,Ed} = 15,7 \text{ kN}$.

$$F_{v,Ed} = 1,5 * q_{wk} * \frac{L}{2} \quad (10)$$

Leikkausjännitys $\tau_d = 0,36 \text{ N/mm}^2$ saadaan 3/2 kertoimella kerrottuna leikkausvoiman $F_{v,Ed}$ ja poikkileikkausalan A suhde, jolloin ehto $\tau_d = 0,36 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 1,20 \text{ N/mm}^2$, josta saadaan käyttöasteeksi 19 % => OK.

Tarkistetaan seinän leikkaussiirtymä $u_{inst} = 1 \text{ mm}$, joka saadaan kuorman $F_{v,Ek} = 10,47 \text{ kN}$ ja $C_v = 13,59 \text{ kN/mm}$ osamääränä.

Tarkistetaan seinän tukien kestävyys. Lasketaan ensin puristetun alueen pituus x tukireaktiolle B.

$$x = \frac{\frac{F_{v,Ed} \cdot h_{v1}}{(L-\frac{x}{3})} + \frac{R \cdot \frac{L}{2}}{(L-\frac{x}{3})}}{0,5 \cdot f_{c,0,d} \cdot t_{ef}} \quad (11)$$

Kaavasta 11 saadaan toisen asteen yhtälö, josta saadaan laskettua puristetun alueen pituudeksi 504,35 mm.

Lasketaan em. tuen B tukipainekestävyys $f_{c,d,mean} = 6,24 \text{ N/mm}^2$, joka saadaan jaettuna tuen $B = 157,35 \text{ kN}$ kuorma kertoimen 0,5 ja tehollisen paksuuden t_{ef} sekä puristetun alueen pituuden x tulolla. $f_{c,d,mean} = 6,24 \text{ N/mm}^2 < f_{c,0,d} = 13,44 \text{ N/mm}^2$, josta käyttöasteeksi saadaan 46 % => OK. Todetaan seinäelementin CrossLam CLT C3-130-50 täyttävän seinältä vaaditut mitoitus ehdot.

Lasketaan lattiaelementin koko. Lattiaelementti mitoitetaan kuten kattoelementti, kuormituksissa huomioidaan lisäksi edellä lasketut katto- ja seinäelementin painot.

Mitoittavaksi tekijäksi muodostuu taipuma, joka nousee neljän paaluperustuksen tapauksessa liian isoksi, eikä tarpeeksi jäykkää vakioelementtiä löydy taulukosta. Tarkistelun perusteella päädytään yhdeksän paalun perustustapaan, jolloin päästään lattiaelementissä jänneväliin $L = 2,50 \text{ m}$, mikä on rakennuksen lattiaelementin pituuden 1/2.

Lattiaelementiksi valitaan CrossLam CLT L5-220-60, jossa kerroksia on viisi ja levyn kokonaispaksuus 220 mm. Kokonaistaipumaksi saadaan $w_{fin} = 3,81 \text{ mm} < L/400 = 6,25 \text{ mm}$, taipuma jää sallittuihin rajoihin ja käyttöasteeksi saadaan 61 % => OK. Todetaan lattiaelementin CrossLam CLT L5-220-60 täyttävän lattialta vaaditut mitoitus ehdot.

Tarkistetaan vielä lattiaelementin tukipainekestävyys ruuvipaalun kiinnikkeen L1 suhteen. Tukipaine $\sigma_{c,90,d} = 4,43 \text{ N/mm}^2$ saadaan laskettua paalulle kohdistuvan voiman $V_d = 50,08 \text{ kN}$ sekä kiinnikkeen L1 pinta-alan osamääränä, jolloin huomataan, että

elementti ei kestä paalun kiinnikkeen pinta-alan painetta. Elementtiä on vahvistettava paalun kohdalla esim. teräslevyllä.

Valitaan teräslevyksi 250 mm x 250 mm x 3 mm, jonka teräslaatu vähintään $f_y = 235$ N/mm². Teräslevyn vahvuudeksi valitaan 3 mm, jolloin levy on hyvin hitsattavissa paalun kiinnikkeeseen L1.

Levyn suunnittelukuorma on $N_{pl,Rd} = 265,78$ kN kun $f_y = 235$ N/mm². $N_{pl,Rd} = 265,78$ kN > $V_d = 50,08$ kN, jolloin käyttöaste on 19 % => OK.

3.1.2 Kattoelementti

Katto mitoitettiin lumikuormalle Pohjois-Suomen olosuhteisiin ja tuulikuormalle maastoluokka 0 mukaan. Mitoitus soveltuu näin pääosin koko Suomen olosuhteisiin. Laskelman (Liite 1) perusteella elementiksi valittiin CrossLam CLT L5-220-60.

Kattoelementti kiinnitetään suunnitelman mukaisesti ylhäältä päin isoilla ruuveilla seinäelementtiin, elementtien saumat tiivistetään sauma- ja liimamassalla.

Kattoelementin räystäspituus on 600 mm ja katemateriaali 2 -kertainen bitumikermi. Bitumikermit asennetaan 12 mm vanerille, joka on 100*50 mm syrjällään kk 600 jaolla kiinnitetty kattoelementtiin. 100 mm koolauksella varmistetaan kattoelementin ja kateen välin riittävä tuuletus.

Kattoelementistä laaditaan elementtikuva 1:100 ja liitosdetalji liitoksesta seinäelementtiin.

3.1.3 Seinäelementti

Seinäelementiksi saatiin laskelman (Liite 1) perusteella CrossLam CLT C3-130-50, mutta lämmönläpäisevyysvaatimuksen perusteella elementiksi valittiin CLT C5-200-40. Jos seinäelementtiin halutaan jyrsiä sisä- ja ulkopintaan hirsiseinän sauman kuviointi, on sauman viiste 1...3 mm. Tällöin on seinän vahvuutta kasvatettava CLT C5-220-60 elementin mittoihin. Tällöin seinän vahvuus pysyy ≥ 200 mm:ssä.



Kuva 7. Crosslam.fi, kuva sauman viisteistä.

Seinäelementit kiinnitetään suunnitelman mukaisesti ruuveilla ja kiinnitysraudoilla lattiaelementtiin ja pystynurkissa toisiinsa, saumat tiivistetään sauma- ja liimamassalla. Seinäelementistä laaditaan elementtikuva 1:100 ja liitosdetaljit nurkka-, katto- ja lattialiitoksista.

3.1.4 Lattiaelementti

Lattiaelementti mitoitettiin 0,50 m etuterassilla eli lattiaelementin etureuna 0,50 m etuseinän etupuolelle. Lattian mitoituksessa laskettiin ensin paalujen sijoittelulla rakennukseen kulmiin, mutta CLT:n mitoituksessa päädyttiin paalujen maksimi väliin 3,2 m, joka on myös rakennuksen lattian leveys. Laskelman perusteella paaluja tarvitaan rakennuksen pituussuunnassa vähintään 3 kpl ja leveysuunnassa 2 kpl, yhteensä 9 kpl. Paalujen koko mitoitettiin näiden määrien perusteella.

Laskelman (Liite 1) perusteella elementiksi valittiin CrossLam CLT L5-220-60.

Lattiaelementti kiinnitetään suunnitelman mukaan ruuveilla vahvikelevyyn, joka on hitsattu ruuvipaalun kiinnikkeeseen K1. Maanpinnan ja lattiaelementin väliin jätetään ryömintätila riittävää tuuletusta ja asennusta varten. Lattiaelementistä laaditaan elementtikuva 1:100 ja liitosdetalji ruuvipaaluun.

3.1.5 Ruuvipaalu

Ruuvipaalu mitoitettiin 9 kpl paalumäärän mukaan. Paalun valinta tehdään pohjamaan mukaan ruuvipaalun valmistajan ohjeiden mukaisesti. Rakennusalalta poistetaan pintamaa ja asennetaan suodatinkangas (N2) ja kankaan päälle vähintään 200 mm KaS tai SoS kiviainesta raekooltaan 8...32 mm estämään mahdollisen kasvuston juurtumista maahan.

Ruuvipaalun L1-kiinnikeen ja lattiaelementin väliin asennetaan 250 mm x 250 mm teräslevy varmistamaan CLT levyn tukipaine kestävyuden. Levy SH235MH, pintakäsittely samoin kuin ruuvipaalussa HTG, levyn paksuus 3,0 mm. Ruuvipaalusta on valmistajan konepajakuva, lisäksi laaditaan konepajakuva tukipainelevystä paalun ja lattiaelementin väliin.

3.2 Energiatalous

Puun lämmönjohtavuus on suhteellisen vähäinen puun huokoisuuden vuoksi ja heikenee puun tiheyden vähentyessä. Lämmönjohtavuus on noin kaksinkertainen puun syiden suunnassa verrattuna syitä vastaan kohtisuorassa. Suomalaisen männyn lämmönjohtavuus syiden suunnassa on 0,22 W/m*K kun se syitä vastaan kohtisuorassa on 0,14 W/m*K.

CLT elementissä lämmön siirtyminen tapahtuu aina syitä vastaan kohtisuorassa, kun oletetaan tarkastelussa lämmön siirtymisen tapahtuvan suoraan rakenteen läpi. Cross-Lam CLT elementin lämmönjohtavuus on 0,13 W/m*K (Puuinfo www-sivut 2019).

Kun suunnitellun rakennuksen katto- ja seinäelementin vahvuutta kasvatettiin 200 mm:iin, päästiin elementtien vahvuuden keskiarvoon 208 mm. Näin rakennuksen keskimääräiseksi U-arvoksi saatiin 0,56 W/m²*K, jolloin se täyttää puolilämpimän rakennuksen lämmönläpäisevyys vaatimuksen (Suomen RakMK C3, 2010).

Lisäksi tarkasteltiin mahdollisen lisäeristeen paksuus, jolla saadaan alkuperäisten elementtien vahvuudella em. lämmönläpäisevyysvaatimus täytettyä. Tarkasteltavaksi lisäeristeeksi valittiin suomalaisen valmistajan Finnfoam Oy:n eriste suulakepuristettu

polyuretaanieristelevy FF-PIR. FF-PIR eristeen lämmönjohtavuus on 0,022 W/m*K (Finnfoam www-sivut 2020).

FF-PIR levyä valmistetaan kipsilevypinnoitteella, jossa valmiina diffuusiotiivis alumiinilaminaatti sekä myös diffuusiotiiviillä muovipinnoitteella. Näiden levyjen kanssa ei erillistä höyrynsulkukalvoa tarvita. Jos muovipinnoitettu eriste asennetaan ulkopuolelle rakennetta, myöskään erillistä tuulensuojalevyä ei tarvita (Finnfoam Oy www-sivut 2020).

Laskelmassa (Liite 2) tarkasteltiin minimi lisälämmöneristeen vahvuus, jolla päästiin vaadittuihin vähimmäisarvoihin. Tarkastelussa lisäeristeen tarpeeksi FF-PIR-levyllä saatiin 10 mm, mutta koska eristeen minimi paksuus on tuotannossa 30 mm tai 40 mm riippuen pinnoitteesta, valittiin laskelmaan eristeen vahvuudeksi 30 mm.

Jos käytetään rakenteen lämmöneristykseen lisälämmöneristystä päästään rakenteen paksuudessa seinän osalta asennettaessa eriste sisäpintaan 140 mm käytettäessä kipsipintaista eristettä, ulkopintaan 160 mm käytettäessä muovipintaista eristettä ja oletetaan ulkoeristuksen tuuletusrakoineen olevan yhteensä 30 mm, kun seinän vahvuus CLT-elementin vahvuutta kasvattamalla oli 200 mm.

Katon osalta sisäpintaan asennettaessa kipsipintaaisella eristelevyllä katon kokonaisvahvuus olisi 250 mm, kun elementin vahvuus oli 220 mm.

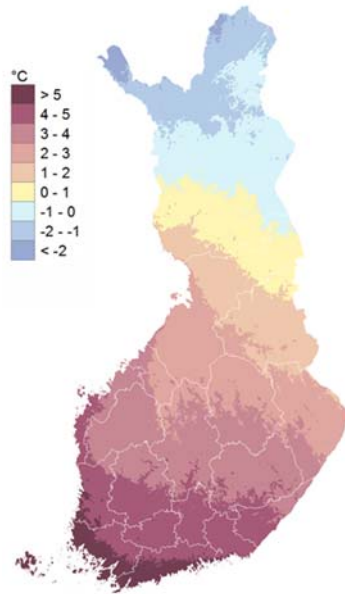
Lattian lisäeristyksessä rakenteen vahvuus olisi 262 mm kun oletuksena olisi uiva lattia 12 mm vanerilevystä muovipinnoitetun eristeen päällä, kun taas CLT-elementin vahvuus oli 220 mm. Uivan lattiarakenteen toimivuus tulisi tarkastaa.

Laskelmassa (Liite 2.) otettiin huomioon saumojen kylmäsilat, mutta koska ovi ja ikkuna ovat tässä vaiheessa vielä mallintamatta, oletettiin niiden olevan seinäelementin lämmönläpäisyarvoa vastaavat.

Rakennuksen U-arvoa voidaan parantaa oleellisesti lisäämällä elementin ulko- tai sisäpintaan lämmöneriste. Liitteessä 3 lisäeristeen vaikutusta lämmitysenergian tarpeeseen tarkasteltiin em. FF-PIR-eristeellä.

3.2.1 Energian tarve

Lämmitysenergian tarve laskettiin (Liite 2.) vuotuisella kesilämpötilalla, joka Suomessa on Oulun korkeudella noin 0 °C (kuva 10.) (Ilmatieteenlaitos www-sivut 2020).



Kuva 8. Ilmatieteenlaitos, vuoden keskilämpötilat Suomessa 1981-2010.

Kun CLT levyn lämmönjohtavuus on $0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, saadaan rakennuksen U-arvoksi $0,56 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$. Laskelmassa lämpötilan muutos $\Delta T = 20\text{K}$, joka vastaa lämpötilan nousua $0 \dots 20^\circ\text{C}$.

Lasketaan energian tarve ensin vahvistetulla CLT-elementillä ilman lisäeristettä, jolloin saadaan lämpövuon arvoksi $11,30 \text{ W}/\text{m}^2$.

Rakennuksen kylmäsiltojen yhteenlaskettu lämpövirta on $49,28 \text{ W}$ ja rakennusvaipan ilmanvuotoluku $q_{50} = 4,0 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$. Vuotoilmamääräksi q_v $0,0023 \text{ m}^3/\text{h}$ saadaan kertoimella $x = 35$ ja vuotoilman lämpövirraksi $0,015 \text{ W}$ (Suomen RakMK D5, 2012).

Rakennuksen yhteenlaskettu lämpövirta vahvistetulla CLT-elementillä $Q = 0,86 \text{ kW}$ ja lämmityksen energian tarve tällöin $E = 20,58 \text{ kWh}/\text{vrk}$.

Tarkastetaan energian tarve lisäeristeellä FF-PIR vahvuus 30 mm , jolloin rakennuksen yhteenlasketuksi lämpövirraksi saadaan $Q = 0,60 \text{ kW}$ ja lämmitysenergian tarpeeksi $E = 14,48 \text{ kWh}/\text{vrk}$.

Tarkastetaan vielä päivittäistä lämmitysenergian tarvetta varten myös lisäeristeen FF-PIR vahvuuksilla 50 mm ja 100 mm , arvot taulukossa 2.

Taulukossa 2 esitetty CLT-rakenteen vahvuus rakennuksen elementtien keskiarvoina ja U-arvo sen mukaan. Taulukossa energian sarake on rakennuksen lämmitysenergian tarve vuorokautta kohden eri rakennetyypeillä.

Taulukko 3. Rakenteen vaikutus U-arvoon ja lämmitysenergian tarpeeseen.

RAKENNETYYYPPI	RAKENNE (mm)	U-ARVO (W/m ² *K)	ENERGIA (kW/vrk)
CLT (vahvistettu)	208	0,56	20,58
CLT 166 + FF-PIR 30	196	0,36	13,39
CLT 166 + FF-PIR 50	216	0,27	10,41
CLT 166 + FF-PIR 100	266	0,17	6,91

Käyttämällä FF-PIR 30 mm lisäeristettä CLT-elementin rakenteen vahvistuksen sijaan saadaan noin 31 % vähennys lämpövirtaan ja 31 % vähennys energian tarpeeseen. Tällöin myös CLT-elementin puun tarve vähenee noin 33 %.

Valmiilla mökkien aurinkosähköjärjestelmillä saadaan noin 1,5 kW...8,5 kW päivässä tuotettua energiaa (Aurinkopaneelit.info www-sivut). Tarkasteltaessa vielä lisäeristeellä FF-PIR 100 mm päästään lämmitysenergian tarpeessa jo alle 7 kW, mutta rakenne on siten käytännössä jo lämpimän tilan rakenne, kun U-arvo on tällöin 0,17 W/m²*K (Taulukko 2).

Koska rakennus on suunniteltu kaupunki infran ulkopuolelle ja lämmitysenergian tarve on aurinkosähköjärjestelmille liian iso ilman lisäeristettä, tulee lämmitys järjestää esimerkiksi puu- tai kaasulämmitteisellä kamiinalla tai vastaavalla.

4 ELEMENTIT

4.1 Elementit mitat ja painot

Elementtien mitat ja painot on taulukossa 1. Lattiaelementti pitää tehdä tehtaalla kahdesta osasta, jotta elementtiä voidaan työstää. Elementtien koko ja paino ei muuten rajoita kuljetusta tai asennusta.

Taulukko 4. Elementtien mitat.

ELEMENTTI	TYYPPI	KOKO L x K (m)	PAINO (kg)
Katto	CrossLam CLT L5-220-60	4,40 x 5,70	2508
Sivuseinä	CrossLam CLT C5-200-40	4,50 x 3,00 (2,55)	1249
Takaseinä	CrossLam CLT C5-200-40	3,20 x 2,55	816
Etuseinä	CrossLam CLT C5-200-40	3,00 x 3,20	960
Lattia	CrossLam CLT L5-220-60	3,20 x 5,00	1600
Yhteensä			7133

4.2 Elementtien asennus

Asennusryhmän resurssit ovat kuormanosturi ja työryhmänä 3 x RAM. Elementtien asennusaika on yhteensä 18 tth ja ruuvipaalujen n. 1 h, riippuen maaperästä (RATU Aikataulukirja 2016).

Elementtien asennuksessa voidaan käyttää kuljetuskaluston kuormanosturia, jos ajoneuvolla pääsee rakennuspaikan viereen. Kuormanosturin nostoteho tällöin vähintään 2600 kg 5 m etäisyydellä.

5 YHTEENVETO

Tavoitteena oli puolilämpimän kevytrakenteisen loma-asunnon suunnittelu, joka tarkentui opinnäytetyön aikana pääasiassa rakennuksen elementtien suunnitteluksi.

Suunnittelussa päädyttiin Oy CrossLam Kuhmo Ltd elementtien ja suunnitteluohjeiden käyttöön, pääasiassa kotimaisuuden, kotimaisen puun raaka-aineen ja elementtien valmistuksen vuoksi.

Lisälämmöneristeellä parannetaan huomattavasti rakennuksen energiataloudellisuutta, mutta samalla rakenne ja rakentaminen muuttuvat. Suunnittelun tarkoituksena oli kuitenkin hakea mahdollisimman yksinkertaista rakennetta ja nopeaa pystyttää. Lisäeristeen tarpeellisuus tulee tällöin tarkastella tapauskohtaisesti rakennuksen käyttötarve huomioiden.

Opinnäytetyön tavoite saavutettiin, rakennuksen elementit suunniteltiin yksinkertaisesti CLT -elementteinä ja näin rakennuksesta saatiin nopea pystyttää, kevyt ja siirrettävä ilman kiinteitä perustuksia.

Opinnäytetyö on tulevaisuudessa perustana rakennuksen jatkosuunnittelulle, jossa rakennuksesta tavoitellaan omavaraista energian ja veden käytön suhteen.

LÄHTEET

Akku-Ässät Oy www-sivut. 2019. Viitattu 3.1.2020. www.aurinkopaneelit.info

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus www-sivut. 2019. Viitattu 9.11.2019. www.ely-keskus.fi

Finnfoam Oy www-sivut 2020. Viitattu 17.1.2020.

Oy CrossLam Kuhmo Ltd www-sivut. 2019. Viitattu 9.12.2019.

Paalupiste Oy www-sivut. 2019. Viitattu 9.11.2019. www.paalupiste.com

Puuinfo www-sivut. 2019. Viitattu 9.11.2019. www.puuinfo.fi

Rakennustieto Oy (2016), Aikataulukirja 2016. Helsinki. Viitattu 22.12.2019.

RT 98-10914 RTS 16:2. Ajoneuvojen mittoja. 2016. Helsinki: Rakennustieto.

Sirkka, A. & Pirttinen, V. 2017. CLT – monipuolinen, nopea ja ekologinen rakennusmateriaali. Rovaniemi: Lapin AMK.

Suomen RakMK C3, 2010. Rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2010. Helsinki Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Viitattu 22.12.2019.

Suomen RakMK D3, 2012. Rakennusten energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. Helsinki Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Viitattu 25.12.2019.

Tilastokeskus www-sivut. 2019. Viitattu 9.11.2019. www.stat.fi

“1.0 KATTOELEMENTIN MITOITUS:”

“Mitoitettu Crosslam CLT ohjeiden mukaisesti.”

“Tuulikuormaa ei huomioida”

“Mitoitetaan myös Pohjois–Suomeen soveltuvaksi, huom. lumikuorma”

“Kattoelementti mitoitetaan 1m levyisenä palkkina”

$L := 4550 \text{ mm}$ “Jänneväli etu- ja takaseinän välillä” $kk := 3.2 \text{ m}$ “Leveys”

“Liimapuu, lujuusluokka C24”

$$q_l := 0.8 \cdot 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 2.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

“Lumikuorma Pohjois–Suomi”

$$g := 1.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

“Omapaino CLT paksuudella 160 mm+vesikate”

$$q_{poh} := 0.94 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

“Maastoluokka 0, tuulikuorma”

“Rakennuksen leveys” $d_v := 3.2 \text{ m}$

“Rakennuksen korkeus” $h_v := 3.3 \text{ m}$

“Rakennuksen pituus” $b_v := 4.5 \text{ m}$

“Suhde” $\frac{d_v}{b_v} = 7.11 \cdot 10^{-1}$

“Hoikkuus” $\lambda := \frac{2 \cdot h_v}{b_v} = 1.47$

“Voimakerroin” $c_f := 1.5$

“Interpoloitu arvo”

“Rakennekerroin” $c_s c_d := 1.0$

“Omapaino” $g_k := kk \cdot g = 3.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

“Lumi” $q_{lk} := kk \cdot q_l = 7.68 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$p_d := 1.15 \cdot g_k + 1.5 \cdot q_{lk} = 15.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

“Suunnittelukuorma murtorajatilassa”

“CLT C24 lappeeltaan”

“Keskipitkä aikaluokka, käyttöluokka 2”

“Muunnoskerroin käyttöluokassa 2”

$$k_{mod} := 0.8$$

“CrossLam Kuhmo CLT:n osavarmuusluku”

$$\gamma_M := 1.25$$

“Ominaislujuusarvot CLT C24”

“Lujuusarvo:”

“Taivutus” $f_{mk} := 24 \frac{N}{mm^2}$

“Puristus syyn suuntaisesti” $f_{c0k} := 21 \frac{N}{mm^2}$

“Puristus syytä vasten” $f_{c90k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$

“Leikkaus” $f_{vk} := 4.0 \frac{N}{mm^2}$

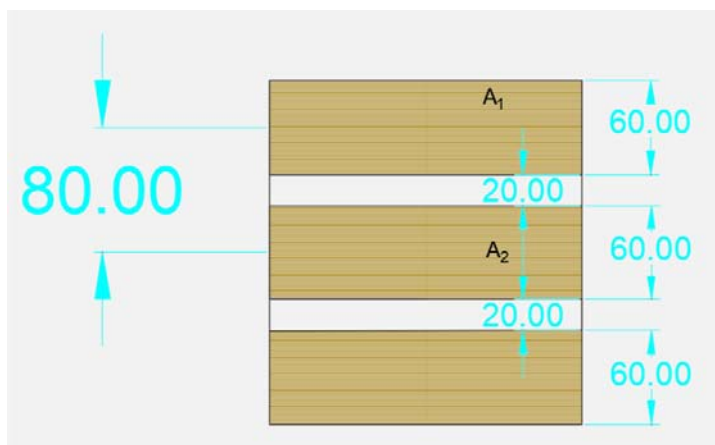
“Jäykkyysominaisuudet:”

$$G_{R.mean} := 65 \frac{N}{mm^2} \quad E_{0.mean} := 11500 \frac{N}{mm^2}$$

$$M := \frac{p_d \cdot L^2}{8} = 39.33 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad V := \frac{p_d \cdot L}{2} = 34.58 \text{ kN} \quad A_t := V = 34.58 \text{ kN}$$

“1.1. Tehollinen jäyhyysmomentti:”

Valitaan Crosslam CLT L5-220-60, levyn paksuus 220mm, kerroksia levyssä 5.
L=60mm+C=20mm+L=60mm+C=20mm+L=60mm



$$\begin{aligned} h_1 &:= 60 \text{ mm} & h_2 &:= h_1 = 60 \text{ mm} & h_3 &:= h_1 = 60 \text{ mm} & h_4 &:= 0 \\ t_1 &:= 20 \text{ mm} & t_2 &:= t_1 = 20 \text{ mm} & t_3 &:= 0 & b &:= 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_1 := b \cdot h_1 = (6 \cdot 10^4) \text{ mm}^2 \quad A_2 := b \cdot h_2 = (6 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$a_1 := \frac{h_1}{2} + t_1 + \frac{h_2}{2} = 80 \text{ mm}$$

$$a_2 := \frac{h_2}{2} = 15 \text{ mm} \quad d_1 := \frac{h_1}{2} = 30 \text{ mm}$$

$$\gamma_1 := \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot E_{0.mean} \cdot A_1}{L^2} \cdot \frac{t_1}{G_{R.mean} \cdot b} \right)} = 0.91$$

$$I_{y,1} := \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 = (3.67 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$I_{y,2} := \frac{b \cdot h_2^3}{12} = (1.8 \cdot 10^7) \text{ mm}^4 \quad I_{ef,L} := 2 \cdot I_{y,1} + I_{y,2} = (7.51 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

“1.2. Tehollinen taivutusvastus:”

$$W_{ef,L} := \frac{I_{ef,L}}{\gamma_1 \cdot a_1 + d_1} = (7.32 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

“1.3. Teholliset staattiset momentit:”

$$S_{ef,1} := A_1 \cdot \gamma_1 \cdot a_1 = (4.36 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

$$S_{ef,2} := A_1 \cdot \gamma_1 \cdot a_1 + \frac{A_2}{2} \cdot a_2 = (4.81 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

“1.4. Taivutuskestävyys:”

$$k_{mod} := 0.8 \quad \gamma_M := 1.25 \quad f_{m,k} := 24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$n := 10$ “Vierekkäisten lamellien määrä poikkileikkauksessa”

$$k_{sys} := \min(1 + 0.025 \cdot n, 1.2) = 1.2 \quad \text{“CLT kuormanjakoluku”}$$

$$M_{y,d} := M = (3.93 \cdot 10) \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \sigma_{m,y,d} := \frac{M_{y,d}}{W_{ef,L}} = 5.37 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{m,d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{m,k} \cdot k_{sys} = 18.43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \gg \quad \sigma_{m,y,d} := \frac{M_{y,d}}{W_{ef,L}} = 5.37 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

“Käyttöaste:” $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = 0.29$ “29 % OK”

"1.5. Leikkauskestävyys liimasaumoissa:"

$$V_d := V = (3.46 \cdot 10) \text{ kN} \quad \tau_d := \frac{V_d \cdot S_{ef.1}}{I_{ef.L} \cdot b} = 0.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{R.k.0} := 0.95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{"tasoleikkauslujuus"}$$

$$f_{R.d.0} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{R.k.0} = 0.61 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \blacksquare > \blacksquare \quad \tau_d := \frac{V_d \cdot S_{ef.1}}{I_{ef.L} \cdot b} = (2.01 \cdot 10^{-1}) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{"Käyttöaste:"} \quad \frac{\tau_d}{f_{R.d.0}} = 0.33 \quad \text{"33 \% OK"}$$

"1.6. Leikkauskestävyys neutraaliakselilla:"

$$f_{v.k} := 4.0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{"lamellin leikkauslujuus"}$$

$$f_{v.d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v.k} = 2.56 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \blacksquare > \blacksquare \quad \tau_d := \frac{V_d \cdot S_{ef.2}}{I_{ef.L} \cdot b} = 0.22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{"Käyttöaste:"} \quad \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 0.09 \quad \text{"9 \% OK"}$$

"1.7. Taipuma:"

$$\Psi_2 := 0.3 \quad k_{def} := 1.0 \quad \text{"virumakerroin CLT lappeltaan käyttöluokka 2"}$$

$$w_{instG} := \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E_{0.mean} \cdot I_{ef.L}} = 2.07 \text{ mm}$$

$$w_{instQ} := \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{lk} \cdot L^4}{E_{0.mean} \cdot I_{ef.L}} = 4.96 \text{ mm}$$

$$w_{fin} := w_{instG} \cdot (1 + k_{def}) + w_{instQ} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 10.58 \text{ mm} \quad \blacksquare < \blacksquare \quad \frac{L}{300} = 15.17 \text{ mm}$$

$$\text{"Käyttöaste:"} \quad \frac{w_{fin}}{\frac{L}{300}} = 0.7 \quad \text{"70 \% OK"}$$

"Laskelman perusteella saadaan elementin paksuudeksi 220 mm"

“2.0 SEINÄELEMENTIN MITOITUS:”

“Mitoitettu Crosslam CLT ohjeiden mukaisesti.”

“Elementti mitoitetaan 1m levyisenä”

“2.1.0 Seinän nurjahduskestävyys:”

$$q_{vk} := 0.94 \frac{kN}{m^2}$$

“Maastoluokka 0, tuulikuorma”

“Rakennuksen leveys” $d_v := 3.2 \text{ m}$

“Rakennuksen korkeus” $h_{v1} := 3.3 \text{ m}$

“Korkeampi pääty”

“Rakennuksen korkeus” $h_{v2} := 2.55 \text{ m}$

“Matalampi pääty”

“Rakennuksen pituus” $b_v := 4.5 \text{ m}$

$$A_{\text{päätyseinä}} := d_v \cdot h_v = 10.56 \text{ m}$$

$$A_{\text{sivuseinä}} := b_v \cdot \frac{h_{v1} + h_{v2}}{2} = 13.16 \text{ m}^2$$

“Siviseinä on puolisuunnikas”

“Suhde” $\frac{d_v}{b_v} = 7.11 \cdot 10^{-1}$

“Hoikkuus” $\lambda := \frac{2 \cdot h_{v1}}{b_v} = 1.47$

“Voimakerroin” $c_f := 1.5$

“Interpoloitu arvo”

“Rakennekerroin” $c_s c_d := 1.0$

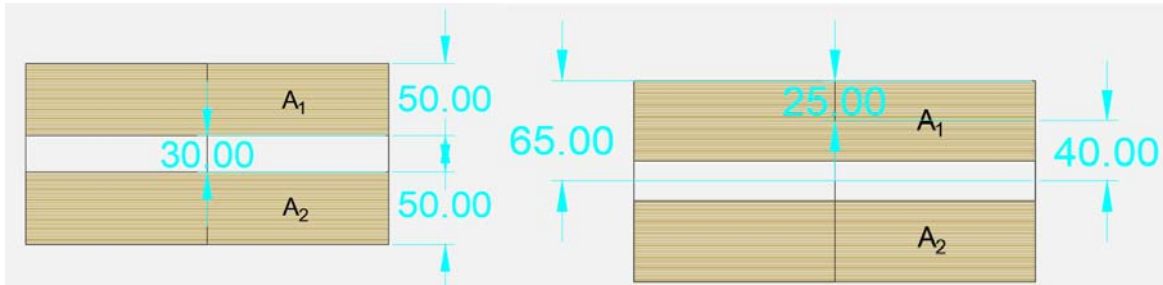
“Tuulikuorma” $q_{wk} := c_f \cdot c_s c_d \cdot q_{vk} \cdot h_{v1} = 4.65 \frac{kN}{m}$

“Omapaino” $g_k := k_k \cdot g = 3.2 \frac{kN}{m}$

“Lumi” $q_k := k_k \cdot q_l = 7.68 \frac{kN}{m}$

“2.1.1 Tehollinen jäyhyysmomentti:”

Valitaan Crosslam CLT C3-130-50, levyn paksuus 130mm, kerroksia levyssä 3.
C=50mm+L=30mm+C=50mm



$$\begin{aligned}
 h_1 &:= 50 \text{ mm} & h_2 &:= h_1 = 50 \text{ mm} & h_3 &:= 0 & h_4 &:= 0 \\
 t_1 &:= 30 \text{ mm} & t_2 &:= 0 & t_3 &:= 0 & b &:= 1000 \text{ mm} \\
 A_1 &:= b \cdot h_1 = 50000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$a_1 := \frac{h_1}{2} + \frac{t_1}{2} = 40 \text{ mm}$$

$$d_1 := \frac{h_1}{2} = 25 \text{ mm}$$

$$\gamma_1 := \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot E_{0.mean} \cdot A_1}{L^2} \cdot \frac{t_1}{G_{R.mean} \cdot b} \right)} = 0.89$$

$$I_{y,1} := \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 = 81431947.56 \text{ mm}^4$$

$$I_{ef,L} := 2 \cdot I_{y,1} = 162863895.12 \text{ mm}^4$$

“2.1.2. Tehollinen taivutusvastus:”

$$W_{ef,L} := \frac{I_{ef,L}}{\gamma_1 \cdot a_1 + d_1} = 2691625.29 \text{ mm}^3$$

“2.1.3. Teholliset staattiset momentit:”

$$S_{ef,1} := A_1 \cdot \gamma_1 \cdot a_1 = 1775382.02 \text{ mm}^3$$

“2.1.4. Tehollinen pinta-ala:”

$$A_{ef} := 2 \cdot A_1 = (1 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

“2.1.5. Nurjahduskestävyys:”

$$L_{c.z} := 3.3 \text{ m} \quad k_{mod} := 0.8 \quad \gamma_M := 1.25 \quad \text{"CLT materiaalin osavarmuusluku"}$$

$$f_{c.0.k} := 21.0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{"CLT lamellin puristuslujuus"}$$

$$f_{m.k} := 24.0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{"CLT lamellin taivutuslujuus"}$$

$$E_{0.05} := 7400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad E_{0.mean} = (1.15 \cdot 10^4) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \beta_c := 0.1 \quad \text{"CLT alkukäyrykerroin"}$$

$$n := 10 \quad \text{"Vierekkäisten lamellien määrä poikkileikkauksessa"}$$

$$k_{sys} := \min(1 + 0.025 \cdot n, 1.2) = 1.2 \quad \text{"kuormanjakoluku"}$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_{ef.L}}{A_{ef}}} = 40.36 \text{ mm} \quad \lambda_y := \frac{L_{c.z}}{i_y} = 81.77$$

$$\lambda_{rel.y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.39 \quad k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.y} - 0.3) + \lambda_{rel.y}^2) = 1.52$$

$$k_{c.y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel.y}^2}} = 0.47$$

█ < 1

Oletetaan seinän ikkuna-aukon olevan 1,5m leveä, näin ollen käytetään kuormitusleveyttä $B=1250$ mm. (1000 mm + 1500 mm/2)

$$B := 1750 \text{ mm} \quad b := 1000 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c.0.d} := \frac{\frac{B}{b} \cdot (1.15 \cdot g_k + 1.5 \cdot q_k) \cdot 1 \text{ m}}{A_{ef}} = 0.27 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \psi_0 := 0.6 \quad L := 3.3 \text{ m}$$

$$M_{y.d} := \frac{\frac{B}{b} \cdot (1.5 \cdot \psi_0 \cdot q_{wk}) \cdot L^2}{8} = 9.98 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{m.y.d} := \frac{M_{y.d}}{W_{ef.L}} = 3.71 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c.0.d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{c.0.k} = 13.44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{m.d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{m.k} \cdot k_{sys} = 18.43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 0.24 \quad \text{█ < 1}$$

"käyttöaste 24 % OK"

“2.1.6. Leikkauskestävyys liimasaumassa:”

$$V_d := \frac{\frac{B}{b} \cdot (1.5 \cdot \psi_0 \cdot q_{wk}) \cdot L}{2} = (1.21 \cdot 10) \text{ kN} \quad \tau_d := \frac{V_d \cdot S_{ef.1}}{I_{ef.L} \cdot b} = (3.77 \cdot 10^{-1}) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{R.d.0} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{R.k.0} = 0.61 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \gg \quad \tau_d := \frac{V_d \cdot S_{ef.1}}{I_{ef.L} \cdot b} = 0.13 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

“Käyttöaste:” $\frac{\tau_d}{f_{R.d.0}} = 0.22$

“käyttöaste 22 % OK”

“2.1.7. Taipuma:”

$$E_{0.mean} = 11500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$w_{inst} := \frac{5}{384} \cdot \frac{\frac{B}{b} \cdot (\psi_0 \cdot q_{wk}) \cdot L^4}{E_{0.mean} \cdot I_{ef.L}} = 4.03 \text{ mm} \quad \ll \quad \frac{L}{300} = 11 \text{ mm}$$

“Käyttöaste:” $\frac{w_{inst}}{L} = 0.37$

“käyttöaste 37 % OK”

“2.2.0 Seinäelementin tukipainekestävyys:”

Tukipaine tarkastellaan seinäelementin 1 m kuormitus leveyden mukaan.

“Mitat:” $b := 1000 \text{ mm}$ $L_{c90ef} := h_1 + h_2 = 100 \text{ mm}$ “Pystysuuntaiset lamellit”

$$f_{c90k} = 2.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad A_{ef} := L_{c90ef} \cdot b = 100000 \text{ mm}^2 \quad k_{c90} := 1.25 \quad L := h_1 = 50 \text{ mm}$$

$$k_{ctuki} := \frac{L_{c90ef}}{L} \cdot k_{c90} = 2.5$$

$$V_d = 12.09 \text{ kN} \quad f_{c90d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{c90k} = 1.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{V_d}{A_{ef}} = 0.12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \ll \quad k_{ctuki} \cdot f_{c90d} = 4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

“Käyttöaste:” $\frac{\sigma_{c.90.d}}{k_{ctuki} \cdot f_{c90d}} = 0.03$

“käyttöaste 3 % OK”

“2.3.0 Jäykistävän seinän kestävyys:”

“2.3.1 Jäykisteen poikkileikkausala:”

$$k_{cr} := 1.0 \quad \text{“CrossLam Kuhmo CLT –halkeilukerroin”}$$

$$L := d_v - 1.5 \text{ m} - 1.2 \text{ m} = 500 \text{ mm} \quad \text{“Etuseinän pituus vähennettynä ikkunalla ja ovella”}$$

$$t := h_1 + t_1 + h_2 = 130 \text{ mm} \quad \text{“Seinäelementin paksuus”}$$

$$A := k_{cr} \cdot t \cdot L = 65000 \text{ mm}^2 \quad \text{“Poikkileikkausala”}$$

“2.3.2 Leikkauskestävyys:”

$$k_{mod} = 0.8$$

$$\gamma_M = 1.25$$

$$f_{v.k} := 1.88 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{“Leikkauskestävyys syrjällä”}$$

$$F_{v.Ed} := 1.5 \cdot q_{wk} \cdot \frac{4.5 \text{ m}}{2} = 15.7 \text{ kN}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{v.Ed}}{A} = 0.36 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \ll \quad f_{v.d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v.k} = 1.2 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v.k}} = 0.19 \quad \text{“Käyttöaste 19 % OK”}$$

“2.4.0 Jäykisteen leikkaussiirtymä:”

“2.4.1 Jäykisteen leikkausjäykkyys:”

$$G_{mean} := 690 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{“CrossLam Kuhmo VCLT –lamellin liukumoduuli”}$$

$$F_{v.Ek} := q_{wk} \cdot 4.5 \frac{\text{m}}{2} = 10.47 \text{ kN}$$

$$C_v := \frac{1}{\frac{h_{v1}}{L \cdot G_{mean} \cdot t}} = 13.59 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

“2.4.2 Jäykisteen leikkaussiirtymä:”

$$u_{inst} := \frac{F_{v.Ek}}{C_v} = 0.77 \text{ mm}$$

"2.5.0 Jäykisteen tukien kestävyys:"

"2.5.1 Puristetun alueen pituus tukireaktiolle B"

$$f_{c.0.k} = 21 \frac{N}{mm^2} \quad t_{ef} := 50 \text{ mm} + 50 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$f_{c.0.d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{c.0.k} = 13440 \frac{kN}{m^2}$$

$$R := g_k \cdot L = 1.6 \text{ kN}$$

$$x = \frac{\frac{F_{v.Ed} \cdot h_{v1}}{\left(L - \frac{x}{3}\right)} + \frac{R \cdot \frac{L}{2}}{\left(L - \frac{x}{3}\right)}}{0.5 \cdot f_{c.0.d} \cdot t_{ef}} \quad "=>" \quad x = \frac{\frac{51.81 \text{ kN}}{\left(0.5 \text{ m} - \frac{x}{3}\right)} + \frac{0.44 \text{ kN}}{\left(0.5 \text{ m} - \frac{x}{3}\right)}}{1050 \frac{kN}{m}}$$

$$1050 \frac{kN}{m} \cdot x = \frac{52.25 \text{ kN}}{\left(0.5 \text{ m} - \frac{x}{3}\right)} \quad "=>" \quad \left(0.5 \text{ m} - \frac{x}{3}\right) \cdot 1050 \frac{kN}{m} \cdot x = 52.25 \text{ kN}$$

$$525 \text{ kN} \cdot x - 246.4 \frac{kN}{m} \cdot x^2 = 52.25 \text{ kN}$$

$$"=>" \quad x := \frac{-525 \cdot \sqrt{(525)^2 - (4 \cdot (-246.4) \cdot (-52.25))}}{2 \cdot -246.4} = 504.35$$

$$"=>" \quad x := 504.35 \text{ mm}$$

"2.5.2 Tuen B tukipainekestävyys:"

$$f_{c.0.d} = 13.44 \frac{N}{mm^2}$$

$$L_{ef} := L - \frac{x}{3} = 331.88 \text{ mm} \quad \text{"Tukireaktioiden A ja B välinen etäisyys"}$$

$$B := \frac{F_{v.Ed} \cdot h_{v1}}{L_{ef}} + \frac{R \cdot \frac{L}{2}}{L_{ef}} = 157.35 \text{ kN}$$

$$f_{c.d.mean} := \frac{B}{0.5 \cdot t_{ef} \cdot x} = 6.24 \frac{N}{mm^2} \quad \blacksquare < \blacksquare \quad f_{c.0.d} = 13.44 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{f_{c.d.mean}}{f_{c.0.d}} = 0.46$$

"Käyttöaste 46 % OK"

"Laskelman perusteella saadaan elementin paksuudeksi 130 mm"

“2.5.3 Tuen A ankkurointi:”

$$A := B - R = 155.75 \text{ kN}$$

“Tuen A nostava voima”

“Seinän nurkka on ankkuroitava 155,75 kN nostetta vastaan”

“2.6.0 Seinän ankkurointiruuvien mitoitus:”

“Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje mukaisesti”

$$V_d := A = 155.75 \text{ kN}$$

“Kiinnitys kulmaraudalla seinään:”

“Valitaan ruuvi: 8,0x80”

$$d_{ef} := 5.2 \text{ mm}$$

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

$$M_{yk} := 14100 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$A_{ef} := \frac{\pi \cdot d_{ef}^2}{4} = 21.24 \text{ mm}^2$$

“Yhden ruuvin leikkauspinta-ala”

“Leikkauskestävyys:”

$$A_{ef} \cdot f_{uk} = 10.62 \text{ kN}$$

“Yhden ruuvin leikkauskestävyys”

$$\frac{V_d}{A_{ef} \cdot f_{uk}} = 14.67$$

“Ruuveja 8,0x80 tarvitaan 15kpl”

“Kiinnitys kulmaraudalla lattiaan:”

“Valitaan ruuviks: 8,0x170”

$$d_{ef} := 5.2 \text{ mm}$$

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

“Vetokestävyys:”

$$M_{yk} := 14100 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$n := 11$$

“Ruuvien kpl määrä”

$$l_{ef} := 150 \text{ mm}$$

“Kierteen tunkeuma lattiaelementtiin”

$$d := 8 \text{ mm}$$

“Ruuvin halkaisija”

$$\rho_k := 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

“Puun tiheys”

$$\alpha := 90^\circ$$

“Ruuvin kulma puun syytä vastaan”

$$f_{ax.k} := 16.07 \frac{N}{mm^2} \quad \text{“Ruuvin ulosvetolujuus syysuuntaa vastaan”}$$

$$k_d := \frac{8}{8} = 1$$

$$F_{ax.\alpha.Rk} := \frac{n^{0.9} \cdot f_{ax.k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1.2 \cos(\alpha)^2 + \sin(\alpha)^2} = 166.9 \text{ kN} \quad \blacksquare > \blacksquare \quad V_d = 155.75 \text{ kN}$$

$$\frac{V_d}{F_{ax.\alpha.Rk}} = 0.93 \quad \text{“Käyttöaste 93 % OK”}$$

“Kulmaraudalla lattiaan kiinnityksessä tarvitaan 11 kpl ruuveja 8,0x170”

“3.0 LATTIAELEMENTIN MITOITUS:”

“Mitoitettu Crosslam CLT ohjeiden mukaisesti.”

“Elementti mitoitetaan 1m levyisenä palkkina”

$L := 2500 \text{ mm}$ “Ruuvipaalujen maksimi väli” $kk := 3.2 \text{ m}$ “Leveys”

“Liimapuu, lujuusluokka C24”

“Rakennuksen vaipan mitat ja pinta-ala:”

$A_1 := 12.49 \text{ m}^2$ $A_2 := A_1 = 12.49 \text{ m}^2$ “Sivuseinät”

$A_3 := 9.60 \text{ m}^2$ “Päätyseinä”

$A_4 := 8.16 \text{ m}^2$ “Päätyseinä”

$A_5 := 14.4 \text{ m}^2$ “Lattia”

$A_6 := A_5 = 14.40 \text{ m}^2$ “Katon sisäosuus”

$A_{vaiippa} := A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 = 71.54 \text{ m}^2$

$d_1 := 220 \text{ mm}$ “Kattoelementin vahvuus”

$d_2 := 200 \text{ mm}$ “Seinäelementin vahvuus”

$d_3 := 220 \text{ mm}$ “Lattiaelementin vahvuus”

$$d_{CLT} := \frac{A_6}{A_{vaiippa}} \cdot d_1 + \frac{(A_1 + A_2 + A_3 + A_4)}{A_{vaiippa}} \cdot d_2 + \frac{A_5}{A_{vaiippa}} \cdot d_3 = 0.208 \text{ m}$$

“CLT elementin paksuus, keskiarvo”

$g_1 := d_{CLT} \cdot 5.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 1.04 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ “Omapaino”

$q_l := 0.8 \cdot 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 2.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ “Lumikuorma Pohjois-Suomi”

$g_2 := 0.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ “Vesikate”

$A_{katto} := 4.4 \text{ m} \cdot 5.7 \text{ m} = 25.08 \text{ m}^2$ “Katon pinta-ala”

$A_{CLT} := A_{vaiippa} = 71.54 \text{ m}^2$ “CLT elementtien yhteenlaskettu pinta-ala”

$q_k := 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ “Hyötykuorma”

$$q_{p0h} := 0.94 \frac{kN}{m^2} \quad \text{“Maastoluokka 0, tuulikuorma”}$$

$$\text{“Rakennuksen leveys”} \quad d_v := 3.2 \text{ m} \quad \text{“Rakennuksen korkeus”} \quad h_v := 3.3$$

$$\text{“Rakennuksen pituus”} \quad b_v := 4.5 \text{ m}$$

$$\text{“Suhde”} \quad \frac{d_v}{b_v} = 7.11 \cdot 10^{-1} \quad \text{“Hoikkuus”} \quad \lambda := \frac{2 \cdot h_v}{b_v} = 1.47$$

$$\text{“Voimakerroin”} \quad c_f := 1.5 \quad \text{“Interpoloitu arvo”}$$

$$\text{“Rakennekerroin”} \quad c_s c_d := 1.0$$

$$\text{“Tuulikuorma”} \quad q_{wk} := c_f \cdot c_s c_d \cdot q_{p0h} = 1.41 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{“Omapaino”} \quad g_k := \frac{A_{CLT}}{kk} \cdot g_1 + g_2 \cdot \frac{A_{katto}}{kk} = 24.82 \frac{kN}{m}$$

$$\text{“Lumi”} \quad q_{lk} := kk \cdot q_l = 7.68 \frac{kN}{m}$$

$$p_d := 1.15 \cdot g_k + 1.5 \cdot q_{lk} = 40.07 \frac{kN}{m} \quad \text{“Suunnittelukuorma”}$$

$$\text{“CLT C24 lappeeltaan”} \quad \text{“Keskipitkä aikaluokka, käyttöluokka 2”}$$

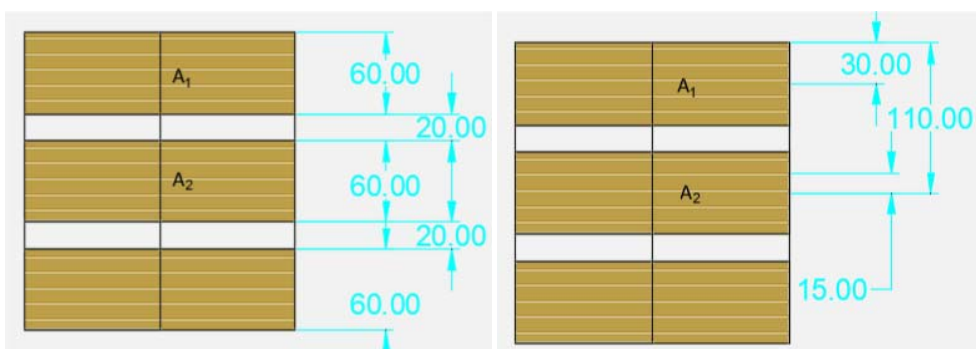
$$\text{“Muunnoskerroin käyttöluokassa 2”} \quad k_{mod} := 0.8$$

$$\text{“Osavarmuusluku”} \quad \gamma_M := 1.25$$

$$M := \frac{p_d \cdot L^2}{8} = 31.3 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad V := \frac{p_d \cdot L}{2} = 50.08 \text{ kN} \quad A_t := V = 50.08 \text{ kN}$$

“3.1. Tehollinen jäyhyysmomentti:”

Valitaan Crosslam CLT L5-220-60, levyn paksuus 220mm, kerroksia levyssä 5.
L=60mm+C=20mm+L=60mm+C=20mm+L=60mm



$$h_1 := 60 \text{ mm} \quad h_2 := h_1 = (6 \cdot 10) \text{ mm} \quad h_3 := h_1 = (6 \cdot 10) \text{ mm} \quad h_4 := 0$$

$$t_1 := 20 \text{ mm} \quad t_2 := t_1 = (2 \cdot 10) \text{ mm} \quad t_3 := 0 \quad b := 1000 \text{ mm}$$

$$A_1 := b \cdot h_1 = (6 \cdot 10^4) \text{ mm}^2 \quad A_2 := b \cdot h_2 = (6 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$a_1 := \frac{h_1}{2} + t_1 + \frac{h_2}{2} = 80 \text{ mm}$$

$$a_2 := \frac{h_2}{2} = 15 \text{ mm} \quad d_1 := \frac{h_1}{2} = 30 \text{ mm}$$

$$\gamma_1 := \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot E_{0.mean} \cdot A_1}{L^2} \cdot \frac{t_1}{G_{R.mean} \cdot b} \right)} = 0.75$$

$$I_{y.1} := \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 = (3.06 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$I_{y.2} := \frac{b \cdot h_2^3}{12} = (1.8 \cdot 10^7) \text{ mm}^4 \quad I_{ef.L} := 2 \cdot I_{y.1} + I_{y.2} = (6.29 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

“3.2. Tehollinen taivutusvastus:”

$$W_{ef.L} := \frac{I_{ef.L}}{\gamma_1 \cdot a_1 + d_1} = (7 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

“3.3. Teholliset staattiset momentit:”

$$S_{ef.1} := A_1 \cdot \gamma_1 \cdot a_1 = (3.59 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

$$S_{ef.2} := A_1 \cdot \gamma_1 \cdot a_1 + \frac{A_2}{2} \cdot a_2 = (4.04 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

“3.4. Taivutuskestävyys:”

$$k_{mod} := 0.8 \quad \gamma_M := 1.25 \quad f_{m.k} := 24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$n := 10$ “Vierekkäisten lamellien määrä poikkileikkauksessa”

$$k_{sys} := \min(1 + 0.025 \cdot n, 1.2) = 1.2 \quad \text{“kuormanjakoluku”}$$

$$M_{y.d} := M = (3.13 \cdot 10) \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \sigma_{m.y.d} := \frac{M_{y.d}}{W_{ef.L}} = 4.47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{m.d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{m.k} \cdot k_{sys} = (1.84 \cdot 10) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \square > \square \quad \sigma_{m.y.d} := \frac{M_{y.d}}{W_{ef.L}} = 4.47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

“Käyttöaste:” $\frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 0.24$ “käyttöaste 24 % OK”

“3.5. Leikkauskestävyys liimasaumoissa:”

$$V_d := V = (5.01 \cdot 10) \text{ kN} \quad \tau_d := \frac{V_d \cdot S_{ef.1}}{I_{ef.L} \cdot b} = (2.86 \cdot 10^{-1}) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{R.k.0} := 1.03 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{“tasoleikkauslujuus”}$$

$$f_{R.d.0} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{R.k.0} = (6.59 \cdot 10^{-1}) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_d := \frac{V_d \cdot S_{ef.1}}{I_{ef.L} \cdot b} = (2.86 \cdot 10^{-1}) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

“Käyttöaste:” $\frac{\tau_d}{f_{R.d.0}} = 0.43$ “käyttöaste 43 % OK”

“3.6. Leikkauskestävyys neutraaliakselilla:”

$$f_{v.k} := 4.0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{“lamellin leikkauslujuus”}$$

$$f_{v.d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v.k} = 2.56 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_d := \frac{V_d \cdot S_{ef.1}}{I_{ef.L} \cdot b} = (2.86 \cdot 10^{-1}) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

“Käyttöaste:” $\frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 0.11$ “käyttöaste 11 % OK”

“3.7. Taipuma:”

$$\Psi_2 := 0.3 \quad k_{def} := 0.8 \quad \text{“virumakerroin CLT lappeltaan”}$$

$$w_{instG} := \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E_{0.mean} \cdot I_{ef.L}} = 1.75 \text{ mm}$$

$$w_{instQ} := \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{lk} \cdot L^4}{E_{0.mean} \cdot I_{ef.L}} = (5.4 \cdot 10^{-1}) \text{ mm}$$

$$w_{fin} := w_{instG} \cdot (1 + k_{def}) + w_{instQ} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 3.81 \text{ mm} \quad \frac{L}{400} = 6.25 \text{ mm}$$

“Taipuma jää sallittuihin rajoihin”

“Käyttöaste:” $\frac{w_{fin}}{L} = 0.61$ “käyttöaste 61 % OK”

“Laskelman perusteella saadaan lattiaelementin paksuudeksi 220 mm”

“3.8. Lattiaelementin tukipainekestävyys ruuvipaalun kohdalla:”

“Mitat:” $d_{L1} := 120 \text{ mm}$ “Paalun kiinnike L1”

$V_d = 50.08 \text{ kN}$ “Paalulle kohdistuva voima”

$P_{L1} := \pi \cdot d_{L1} = 376.99 \text{ mm}$ “Kiinnikkeen L1 piiri”

$A_{L1} := \frac{\pi \cdot d_{L1}^2}{4} = 11309.73 \text{ mm}^2$ “Kiinnikkeen l1 pinta-ala”

$\sigma_{c.90.d} := \frac{V_d}{A_{L1}} = 4.43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ \gg $f_{c90.d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{c90k} = 1.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

“Ei kestä => Lattiaelementtiä on vahvistettava paalun kohdalta”

$\frac{V_d}{f_{c90d}} = 31302.59 \text{ mm}^2$ “Tarvittava tukipainelevyn pinta-ala”

$\sqrt{\frac{V_d}{f_{c90d}}} = 176.93 \text{ mm}$ “Tukipainelevyn sivun mitta”

“Valitaan levy 250*250x3 ja tarkistetaan levyn kestävyys”

$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ “Valitun teräksen myötölujuus”

$\gamma_{M0} := 1.0$ “Osavarmuuskerroin”

$A_{levy} := P_{L1} \cdot 3 \text{ mm} = 1130.97 \text{ mm}^2$ “Levyn leikkauspinta-ala l1 kiinnikkeen osalla”

$N_{plRd} := \frac{A_{levy} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 265.78 \text{ kN}$ \gg $V_d = 50.08 \text{ kN}$

“Valitaan vahvikelevy paalun ja elementin väliin 250x250x3 teräs S235”

“Käyttöaste:” $\frac{V_d}{N_{plRd}} = 0.19$ “käyttöaste 19 % OK”

“4. Ruuvipaalu”

$V_d = 50.08 \text{ kN}$ “Ruuvipaalun mitoituskantavuus”

“1.0 Rakennuksen lämmityskustannusten tarkastelu vahvistetulla CLT–elementillä:”

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad \text{“Lämpövirta”}$$

$$\frac{Q}{A} = U \cdot \Delta T \quad \text{“Lämpövuoto, rakenteen läpi menevä lämpövirta/pinta-ala”}$$

$$\Delta T := 20 \text{ K} \quad \text{“Lämpötilaero laskennassa 20°C”}$$

“Rakennuksen vaipan pinta-ala:”

$$A_1 := 12.49 \text{ m}^2 \quad A_2 := A_1 = 12.49 \text{ m}^2 \quad \text{“Sivuseinät”}$$

$$A_3 := 9.60 \text{ m}^2 \quad \text{“Päätyseinä”}$$

$$A_4 := 8.16 \text{ m}^2 \quad \text{“Päätyseinä”}$$

$$A_5 := 14.4 \text{ m}^2 \quad \text{“Lattia”}$$

$$A_6 := A_5 = 14.40 \text{ m}^2 \quad \text{“Katon sisäosuus”}$$

$$A_{\text{vaiippa}} := A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 = 71.54 \text{ m}^2$$

$$d_1 := 220 \text{ mm} \quad \text{“Kattoelementin vahvuus”}$$

$$d_2 := 200 \text{ mm} \quad \text{“Seinäelementin vahvuus”}$$

$$d_3 := 220 \text{ mm} \quad \text{“Lattiaelementin vahvuus”}$$

“CLT levyn tiedot:”

$$\lambda_{CLT} := 0.13 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{“CLT lämmönjohtavuus”}$$

$$d_{CLT} := \frac{A_6}{A_{\text{vaiippa}}} \cdot d_1 + \frac{(A_1 + A_2 + A_3 + A_4)}{A_{\text{vaiippa}}} \cdot d_2 + \frac{A_5}{A_{\text{vaiippa}}} \cdot d_3 = 0.208 \text{ m}$$

“CLT elementin paksuus, keskiarvo”

“Lämmönvastus:”

$$R_{si} := 0.13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad \text{“Sisäpinnan vastus”}$$

$$R_{CLT} := \frac{d_{CLT}}{\lambda_{CLT}} = 1.60 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad \text{“CLT levyn lämmönvastus”}$$

$$R_{se} := 0.04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad \text{“Ulkopinnan vastus”}$$

$$R_T := R_{si} + R_{CLT} + R_{se} = 1.77 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad \text{“Kokonaislämmönvastus”}$$

$$U := \frac{1}{R_T} = 0.56 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad \text{“Lämmönläpäisykerroin U–arvo”}$$

$$U \cdot \Delta T = 11.30 \frac{W}{m^2} \quad \text{“Lämpövuoto”}$$

$$l_{k1} := 3.2 \, m \cdot 2 + 4.5 \, m \cdot 2 = 15.4 \, m \quad \text{“Alapohjan ja seinän liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k2} := l_{k1} = 15.4 \, m \quad \text{“Yläpohjan ja seinän liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k3} := 3 \, m \cdot 2 + 2.55 \, m \cdot 2 = 11.1 \, m \quad \text{“Seinän nurkkien liitosten kylmäsilta”}$$

$$l_{k4} := 1.5 \, m \cdot 2 + 1 \, m \cdot 2 = 5 \, m \quad \text{“Ikkunan liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k5} := 1.2 \, m \cdot 2 + 2.3 \, m \cdot 2 = 7 \, m \quad \text{“Oven liitoksen kylmäsilta”}$$

$$\psi_{k1} := 0.05 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k2} := 0.05 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k3} := 0.04 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k4} := 0.04 \frac{W}{m \cdot K}$$

“Kylmäsiltojen lämpövirrat:”

$$Q_1 := l_{k1} \cdot \psi_{k1} \cdot \Delta T = 15.4 \, W \quad Q_2 := l_{k2} \cdot \psi_{k2} \cdot \Delta T = 15.4 \, W$$

$$Q_3 := l_{k3} \cdot \psi_{k3} \cdot \Delta T = 8.88 \, W \quad Q_4 := l_{k4} \cdot \psi_{k4} \cdot \Delta T = 4 \, W$$

$$Q_5 := l_{k5} \cdot \psi_{k4} \cdot \Delta T = 5.6 \, W \quad Q_{kylmäsilat} := Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 49.28 \, W$$

“Vuotoilman lämpövirrat:”

$$q_{50} := 4.0 \frac{m^3}{hr \cdot m^2} \quad \text{“Rakennusvaipan ilmanvuotoluku”}$$

$$x := 35 \quad \text{“Kerroin yksikerroksisille rakennuksille”}$$

$$q_v := \left(\frac{q_{50}}{3600 \cdot x} \right) \cdot A_{vaiippa} = 0.0023 \frac{m^3}{hr} \quad \text{“Vuotoilman määrä”}$$

$$\rho_i := 1.2 \frac{kg}{m^3} \quad \text{“Ilman tiheys”}$$

$$c_{pi} := 1000 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \text{“Ilman ominaislämpökapasiteetti”}$$

$$Q_{vuotoilma} := \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_v \cdot \Delta T = 0.015 \, W$$

$$Q := U \cdot \Delta T \cdot A_{vaiippa} + Q_{kylmäsilat} + Q_{vuotoilma} = 0.86 \, kW \quad \text{“Rakennuksen lämpövirta”}$$

$$E_{pv} := Q \cdot 24 \, hr = 20.58 \, kW \cdot hr \quad \text{“Lämmitys energia päivässä”}$$

$$E_{kk} := E_{pv} \cdot 30 = 617.38 \, kW \cdot hr \quad \text{“Lämmitys energia kuukaudessa”}$$

$$E_{vuosi} := E_{kk} \cdot 12 = 7408.59 \, kW \cdot hr \quad \text{“Lämmitys energia vuodessa”}$$

“Lämmityskustannukset vuodessa:”

$$H_{vuosi} := 20 \cdot 12 + 0.15 \cdot 7532.9 = 1369.94 \text{ €}$$

“Laskennassa vuoden keskilämpötila ulkona 0°C ja sisälämpötila +20°C”

“Laskennassa sähkön perusmaksu 20€/kk, energia+siirtomaksu 15c/kWh”

“Tulokset ovat suuntaa antavia ja riippuvat rakennuksen käytöstä.”

“2.0 Rakennuksen lämmityskustannusten tarkastelu minimi lisäeristeellä:”

$$d_1 := 220 \text{ mm} \quad \text{“Kattoelementin vahvuus”}$$

$$d_2 := 130 \text{ mm} \quad \text{“Seinäelementin vahvuus”}$$

$$d_3 := 220 \text{ mm} \quad \text{“Lattiaelementin vahvuus”}$$

“CLT levyn tiedot:”

$$\lambda_{CLT} := 0.13 \frac{W}{m \cdot K} \quad \text{“CLT lämmönjohtavuus”}$$

$$d_{CLT} := \frac{A_6}{A_{vaiippa}} \cdot d_1 + \frac{(A_1 + A_2 + A_3 + A_4)}{A_{vaiippa}} \cdot d_2 + \frac{A_5}{A_{vaiippa}} \cdot d_3 = 0.166 \text{ m}$$

“CLT elementin paksuus, keskiarvo”

“Finnfoam FF-PIR eristeen tiedot:”

$$\lambda_{FF.PIR} := 0.022 \frac{W}{m \cdot K} \quad \text{“Levyn paksuus valitaan:”} \quad d_{FF.PIR} := 10 \text{ mm}$$

“Lämmönvastus:”

$$R_{si} := 0.13 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \text{“Sisäpinnan vastus”}$$

$$R_{CLT} := \frac{d_{CLT}}{\lambda_{CLT}} = 1.28 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \text{“CLT levyn lämmönvastus”}$$

$$R_{FF.PIR} := \frac{d_{FF.PIR}}{\lambda_{FF.PIR}} = 0.455 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{se} := 0.04 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \text{“Ulkopinnan vastus”}$$

$$R_T := R_{si} + R_{CLT} + R_{FF.PIR} + R_{se} = 1.90 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \text{“Kokonaislämmönvastus”}$$

$$U := \frac{1}{R_T} = 0.53 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{“Lämmönläpäisykerroin U-arvo kun FF-PIR 10 mm”}$$

$$U \cdot \Delta T = 10.51 \frac{W}{m^2} \quad \text{“Lämpövuoto”}$$

$$l_{k1} := 3.2 \, m \cdot 2 + 4.5 \, m \cdot 2 = 15.4 \, m \quad \text{“Alapohjan ja seinän liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k2} := l_{k1} = 15.4 \, m \quad \text{“Yläpohjan ja seinän liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k3} := 3 \, m \cdot 2 + 2.55 \, m \cdot 2 = 11.1 \, m \quad \text{“Seinän nurkkien liitosten kylmäsilta”}$$

$$l_{k4} := 1.5 \, m \cdot 2 + 1 \, m \cdot 2 = 5 \, m \quad \text{“Ikkunan liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k5} := 1.2 \, m \cdot 2 + 2.3 \, m \cdot 2 = 7 \, m \quad \text{“Oven liitoksen kylmäsilta”}$$

$$\psi_{k1} := 0.05 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k2} := 0.05 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k3} := 0.04 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k4} := 0.04 \frac{W}{m \cdot K}$$

“Kylmäsiltojen lämpövirrat:”

$$Q_1 := l_{k1} \cdot \psi_{k1} \cdot \Delta T = 15.4 \, W \quad Q_2 := l_{k2} \cdot \psi_{k2} \cdot \Delta T = 15.4 \, W$$

$$Q_3 := l_{k3} \cdot \psi_{k3} \cdot \Delta T = 8.88 \, W \quad Q_4 := l_{k4} \cdot \psi_{k4} \cdot \Delta T = 4 \, W$$

$$Q_5 := l_{k5} \cdot \psi_{k5} \cdot \Delta T = 5.6 \, W \quad Q_{kylmäsiltilat} := Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 49.28 \, W$$

“Vuotoilman lämpövirrat:”

$$q_{50} := 4.0 \frac{m^3}{hr \cdot m^2} \quad \text{“Rakennusvaipan ilmanvuotoluku”}$$

$$x := 35 \quad \text{“Kerroin yksikerroksisille rakennuksille”}$$

$$q_v := \left(\frac{q_{50}}{3600 \cdot x} \right) \cdot A_{vaiippa} = 0.0023 \frac{m^3}{hr} \quad \text{“Vuotoilman määrä”}$$

$$\rho_i := 1.2 \frac{kg}{m^3} \quad \text{“Ilman tiheys”}$$

$$c_{pi} := 1000 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \text{“Ilman ominaislämpökapasiteetti”}$$

$$Q_{vuotoilma} := \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_v \cdot \Delta T = 0.015 \, W$$

$$Q := U \cdot \Delta T \cdot A_{vaiippa} + Q_{kylmäsiltilat} + Q_{vuotoilma} = 0.80 \, kW \quad \text{“Rakennuksen lämpövirta”}$$

$$E_{pv} := Q \cdot 24 \, hr = 19.23 \, kW \cdot hr \quad \text{“Lämmitys energia päivässä”}$$

$$E_{kk} := E_{pv} \cdot 30 = 576.76 \, kW \cdot hr \quad \text{“Lämmitys energia kuukaudessa”}$$

$$E_{vuosi} := E_{kk} \cdot 12 = 6921.18 \, kW \cdot hr \quad \text{“Lämmitys energia vuodessa”}$$

“Lämmityskustannukset vuodessa:”

$$H_{vuosi} := 20 \cdot 12 + 0.15 \cdot 7817.4 = 1412.61 \text{ €}$$

“Laskennassa vuoden keskilämpötila ulkona 0°C ja sisälämpötila +20°C”

“Laskennassa sähkön perusmaksu 20€/kk, energia+siirtomaksu 15c/kWh”

“Tulokset ovat suuntaa antavia ja riippuvat rakennuksen käytöstä.”

“2.1 Rakennuksen päivittäisen lämmityskustannuksen tarkastelu 30 mm lisäeristeellä:”

$$d_1 := 220 \text{ mm} \quad \text{“Kattoelementin vahvuus”}$$

$$d_2 := 130 \text{ mm} \quad \text{“Seinäelementin vahvuus”}$$

$$d_3 := 220 \text{ mm} \quad \text{“Lattiaelementin vahvuus”}$$

“CLT levyn tiedot:”

$$\lambda_{CLT} := 0.13 \frac{W}{m \cdot K} \quad \text{“CLT lämmönjohtavuus”}$$

$$d_{CLT} := \frac{A_6}{A_{vaiippa}} \cdot d_1 + \frac{(A_1 + A_2 + A_3 + A_4)}{A_{vaiippa}} \cdot d_2 + \frac{A_5}{A_{vaiippa}} \cdot d_3 = 0.166 \text{ m}$$

“CLT elementin paksuus, keskiarvo”

“Finnfoam FF-PIR eristeen tiedot:”

$$\lambda_{FF.PIR} := 0.022 \frac{W}{m \cdot K} \quad \text{“Levyn paksuus valitaan:”} \quad d_{FF.PIR} := 30 \text{ mm}$$

“Lämmönvastus:”

$$R_{si} := 0.13 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \text{“Sisäpinnan vastus”}$$

$$R_{CLT} := \frac{d_{CLT}}{\lambda_{CLT}} = 1.28 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \text{“CLT levyn lämmönvastus”}$$

$$R_{FF.PIR} := \frac{d_{FF.PIR}}{\lambda_{FF.PIR}} = 1.364 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{se} := 0.04 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \text{“Ulkopinnan vastus”}$$

$$R_T := R_{si} + R_{CLT} + R_{FF.PIR} + R_{se} = 2.81 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \text{“Kokonaislämmönvastus”}$$

$$U := \frac{1}{R_T} = 0.36 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{“Lämmönläpäisykerroin U-arvo kun FF-PIR 30 mm”}$$

$$U \cdot \Delta T = 7.11 \frac{W}{m^2} \quad \text{“Lämpövuoto”}$$

$$l_{k1} := 3.2 \, m \cdot 2 + 4.5 \, m \cdot 2 = 15.4 \, m \quad \text{“Alapohjan ja seinän liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k2} := l_{k1} = 15.4 \, m \quad \text{“Yläpohjan ja seinän liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k3} := 3 \, m \cdot 2 + 2.55 \, m \cdot 2 = 11.1 \, m \quad \text{“Seinän nurkkien liitosten kylmäsilta”}$$

$$l_{k4} := 1.5 \, m \cdot 2 + 1 \, m \cdot 2 = 5 \, m \quad \text{“Ikkunan liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k5} := 1.2 \, m \cdot 2 + 2.3 \, m \cdot 2 = 7 \, m \quad \text{“Oven liitoksen kylmäsilta”}$$

$$\psi_{k1} := 0.05 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k2} := 0.05 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k3} := 0.04 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k4} := 0.04 \frac{W}{m \cdot K}$$

“Kylmäsiltojen lämpövirrat:”

$$Q_1 := l_{k1} \cdot \psi_{k1} \cdot \Delta T = 15.4 \, W \quad Q_2 := l_{k2} \cdot \psi_{k2} \cdot \Delta T = 15.4 \, W$$

$$Q_3 := l_{k3} \cdot \psi_{k3} \cdot \Delta T = 8.88 \, W \quad Q_4 := l_{k4} \cdot \psi_{k4} \cdot \Delta T = 4 \, W$$

$$Q_5 := l_{k5} \cdot \psi_{k4} \cdot \Delta T = 5.6 \, W \quad Q_{kylmäsilat} := Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 49.28 \, W$$

“Vuotoilman lämpövirrat:”

$$q_{50} := 4.0 \frac{m^3}{hr \cdot m^2} \quad \text{“Rakennusvaipan ilmanvuotoluku”}$$

$$x := 35 \quad \text{“Kerroin yksikerroksisille rakennuksille”}$$

$$q_v := \left(\frac{q_{50}}{3600 \cdot x} \right) \cdot A_{vaiippa} = 0.0023 \frac{m^3}{hr} \quad \text{“Vuotoilman määrä”}$$

$$\rho_i := 1.2 \frac{kg}{m^3} \quad \text{“Ilman tiheys”}$$

$$c_{pi} := 1000 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \text{“Ilman ominaislämpökapasiteetti”}$$

$$Q_{vuotoilma} := \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_v \cdot \Delta T = 0.015 \, W$$

$$Q := U \cdot \Delta T \cdot A_{vaiippa} + Q_{kylmäsilat} + Q_{vuotoilma} = 0.56 \, kW \quad \text{“Rakennuksen lämpövirta”}$$

$$E_{pv} := Q \cdot 24 \, hr = 13.39 \, kW \cdot hr \quad \text{“Lämmitys energia päivässä”}$$

$$E_{kk} := E_{pv} \cdot 30 = 401.80 \, kW \cdot hr \quad \text{“Lämmitys energia kuukaudessa”}$$

$$E_{vuosi} := E_{kk} \cdot 12 = 4821.58 \text{ kW} \cdot \text{hr} \quad \text{“Lämmitys energia vuodessa”}$$

“Lämmityskustannukset vuodessa:”

$$H_{vuosi} := 20 \cdot 12 + 0.15 \cdot 5214.5 = 1022.18 \text{ €}$$

“Laskennassa vuoden keskilämpötila ulkona 0°C ja sisälämpötila +20°C”

“Laskennassa sähkön perusmaksu 20€/kk, energia+siirtomaksu 15c/kWh”

“Tulokset ovat suuntaa antavia ja riippuvat rakennuksen käytöstä.”

“2.2 Rakennuksen päivittäisen lämmityskustannuksen tarkastelu 50 mm lisäeristeellä.”

$$d_1 := 220 \text{ mm} \quad \text{“Kattoelementin vahvuus”}$$

$$d_2 := 130 \text{ mm} \quad \text{“Seinäelementin vahvuus”}$$

$$d_3 := 220 \text{ mm} \quad \text{“Lattiaelementin vahvuus”}$$

“CLT levyn tiedot:”

$$\lambda_{CLT} := 0.13 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{“CLT lämmönjohtavuus”}$$

$$d_{CLT} := \frac{A_6}{A_{vaiippa}} \cdot d_1 + \frac{(A_1 + A_2 + A_3 + A_4)}{A_{vaiippa}} \cdot d_2 + \frac{A_5}{A_{vaiippa}} \cdot d_3 = 0.166 \text{ m}$$

“CLT elementin paksuus, keskiarvo”

“Finnfoam FF-PIR eristeen tiedot:”

$$\lambda_{FF.PIR} := 0.022 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{“Levyn paksuus valitaan:”} \quad d_{FF.PIR} := 50 \text{ mm}$$

“Lämmönvastus:”

$$R_{si} := 0.13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad \text{“Sisäpinnan vastus”}$$

$$R_{CLT} := \frac{d_{CLT}}{\lambda_{CLT}} = 1.28 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad \text{“CLT levyn lämmönvastus”}$$

$$R_{FF.PIR} := \frac{d_{FF.PIR}}{\lambda_{FF.PIR}} = 2.273 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{se} := 0.04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad \text{“Ulkopinnan vastus”}$$

$$R_T := R_{si} + R_{CLT} + R_{FF.PIR} + R_{se} = 3.72 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \text{“Kokonaislämmönvastus”}$$

$$U := \frac{1}{R_T} = 0.27 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{“Lämmönläpäisykerroin U–arvo kun FF–PIR 50 mm”}$$

$$U \cdot \Delta T = 5.37 \frac{W}{m^2} \quad \text{“Lämpövuoto”}$$

$$l_{k1} := 3.2 m \cdot 2 + 4.5 m \cdot 2 = 15.4 m \quad \text{“Alapohjan ja seinän liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k2} := l_{k1} = 15.4 m \quad \text{“Yläpohjan ja seinän liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k3} := 3 m \cdot 2 + 2.55 m \cdot 2 = 11.1 m \quad \text{“Seinän nurkkien liitosten kylmäsilta”}$$

$$l_{k4} := 1.5 m \cdot 2 + 1 m \cdot 2 = 5 m \quad \text{“Ikkunan liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k5} := 1.2 m \cdot 2 + 2.3 m \cdot 2 = 7 m \quad \text{“Oven liitoksen kylmäsilta”}$$

$$\psi_{k1} := 0.05 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k2} := 0.05 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k3} := 0.04 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k4} := 0.04 \frac{W}{m \cdot K}$$

“Kylmäsiltojen lämpövirrat:”

$$Q_1 := l_{k1} \cdot \psi_{k1} \cdot \Delta T = 15.4 W \quad Q_2 := l_{k2} \cdot \psi_{k2} \cdot \Delta T = 15.4 W$$

$$Q_3 := l_{k3} \cdot \psi_{k3} \cdot \Delta T = 8.88 W \quad Q_4 := l_{k4} \cdot \psi_{k4} \cdot \Delta T = 4 W$$

$$Q_5 := l_{k5} \cdot \psi_{k4} \cdot \Delta T = 5.6 W \quad Q_{kylmäsilat} := Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 49.28 W$$

“Vuotoilman lämpövirrat:”

$$q_{50} := 4.0 \frac{m^3}{hr \cdot m^2} \quad \text{“Rakennusvaipan ilmanvuotoluku”}$$

$$x := 35 \quad \text{“Kerroin yksikerroksisille rakennuksille”}$$

$$q_v := \left(\frac{q_{50}}{3600 \cdot x} \right) \cdot A_{vaiippa} = 0.0023 \frac{m^3}{hr} \quad \text{“Vuotoilman määrä”}$$

$$\rho_i := 1.2 \frac{kg}{m^3} \quad \text{“Ilman tiheys”}$$

$$c_{pi} := 1000 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \text{“Ilman ominaislämpökapasiteetti”}$$

$$Q_{vuotoilma} := \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_v \cdot \Delta T = 0.015 W$$

$$Q := U \cdot \Delta T \cdot A_{vaiippa} + Q_{kylmäsilat} + Q_{vuotoilma} = 0.43 kW \quad \text{“Rakennuksen lämpövirta”}$$

$$E_{pv} := Q \cdot 24 hr = 10.41 kW \cdot hr \quad \text{“Lämmitys energia päivässä”}$$

$$E_{kk} := E_{pv} \cdot 30 = 312.32 \text{ kW} \cdot \text{hr} \quad \text{“Lämmitys energia kuukaudessa”}$$

$$E_{vuosi} := E_{kk} \cdot 12 = 3747.78 \text{ kW} \cdot \text{hr} \quad \text{“Lämmitys energia vuodessa”}$$

“Lämmityskustannukset vuodessa:”

$$H_{vuosi} := 20 \cdot 12 + 0.15 \cdot 3967.4 = 835.11 \text{ €}$$

“Laskennassa vuoden keskilämpötila ulkona 0°C ja sisälämpötila +20°C”

“Laskennassa sähkön perusmaksu 20€/kk, energia+siirtomaksu 15c/kWh”

“Tulokset ovat suuntaa antavia ja riippuvat rakennuksen käytöstä.”

“2.3 Rakennuksen päivittäisen lämmityskustannuksen tarkastelu 100 mm lisäeristeellä:”

$$d_1 := 220 \text{ mm} \quad \text{“Kattoelementin vahvuus”}$$

$$d_2 := 130 \text{ mm} \quad \text{“Seinäelementin vahvuus”}$$

$$d_3 := 220 \text{ mm} \quad \text{“Lattiaelementin vahvuus”}$$

“CLT levyn tiedot:”

$$\lambda_{CLT} := 0.13 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{“CLT lämmönjohtavuus”}$$

$$d_{CLT} := \frac{A_6}{A_{vaiippa}} \cdot d_1 + \frac{(A_1 + A_2 + A_3 + A_4)}{A_{vaiippa}} \cdot d_2 + \frac{A_5}{A_{vaiippa}} \cdot d_3 = 0.166 \text{ m}$$

“CLT elementin paksuus, keskiarvo”

“Finnfoam FF-PIR eristeen tiedot:”

$$\lambda_{FF.PIR} := 0.022 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{“Levyn paksuus valitaan:”} \quad d_{FF.PIR} := 100 \text{ mm}$$

“Lämmönvastus:”

$$R_{si} := 0.13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad \text{“Sisäpinnan vastus”}$$

$$R_{CLT} := \frac{d_{CLT}}{\lambda_{CLT}} = 1.28 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad \text{“CLT levyn lämmönvastus”}$$

$$R_{FF.PIR} := \frac{d_{FF.PIR}}{\lambda_{FF.PIR}} = 4.545 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{se} := 0.04 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \text{“Ulkopinnan vastus”}$$

$$R_T := R_{si} + R_{CLT} + R_{FF,PIR} + R_{se} = 5.99 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \text{“Kokonaislämmönvastus”}$$

$$U := \frac{1}{R_T} = 0.17 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{“Lämmönläpäisykerroin U–arvo kun FF–PIR 100 mm”}$$

$$U \cdot \Delta T = 3.34 \frac{W}{m^2} \quad \text{“Lämpövuoto”}$$

$$l_{k1} := 3.2 \, m \cdot 2 + 4.5 \, m \cdot 2 = 15.4 \, m \quad \text{“Alapohjan ja seinän liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k2} := l_{k1} = 15.4 \, m \quad \text{“Yläpohjan ja seinän liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k3} := 3 \, m \cdot 2 + 2.55 \, m \cdot 2 = 11.1 \, m \quad \text{“Seinän nurkkien liitosten kylmäsilta”}$$

$$l_{k4} := 1.5 \, m \cdot 2 + 1 \, m \cdot 2 = 5 \, m \quad \text{“Ikkunan liitoksen kylmäsilta”}$$

$$l_{k5} := 1.2 \, m \cdot 2 + 2.3 \, m \cdot 2 = 7 \, m \quad \text{“Oven liitoksen kylmäsilta”}$$

$$\psi_{k1} := 0.05 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k2} := 0.05 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k3} := 0.04 \frac{W}{m \cdot K} \quad \psi_{k4} := 0.04 \frac{W}{m \cdot K}$$

“Kylmäsiltojen lämpövirrat:”

$$Q_1 := l_{k1} \cdot \psi_{k1} \cdot \Delta T = 15.4 \, W \quad Q_2 := l_{k2} \cdot \psi_{k2} \cdot \Delta T = 15.4 \, W$$

$$Q_3 := l_{k3} \cdot \psi_{k3} \cdot \Delta T = 8.88 \, W \quad Q_4 := l_{k4} \cdot \psi_{k4} \cdot \Delta T = 4 \, W$$

$$Q_5 := l_{k5} \cdot \psi_{k4} \cdot \Delta T = 5.6 \, W \quad Q_{kylmäsiltilat} := Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 49.28 \, W$$

“Vuotoilman lämpövirrat:”

$$q_{50} := 4.0 \frac{m^3}{hr \cdot m^2} \quad \text{“Rakennusvaipan ilmanvuotoluku”}$$

$$x := 35 \quad \text{“Kerroin yksikerroksisille rakennuksille”}$$

$$q_v := \left(\frac{q_{50}}{3600 \cdot x} \right) \cdot A_{vaiippa} = 0.0023 \frac{m^3}{hr} \quad \text{“Vuotoilman määrä”}$$

$$\rho_i := 1.2 \frac{kg}{m^3} \quad \text{“Ilman tiheys”}$$

$$c_{pi} := 1000 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \text{“Ilman ominaislämpökapasiteetti”}$$

$$Q_{vuotoilma} := \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_v \cdot \Delta T = 0.015 \, W$$

$$Q := U \cdot \Delta T \cdot A_{vaiippa} + Q_{kylmäsiltilat} + Q_{vuotoilma} = 0.29 \, kW \quad \text{“Rakennuksen lämpövirta”}$$

$$E_{pv} := Q \cdot 24 \text{ hr} = 6.91 \text{ kW} \cdot \text{hr} \quad \text{“Lämmitys energia päivässä”}$$

$$E_{kk} := E_{pv} \cdot 30 = 207.36 \text{ kW} \cdot \text{hr} \quad \text{“Lämmitys energia kuukaudessa”}$$

$$E_{vuosi} := E_{kk} \cdot 12 = 2488.27 \text{ kW} \cdot \text{hr} \quad \text{“Lämmitys energia vuodessa”}$$

“Lämmityskustannukset vuodessa:”

$$H_{vuosi} := 20 \cdot 12 + 0.15 \cdot 2570.9 = 625.64 \text{ €}$$

“Laskennassa vuoden keskilämpötila ulkona 0°C ja sisälämpötila +20°C”

“Laskennassa sähkön perusmaksu 20€/kk, energia+siirtomaksu 15c/kWh”

“Tulokset ovat suuntaa antavia ja riippuvat rakennuksen käytöstä.”