



Artturi Laukkanen

Calculatis-ohjelman vertailu ja käyttöttestaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

30.4.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Artturi Laukkanen
Otsikko:	Calculatis-ohjelman vertailu ja käyttöttestaus
Sivumäärä:	43 sivua + 39 liitettä
Aika:	30.4.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine:	Rakennussuunnittelu
Ohjaajat:	Suunnitteluinsinööri Lukas Kotrbaty Lehtori Jenni Pellinen

Tämä opinnäytetyö tehtiin rakennesuunnitteluun erikoistuneelle yritykselle Sweco Oy:lle. Tarkoituksena oli tarkistaa Calculatis-ohjelman sopivuutta rakenteiden mitoitukseen. Sopivuutta tarkistettiin Calculatiksien laskelmien vertailemisella Swecon laskentapohjiin, jotka perustuvat EN1995-1-1(+EN1995-1-2) ja RIL-205-1-2017(+RIL-205-2-2019) ohjeisiin.

Tutkimuksessa rajattiin tarkasteltavat rakenteet ja mitoitusapaukset yrityksen käytössä olevien laskentapohjien puitteisiin, erityisesti painottaen asuinkerrostalo- ja toimistokohdetyyppisten välipohjien ja liitosten mitoitusapauksiin.

Lopputuloksena saatiin selville, että Calculatis tarjoaa tehokkaan laskentaympäristön ainakin välipohjan mitoitukselle. Lisäksi Calculatis voisi tuoda hyvän avun laskemiseen, jos käytetään jotain muuta laskentatapaa sen kanssa. Näin saataisiin nopeutettua laskelmien tekoa ja varmistettaisiin oikeiden tulosten saanti.

Tämä insinöörityö tarjoaa arvokasta tietoa Sweco Oy:lle niin nykyisten laskentatyökalujen käytöstä kuin tulevaisuuden suunnittelusta. Sen avulla voidaan parantaa yrityksen suorituskykyä ja valmistautua tuleviin haasteisiin rakennus- ja suunnittelualalla.

Avainsanat: Calculatis, CLT, LVL, välipohja, mitoitus, rakennelaskelmat.

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author:	Artturi Laukkanen
Title:	Comparison and Usability Testing of Calculatis Program
Number of Pages:	43 pages + 39 appendices
Date:	30 April 2024
Degree:	Bachelor of Engineering
Degree Programme:	Civil Engineering
Professional Major:	Structural Engineering
Supervisors:	Lukas Kotrbaty, Design engineer Jenni Pellinen, Senior lecturer

This graduate study was conducted for Sweco Oy, a company specializing in structural engineering. The aim was to assess the suitability of the Calculatis program for structural dimensioning. Suitability was assessed by comparing Calculatis calculations to Sweco's calculation templates, which are based on the EN1995-1-1 (+EN1995-1-2) and RIL-205-1-2017 (+RIL-205-2-2019) guidelines.

The study focused on specific structural elements and dimensioning cases within the framework of the company's existing calculation templates, with particular emphasis on residential and office building intermediate floor and connection dimensioning cases.

This engineering thesis provided valuable insights for Sweco Oy regarding both the current use of calculation tools and future planning. It can enhance the company's performance and prepare it for upcoming challenges in the construction and design industry.

Keywords:	Calculatis, CLT, LVL, floor slab, dimensioning, structural calculation.
-----------	---

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Insinööripuutuotteet	2
2.1	CLT	2
2.1.1	Valmistus	3
2.1.2	Käyttökohteet	4
2.2	LVL	4
2.2.1	Valmistus	4
2.2.2	Viilupuun käyttö	5
3	Puuruuvit	6
3.1	Ruuvityypit	6
4	Puuvälipohjien tyypit	7
5	Puuvälipohjan suunnittelu	8
5.1	Välipohjan kuormat	8
5.1.1	Hyötykuorma	9
5.2	Murtorajatila	10
5.3	Käyttörajatila	12
5.4	Värähtelymitoitus	14
5.5	Taipuma	16
6	Vertailulaskelmat	18
6.1	Calculatis ohjelmana	18
6.2	Lähtötiedot	18
6.3	CLT-välipohja	20
6.3.1	Calculatiksien menetelmät CLT-mitoituksessa	21
6.3.2	Vertailulaskelmien tulokset ja pohdintaa	22
6.4	Ripalaatta	23
6.4.1	Calculatiksien menetelmät ripalaatassa	25
6.4.2	Vertailulaskelmien tulokset ja pohdintaa	25
6.5	Välipohjamitoituksen käyttäjäystävällisyys Calculatiksella	26

6.6	Liitokset	27
6.6.1	Poikittain kuormittuvat ruuvit	27
6.6.2	Poikittain kuormittuvat vinoruuvit	29
6.6.3	Pitkittäin kuormitetut vinoruuvit	33
6.7	Calculatiksien käyttäjäystävällisyys liitoksissa	34
7	Yhteenveto	35
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Calculatiksien tulokset	
	Liite 1. CLT- välipohja	
	Liite 2. Ripa-välipohja	
	Liite 3. Poikittainkuormitetut ruuvit	
	Liite 4. Poikittain kuormitetut vinoruuvit	
	Liite 5. Pitkittäin kuormitetut vinoruuvit	

Lyhenteet

CLT Cross Laminated Timber, Ristiin liimattu sahatavara

ETA Eurooppalainen tekninen hyväksyntä

KRT Käyttörajatila

LVL Viilupuu

MRT Murtorajatila

1 Johdanto

1.1 Taustatiedot

Puurakenteiden järjestelmät ovat viime aikoina kokeneet merkittävää kehitystä. Se on ala, jossa tapahtuu jatkuvasti kehitystä, muutosta ja innovaatioita. Rakenteiden turvallisessa suunnittelussa on tärkeää käyttää luotettavia laskentamenetelmiä sekä laskentapohjia.

Rakennesuunnittelijoiden työtä on helpottanut merkittävästi erilaisten laskentatyökalujen ja -pohjien kehitys eri materiaaleille, liitoksille ja rakenneosille. Näillä työkaluilla voidaan arvioida suunniteltavan rakenteen kestävyys, kun niihin syötetään tarvittavat tiedot. Koska erilaisia rakenteita on paljon ja uusia kehitetään jatkuvasti, on aina tarvetta tarkastella omia laskentamenetelmiä ja miettiä, pystyisikö niitä kehittämään tai vaihtamaan parempaan.

1.2 Aihe

Tässä opinnäytetyössä aiheena on tuottaa vertailulaskelmat yrityksen omien laskentapohjien ja Calculatis-ohjelman välillä. Tarkoituksena on selvittää, miten Calculatiksien laskentatyökalut suoriutuvat rakenteiden mitoituksessa. Vertailulaskelmien tapaukset rajoitetaan asuinkerrostalo- ja toimistorakennusten tyyppilisten puuväli-pohjien ja liitosten kaltaisiin tilanteisiin.

1.3 Menetelmät

Vertailulaskelmat suoritetaan Excel- ja Matchcad-pohjien sekä Calculatis-ohjelman avulla. Aloitusta tapahtuu tutkimalla, mitkä ovat puulattioiden suunnittelun standardit ja periaatteet. Vertailulaskelmien kuormat, jännevälit ja suunnittelutiedot otetaan todellisesta projektista, joka sijaitsee Suomessa. Referensseinä käytetään Swecon laskentapohjia, jotka ovat EN1995-1-1 (+EN1995-1-2) ja RIL-205-1-2017 (+RIL-205-2-2019) mukaisesti toteutettu. Näitä vertaillaan

Calculatiksens tuloksiin. Calculatiksens toiminnassa keskitytään tulosten oikeellisuuteen, parametrien muuttamisen helppouteen ja käyttäjäystävällisyyteen.

2 Insinööripuutuotteet

Insinööripuutuotteet tarkoittavat liimaamalla valmistettavia rakennuskomponentteja. Liimaus ja myös eri puutuotteiden yhdistäminen, mahdollistaa tuotteiden ominaisuuksien ja ulottuvuuksien muokkaamisen. Insinööripuutuotteet kehitettiin pääosin Pohjois-Amerikassa. Alun perin insinööri tuotteet suunniteltiin korvaamaan järeää sahatavaraa, mutta niiden ominaisuudet ovat mahdollistaneet myös täysin uudenlaisia käyttökohteita. [1.]

2.1 CLT

CLT (Cross-Laminated Timber) on moderni ja kestävä rakennusmateriaali, joka on saavuttanut merkittävää suosiota rakennusteollisuudessa viime vuosina. Se koostuu ristiin liimatuista lautakerroksista, yleensä kolmesta tai viidestä kerroksesta kuten kuvassa 1, mutta niitä voi olla myös enemmän. Tämä rakenne antaa CLT:lle erinomaisen lujuuden, jäykkyyden ja palokestävyyden samalla kun se pysyy suhteellisen kevyenä rakennusmateriaalina. Nämä ominaisuudet mahdollistavat suurten ja monimutkaisten rakenteiden rakentamisen. [2.]



Kuva 1. Monikerroslevy (CLT). [2.]

2.1.1 Valmistus

CLT-levyn raaka-aineena käytetään yleisesti kuusta tai mäntyä. Näkyvissä pinnoissa voidaan tarpeen mukaan käyttää myös muita puulajeja asiakkaan toiveiden mukaan. Laudat, joita käytetään levyn valmistukseen, lujuuslajitellaan ja sormijatketaan. [2.]

CLT-levyjen valmistukseen on useita tekniikoita. Yksi yleinen menetelmä on vaakuiliimata laudat yhteen hyödyntäen tyhjiötä. Uudempi tekniikka on puristaa levyt yhteen käyttäen prässejä. Liimaustapoja on kaksi. Syrjäliimatussa levyssä laudat liimataan ensin yhteen levyksi, minkä jälkeen ne ladotaan päällekkäin ristiin. Toinen tapa on asettaa laudat ristikkäin ja liimata vain lappeet. CLT toimii

molemmilla liimaustavoilla yleensä höyrynsulkurakenteena, mutta tämä on kuitenkin varmistettava CLT-toimittajalta sekä on hyvä pyytää tiiveysraportti tuotteelle. Kosteuden vaihtelut voivat aiheuttaa halkeilua saumojen kohdalla syrjäliimattomissa levyissä, kun taas syrjäliimatuissa halkeilu voi esiintyä lautojen keskellä. [2.]

Levyt tehdään mittatilaustyönä ja dimensiot ja valmistustekniikka vaihtelevat valmistajakohtaisesti. Levyjen paksuudet ovat 60–400 mm, Leveys voi olla 2.95–4.8 m ja pituus enintään 12–20 m valmistajasta riippuen. Liimauksen jälkeen levyt muokataan haluttuun kokoon ja muotoon CNC-jyrsimen avulla. Samalla tehdään valmiiksi tarvittavat lävistyksset, kuten ikkuna- ja oviaukot sekä asennuspaikat talotekniikalle, kiinnityksille ja nostoille. Mittatarkkuus on +/- 1 mm. [2.]

2.1.2 Käyttökohteet

CLT on rakennusmateriaalina todella monipuolinen. Sitä voidaan käyttää ulkoseinän, väliseinän, katon ja välipohjan runko rakennusmateriaalina. Se on myös helppo yhdistää eri rakennusmateriaaleihin. CLT-elementtejä käytetään kerros-, rivi ja pientalojen sekä loma asuntojen rakentamiseen. Sopii myös hyvin liiketilojen, teollisuus hallien ja julkisten tilojen rakentamiseen. [3, s. 105.]

2.2 LVL

Viilupuu, tunnetaan myös nimellä LVL (Laminated Veneer Lumber) on olennainen osa insinööripuutuotteita.

2.2.1 Valmistus

LVL valmistetaan sorvatuista havupuuviiluista liimaamalla yhteen kolmen millimetrin paksuja viiluja säänkestävällä fenoliformadehydiliimalla jatkuvaksi paliksi. Viilut valmistetaan yleensä kuusesta. Aluksi viilupuu tehdään päättymättömäksi levyksi, joka on 1800 mm leveä ja 27–75 mm paksu, jonka jälkeen levy

sahataan haluttuihin mittoihin. Jatkoliitokset viiluihin tehdään limittämällä ja viis-
tämällä niin että, lujuus pysyy ennallaan. Viilurakenteita tehdään kahdenlaisia.
Toisessa tapauksessa kaikki viilut ovat samaan suuntaan, kun taas toisessa
osa viiluista on liimattu pääsuuntaan nähden poikittaisiksi. [3, s. 109.]

2.2.2 Viilupuun käyttö

Kun viilupuuta käytetään palkkina, niin se on syrjällään, laminoituna palkkina tai
lankkuna lappeellaan ja sauvana pystyssä. Viilupuu elementin korkeus on enin-
tään 600 mm ja paksuus 27–75. Yli 63 mm paksut elementit valmistetaan lii-
maamalla jo valmiita elementtejä toisiinsa kiinni. Tyypillinen jännevälialue on 5–
12 metriä ja yleensä niissä viilut menevät jännevälin suuntaan. Viilupuuta pysty-
tään käyttämään myös yhdistetyissä rakenteissa esim. puubetonilaatassa, jossa
betoni ottaa vastaan puristuksen ja LVL-palkki toimii sen uumana. Tällä yhdis-
tyksellä pystytään toteuttamaan näyttäviä kattokannattajia. Monipuolisuus tekee
viilupuusta suositun valinnan monenlaisessa rakentamisessa. On kuitenkin tär-
keää varmistaa, että LVL täyttää standardin SFS EN 14374 asettamat vaati-
mukset. Tämä standardi tarjoaa ohjeita ja määräyksiä LVL:n käytölle ja ominai-
suuksille, jotta se voi toimia turvallisesti rakennuksissa. [4; 3, s. 109.]



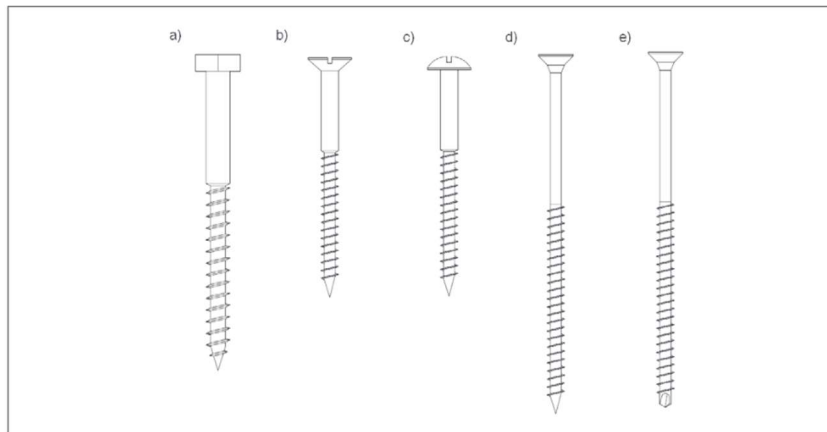
Kuva 2. Viilupuu (LVL) [4.]

3 Puuruuvit

Puuruuveja on paljon erilaisia ja on tärkeää valita oikeanlainen ruuvi erilaisiin liitoksiin. Liitoksissa ruuveilla tulee olla standardin EN 14592 vaatimusten mukaiset ominaisuudet. Näitä ominaisuuksia ovat muun muassa vääntökestävyys ja myötömomentti tai vetomurtolujuus, ulosvetolujuus, kannan läpivetolujuus ja vetomurtokestävyys riippuen ruuvien käyttötarkoituksesta. [5, s.127.]

3.1 Ruuvityypit

Tyypillisiä ruuvityyppejä, joita käytetään puurakentamisessa, on esitelty kuvassa 3. Puuruuvien kannat vaihtelevat myös tarkoituksen mukaan. Jokaisella kannalla on omat edut, kuten parempi uppoavaisuus, ulkonäkö tai se estää puun halkeamisen. Kantoja on litteitä, sylinterimäisiä ja kuperia.



Kuva 3. Ruuvityypit missä a, b ja c ovat kansiruuveja. Ruuvityyppi d ns. yleisruuvi ja e on itseporautuva ruuvi [5, s.128.]

4 Puuvälipohjien tyypit

Puuvälipohja voidaan toteuttaa monilla erilaisilla rakenteilla ja materiaalivaihtoehtoilla. Pelkällä CLT-laataalla saadaan jäykkä ja kestävä rakennelma. CLT-laatan etuihin kuuluvat nopea ja helppo asennus. CLT+liimapuupalkit ovat yhdistelmä CLT:stä ja liimapuupalkeista, jotka toimivat yhdessä kantavina rakenteina. Tällä saavutetaan erinomainen kantavuus ja sen takia sitä käytetäänkin usein kohteissa, jossa tarvitaan isoja avoimia tiloja sekä suurta kantavuutta.

Niin sanottu hybridi rakenne on CLT-levyn ja betonilaatan yhdistelmä. Betonilaatta toimii yleensä päällysteenä, joka tarjoaa lisää kantavuutta ja jäykkyyttä rakenteelle. Tällä saadaan kasvatettua lisää jänneväliä välipohjaan. Myös todella yleinen välipohja on rankarakenteinen palkkivälipohja joko kotelo- tai ripalaatana. Tällä rakenne ratkaisulla saavutetaan todella hyvä energiatehokkuus. [6.]

5 Puuvälipohjan suunnittelu

Välipohjan suunnittelu on yksi keskeisistä osista rakennuksen rakennesuunnittelua, ja sen asianmukainen toteutus on tärkeää rakennuksen turvallisuuden ja toimivuuden kannalta. Välipohja suunnittelussa on otettava huomioon useita tekijöitä, jotka vaikuttavat rakenteen kestävyys, toimivuuteen ja käyttöikä.

Puurakenteet suunnitellaan siten että, standardin EN 1990:2002 ja sitä koskevan kansallisen liitteen perusvaatimukset täyttyvät. Perusvaatimukset täyttyvät käytettäessä rajatilamitoitusta ja osavarmuuslukumenetelmää Eurokoodi 0:n ja sen kansallisen liitteen mukaan. Kuormitukset ja niiden yhdistelmät määritellään Eurokoodi 1:n ja sen kansallisen liitteen mukaan. Käyttökelpoisuuksien, kestävyys ja säilyvyyden osalta noudatetaan Eurokoodi 5:tä ja sen kansallista liitettä. [7, s. 8; 8, s 23.]

Erilaisissa rajatila mitoitusmalleissa otetaan seuraavat asiat huomioon

- eri materiaaliominaisuudet (jäykkyys ja lujuus)
- materiaalien ajasta riippuva toiminta (viruminen ja kuorman vaikutusaika)
- eri ilmasto-olosuhteet (kosteuden vaihtelu ja lämpötila)
- erilaiset mitoitusolot (rakentamisvaiheet ja tukiehtojen muutos).

5.1 Välipohjan kuormat

Välipohjan kuormitukset voivat olla pysyviä, keskipitkiä ja hetkellisiä (kuva 4). Pysyvien kuormien vaikutusaika on yli 10 vuotta ja siihen kuuluvat välipohjan omapaino, kiinnitetyt koneet, laitteet ja kevyet väliseinät. Pysyvät kuormat saadaan laskettua rakenteen tiheyden ja tilavuuden mukaan. Keskipitkä kuorma välipohjassa on lattian hyötykuorma, jonka vaikutusaika on viikosta kuuteen kuukauteen. Välipohjaan vaikuttava hetkellinen kuorma taas aiheutuu tuulesta ja onnettomuuskuormasta. [7, s. 15.]

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

Kuva 4. Kuormien aikaluokat ja kuormien jaottelu aikaluokkiin. [7, s. 15.]

5.1.1 Hyötykuorma

Hyötykuorma on rakenteiden käytöstä aiheutuva kuorma, joka oletetaan liikkuvaksi kuormaksi. Hyötykuormat voivat olla vaakasuuntaisia viivakuormia, piste-kuormia tai tasan jakautuneita kuormia. kuvassa 5 esitettynä tavallisimmat hyötykuorman ominaisarvot. [7, s. 11.]

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

Kuva 5. tavallisimpien hyötykuormien ominaisarvot. [7, s. 11.]

5.2 Murtorajatila

Murtorajatiloiksi luokitellaan tilanteet, joissa rakenteen, tasapainon menetys, murtuminen tai väsyminen aiheuttama vaurioituminen vaikuttaa heikentävästi ihmisten ja omaisuuden turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen. Murtorajatilassa tehtävät mitoituskuormat ovat leikkaus, taivutus, tasoleikkaus ja palo.

Murtorajatilassa kuormitusyhdistelmät ovat erilaiset, kun haetaan rakenteen kestävyden, rakenteen staattisen tasapainon tai onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelmää. Rakenteen kestävyttä tarkasteltaessa mitoituskuorma lasketaan seuraavilla kuormitusyhdistelmillä. [5, s. 27.]

Muuttuvien kuormien aikaluokat:

$$1.15K_{FI}G_{kj} + 1.5K_{FI}Q_{k,1} + 1.5K_{FI} \sum_{i>1} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (1)$$

Pysyvä aikaluokka:

$$1.35K_{FI}G_{kj} \quad (2)$$

missä

G_{kj}	pysyvien kuormien ominaisarvo
K_{FI}	seuraamusluokasta määräytyvä kuormakerroin
$Q_{k,1}$	määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo
$Q_{k,i}$	muun muuttuvan kuorman ominaisarvo
$\Psi_{0,i}$	muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

Esimerkki tapaus, jossa lumi- ja hyötykuorma rasittaman CC2-seuraamusluokan rakenteen keskipitkän aikaluokan mitoituskuorma saadaan yhtälöstä:

$$1.15G_{kj} + 1.5Q_{k,1} + 1.05Q_{k,2} \quad (3)$$

$$\text{missä } Q_{k,1} = \max \{Q_{lumi,k}; Q_{hyöty,k}\}$$

Rakenne pitää myös tarkistaa pysyvän aikaluokan mitoituskuomalle:

$$1.35G_{kj} \tag{4}$$

Pysyvien kuormien ominaisarvo G_{kj} kerrotaan kertoimen $1.15K_{FI}$ sijaan luvulla 0.9, jos pysyvien kuormien yhteisvaikutus lisää rakenteen kestävyyttä. K_{FI} kertoimet ja seuraamusluokat katsotaan taulukosta 1

Taulukko 1. Seuraamusluokkien määrittely ja kuormakertoimien K_{FI} arvot. [5. s 28..]

Luokka	K_{FI}	Kuvaus	Rakennuksia ja rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	1,1	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.	Rakennuksen kantava runko ¹⁾ jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä, kuten <ul style="list-style-type: none"> – yli 8-kerroksiset²⁾ asuin-, konttori- ja liikerrakennukset – konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot – raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset. Erikoisrakenteet, kuten esim. korkeat tornit.
CC2	1,0	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai merkittävien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristön vahinkojen takia.	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.
CC1	0,9	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristön vahinkojen takia.	1- ja 2-kerroksiset rakennukset ²⁾ , joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä ³⁾ , kuten esim. pienehköt varastot ja maatalouden tuotantorakennukset, joiden pinta-ala on enintään 300 m ² tai suurin jänneväli on enintään 6 m. Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa, kuten <ul style="list-style-type: none"> – matalalla olevat terassit ja alapohjat, ilman kellaritiloja – ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne – sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana.

5.3 Käyttörajatila

Käyttörajatila on tilanne, jossa rakenteelle tai sen osille asetetut raja-arvot ylittyvät, mikä johtaa siihen, että niille asetetut käyttökelpoisuusvaatimukset eivät enää täyty. Esimerkkinä rakenteen liiallinen taipuma tai värähtely. Palautumaton

ja palautuva käyttörajatila pitää erottaa toisistaan. Eurokoodin SFS-EN 1990 mukaan käyttörajatilat liittyvät rakenteen toimivuuteen, käyttäjän mukavuuteen ja ulkonäköön. [9, s. 54.]

Käyttörajatilat jaetaan kolmeen kuormitusyhdistelmään, joilla on omat kriteerit niiden käyttökelpoisuuden arvioimiseksi. Yhdistelmät ovat ominais-, tavalliset ja pitkäaikaisyhdistelmät.

Ominaisyhdistelmä palautumattomille:

$$G_{kj} + Q_{k,1} + \sum \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (5)$$

Tavallinen yhdistelmä palautuville:

$$G_{kj} + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6)$$

Pitkäaikaisyhdistelmä pitkäaikaisvaikutuksille:

$$G_{kj} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (7)$$

missä

G_{kj} pysyvien kuormien ominaisarvo

$Q_{k,1}$ määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo

$Q_{k,i}$ muun muuttuvan kuorman ominaisarvo

$\Psi_{0,i}$ muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

$\Psi_{2,i}$ on muuttuvien kuormien pitkäaikaisarvon yhdistelykerotoimia

5.4 Värähtelymitoitus

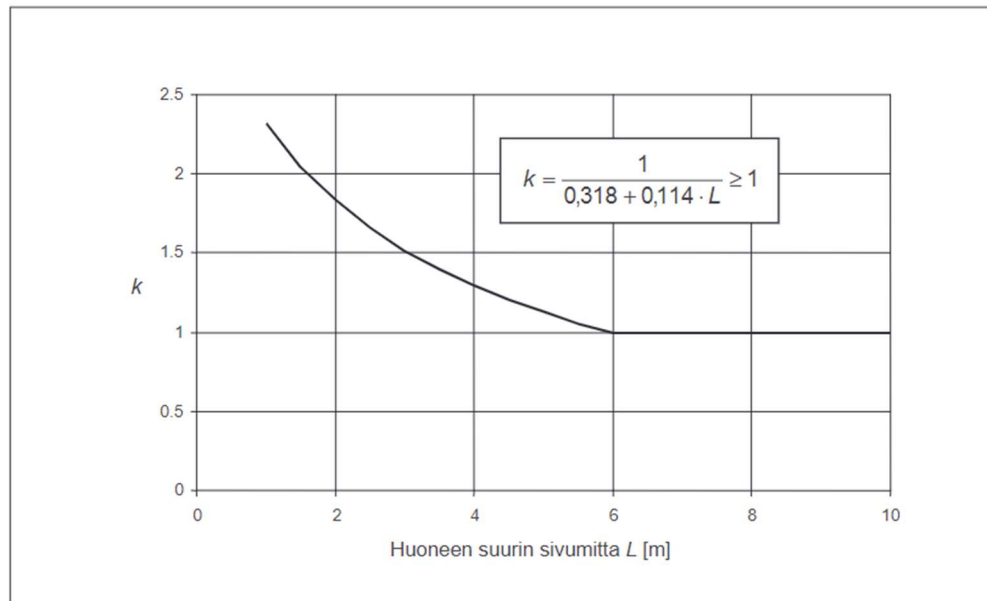
Värähtelyn tutkimuksessa pyritään varmistamaan, että erilaisten rakenteiden, kuten sauvojen tai rakennusosien, kuormitukset eivät aiheuta haitallisia värähtelyjä, jotka voivat vaikuttaa negatiivisesti rakenteen toimintaan tai käyttäjien mukavuuteen. Värähtelyä voidaan arvioida laskemalla tai mittaamalla, joka tapahtuu ottamalla huomioon rakenteen jäykkyys ja sen värähtelymuotoa vastaava vaimennussuhde. Välipohjissa käytetään arvoa $\xi=0.01$ eli 1 % vaimennussuhteena, ellei jotain muuta arvoa osoiteta paremmaksi [5, s. 99.]

Asunnoissa ja toimistohuoneistoissa, jotka ovat pysyvässä asuinkäytössä ominaistajuuksien tulisi olla yli 9 Hz. Erikoistarkastelu on tarpeen, jos ominaistajuuksien alittaa kuitenkin alle 9 Hz ($f_1 < 9$ Hz). Erikoistarkastelu tehdään, tarkastamalla toteutuuko seuraava ehto [5, s. 99]:

$$\delta \leq 0.5 \text{ mm} \quad (8)$$

missä

δ on 1 kN staattisen pistevoiman aiheuttama suurin hetkellinen painuma lattiapalkin kohdalla. Pienissä jänneväleissä sallittua 0.5 mm:n taipumaa saa korottaa kertoimella k , joka näkyy kuvassa 6.



Kuva 6. Huoneen pituudesta johtuva taipumarajoituksen korotuskerroin k .

Seuraavalla kaavalla voidaan laskea yhteen suuntaan kantavan lattiarakenteen ominaistaajuuden alin arvo:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \ell^2} \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m}} \quad (9)$$

Kahteen suuntaan kantavan lattian alin ominaistaajuus lasketaan kaavasta:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \ell^2} \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m}} \sqrt{1 + \left[2 \left(\frac{\ell}{b} \right)^2 + \left(\frac{\ell}{b} \right)^4 \right] \frac{(EI)_b}{(EI)_\ell}} \quad (10)$$

missä

ℓ on lattiarakenteen jänneväli (m)

b on lattiarakenteen leveys (m)

$(EI)_\ell$ on lattian jänneväliä kantavaan suuntaan vastaava taivutusjäykkyys leveys yksikköä kohti (Nm²/m)

$(EI)_b$ on lattian leveys poikkisuuntaa vastaava taivutusjäykkyys leveys yksikköä kohti (Nm^2/m)

m on lattian painon pinta-ala yksikköä kohden ja hyötykuormasta osuuden 30 kg/m^2 yhteen laskettu massa. (kg/m^2)

Värähtelymitoituksessa kahteen suuntaan kantavan laatan eli neljältä sivulta tuetun lattian poikittaissuunnan tueksi voidaan olettaa kiinteä väliseinä tai päätyseinä, joka on kiinnitetty ilman joustovaroja. [5, s.101.]

Lattian painuma palkin kohdalla yhteen suuntaan kantavassa lattiarakenteessa, joka aiheutuu pistekuormasta ($F=1\text{kN}$) voidaan laskea kaavalla.

$$\delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F\ell^2}{42 k_{\delta} (EI)_{\ell}} \\ \frac{F\ell^3}{48 s (EI)_{\ell}} \end{array} \right. \quad (11)$$

missä

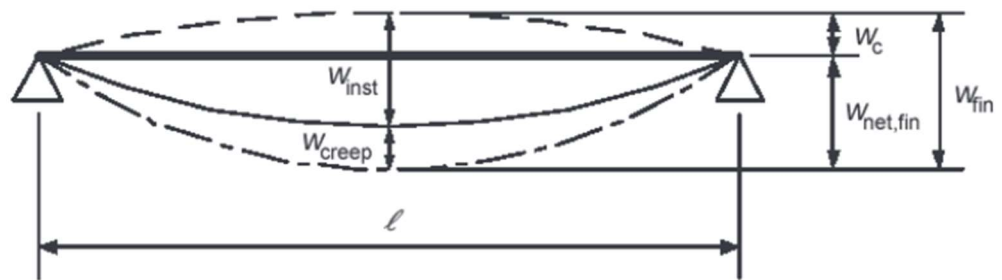
s lattiapalkkien välinen etäisyys (m)

$$k_{\delta} = \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_{\ell}}} \text{ rajoituksena } k_s \leq \frac{b}{\ell} \quad (12)$$

Kaavaa (8) voi käyttää myös kahteen suuntaan kantavalla lattialla mutta silloin ei tarvitse kerrointa k_s rajoittaa tekijällä $\leq b / \ell$.

5.5 Taipuma

Taipuma mitoituksessa otetaan huomioon kuvan 7 mukaiset osat, joita ovat viirumasta johtuva taipuma, hetkellinen taipuma ja lopputaipuma. Taulukko 2 kertoo rakennuksien taipumien ja vaakasiirtymien enimmäisarvot [5, s. 98.]



Kuva 7. Taipuman muodostuminen

Lopputaipuma lasketaan kaavasta:

$$W_{net,fin} = W_{inst} + W_{creep} - W_c = W_{fin} - W_c \quad (13)$$

missä

W_c on esikorotus, jos sitä käytetään

W_{inst} hetkellinen taipuma

W_{creep} virumasta johtuva lisätaipuma

W_{fin} kokonaistaipuma

Taulukko 2. Taipumien ja vaakasiirtymien enimmäisarvot

Rakenne	$W_{inst}^{1)}$	$W_{net,fin}^{2)}$	$W_{fin}^{3)}$
Pääkannattimet	$L/400$	$L/300$	$L/200$
Orret ja muut toisiokannattimet	-	$L/200^{5)}$	$L/150$
Rakennuksen vaakasiirtymä ⁴⁾	-	$H/300$	-

6 Vertailulaskelmat

Vertailulaskelmat toteutetaan Calculatis-ohjelmalla ja Swecon nykyisessä käytössä olevilla mathcad pohjilla. Laskennat tehdään CLT-välipohjalaatasta, ripalaatasta ja välipohjaliitoksista

6.1 Calculatis ohjelmana

Calculatis on Stora Enson kehittämä työkalu insinööreille, ja tarjoaa tehokkaan ja täysin verkkopohjaisen ratkaisun puutuotesuunnitteluun. Se mahdollistaa rakenteellisten elementtien analysoinnin massiivipuutuotteista mukaan lukien Stora Enson kehittämän SylvaTM -valikoiman. Ohjelma on suunniteltu erityisesti palvelemaan puurakentamisen suunnittelijoita. Työkalu sisältää suunnittelumoduulit lattia, pilari, palkki, katto, tuki ja liitos rakenteille, jotka on valmistettu CLT:stä, LVL:stä, liimapuusta tai massiivipuusta. Lisäksi se pystyy suorittamaan palosuunnittelun ja U-arvon laskelmat. Calculatis toteuttaa laskelmat eurokoodien tai Sveitsin rakennusmääräysten mukaisesti valinnan mukaan. Se yksinkertaistaa rakenteellista analyysia, tukien kaikkia puurakentamishankeen vaiheita tehokkaalla työkululla ja tarkoilla tuloksilla. Se on saatavilla ilmaiseksi verkkoselaimen kautta ja toimii kaikilla laitteilla ilman erillistä asennusta. Calculatis on saatavilla kuudella kielellä ja sillä on yli 19 000 käyttäjää maailmanlaajuisesti. Ohjelma käyttää automaattisesti materiaalien ETA:n mukaisia arvoja. [10]

6.2 Lähtötiedot

Vertailulaskelmien suunnitteluperusteet tulevat todellisesta kohteesta, joka on Suomessa.

Suunnitteluperusteet

- luotettavuusluokka (SFS-EN 1990+NA) – RC2
- suunnittelukäyttöikä – 50 vuotta
- palonkestovaatimus – R60
- rakennusosien sallitut taipumat – RIL-205-1-2017 mukaan

Välipohjien tyypit

- CLT
- LVL

Pystykuormat

- $g_k = 1.7 \text{ kN/m}^2$ + CLT / LVL omapaino
- $q_k = 2.5 \text{ kN/m}^2$ (toimisto) + 1.3 kN/m^2 (kevyet väliseinät ja LVI)

Liitokset

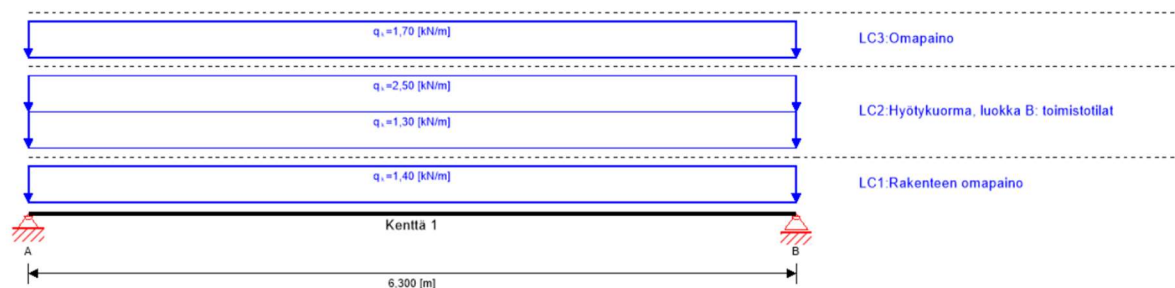
- poikittain kuormittuvat ruuvit (C24 puu keskiosana)
- poikittain kuormittuvat vinoruuvit
- pitkittäin kuormittuvat vinoruuvit

Vaakasuora leikkausvoima elementtien välillä (tuulen vaikutuksesta): F_d 20 kN

Tutkitaan 3 eri ruuvinvalmistajaa: Rothoblaas, Wurth, Spax


6.3 CLT-välipohja

CLT välipohjan mitoitus Calculatiksessa on todella helppoa ja nopeaa, koska parametrien syöttäminen on selkeää ja yksinkertaista. Aloitus tapahtuu kuormien ja jännevälin mitan syöttämisellä. Tässä vertailulaskun esimerkissä kuormana on toimiston hyötykuorma 2.5 kN/m^2 sekä väliseinistä ja LVI järjestelmästä tuleva lisä hyötykuorma 1.3 kN/m^2 . Oman painon Calculatis laskee automaattisesti, mutta lisäsimme pysyviin kuormiin vielä 1.7 kN/m^2 . Jänneväli on 6.3 m . Kuvassa 8 Calculatiksien näkymä kuormien ja jännevälin osalta.



Kuva 8. Kuormat ja jännevälin pituus

Tämän jälkeen valitaan CLT-levylle sopiva koko siten, että Calculatiksien ilmoittava käyttöaste ei ylitä 100 %. Sopiva CLT-levy tähän esimerkkilaskuun on 280 L7s – 2. Ohjelma kertoo heti valitsemisen jälkeen kestääkö kyseinen tuote. Lisäksi on tarpeen muokata suunnittelutietoja, joihin kuuluvat kuvan 9 mukaan muun muassa käyttöluokka, joka on tässä esimerkissä 1, koska välipohja on sisätiloissa ja pysyy kuivana. Paloluokka on R60. Lisäksi valitaan suoritettavaksi värähtelymitoitus, koska se on yksi välipohja mitoituksen keskeisistä osista yhdessä taipuman kanssa. Taipuman raja-arvoja voidaan myös tarvittaessa muokata.

Suunnittelutiedot 

Järjestelmän tiedot			
Huoltoluokka	Käyttöluokka 1	Kannatuksen suunnittelu	<input type="checkbox"/>
Luotettavuusluokka	RC2		
Palomitoituksen tiedot			
Paloluokka	R 60	Palonsuojaverhous	Ei palosuojasta
		Palonsuojakerrokset	Ei lisäpalonsuojausta
Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - muodonmuutoksen tiedot			
SLS -tyyppinen rakenne	Tärkeät ja säännölliset rakenneosat	SLS raja-arvo W_{inst}	L / 400
Harkitse nousevaa taipumaa ulokepalkille	<input type="checkbox"/>	SLS raja-arvo $W_{net,fin}$	L / 300
***deflection factor for cantilever beam	2 [-]	SLS raja-arvo W_{fin}	L / 300
***Service limit state design (SLS) - Vibration data			
Suorita värähtelyanalyysi	<input checked="" type="checkbox"/>	Mitoitus 2. luokkaa varten	<input type="checkbox"/>
Kokonaisleveys	5,000 [m]	Vaimennuskerroin	1,0 %
Jäykkyys poikkisuunnassa	CLT-Levy	Tasoitteen paksuus	0,0 [cm]
Jäykkyys poikkisuunnassa	0,000 [MN/m ²]	Kimmokerroin tasoite	0,0 [N/mm ²]

Kuva 9. Muokattavat suunnittelutiedot

Tehtiin myös toinen esimerkki CLT-laatasta, saadaksemme tarkempaa tietoa tulosten luotettavuudesta. Tähän esimerkkiin vaihdettiin CLT 320 L8s-2 -laatta, joka on paksumpi kuin edellisessä esimerkissä. Kuormat kuitenkin säilyivät samoina.

6.3.1 Calculatiksien menetelmät CLT-mitoituksessa

Kun kuormat ja suunnittelutiedot on syötetty järjestelmään, tuloksia on helppo ja selkeä seurata. käyttäjä voi valita haluaako hän saada yleiskatsauksen tuloksista vai yksityiskohtaisemmat tiedot. Tulossivulla esitellään määräävät kuormitustapaukset ja niiden vaikutukset rakenteiden käyttöasteisiin. Murtorajatilamitoituksessa tarkastellaan rakenteen taipumaa, leikkausta, tasoleikkausta ja palomitoitusta. Näin käyttäjä saa kokonaiskuvan siitä, miten rakenteet kestävät erilaisia kuormia ja miten ne suoriutuvat eri rajatilanteissa

Käyttöraja-tilassa tarkastellaan rakenteen taipumaa ja värähtelymitoitusten tuloksia. Tämä on erityisen tärkeää arvioitaessa rakenteen käyttökelpoisuutta ja mukavuutta käyttäjille. Yksityiskohtaiset tulokset -sivulla puolestaan esitellään

kaikki kuormitusryhmät kattavasti. Näin suunnittelija saa tarkan käsityksen rakenteen suorituskyvystä eri kuormitustilanteissa ja voi tunnistaa mahdolliset kriittiset kohdat, jotka vaativat erityistä huomioita tai muutoksia suunnittelussa.

6.3.2 Vertailulaskelmien tulokset ja pohdintaa

Kun lähdettiin vertaamaan Calculatis-ohjelman ja yrityksen Mathcad-pohjien tuloksia rakenteiden suorituskyvyn arvioinnissa, havaittiin, että tulokset olivat pääosin samankaltaisia, mutta pieniä eroja esiintyi. Näitä eroja on tärkeä tunnistaa ja arvioida suunnitteluprosessin aikana varmistaakseen lopputuloksen luotettavuus ja sopivuus projektin tarpeisiin. Taulukossa 3 näkyy eri mitoitusasteet.

Koska Calculatis on Stora Enson kehittämä ohjelma, sen käyttämät materiaalin ominaisarvot perustuvat heidän valmistamiinsa tuotteisiin. On tärkeää huomioida, että nämä arvot saattavat hieman poiketa muiden valmistajien tuotteista, mikä selittää laskelmissa käyttöasteissa tulevan pienen eron.

CLT-laatan tulosten analysoimisessa huomasimme, että Calculatiksien tulokset eroavat hieman Mathcadin tuloksiin. Leikkaus, taivutus, palo, ja värähtely mitoituksessa molemmissa esimerkeissä oli eroa muutama prosentti samaan suuntaan. Ensimmäisessä esimerkissä Calculatiksessa oli isompi taipuma, kun taas toisessa esimerkissä Calculatiksien taipuma oli pienempi. Nämä edellä mainitut erot johtuvat ohjelmien käyttämisestä taivutusjäyhyyden arvosta. Esimerkkinä on tapaus 1, johon Mathcad antaa taivutusjäyhyydeksi 143410.211 cm^4 , kun taas Calculatiksien arvo on 1690666 cm^4 .

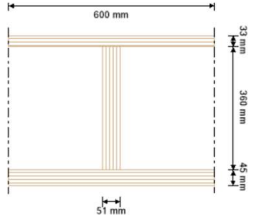
Taulukko 3. CLT 280 L7s-2 ja CLT 320 L8s-2 vertailulaskelmien tulokset.

Mitoitukset	Sweco Mathcad (referenssi)		Calculatis	
Tapaus	CLT 280	CLT320	CLT 280	CLT 320
Leikkaus	17.3 %	15 %	21 %	18 %
Taivutus	24.7 %	20 %	23 %	18 %
Palo	12.9 %	10 %	10 %	8 %
Taipuma	58.4 %	42 %	61 %	39 %
Värähtely	102 %	88 %	94 %	81 %

6.4 Ripalaatta

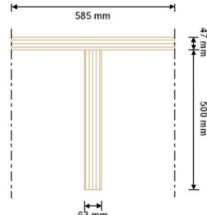
Ripalaatan mitoitus Calculatiksessa on CLT-mitoituksen tapaan todella vaivatonta ja nopeaa. Parametrien syöttäminen on selkeää ja tapahtuu muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta samalla tavalla kuin CLT-laatan mitoitus. Tässä ripalaatan mitoituksessa esimerkkilaskelmaan muokattiin kuormat samoiksi kuin edellisessä esimerkissä. Tuotteeksi valikoitui pienin ripalaatta, joka kestää

kaikki tulevat pystykuormat. kuvassa 10 esitetty tuote, jossa näkyy laatan dimensiot. Esimerkki tehtiin kotelolaattana, jotta pystytään tehdä myös palomitoitus.

Tuote			
***Product data			
	Järjestely	Molemmat puolet	Ruoteen mitoitus keskeltä keskelle 600 [mm]
	Yläpaneelin materiaali	LVL X lape	Yläpaneelin paksuus 33 [mm]
	Alapaneelin materiaali	LVL X lape	Alapaneelin paksuus 45 [mm]
	Ruoteen materiaali	LVL S syrjä	Ruoteen leveys 51 [mm]
	W _{eff} ⓘ	ETA	Ruoteen korkeus 360 [mm]
			Laipan leveys -

Kuva 10. Ripalaatan mitat

Tehtiin myös ripalaatta ilman alapuolista levyä tavoitteena saada tietää, heittävätkö tulokset saman verran ja samaan suuntaan. Tässä esimerkissä kuormat pysyvät myös samoina. Kestääkseen kuormitukset ilman alapuolista levyä, on tarpeen lisätä ylälevyn paksuutta ja kasvattaa LVL-palkkien kokoa. Kuvassa 11 muutetun ripalaatan mitat, joka kestää kaikki kuormat.

Poikkileikkaus LVL rib panel by Stora Enso : 1/50				
	Kerros	Paksuus	Leveys	Tyyppi
	1	47,0 mm	585,0 mm	L
	2	500,0 mm	63,0 mm	L

Kuva 11. Ripalaatan mitat ja malli.

6.4.1 Calculatiksens menetelmät ripalaatassa

Ripalaatan menetelmät ovat täysin samat kuin edellisessä CLT-mitoituksessa eli se antaa tulokset samanlaisessa muodossa sekä murto- että käyttörajatilaissa. Lisäksi käyttäjä saa itse valita tulosten laajuuden.

6.4.2 Vertailulaskelmien tulokset ja pohdintaa

Kuten taulukon 4 tuloksista huomataan yrityksen pohjien ja Calculatiksens mitoituksessa on pieniä eroja. Erot pysyivät kuitenkin tässäkin kohtuullisina. Yksi isompi ero tuli kotelolaatan leikkauksen käyttöasteessa, joka oli Calculatiksessa 82 % ja Excel-pohjissa 73 %. Myös värähtelymitoituksessa oli hieman suurempaa eroa tuloksissa, sillä Calculatiksella käyttöaste oli 67 % ja 66 % kun taas Excel-laskuissa 61 % ja 60 %. Huomion arvoista on kuitenkin se, että molemmissa eroa on 6 % ja ero on samaan suuntaan. Tulosten pienet erot johtuvat leikkaus- sekä taivutusjännitysten arvoista.

Taulukko 4. Ripalaattojen tulokset.

Mitoitukset	Sweco Excel (referenssi)		Calculatis	
	Kotelo	Avoim	Kotelo	Avoim
Leikkaus	73 %	23 %	82 %	22 %
Taivutus	11 %	20	11 %	19
Taipuma	33 %	27 %	34 %	29
Värähtely	61 %	60 %	67 %	66 %

6.5 Välipohjamitoituksen käyttäjäystävällisyys Calculatiksella

Välipohjan mitoitukset hoituvat todella helposti Calculatiksella. CLT- ja ripalaatan mitoitukset ovat melko samanlaisia. Pieniä eroja on tietysti materiaalin valitsemisessa, mutta muuten kaikki parametrien ja suunnittelutietojen alustat ovat samoja. Tulos-sivut molemmilla alustoilla kertovat leikkauksen, momentit, ja taipumat kaikissa kuormienyhdistelyissä. Rakennuksien rasitusten arvot se laskee myös täysin oikein.

Miinuksia Calculatiksien käytöstä löytyy myös. Kaikkia suunnittelutietoja ei pysty itse muuttamaan. Esimerkkinä välipohjan mitoituksessa ei pysty itse muuttamaan k_{mod} arvoa. Testattiin, muuttaako ohjelma automaattisesti arvon oikeaksi kuorman aikaluokan mukaan. Huomattiin, että muilla aikaluokilla paitsi hetkellisellä tuli oikea arvo. Hetkellisen aikaluokan oikea arvo on 1.1 ja Calculatiksessa tuli arvoksi 0.9. Toinen, mitä ei pystynyt muuttamaan oli γ_M arvo. Tämän arvon se kuitenkin osasi muuttaa oikeaksi niissä esimerkeissä, jotka testattiin. Tästä pääteltiin, että lähtötiedot kannattaa katsoa tarkkaan eikä vain olettaa ohjelman osaavan määrittää arvot oikein.

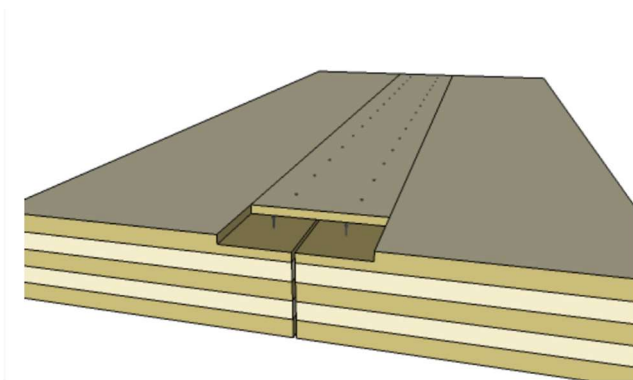
6.6 Liitokset

Liitosvertailuissa tehtiin kolmesta erilaisesta liitostyypistä laskelmat, jonka jälkeen vertailtiin Calculatiksien tuloksia Mathcad-pohjien tuloksiin. Vertailua tehtiin jokaisesta liitostyypistä myös kolmen eri ruuvivalmistajan tuotteilla. Valmistajat, joita tarkasteltiin, olivat Wurth, Rothoblaas ja Spax

Liitos laskelmissa vertailemamme pohjat laskevat mitoitukset hieman eri tavalla. Calculatiksien laskelmissa ohjelma antaa usein liitoksen käyttöasteeksi 100 %, eli laskee täysin oikean määrän ruuveja liitokseen. Matchadiin sen sijaan pitää itse syöttää ruuvien määrä, jonka jälkeen pohja laskee kyseisille ruuveille liitoksen kestävyys. Tämän takia vertailimme laskelmia siten, että kirjattiin syöttötiedot ensin Calculatikselle. Näin saatiin tarvittava kappalemäärä liitokselle, joka kestää tuulenaiheuttaman 20 kN leikkausvoiman. Tämän jälkeen lisättiin saatu kappalemäärä Mathcad-pohjille.

6.6.1 Poikittain kuormittuvat ruuvit

Ensimmäisessä liitoksen vertailulaskelmassa tarkasteltiin kuvan 12 mukaista tiilannetta, jossa sauman suuntaisesti vaikuttaa 20 kN leikkausvoima tuulen vaikutuksesta.



Kuva 12. Poikittain kuormittuvat ruuvit liitoksessa, jossa C24 puu välissä.

Aloitettiin vertailulaskelmat Wurthin ruuveista Assy 4 CMPS, joka on puuraken-teisiin yleinen uppokanta ruuvi. Kestääkseen 20 kN voiman tarvittiin Calculatik-sen mukaan liitokseen ruuveja 6.72 kappaletta metrille, kun taas Mathcad laski kyseisellä ruuvilla liitoksen leikkauskestävyydeksi 19.7 kN. Tulos on todella lä-hellä Calculatiksien arvoa, mutta pieni ero johtuu ohjelmien käyttämistä ruuvien leikkauskestävyyden arvoista. Calculatis antoi yhdelle ruuville arvoksi 2975.9 N, kun taas Mathcad antoi 2930 N.

Seuraavaksi tehtiin samat laskelmat käyttäen Rothoblaasin HBS-ruuvia. Tällä ruuvilla laskelmissa tuli hieman enemmän eroa Calculatiksien ja Mathcadin vä-lillä. Calculatiksella 100 % käyttöasteeseen eli 20 kN päästiin 5.94 kappaleella metrille, kun taas Mathcad antoi tällä määrällä kestävyudeksi vain 15.6 kN. Tämä ero johtuu Calculatiksien antamasta suuremmasta kestävyydestä Rot-hoblaasin ruuville. Spax ruuvien tarkastelussa kappalemääräksi saatiin 6.66 kap-paletta metrille. Tämän ruuvien laskelmien erot pysyivät kohtuullisina, sillä Mathcad antoi liitoksen leikkauskestävyyden arvoksi 19.3 kN. Kaikissa mitoituk-sissa käytimme 8 mm paksuja ja 120 mm pitkiä ruuveja. Taulukossa 5 tarkem-min vertailulaskelmien tulokset eri laskentaohjelmilla sekä ruuveilla.

Taulukko 5. Vertailulaskelmat poikittain kuormitetuille ruuveille.

Ruuvin leikkauskestävyyden käyttöasteet					
Ohjelma	Calculatis		Mathcad (referenssi)		Calculatiks antama Kpl määrä/m
	KA	$F_{v,Rd}$	KA	$F_{v,Rd}$	
Wurth	100 %	20 kN	101.5 %	19.7 kN	6.72
Rothblaas	100 %	20 kN	128 %	15.6 kN	5.94
Spax	100 %	20 kN	103.4 %	19.3 kN	6.66

missä

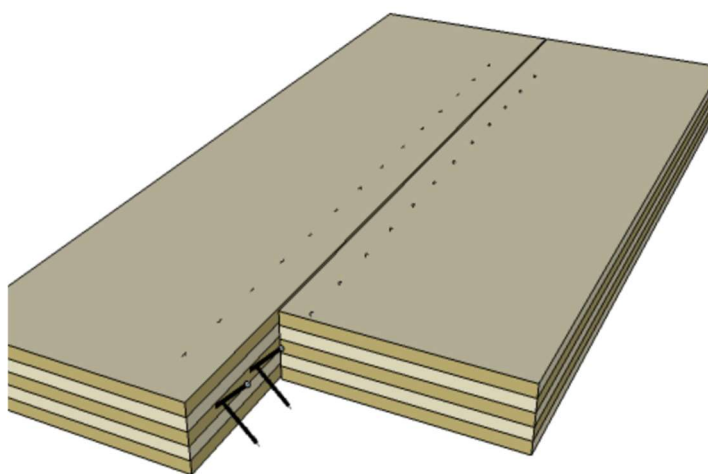
KA Leikkauskestävyyden käyttöaste

 $F_{v,Rd}$ Liitoksen leikkauskestävyys

6.6.2 Poikittain kuormittuvat vinoruuvit

Toisessa liitostapauksessa tehtiin vertailulaskelmat poikittain kuormitetuilla vinoruuveilla kuvan 13 mukaan. Tuulen aiheuttama 20 kN leikkausvoima

vaikuttaa samalla tavalla liitoksessa kuin edellisessä tapauksessa. Ensimmäisenä lähdettiin tekemään vertailulaskelmia Wurthin Assy plus VG 4 CH ruuvilla, joka on täysikierteinen ja lieriökantainen. Ruuvi on 300 mm pitkä ja 8 mm paksu. Tällä ruuvilla vertailusta saatiin todella lähellä toisiaan olevat arvot. Tulokseksi saatiin, että Calculaticella 20 kN voiman kestämiseksi tarvittaisiin 4.35 kappaletta metrille. Mathcadilla laskemalla liitoksen kestoa 4.35 kappaleella, tuli tulokseksi 20.1 kN



Kuva 13. Poikittain kuormitetut vinoruuvit

Rothoblaassilla ja Spaxilla tehty vertailut osoittautuivat hieman hankalammaksi, koska nyt Calculatis ei laskenutkaan liitosta 100 % prosentille. Saatiin kuitenkin vertailtua edellä mainitut ruuvit sekä ohjelmat laskemalla seuraavalla tavalla. Rothoblaasin mitoituksessa Calculatis antoi kappale määräksi 3.06 ruuvia metrille. Kuitenkin, koska nämä olivat vinoruuvit ristissä Calculatis laski käyttöasteen kahdella ruuviparilla eli neljällä ruuvilla, joten käyttöasteeksi tuli 76 %. Vertailtiin tuloksia niin, että laitettiin Mathcadiin ruuvien määräksi edellä mainittu 3.06 kpl/m, jolloin saatiin liitoksen kestävyudeksi 16.04 kN. Calculatis taas antoi yhdelle ruuville kestävyudeksi 6533 N ja kun kertoo sen kappalemäärällä, tulee 20 kN. Kuvat 14 ja 15 Calculatiksien tuloksista selkeyttävät lisää. Rothoblaasin ruuvien malli oli VGZ. Tämän pituus on 280 mm ja paksuus 9 mm.

Spax ruuvien mitoituksessa oli samoja hankaluuksia kuin Rothoblaassin ruuvissa. Toteutimme Spax-ruuvien vertailun samalla tavalla kuin edellinen esimerkki. Calculatiksien tuloksista saimme selville, että ruuveja tarvitaan 3.26 kappaletta kestämään tuulen aiheuttama leikkausvoima. Tällä kappalemäärällä saimme Mathcadin tuloksista liitoksen leikkauskestävyydeksi 14.1 kN. Ruuvina esimerkissä on sylinterikantainen Spax Wirox. Paksuus on 8 mm ja pituus 300 mm. Taulukossa 6 tarkemmat tiedot vielä eri ohjelmien sekä ruuvien valmistajien vertailulaskelmista.

Analyysi	Nykyinen	Raja	Yksikkö	Hyödyntäminen
Paksuus 1	162	68	mm	42 %
Paksuus 2	138	68	mm	49 %
Fv	4597,793	4597,793	N	100 %
Lukumäärä	4,35	44,194	Määrä / m	10 %

Kuva 14. Esimerkki Calculatiksien Wurth-ruuvien tuloksista, missä se laskee käyttöasteen 100 %

Analyysi	Nykyinen	Raja	Yksikkö	Hyödyntäminen
Paksuus 1	145	40	mm	28 %
Paksuus 2	140	40	mm	29 %
Fv	5000	6533,751	N	77 %
Lukumäärä	3,061	31,427	Määrä / m	10 %

Kuva 15. Esimerkki Calculatiksien Rothoblaas-ruuvien tuloksista, kun se ei laske käyttöastetta 100 %

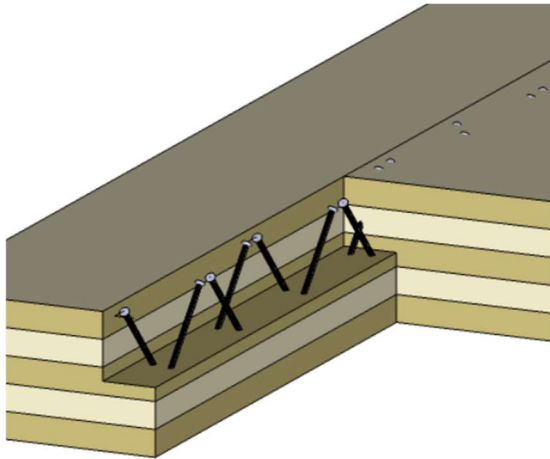
Taulukko 6. Poikittain kuormittuvat vinoruuvit

Ruuvin leikkauskestävyyden käyttöasteet					
Ohjelma	Calculatis		Mathcad (referenssi)		Calculatiks antama Kpl määrä/m
	KA	$F_{V,Rd}$	KA	$F_{V,Rd}$	
Wurth	100 %	20 kN	99.5 %	20.1 kN	4.35
Rothblaas	100 %	20 kN	125 %	16.04 kN	3.06
Spax	100 %	20 kN	141 %	14.1 kN	3.26

Analysoimalla tuloksia huomasimme, että ohjelma laskee leikkaukset samalla tavalla mutta erot syntyvät ruuvien leikkauskestävyyksistä. Calculatiksella on ruuveille omat arvot ja Mathcadilla omat. Ainostaan Wurthin ruuveissa päästiin tuloksissa todella lähelle. Calculatiksella arvot tulevat valmistajien ETA:stä, joten arvot pitäisi olla oikein. Tietysti syynä voi myös olla, että täysin samoja ruuveja ei pystynyt valitsemaan. Tämä selittäisi leikkauskestävyyksien erot.

6.6.3 Pitkittäin kuormitetut vinoruuvit

Viimeinen liitostarkastelu tehtiin pitkittäin kuormitetuille vinoruuveille, joka on kuvan 16 mukainen liitos. Tämän liitoksen vertaileminen oli kaikista laskelmista vaikein ja epäselvin. Calculatiksien antamat tulokset olivat epäselvät ja vaikuttivat vääriltä. Poikittain kuormitettujen ruuvien tapaan ruuvien käyttöasteeksi ei tullut 100 prosenttia, mutta tässä liitoksessa tuloksia ei pystynyt verrata toisiin tuloksiin, joka oli edellisessä liitoksessa kuitenkin mahdollista. Tämä osoittaa sen, että tulokset ovat epäluotettavia. Vertailtiin tuloksia kuitenkin samaan tapaan kuin muissakin liitosten vertailuissa. Eli laskettiin liitoksen lujuus Calculatiksien antamalla kappalemäärällä, jonka jälkeen verrattiin sitä Mathcadin tuloksiin. Vertailujen tulokset ovat taulukossa 7.



Kuva 16. Pitkittäin kuormittuvat vinoruuvit

Taulukko 7. Pitkittäin kuormitetut vinoruuvit

Ruvvin leikkauskestävyyden käyttöasteet					
Ohjelma	Calculatis		Mathcad (referenssi)		Calculatiks antama Kpl määrä/m
	KA	$F_{ax,Rd}$	KA	$F_{ax,Rd}$	
Wurth	100 %	20 kN	89 %	22.5 kN	2.45
Rothblaas	100 %	20 kN	88 %	22.8 kN	2.14
Spax	100 %	20 kN	97 %	20.7 kN	2.45

missä

$F_{ax,Rd}$ Liitoksen vetokestävyys

6.7 Calculatiksien käyttäjäystävällisyys liitoksissa

Liitosten mitoittaminen ei ollut ensimmäistä liitostyyppiä lukuun ottamatta yhtä selkeää kuin välipohjien mitoitus. Calculatiksessa liitoksen mitoittaminen on nopeaa, mutta tulokset eivät ole kovin yksinkertaisia. Iso miinus ohjelman mitoittamisessa on se, että ei pysty itse asettamaan ruuvien määrä vaan Calculatis laskee sen automaattisesti. Tämä voi olla hieman hankala asia jossain työtehtävissä. Poikittain sekä pitkittäin kuormitetuissa vinoruuveissa ohjelma ei enää

laskenut käyttöastetta 100 prosentille. Sen sijaan pienen tutkimisen jälkeen huomasimme, että ruuvien kappalemäärä oli edelleen ilmoitettu 100 prosentille. Kuitenkin liitoksessa oli käytetty enemmän ruuveja mitä ilmoitettiin, kuten kuvasta 13 pystyy huomaamaan. Tämä oli yksi syy, miksi tulokset liitoksissa olivat todella epäselviä ja vaati aikaa selvittää mistä mikäkin tulee. Lisäksi pitkittäin kuormitettujen tulokset vaikuttivat vääriä. Ilmeisesti tämä liitosten mitoitus Calculatiksessa on vasta tullut ohjelmaan, joten siinä on kyllä vielä paljon kehittämisen varaa.

7 Yhteenveto

Tässä projektissa pohdin Calculatiksien sopivuutta rakenteiden mitoitukseen. Tehtiin ohjelmalla laskelmat, joita sitten vertailtiin Swecolta saamiin referensseihin. Referensseinä toimivat Matchad ja Excel pohjat, jotka ovat EN1995-1-1(+EN1995-1-2) ja RIL-205-1-2017(+RIL-205-2-2019) mukaiset. Vertailulaskelmat kohdistuivat CLT- ja ripavälipohjalaattaan, liitoksiin ja liitoksen ruuveihin. Calculatis on Stora Enson kehittämä työkalu, joka on suunniteltu erityisesti palvelemaan puurakentamisen suunnittelijoita. Vertaillessamme Calculatis-ohjelman ja Mathcad-pohjien tuloksia huomasimme, että ne olivat pääosin samankaltaisia, vaikka pieniä eroja esiintyikin.

Välipohjien mitoitus Calculatis-ohjelmalla osoittautui todella käyttäjäystävälliseksi. Ohjelmassa on selkeät parametrien sekä suunnittelutietojen syöttömahdollisuudet, jonka ansiosta välipohjan mitoitus onnistuu erityisen nopeasti. Myös tulosten erot pysyivät välipohja mitoituksissa kohtuullisina. Ohjelman käytössä ilmeni myös muutamia negatiivisia ominaisuuksia. Puutteellista ohjelmassa aiheuttaa ainakin sen muutamien syöttötiedon arvot, joita ei itse pysty muuttamaan. Huomasimme, että ainakin k_{mod} arvo oli yhdessä tilanteessa väärin. Huono asia ohjelmassa on myös se, että yhtälöt eivät ole näkyvillä. Käyttäjän on tämän takia vaikea verrata laskelmien yksityiskohtia ja varmistaa tuloksien oikeellisuuden.

Liitoksen mitoituksessa Calculatiksella on vielä paljon kehitettävää. Ainoastaan poikittain kuormitetut ruuvit, johon puu tulee keskiosaan, oli suhteellisen yksinkertainen ja selkeä. Iso miinus kaikissa liitoksissa oli se, että kappalemäärää ei itse voinut valita vaan Calculatis itse ilmoitti sen. Poikittain kuormitetuilla vinoruuveilla tulokset olivat hieman epäselvät, mutta kuitenkin oikein laskettu. Kolmannessa liitosmitoituksessa Calculatis laski liitokset väärin ja tulokset olivat todella epäselviä. Ohjelmissa ruuvien kestävyysdet poikkesivat hieman toisistaan, mikä selittää leikkauskestävyyksien pienen eron.

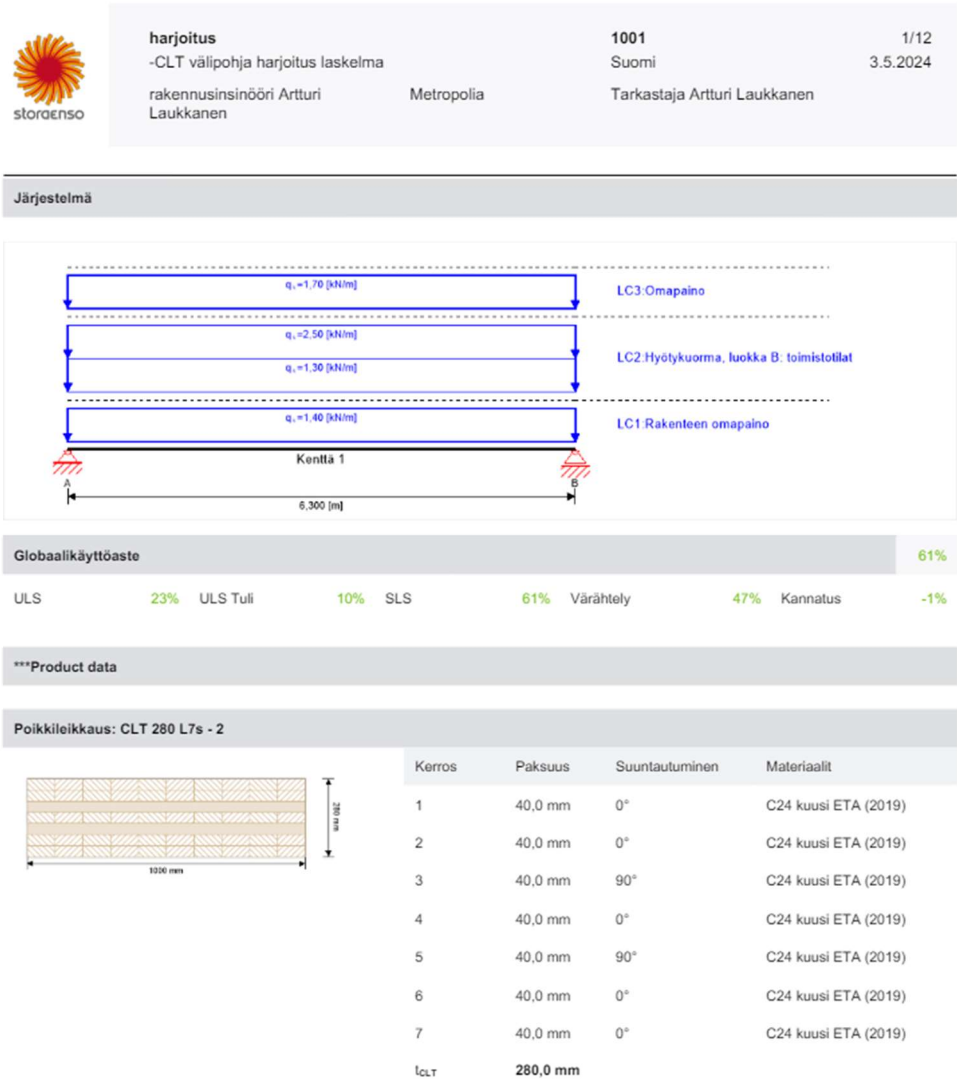
Lopputulos on että, Calculatis tarjoaa tehokkaan laskentaympäristön ainakin välipohjan mitoitukselle. Tuloksissa esiintyvät pienet eroavaisuudet ovat tärkeää ottaa huomioon suunnittelussa varmistaakseen lopputuloksen luotettavuuden. Calculatis voisi tuoda hyvän avun laskemiseen, jos käytetään jotain muuta laskentatapaa sen kanssa. Näin saataisiin nopeutettua laskelmien tekoa ja varmistettaisiin oikeiden tulosten saanti.

Lähteet

1. Puuteollisuus. Verkkoaineisto. <https://puutuoteteollisuus.fi/faktoja-ja-ohjeita/puutuoteteollisuuden-alatoimialat>
2. Monikerroslevy CLT. Verkkoaineisto. Puuinfo. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinööri tuotteet/monikerroslevy-clt/>
3. . Puurakentaminen 2016
4. Viilupuu LVL. Verkkoaineisto. Puuinfo. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinööri tuotteet/viilupuu-lvl/>
5. RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje. Eurokoodi EN 1995-1-1. 2017. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
6. Yleisimmät rakennejärjestelmät. Verkkoaineisto. Puuinfo. <https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/yleisimmat-rakennejarjestelmat/>
7. Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje 5. painos 2020. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/eurokoodi-5-lyhennetty-suunnitteluohje/>
8. SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 2014. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
9. SFS-EN 1990 + A1 + AC. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. 2006. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
10. Stora Enso. Calculatis. <https://calculatis.storaenso.com/>

Liitteinä Calculatiksens tulokset

1. CLT-välipohja





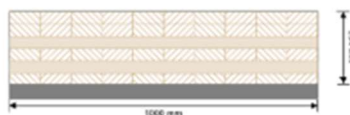
harjoitus
-CLT välipohja harjoitus laskelma
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

2/12
3.5.2024

Poikkileikkaus Tuli: CLT 280 L7s - 2



Kerros	Paksuus	Suuntautuminen	Materiaalit
1	40,0 mm	0°	C24 kuusi ETA (2019)
2	40,0 mm	0°	C24 kuusi ETA (2019)
3	40,0 mm	90°	C24 kuusi ETA (2019)
4	40,0 mm	0°	C24 kuusi ETA (2019)
5	40,0 mm	90°	C24 kuusi ETA (2019)
6	34,0 mm	0°	C24 kuusi ETA (2019)

t_{CLT} **234,0 mm**

Paloluokka: R 60

Aika **60 min**

Palonsuojakerrokset:
Ei lisäpalonsuojausta

k ₀	d ₀	d _{char,0,h}	d _{ef,h}	d _{char,0,v}	d _{ef,v}
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	7	39,0	46,0	0,0	0,0

Materiaaliarvot

Materiaalit	f _{m,k}	f _{t,0,k}	f _{t,90,k}	f _{c,0,k}	f _{c,90,k}	f _{v,k}	f _{yk,min}	E _{0,mean}	G _{mean}	G _{r,mean}
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
C24 kuusi ETA (2019)	24,00	14,00	0,12	21,00	2,50	4,00	1,25	12 000,00	690,00	50,00

Kuorma

Kuormitusryhmät

Kuormaryhmä	Tyyppi	Kesto-aika	K _{mod}	γ _{inf}	γ _{sup}	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
LC1 Rakenteen omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1
LC2 Hyötykuorma, luokka B: toimistotilat	Q	Keskipitkä	0,8	0	1,5	0,7	0,5	0,3
LC3 Omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1

LC1:Rakenteen omapaino



harjoitus
-CLT välipohja harjoitus laskelma
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

3/12
3.5.2024

Jatkuva kuormitus	
Kenttä	Kuormitus aluksi
	[kN/m]
1	1,40

LC2:Hyötykuorma, luokka B: toimistotilat

Jatkuva kuormitus	
Kenttä	Kuormitus aluksi
	[kN/m]
1	1,30
1	2,50

LC3:Omapaino

Jatkuva kuormitus	
Kenttä	Kuormitus aluksi
	[kN/m]
1	1,70

ULS Yhdistelmät

Yhdistämissääntö	
LCO1	$1,35/1,00 \cdot LC1 + 1,35/1,00 \cdot LC3$
LCO2	$1,15/1,00 \cdot LC1 + 1,15/1,00 \cdot LC3 + 1,50/0,00 \cdot LC2$

ULS Yhdistelmät Tuli

Yhdistämissääntö	
LCO3	$1,00/1,00 \cdot LC1 + 1,00/1,00 \cdot LC3$
LCO4	$1,00/1,00 \cdot LC1 + 1,00/1,00 \cdot LC3 + 1,00/0,00 \cdot 0,30 \cdot LC2$



harjoitus
-CLT välipohja harjoitus laskelma
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

4/12
3.5.2024

SLS Ominainen Yhdistelmä

Yhdistämissääntö

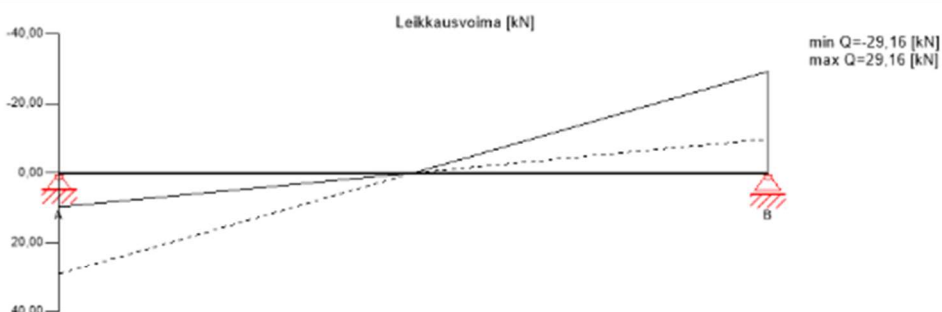
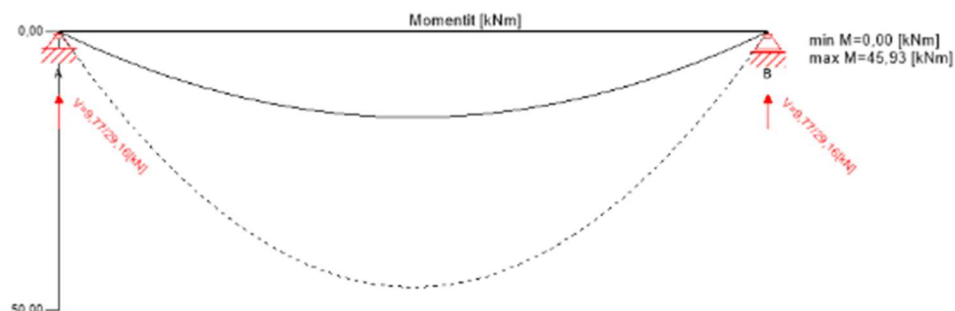
LCO5	$1,00/1,00 * LC1 + 1,00/1,00 * LC3$
LCO6	$1,00/1,00 * LC1 + 1,00/1,00 * LC3 + 1,00/0,00 * LC2$

SLS Lähes pysyvä Yhdistelmä

Yhdistämissääntö

LCO7	$1,00/1,00 * LC1 + 1,00/1,00 * LC3$
LCO8	$1,00/1,00 * LC1 + 1,00/1,00 * LC3 + 1,00/0,00 * 0,30 * LC2$

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset





harjoitus
-CLT välipohja harjoitus laskelma
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

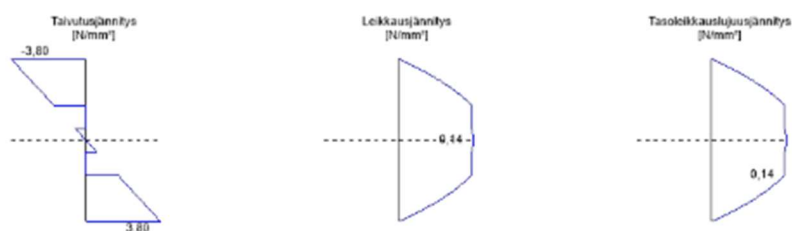
5/12
3.5.2024

ULS Taivutuksen mitoitus										
Kenttä	Etäisy	$f_{m,k}$	γ_m	k_{mod}	$k_{adj,y}$	$f_{m,y,d}$	$M_{y,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kNm]	[N/mm ²]		
1	3,15	24,00	1,25	0,80	1,10	16,90	45,93	-3,80	23 %	LCO2

ULS Leikkausanalyysi										
Kenttä	Etäisy	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Suhde		
	[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]			
1	6,3	4,00	1,25	0,80	2,56	-29,16	0,14	6 %	LCO2	

ULS Tasoleikkauslujuus										
Kenttä	Etäisy	$f_{t,k}$	γ_m	k_{mod}	$f_{t,d}$	V_d	$\tau_{t,d}$	Suhde		
	[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]			
1	6,3	1,05	1,25	0,80	0,67	-29,16	0,14	21 %	LCO2	

Jännityskaavio										
----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--





harjoitus
-CLT välipohja harjoitus laskelma
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

6/12
3.5.2024

Taivutusjännitysanalyysit

$M_{y,d} =$	45,93	kNm	$f_{m,k} =$	24,00	N/mm ²
$M_{x,d} =$	0,00	kNm	$f_{m,k,x} =$	24,00	N/mm ²
$N_{t,d} =$	0,00	kN	$\gamma_m =$	1,25	-
			$k_{mod} =$	0,80	-
			$k_{sys,y} =$	1,10	-
			$k_{0,m,y} =$	1,00	-
			$k_{0,m,x} =$	1,00	-
			$k_i =$	1,00	-
$\sigma_{t,d} =$	0,00	N/mm ²	$f_{t,d} =$	8,96	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	-3,80	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	16,90	N/mm ²
$\sigma_{m,x,d} =$	0,00	N/mm ²	$f_{m,x,d} =$	0,00	N/mm ² ✓

Käyttöaste

23 %

Leikkausjännitysanalyysi

$V_d =$	-29,16	kN	$f_{v,k} =$	4,00	N/mm ²
			$\gamma_m =$	1,25	-
			$k_{mod} =$	0,80	-
			$k_{0,v} =$	0,00	-
$\tau_{v,d} =$	0,14	N/mm ²	$f_{v,d} =$	2,56	N/mm ² ✓

Käyttöaste

6 %

Leikkauslujuusanalyysi

$V_d =$	-29,16	kN	$f_{t,k} =$	1,05	N/mm ²
			$\gamma_m =$	1,25	-
			$k_{mod} =$	0,80	-
$\tau_{t,d} =$	0,14	N/mm ²	$f_{t,d} =$	0,67	N/mm ² ✓

Käyttöaste

21 %



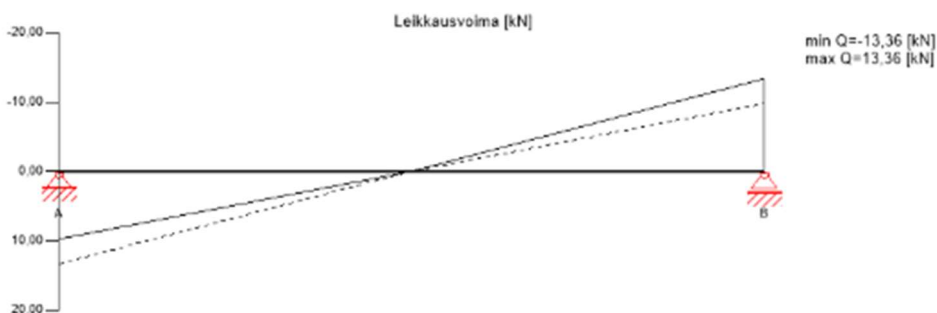
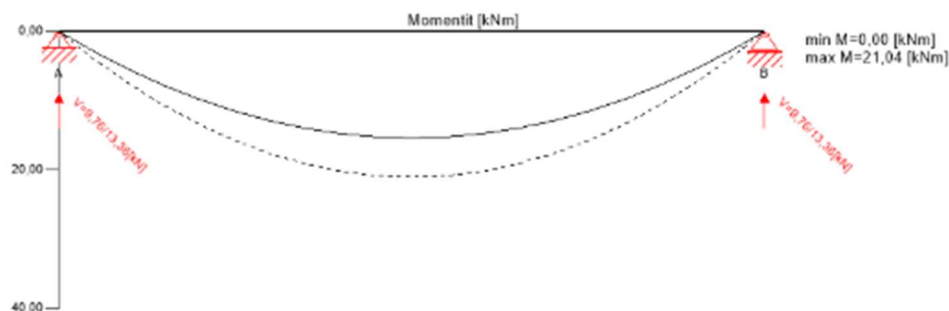
harjoitus
-CLT välipohja harjoitus laskelma
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

7/12
3.5.2024

Äärimmäinen rajatila (ULS) - palomitoitus - tulokset



ULS Tuli Taivutuksen mitoitus

Kenttä	Etäisyys	$f_{m,k}$	γ_m	k_{mod}	$k_{eff,y}$	k_e	$f_{m,y,d}$	$M_{y,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	Suhde
	[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kNm]	[N/mm ²]	
1	3,15	24,00	1,00	1,00	1,10	1,15	30,36	21,04	3,14	10 %

ULS Tuli Leikkausanalyysi

Kenttä	Etäisyys	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	k_{eff}	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Suhde
	[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	
1	6,3	4,00	1,00	1,00	1,15	4,60	-13,36	0,08	2 %



harjoitus
-CLT välipohja harjoitus laskelma
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

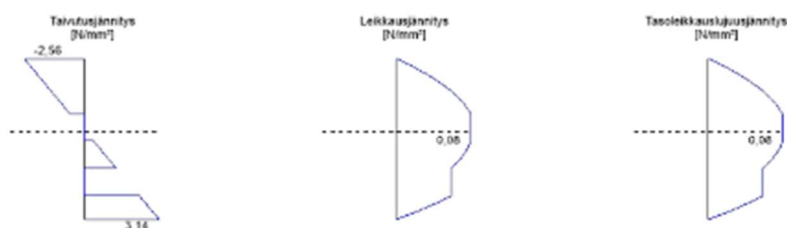
1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

8/12
3.5.2024

ULS Tuli Tasoleikkauslujuus

Kenttä	Etäisyys	$f_{t,k}$	γ_m	k_{mod}	k_t	$f_{t,d}$	V_d	$t_{r,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]		
1	6,3	1,05	1,00	1,00	1,15	1,21	-13,36	0,08	7 %	LCO4

Jännityskaavio



Taivutusjännitysanalyysit Tuli

$M_{y,d}$	21,04	kNm	$f_{m,k}$	24,00	N/mm ²
$M_{z,d}$	0,00	kNm	$f_{m,k,z}$	24,00	N/mm ²
$N_{x,d}$	0,00	kN	γ_m	1,00	-
			k_{mod}	1,00	-
			$k_{m,y}$	1,10	-
			$k_{m,z}$	1,00	-
			$k_{m,x}$	1,00	-
			k_t	1,00	-
			k_s	1,15	-
$\sigma_{x,d}$	0,00	N/mm ²	$f_{t,d}$	16,10	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d}$	3,14	N/mm ²	$f_{m,y,d}$	30,36	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d}$	0,00	N/mm ²	$f_{m,z,d}$	0,00	N/mm ²

Käyttöaste

10 %



harjoitus
-CLT välipohja harjoitus laskelma
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

9/12
3.5.2024

Leikkausjännitysanalyysi Tuli

$V_d =$	-13,36	kN	$f_{v,k} =$	4,00	N/mm ²
			$\gamma_m =$	1,00	-
			$k_{mod} =$	1,00	-
			$k_{e,v} =$	0,00	-
			$k_e =$	1,15	-
$T_{v,d} =$	0,08	N/mm ²	$f_{v,d} =$	4,60	N/mm ² ✓

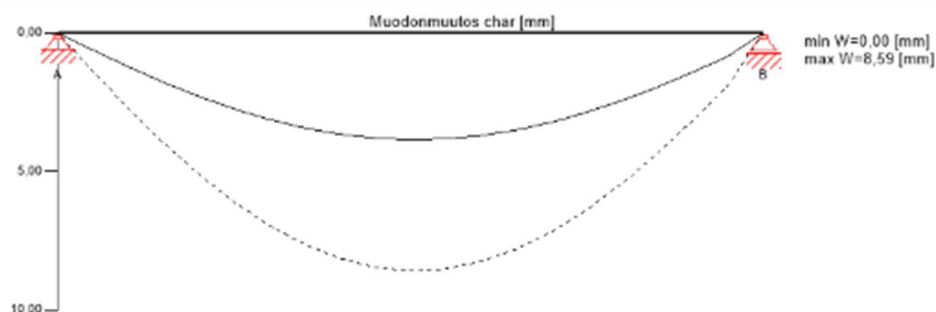
Käyttöaste 2 %

Leikkauslujuusanalyysi Tuli

$V_d =$	-13,36	kN	$f_{v,k} =$	1,05	N/mm ²
			$\gamma_m =$	1,00	-
			$k_{mod} =$	1,00	-
			$k_e =$	1,15	-
$T_{v,d} =$	0,08	N/mm ²	$f_{v,d} =$	1,21	N/mm ² ✓

Käyttöaste 7 %

Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitus tulokset





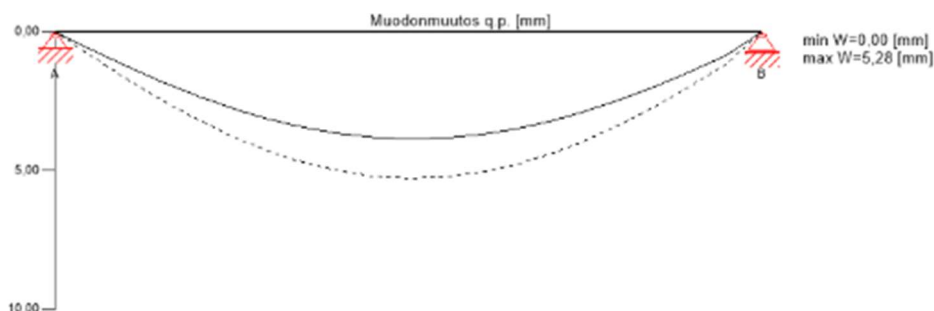
harjoitus
-CLT välipohja harjoitus laskelma
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

10/12
3.5.2024

Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitus tulokset



$w_{int} = w[char]$

Kenttä	K_{def}	Raja	w_{int}	w_{calc}	Suhde
		[-]	[mm]	[mm]	
1	0,8	L/400	15,8	8,6	55 %

$w_{int} = w[char] + w[q.p.] \cdot k_{def}$

Kenttä	K_{def}	Raja	w_{int}	w_{calc}	Suhde
		[-]	[mm]	[mm]	
1	0,8	L/300	21,0	12,8	61 %

$w_{net,fx} = w[q.p.] + w[q.p.] \cdot k_{def}$

Kenttä	K_{def}	Raja	w_{int}	w_{calc}	Suhde
		[-]	[mm]	[mm]	
1	0,8	L/300	21,0	9,5	45 %

Värähtelyanalyysi

Yleinen	
Kokonaismassa	10,90 [t]
Vaikutusalueen leveys	3,1 [m]
Jäykkyys Pitkittäsuuntainen	20288,0 [kNm ²]
Jäykkyys Poikkisuunnassa	1664,0 [kNm ²]
Modaalinen vaimennus	1,0 [%]
α	0,0 [-]
Henkilön paino	700,0 [N]
Modaalinen massa	3337,1 [kg]



harjoitus
-CLT välipohja harjoitus laskelma
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

11/12
3.5.2024

Värähtelyanalyysi

Erittely

Kriteeri	Lask.	Luokka I	Luokka II	Luokka I	Luokka II	Ik. I	Ik. II
Tasajuuskriteeri, minimi	9,586 [Hz]	4,5 [Hz]	4,5 [Hz]	47 %	47 %	✓	✓
Esiintymistiheyden kriteeri	9,586 [Hz]	9,0 [Hz]	6,0 [Hz]	94 %	63 %	✓	✓
Käytyvyyskriteeri	0,091 [m/s²]	0,05 [m/s²]	0,1 [m/s²]	181 %	91 %	✓	✓
Jäykkyyskriteeri	0,084 [mm]	0,25 [mm]	0,5 [mm]	34 %	17 %	✓	✓

Kannatuksen vaikutus

Kuormaryhmä	k_{mod}	A_v	B_v
		[kN]	
Rakenteen omapaino	0,6	4,41	4,41
		4,41	4,41
Hyötykuorma, luokka B: toimistotilat	0,8	11,97	11,97
		0,00	0,00
Omapaino	0,6	5,36	5,36
		5,36	5,36

Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten

Arvonimi englanniksi	Kuvaus
EN 338	EN 338 - Kantavat puurakenteet ? Lujusluokat
EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
ETA-14/0349	Eurooppalainen tekninen arviointi ETA-14/0349
Expertise Rolling shear - no edge gluing, H.J. Blass	Asiantuntemus CLT:n tasoleikkauslujuuden ominaisarvolle
EN 1995-1-2	EN 1995-1-2 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus
Technical expertise 122/2011/02: analysis of load bearing capacity and separation performance of CLT elements	Stora Enso CLT:n CLT-rakenteiden kantokyvyn ja eristemateriaalien kriteerien vahvistaminen
Technical expertise 2434/2012 - BB: failure time of gypsum fire boards (GKF) according to ON B 3410	Asiantuntemus palokipsilevyjen murtuma-ajassa tf ON B3410 mukaisesti ja kipsilevyjen DF-tyyppi EN 520 mukaisesti
EN 1990	EN 1990 - Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet
SFS-EN 1995-1-1 NA	SFS EN 1995-1-1 - Suomi - Kansallinen liite - Kansallisesti määritetyt parametrit - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu - Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
RIL 205-1-2009	CrossLam Kuhmo CLT lisäykset RIL 205-1-2009 ohjeeseen



harjoitus
-CLT välipohja harjoitus laskelma

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001

Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

12/12

3.5.2024

Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten

Arvonimi englanniksi	Kuvaus
Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe	Paloturvallisuus puurakennuksissa - tekninen ohje Eurooppaan; julkaisija SP Ruotsin tekninen tutkimuslaitos
National specifications concerning ONORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12	ONORM EN 1995-1-2 - Kansalliset määritelmät liittyen ONORM EN 1995-1-2, kansalliset huomautukset ja kansalliset täydennykset luvussa 12
SFS EN 1995-1-2_NA	SFS EN 1995-1-2 - Suomi - Kansallinen liite - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu - Osa 1-2: Yleistä - Puurakenteiden palomitoitus - Kansalliset määritelmät liittyen SFS EN 1995-1-2, kansalliset kommentit ja kansalliset täydennykset
SFS EN 1995-1-1_NA	SFS EN 1995-1-1 - Suomi - Kansallinen liite - Kansalliset määritelmät liittyen - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
Expertise Rolling shear, H.J. Blass	Asiantuntemus tasoleikkauslujuudelle ja tasoleikkausmoduulille CLT-paneelissa
ONORM EN 1995-1-1_NA, chapter 7.3	ONORM EN 1995-1-1 - Itävalta - Kansallinen liite - Kansallisesti määritetyt parametrit - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu - Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, luku 7.3

Vastuuvapauslauseke

Ohjelmisto on suunniteltu auttamaan insinöörejä heidän jokapäiväisessä työssään. Ohjelmiston käyttäjä tulee olla tietävä ja kokenut insinööri, jolla on laajajännitys rakennussuunnittelusta ja puurakenteiden liittyvistä rakennusfysiikasta, sillä ohjelmiston tarkoituksena on antaa vaikeissa rakennussuunnittelun ja rakennusfysiikan liittyvissä tehtävissä. Ohjelmiston käyttäjä on velvollinen tarkastamaan kaikki ohjelmistoon syötetyt arvot ja tulokset viiteasiakirjojen suhteen, onko käyttäjä syöttänyt arvot ohjelmistoon tse tai onko arvot ohjelmistoon valittu syötettyjä oletusarvoja. Ohjelmiston tulosten perusteella ei tule tehdä päätöksiä tai toimenpiteitä. Ohjelmiston tulosten käyttö on sallittua vasta kun projektin rakennussuunnittelusta/rakennusfysiikasta vastaava insinööri on tarkastanut tulokset ja hyväksynyt ne oikeiksi ja täydellisiksi. Käyttäjällä on mahdollisuus tulostaa otteita ohjelmistosta, mutta näitä otteita ei saa muokata.

Stora Enso Wood Products GmbH ei anna mitään takuuta tai vakuutusta ohjelmistoon liittyen. Huolimatta siitä, että ohjelmisto on kehitetty mahdollisimman huolellisesti, Stora Enso Wood Products GmbH ei anna suoraan tai epäsuoraan mitäänlaisia vakuutuksia tai hyväksy mitäänlaisia vakuutuksia ohjelmistolla tuotetun informaation tai datan tarkkuudesta, voimassaolosta, oikea-aikaisuudesta tai täydellisyydestä. Stora Enso Wood Products GmbH ei myöskään anna mitäänlaisia vakuutuksia tai hyväksy vastuuta ohjelmiston yleisestä käytettävyydestä, sen sopivuudesta jonkin erityyppisen tarkoituksen tai yhteensopivuudesta kolmannen osapuolen tuottamien tai toimittamien ohjelmistojen kanssa.

Stora Enso Wood Products GmbH on vastuussa ainoastaan vahingoista, jotka se on aiheuttanut tärkeitä tuotantokapitealia tai talollisesti. Näin ollen Stora Enso Wood Products GmbH ei vastaa tuotantokapitealia aiheuttavista vahingoista, paitsi milloin kyseessä on henkilöön kohdistunut vahinko. Aikaisemmin luettujen ehtojen mukaisesti Stora Enso Wood Products GmbH ei ole vastuussa ohjelmiston toiminnasta tai käyttäjän datan tai ohjelmistojen menettämisestä.

Sovellettava laki: Näihin ehtoihin sovelletaan lämpäin lakia, lukuun ottamatta sen kansainvälistä toimintaa koskevia säännöksiä ja YK:n kansainvälistä kauppalakia (CISG).

2. Ripa-välipohja



harjoitus
-ripalaatta

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

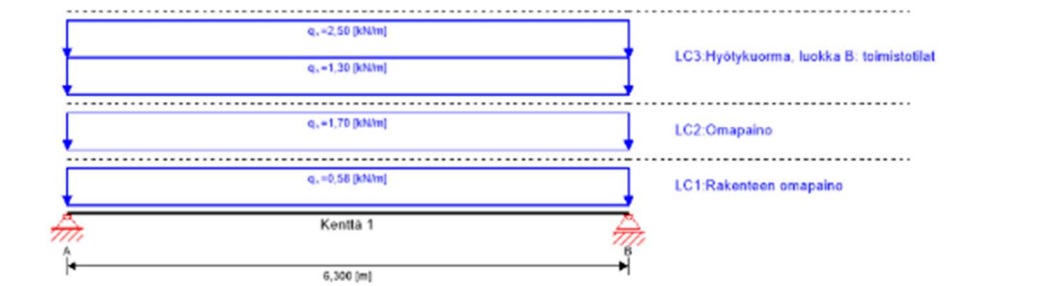
Metropolia

1001
Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

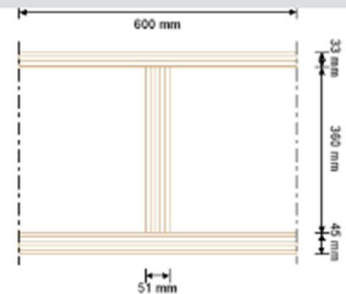
1/15
3.5.2024

Järjestelmä



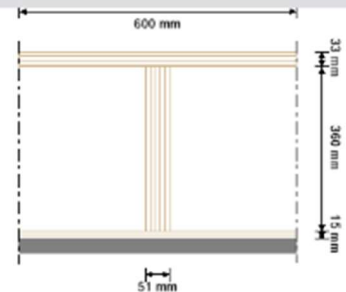
Globaalkäyttöaste								94%	
ULS	82%	ULS Tuli	14%	SLS	34%	Värähtely	94%	Kannatus	-1%

Poikkileikkaus: LVL rib panel by Stora Enso : 1/36



Kerros	Paksuus	Leveys	Suuntautuminen	Materiaalit
	[mm]	[mm]		
1	33,0	600,0	0°	LVL X lape
2	360,0	51,0	0°	LVL S syrjä
3	45,0	600,0	0°	LVL X lape
t _{LVL}	438,0			

Poikkileikkaus Tuli: LVL rib panel by Stora Enso : 1/36



Kerros	Paksuus	Leveys	Suuntautuminen	Materiaalit
	[mm]	[mm]		
1	33,0	600,0	0°	LVL X lape
2	360,0	51,0	0°	LVL S syrjä
3	15,0	600,0	0°	LVL X lape
t _{LVL}	408,0			

Paloluokka:R 30 Aika 30 min



harjoitus
-ripalaatta
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

2/15
3.5.2024

Poikkileikkaus Tuli: LVL rib panel by Stora Enso : 1/36

Palonsuojakerrokset : Ei lisäpalonsuojausta

Alapaneelin paksuus	$h_{p,0}$	$h_{p,1,min}$	$h_{p,2,min}$
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
45	15	29	39

Materiaaliarvot

Materiaalit	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$	$f_{r,k,min}$	$E_{0,mean}$	G_{mean}	$G_{r,mean}$
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
LVL S syrjä	44,00	35,00	0,80	35,00	6,00	4,20	0,00	13 800,00	600,00	
LVL X lape	36,00	26,00	6,00	26,00	2,20	1,30	0,60	10 500,00	120,00	
LVL X lape	36,00	26,00	6,00	26,00	2,20	1,30	0,60	10 500,00	120,00	

Kuorma

Kuormitusryhmät

Kuormaryhmä	Tyyppi	Kesto aika	K _{mod}	γ_{ref}	γ_{exp}	ψ_2	ψ_1	ψ_3
LC1 Rakenteen omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1
LC2 Omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1
LC3 Hyötykuorma, luokka B: toimistotilat	Q	Keskkipitkä	0,8	0	1,5	0,7	0,5	0,3

LC1:Rakenteen omapaino

Jatkuva kuormitus

Kenttä	Kuormitus aluksi
	[kN/m]
1	0,58

LC2:Omapaino



harjoitus

-ripalaatta

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001

Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

3/15

3.5.2024

Jatkuva kuormitus

Kenttä	Kuormitus aluksi
	[kN/m]

1 1,70

LC3:Hyötykuorma, luokka B: toimistotilat

Jatkuva kuormitus

Kenttä	Kuormitus aluksi
	[kN/m]

1 1,30

1 2,50

ULS Yhdistelmät

Yhdistämissääntö

LCO1 $1,35/1,00 \cdot LC1 + 1,35/1,00 \cdot LC2$

LCO2 $1,15/1,00 \cdot LC1 + 1,15/1,00 \cdot LC2 + 1,50/0,00 \cdot LC3$

ULS Yhdistelmät Tuli

Yhdistämissääntö

LCO3 $1,00/1,00 \cdot LC1 + 1,00/1,00 \cdot LC2$

LCO4 $1,00/1,00 \cdot LC1 + 1,00/1,00 \cdot LC2 + 1,00/0,00 \cdot 0,30 \cdot LC3$

SLS Ominainen Yhdistelmä

Yhdistämissääntö

LCO5 $1,00/1,00 \cdot LC1 + 1,00/1,00 \cdot LC2$

LCO6 $1,00/1,00 \cdot LC1 + 1,00/1,00 \cdot LC2 + 1,00/0,00 \cdot LC3$

SLS Lähes pysyvä Yhdistelmä

Yhdistämissääntö

LCO7 $1,00/1,00 \cdot LC1 + 1,00/1,00 \cdot LC2$

LCO8 $1,00/1,00 \cdot LC1 + 1,00/1,00 \cdot LC2 + 1,00/0,00 \cdot 0,30 \cdot LC3$



harjoitus
-ripalaattia

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

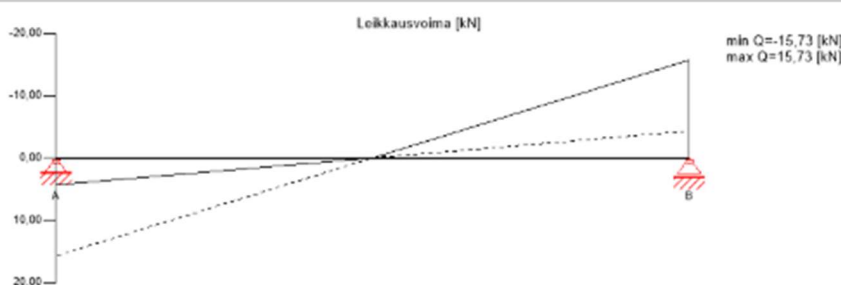
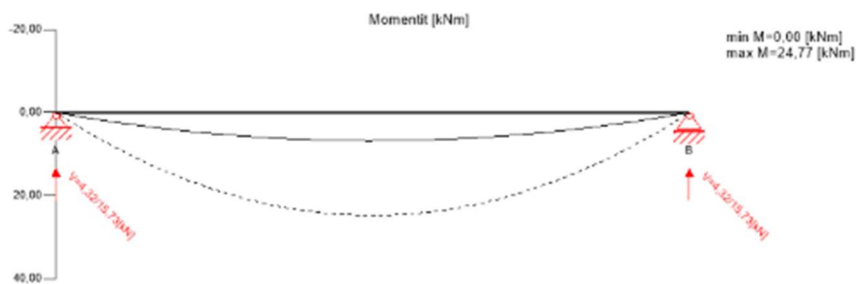
Metropolia

1001
Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

4/15
3.5.2024

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset T=0



ULS Taivutuksen mitoitus T=0

Kenttä	Etäisyys	γ_m	k_{mod}	$k_{ex,y}$	$f_{m,k}$	$f_{m,y,d}$	$f_{t,d}$	$f_{c,d}$
[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
1	3,15	1,20	0,80	1,00	44,00	28,70	22,07	23,33



harjoitus
-ripalaatta
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

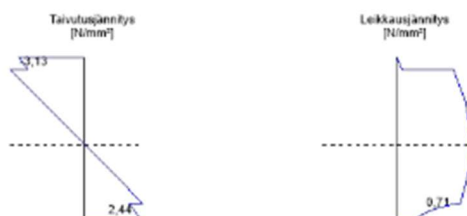
5/15
3.5.2024

Kenttä	$M_{y,d}$	$N_{c,d}$	$N_{t,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	$\sigma_{c,d}$	$\sigma_{t,d}$	Suhde
	[kNm]	[kN]	[kN]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	
1	24,77	0,00	0,00	-3,13	0,00	0,00	11 % LCO2

ULS Leikkausanalyysi T=0

Kenttä	Etäisy	$f_{t,k}$	γ_m	k_{mod}	k_{cr}	$f_{t,d}$	V_d	$T_{v,d}$	Suhde
	[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	
1	6,3	1,30	1,20	0,80	1,00	0,87	-15,73	0,71	82 % LCO2

Jännityskaavio T=0



Taivutusjännitysanalyysi T=0

$M_{y,d} =$	24,77	kNm	$f_{t,k} =$	44,00	N/mm ²
$M_{x,d} =$	0,00	kNm	$f_{t,k,x} =$	44,00	N/mm ²
$N_{t,d} =$	0,00	kN	$\gamma_m =$	1,20	-
			$k_{mod} =$	0,80	-
			$k_{dyn,y} =$	1,00	-
			$k_{dyn,y} =$	0,98	-
			$k_{dyn,x} =$	1,00	-
			$k_i =$	0,95	-
$\sigma_{t,d} =$	0,00	N/mm ²	$f_{t,d} =$	22,07	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	-3,13	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	28,70	N/mm ²
$\sigma_{m,x,d} =$	0,00	N/mm ²	$f_{m,x,d} =$	0,00	N/mm ² ✓
Käyttöaste					11 %



harjoitus
-ripalaatta
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

6/15
3.5.2024

Leikkausjännitysanalyysi T=0

$V_{x,d}$	-15,73	kN	$f_{t,x}$	1,30	N/mm ²
			γ_m	1,20	-
			k_{mod}	0,80	-
			$k_{o,v}$	0,00	-
$\tau_{v,d}$	0,71	N/mm ²	$f_{v,d}$	0,87	N/mm ² ✓

Käyttöaste

82 %

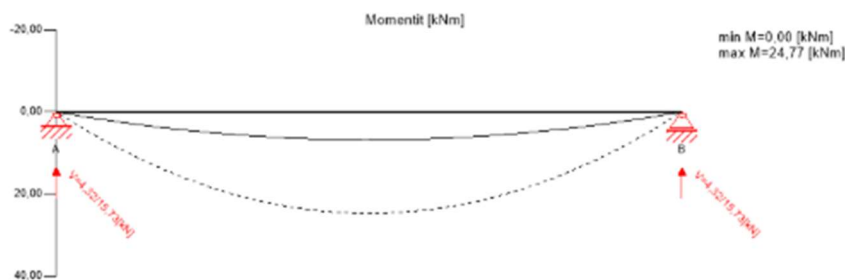
Lomahdusanalyysi T=0

$M_{y,d}$	24,77	kNm	$f_{t,x}$	44,00	N/mm ²
$M_{x,d}$	0,00	kNm			
$N_{c,d}$	0,00	kN	γ_m	1,20	-
			k_{mod}	0,80	-
			$k_{o,y}$	1,00	-
			$k_{o,x}$	1,00	-
			$k_{o,m,y}$	1,00	-
			$k_{o,m,x}$	1,00	-
$\sigma_{c,d}$	0,00	N/mm ²	$f_{c,d,d}$	23,33	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d}$	2,79	N/mm ²	$f_{m,y,d}$	29,33	N/mm ²
$\sigma_{m,x,d}$	0,00	N/mm ²	$f_{m,x,d}$	0,00	N/mm ² ✓

Käyttöaste

9 %

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset T=∞





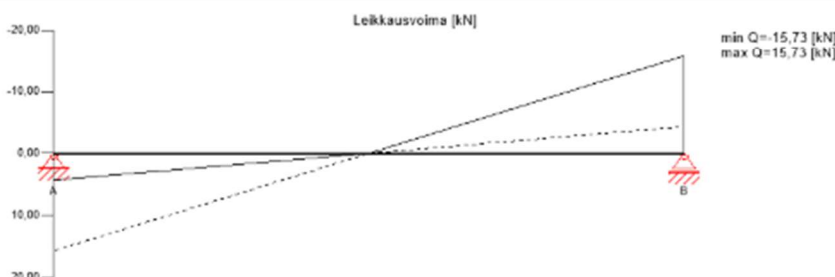
harjoitus
-ripalaatta
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

7/15
3.5.2024

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset $T=\infty$



ULS Taivutuksen mitoitus $T=\infty$

Kenttä	Etäisyys	γ_m	k_{mod}	$k_{sys,y}$	$f_{m,k}$	$f_{m,y,d}$	$f_{t,d}$	$f_{c,d}$
[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
1	3,15	1,20	0,80	1,00	44,00	28,70	22,07	23,33

Kenttä	$M_{y,d}$	$N_{c,d}$	$N_{t,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	$\sigma_{c,d}$	$\sigma_{t,d}$	Suhde
[kNm]	[kN]	[kN]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	
1	24,77	0,00	0,00	-3,26	0,00	0,00	11 % LCO10

ULS Leikkausanalyysi $T=\infty$

Kenttä	Etäisyys	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	k_{α}	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]		
1	0.0	1.30	1.20	0.80	1.00	0.87	15.73	0.71	82 %	LCO10



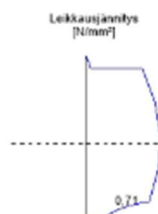
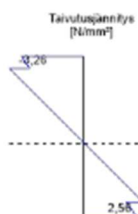
harjoitus
-ripalaatta
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

8/15
3.5.2024

Jännityskaavio T=∞



Taivutusjännitysanalyysi T=∞

$M_{y,d} =$	24,77	kNm	$f_{m,k} =$	44,00	N/mm ²
$M_{x,d} =$	0,00	kNm	$f_{m,k,x} =$	44,00	N/mm ²
$N_{l,d} =$	0,00	kN	$\gamma_m =$	1,20	-
			$k_{mod} =$	0,80	-
			$k_{eff,y} =$	1,00	-
			$k_{eff,m,y} =$	0,98	-
			$k_{eff,m,x} =$	1,00	-
			$k_c =$	0,95	-
$\sigma_{l,d} =$	0,00	N/mm ²	$f_{t,d} =$	22,07	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	-3,26	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	28,70	N/mm ²
$\sigma_{m,x,d} =$	0,00	N/mm ²	$f_{m,x,d} =$	0,00	N/mm ² ✓

Käyttöaste

11 %

Leikkausjännitysanalyysi T=∞

$V_d =$	15,73	kN	$f_{v,k} =$	1,30	N/mm ²
			$\gamma_m =$	1,20	-
			$k_{mod} =$	0,80	-
			$k_{eff,v} =$	0,00	-
$\tau_{v,d} =$	0,71	N/mm ²	$f_{v,d} =$	0,87	N/mm ² ✓

Käyttöaste

82 %



harjoitus
-ripalaatta

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001

Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

9/15
3.5.2024

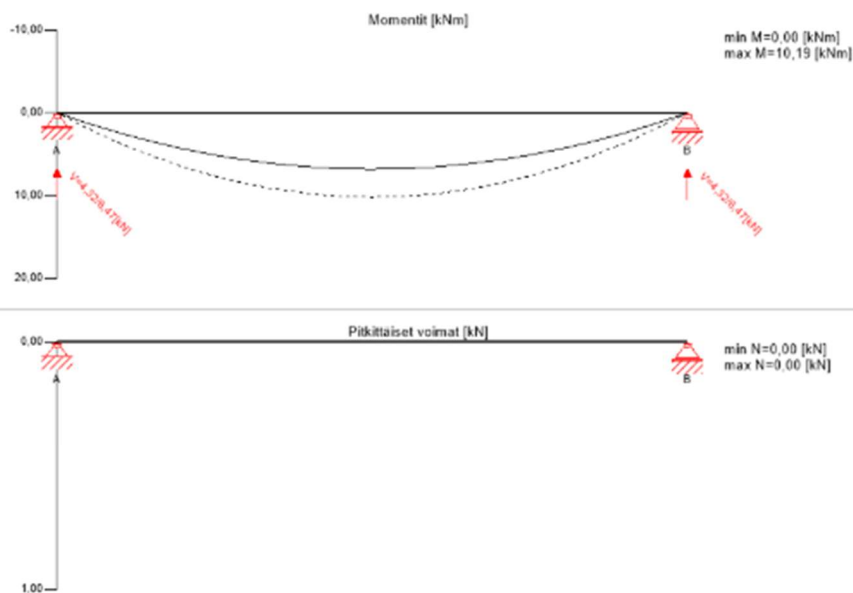
Lommahdusanalyysit $T=40$

$M_{y,d} =$	24,77	kNm	$f_{m,k} =$	44,00	N/mm ²
$M_{x,d} =$	0,00	kNm			
$N_{t,d} =$	0,00	kN	$\gamma_m =$	1,20	-
			$k_{mod} =$	0,80	-
			$k_{dyn,y} =$	1,00	-
			$k_{dyn,x} =$	1,00	-
			$k_{dyn,y} =$	1,00	-
			$k_{dyn,x} =$	1,00	-
$\sigma_{c,d} =$	0,00	N/mm ²	$f_{c,d,d} =$	23,33	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	2,91	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	29,33	N/mm ²
$\sigma_{m,x,d} =$	0,00	N/mm ²	$f_{m,x,d} =$	0,00	N/mm ² ✓

Käyttöaste

10 %

Äärimmäinen rajatila (ULS) - palomitoitus - tulokset





harjoitus

-ripalaatta

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001

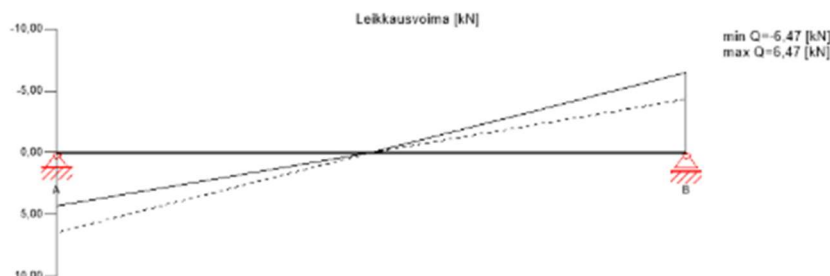
Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

10/15

3.5.2024

Äärimmäinen rajatila (ULS) - palomitoitus - tulokset



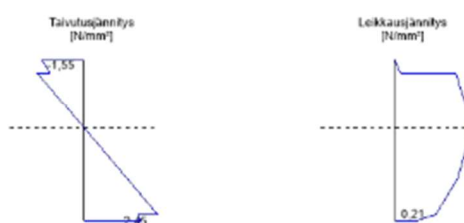
ULS Tuli Taivutuksen mitoitus

Kenttä	Etäisyys [m]	γ_m [-]	k_{mod} [-]	$k_{ex,y}$ [-]	k_e [-]	$f_{m,k}$ [N/mm ²]	$f_{m,y,d}$ [N/mm ²]	$f_{t,d}$ [N/mm ²]	$f_{c,d}$ [N/mm ²]
1	3,15	1,20	0,80	1,00	1,00	44,00	28,70	22,07	23,33
Kenttä	$M_{y,d}$ [kNm]	$N_{c,d}$ [kN]	$N_{t,d}$ [kN]	$\sigma_{m,y,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{c,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{t,d}$ [N/mm ²]	Suhde		
1	24,77	0,00	0,00	-3,13	0,00	0,00	11 %	LCO2	

ULS Tuli Leikkausanalyysi

Kenttä	Etäisyys [m]	$f_{v,k}$ [N/mm ²]	γ_m [-]	k_{mod} [-]	k_0 [-]	k_{σ} [-]	$f_{v,d}$ [N/mm ²]	V_d [kN]	$\tau_{v,d}$ [N/mm ²]	Suhde	
1	6,3	1,30	1,00	1,00	1,10	1,00	1,43	-6,47	0,21	14 %	LCO4

Jännityskaavio





harjoitus
-ripalaatta
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

11/15
3.5.2024

Taivutusjännitysanalyysi Tuli					
$M_{y,d} =$	10,19	kNm	$f_{m,k} =$	44,00	N/mm ²
$M_{z,d} =$	0,00	kNm	$f_{m,k,z} =$	44,00	N/mm ²
$N_{l,d} =$	0,00	kN	$\gamma_m =$	1,00	-
			$k_{mod} =$	1,00	-
			$k_{qk,y} =$	1,00	-
			$k_{b,m,y} =$	0,98	-
			$k_{b,m,z} =$	1,00	-
			$k_0 =$	0,95	-
			$k_3 =$	1,10	-
$\sigma_{l,d} =$	0,00	N/mm ²	$f_{t,0,d} =$	36,42	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	2,45	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	47,35	N/mm ²
$\sigma_{m,z,d} =$	0,00	N/mm ²	$f_{m,z,d} =$	0,00	N/mm ² ✓
Käyttöaste					5 %
Leikkausjännitysanalyysi Tuli					
$V_d =$	-6,47	kN	$f_{v,k} =$	1,30	N/mm ²
			$\gamma_m =$	1,00	-
			$k_{mod} =$	1,00	-
			$k_{b,v} =$	0,00	-
			$k_3 =$	1,10	-
$\tau_{v,d} =$	0,21	N/mm ²	$f_{v,d} =$	1,43	N/mm ² ✓
Käyttöaste					14 %



harjoitus
-ripalaatta

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001

Suomi

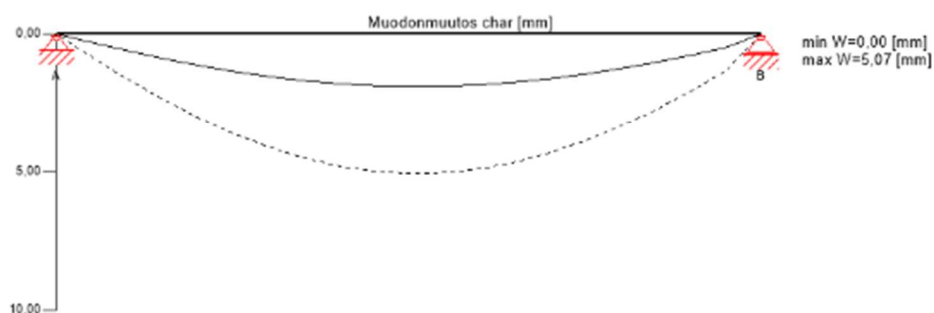
Tarkastaja Artturi Laukkanen

12/15

3.5.2024

Lommahdusanalyysit					
$M_{y,d} =$	10,19	kNm	$f_{m,k} =$	44,00	N/mm ²
$M_{x,d} =$	0,00	kNm			
$N_{c,d} =$	0,00	kN	$\gamma_m =$	1,00	-
			$k_{mod} =$	1,00	-
			$k_{adj,y} =$	1,00	-
			$k_{adj,x} =$	1,00	-
			$k_{h,m,y} =$	1,00	-
			$k_{h,m,x} =$	1,00	-
$\sigma_{c,d} =$	0,00	N/mm ²	$f_{c,d} =$	38,50	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	2,00	N/mm ²	$f_{m,y,d} =$	48,40	N/mm ²
$\sigma_{m,x,d} =$	0,00	N/mm ²	$f_{m,x,d} =$	0,00	N/mm ² ✓
Käyttöaste					4 %

Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitustulokset





harjoitus
-ripalaatta

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001

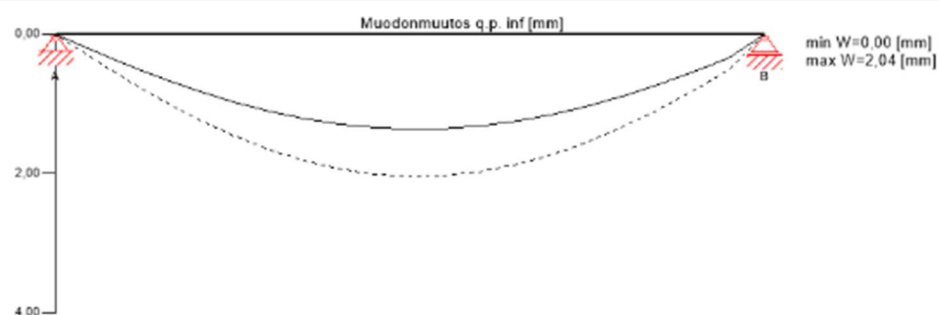
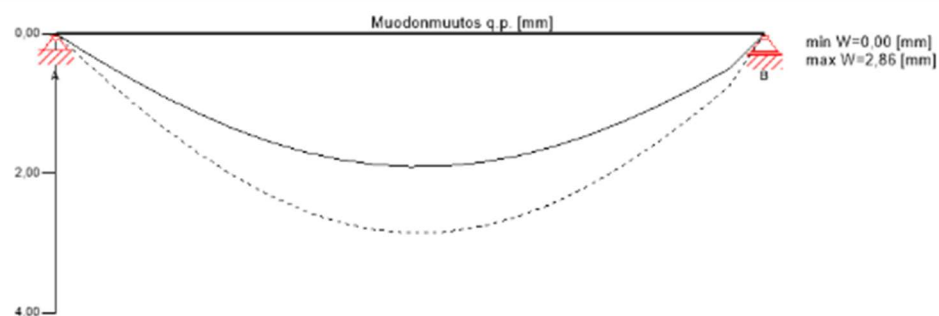
Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

13/15

3.5.2024

Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitustulokset



w _{stat} = w[char]							
Kenttä	K _{def,jap}	K _{def,jtb}	K _{def,jotum}	Raja	W _{stat}	W _{stat}	Suhde
				[-]	[mm]	[mm]	
1	0,8	0,6	0,8	L/400	15,8	5,1	32 %

w _{tot} = w[char] + w[q.p.=]							
Kenttä	K _{def,jap}	K _{def,jtb}	K _{def,jotum}	Raja	W _{stat}	W _{stat}	Suhde
				[-]	[mm]	[mm]	
1	0,8	0,6	0,8	L/300	21,0	7,1	34 %



harjoitus
-ripalaalta

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

14/15
3.5.2024

$$w_{nat,fn} = w[q.p.] + w[q.p.-w]$$

Kenttä	$K_{def,top}$	$K_{def,tib}$	$K_{def,bottom}$	Raja	W_{int}	W_{calc}	Suhde
				[-]	[mm]	[mm]	
1	0,8	0,6	0,8	L/300	21,0	4,9	23 %

Värähtelyanalyysi

Yleinen

Kokonaismassa	4,78 [t]
Vaikutusalueen leveys	1,0 [m]
Jäykkyys Pitkittäsuuntainen	22087,8 [kNm ²]
Jäykkyys Poikkisuunnassa	21,2 [kNm ²]
Modaalinen vaimennus	1,0 [%]
α	0,0 [-]
Henkilön paino	700,0 [N]
Modaalinen massa	1002,8 [kg]

Erittely

Kriteeri	Lask.	Luokka I	Luokka II	Luokka I	Luokka II	Ik. I	Ik. II
Taajuuskriteeri, minimi	13,507 [Hz]	4,5 [Hz]	4,5 [Hz]	33 %	33 %	✓	✓
Esiintymistiheyden kriteeri	13,507 [Hz]	9,0 [Hz]	6,0 [Hz]	67 %	44 %		
Kiihtyvyysskriteeri	0,063 [m/s ²]	0,05 [m/s ²]	0,1 [m/s ²]	126 %	63 %		
Jäykkyyskriteeri	0,234 [mm]	0,25 [mm]	0,5 [mm]	94 %	47 %	✓	✓

Kannatuksen vaikutus

Kuormaryhmä	k_{mod}	A_v	B_v
		[kN]	
Rakenteen omapaino	0,6	1,10	1,10
		1,10	1,10
Omapaino	0,6	3,21	3,21
		3,21	3,21
Hyötykuorma, luokka B: toimistotilat	0,8	7,18	7,18
		0,00	0,00

Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten

Arvonimi englanniksi	Kuvaus
EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
EN 1990	EN 1990 - Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet
SFS EN 1995-1-1_NA	SFS EN 1995-1-1 - Suomi - Kansallinen liite - Kansalliset määritelmät liittyen - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt



harjoitus
-ripalaatta

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

15/15
3.5.2024

Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten

Arvonimi englanniksi

Kuvaus

ÖNORM EN 1995-1-1_NA, chapter 7.3

ÖNORM EN 1995-1-1- Itävalta - Kansallinen liite - Kansallisesti määritetyt parametrit – Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu – Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, luku 7.3

ETA-12/0063

SFS intec AG; itsestään poratavat ruuvit puurakenteissa

ETA-12/0062

SFA intec AG; ETA-12/0062; itsestään poratavat ruuvit puurakenteissa

ETA-11/0086

Rotho Blaas WHT hold downs and angle brackets

ETA-11/0190

Würth - Selbstbohrende Schrauben als Holzverbindungsmittel

Vastuuvapauslauseke

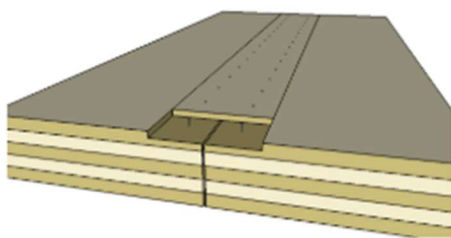
Ohjelmisto on suunniteltu auttamaan insinöörejä heidän jokapäiväisessä työssään. Ohjelmiston käyttäjien tulee olla taitavia ja kokeneita insinöörejä, joilla on laajammassa rakennesuunnittelusta ja puurakenteisiin liittyvästä rakennusfysiikasta, sillä ohjelmiston tarkoituksena on avustaa vaikeissa rakennesuunnittelun ja rakennusfysiikan liittyvissä tehtävissä. Ohjelmiston käyttöä on velvollinen tarkastamaan kaikki ohjelmiston syötetyt arvot ja tulosten virheettömyys riippumatta siitä, onko käyttäjä syöttänyt arvot ohjelmistoon itse tai onko arvot ohjelmistoon välikäsi syötettyä tietusarvoja. Ohjelmiston tulosten perusteella ei tule tehdä päätöksiä tai toimenpiteitä. Ohjelmiston tulosten käyttö on sallittua vasta kun projektin rakennussuunnittelusta/rakennusfysiikasta vastaava insinööri on tarkastanut tulokset ja hyväksynyt ne oikeiksi ja täydellisiksi. Käyttäjällä on mahdollisuus tulostaa otteita ohjelmistosta, mutta näitä otteita ei saa muokata. Stora Enso Wood Products GmbH ei anna mitään takuuta tai vakuutusta ohjelmistoon liittyen. Huolimatta siitä, että ohjelmisto on kehitetty mahdollisimman huolellisesti, Stora Enso Wood Products GmbH ei anna suoraan tai epäsuoraan minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy minkäänlaista vastuuta ohjelmistolla tuotetun informaation tai datan tarkkuudesta, voimassaolosta, oikea-aikaisuudesta tai täydellisyydestä. Stora Enso Wood Products GmbH ei myöskään anna minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy vastuuta ohjelmiston yleisestä käytettävyydestä, sen sopivuudesta johonkin erityiseen tarkoitukseen tai yhteensopivuudesta kolmansien osapuolten tuottamien tai toimittamien ohjelmistojen kanssa. Stora Enso Wood Products GmbH on vastuussa ainoastaan vahingoista, jotka se on aiheuttanut törkeistä tuottamuksesta tai tahallisesti. Näin ollen Stora Enso Wood Products GmbH ei vastaa tuottamuksesta aiheutetuista vahingoista, paitsi milloin kyseessä on henkilöön kohdistunut vahinko. Aikaisemmin lueteltujen ehtojen mukaisesti Stora Enso Wood Products GmbH ei ole vastuussa ohjelmiston toiminnasta tai käyttäjän datan tai ohjelmistojen menettämisestä. Soveltettava laki: Näihin ehtoihin sovelletaan Itävallan lakia, lukuun ottamatta sen kansainvälistä lainvalintaa koskevia säännöksiä ja YK:n kansainvälistä kauppalakia (CISG).

3. Poikittain kuormitetut ruuvit



harjoitus	1001	1/4
Poikittain kuormitetut ruuvit Wurth	Suomi	3.5.2024
rakennusinsinööri Artturi Laukkanen	Metropolia	Tarkastaja Artturi Laukkanen

Liittyminen



F_x	20	kN/m
K_{mod}	1,1	-
Materiaali 1	C24 kuusi ETA (2022)	
ρ_k	3,85	kN/m³
Paneeli 1	CLT 280 L7s - 2	
Pintakerroksen suuntautuminen	X-suunta	
Liitintyyppi	ASSY @ 4 CSMP	
Liittimet	8/120	
Halkaisija	8	mm
Päähalkaisija	14,85	mm
Pituus	120	mm
Kierteen pituus	80	mm
Liitoslevy	C24 Havupuu	
Liitoslevyn leveys	100	mm
Liitoslevyn paksuus	55	mm
Loven syvyys	55	mm
Rivien numerot	1	
Esiporattu	x	

Erittely				
Analyysi	Nykyinen	Raja	Yksikkö	Hyödyntäminen
Laatan leveys	100	88	mm	88 %
Laatan paksuus	55	54	mm	99 %
CLT:n paksuus	65	51	mm	78 %
Fv	2975,902	2975,902	N	100 %
Lukumäärä	6,721	25	Määrä / m	27 %



harjoitus
Poikittain kuormitetut ruuvit Wurth
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

3/4
3.5.2024

Tulokset

$D_{1,min}$	$D_{2,min}$	$f_{b,k,1}$	$f_{b,k,2}$	β	$t_{pen,1}$	$t_{pen,2}$	$l_{ef,1}$	$l_{ef,2}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{ax,1/9,1}$	$F_{ax,1/9,2}$
[mm]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[N]
44	88	16,92	15,38	1,10	65,00	55,00	65,00	15,00	51	54	6173,20	1320,00

Tulokset

$M_{y,1/9}$	$F_{ax,1/9}$	$F_{head,1/9}$	$F_{tens,1/9}$	$F_{R,1/9}$	$F_{y,1/9}$	$F_{y,1/9}$	$F_{y,Ed}$	$F_{ax,Ed}$	$F_{ax,Ed}$	***Cour	***Cour	a_{ref}
[Nm]	[N]	[N]	[kN]	[kN]	[N]	[N]	[kN/m]	[N]	[kN/m]	[Stk/m]	[Stk/m]	[mm]
23000,00	2866,79	2866,79	0,000	0,000	3516,98	2975,90	20,00	2425,75	0,00	6,72	25,00	149

Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten

Arvonimi englanniksi	Kuvaus
EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
SFS EN 1995-1-1_NA	SFS EN 1995-1-1 - Suomi - Kansallinen liite - Kansalliset määritelmät liittyen - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
ETA-11/0030	ETA-11/0030 Eurooppalainen tekninen hyväksyntä; Rothoblaas; Itsestään porautuvat ruuvit puurakenteissa
ETA-12/0063	SFS intec AG; itsestään porautuvat ruuvit puurakenteissa
ETA-12/0062	SFA intec AG; ETA-12/0062; itsestään porautuvat ruuvit puurakenteissa
ETA-11/0086	Rotho Blaas WHT hold downs and angle brackets
ETA-09/0322	GH Various Angle Brackets
ETA-11/0496	Rotho Blaas TITAN Angle Brackets
ETA-11/0190	Würth - Selbstbohrende Schrauben als Holzverbindungsmittel
ETA-12/0373	Schmid - Screws for use in timber constructions
ETA-12/0114	SPAX - Screws for use in timber constructions
ETA-20/0773	Würth - DENEBA Angle Brackets and plate connectors
ETA-08/0183	Würth - Typ A + Typ V Angle Bracket
ETA-14/0274	Würth - Hold down and storey connector



harjoitus
Poikittain kuormitetut ruuvit Wurth

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

4/4
3.5.2024

Vastuuvapauslauseke


Ohjelmisto on suunniteltu auttamaan insinöörejä heidän jokapäiväisessä työssään. Ohjelmiston käyttäjien tulee olla taitavia ja kokeneita insinöörejä, joilla on laajajännitys rakennussuunnittelusta ja puurakenteisiin liittyvästä rakennusfysiikasta, sillä ohjelmiston tarkoituksena on arvioida vaikeissa rakennussuunnitteluun ja rakennusfysiikkaan liittyvissä tehtävissä. Ohjelmiston käyttöä on velvoittanut tarkastamaan kaikki ohjelmistoon syötetyt arvot ja tulosten viiteehtömyys riippumatta siitä, onko käyttäjä syöttänyt arvot ohjelmistoon itse tai onko arvot ohjelmistoon valmiiksi syötettyjä oletusarvoja. Ohjelmiston tulosten perusteella ei tule tehdä päätöksiä tai toimenpiteitä. Ohjelmiston tulosten käyttö on sallittua vasta kun projektin rakennussuunnittelusta/rakennusfysiikasta vastaava insinööri on tarkastanut tulokset ja hyväksynyt ne oikeiksi ja täydellisiksi. Käyttäjällä on mahdollisuus tulostaa ohjelmaa ohjelmistosta, mutta näitä ohjelmaa ei saa muokata.

Stora Enso Wood Products GmbH ei anna mitään takuuta tai vakuutusta ohjelmistoon liittyen. Huolimatta siitä, että ohjelmisto on kehitetty mahdollisimman huolellisesti, Stora Enso Wood Products GmbH ei anna suoraan tai epäsuoraan minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy minkäänlaista vastuuta ohjelmistolla tuotetun informaation tai datan tarkkuudesta, voimassaolosta, oikea-aikaisuudesta tai täydellisyydestä. Stora Enso Wood Products GmbH ei myöskään anna minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy vastuuta ohjelmiston yleisestä käytettävyydestä, sen sopivuudesta johonkin erityiseen tarkoitukseen tai yhteensopivuudesta kolmansien osapuolten tuottamien tai toimittamien ohjelmistojen kanssa.

Stora Enso Wood Products GmbH on vastuussa ainoastaan vahingoista, jotka se on aiheuttanut törkeällä tuottamuksellaan tai tahallisesti. Näin ollen Stora Enso Wood Products GmbH ei vastaa tuottamuksellisesti aiheutetuista vahingoista, paitsi milloin kyseessä on henkilöön kohdistunut vahinko. Aikaisemmin luotettujen ehtojen mukaisesti Stora Enso Wood Products GmbH ei ole vastuussa ohjelmiston toiminnasta tai käyttäjän datan tai ohjelmistojen menettämisestä.

Sovellettava laki: Näihin ehtoihin sovelletaan Italian lakia, lukuun ottamatta sen kansainvälistä lainvalintaa koskevia säännöksiä ja YK:n kansainvälistä kauppalakia (CISG).

4. Poikittain kuormitetut vinoruuvit



harjoitus

Poikittain kuormitetut vinoruuvit rothblaas

rakennusinsinööri Artturi Laukkanen

Metropolia

1001

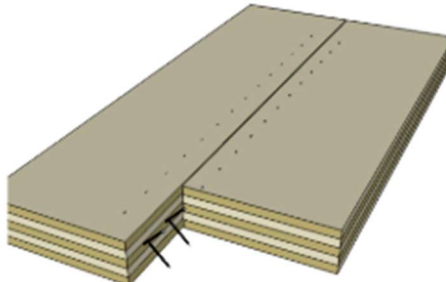
Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

1/4

3.5.2024

Liittyminen



F_x

F_y

F_z

K_{nos}

Materiaali 1

ρ_k

Paneeli 1

Pintakerroksen suuntautuminen

Liittintyyppi

Liittimet

Järjestely

Halkaisija

Päähalkaisija

Pituus

Kierteen pituus

Esiporattu

20 kN/m

0 kN/m

0 kN/m

1,1

-

C24 kuusi ETA (2022)

3,85 kN/m³

CLT 280 L7s - 2

X-suunta

Rothblaas VGZ

9/280

Ristissä

9 mm

11,5 mm

280 mm

270 mm

x

Erittely				
Analyysi	Nykyinen	Raja	Yksikkö	Hyödyntäminen
Paksuus 1	145	40	mm	28 %
Paksuus 2	140	40	mm	29 %
Fv	5000	6533,751	N	77 %
Lukumäärä	3,061	31,427	Määrä / m	10 %



harjoitus

Poikittain kuormitetut vinoruuvit rothblaas

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

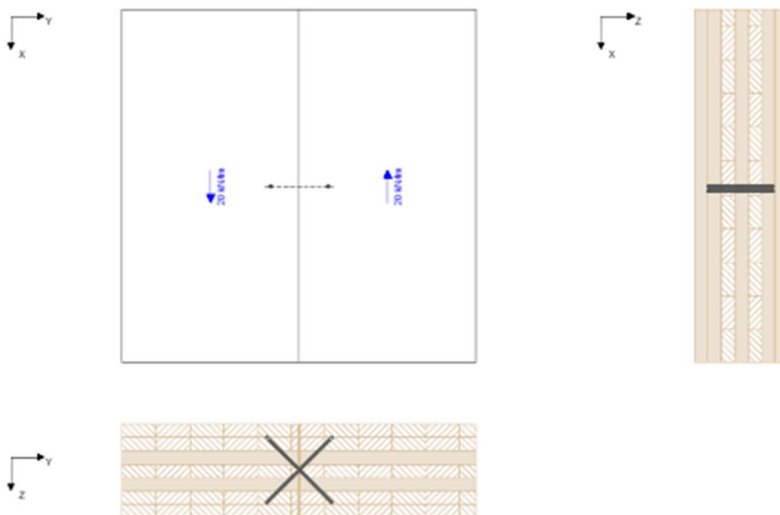
1001

Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

2/4
3.5.2024

Rakenteellinen järjestelmä



Minimietäisyys

Nimi	$a_{1,min}$	$a_{2,min}$	$a_{3,min}$	$a_{3l,min}$	$a_{4,min}$	$a_{4l,min}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
CLT vasen	45	14	54	54	36	54
CLT oikea	45	14	54	54	36	54

Tulos kerroksittain

Elementti 1

X	Paks	Typ	α	l_{eff}	$l_{eff,v}$	$F_{ax,TDk}$
[mm]	[mm]		[°]	[mm]	[mm]	[N]
0	40	L	90	0	0	0
40	5	L	90	0	0	0
45	35	L	90	50,1	35,5	5699
80	40	C	45	56,6	40	5844
120	13	L	90	18,3	12,9	2078
133	27	L	90	0	0	0
160	40	C	45	0	0	0
200	40	L	90	0	0	0
240	40	L	90	0	0	0

Elementti 2

X	Paks	Typ	α	l_{eff}	$l_{eff,v}$	$F_{ax,TDk}$
[mm]	[mm]		[°]	[mm]	[mm]	[N]
0	40	L	90	0	0	0
40	40	L	90	0	0	0
80	40	C	45	0	0	0
120	24	L	90	0	0	0
144	16	L	90	23,3	16,5	2646
160	40	C	45	56,6	40	5844
200	32	L	90	45,1	31,9	5131
232	8	L	90	0	0	0
240	40	L	90	0	0	0



harjoitus

Poikittain kuormitetut vinoruuvit rothblaas

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001

Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

3/4

3.5.2024

Tulokset

$b_{1,min}$	$b_{2,min}$	$f_{b,k,1}$	$f_{b,k,2}$	β	$t_{pen,1}$	$t_{pen,2}$	$l_{ef,1}$	$l_{ef,2}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{act,1/9,1}$	$F_{act,1/9,2}$
[mm]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[N]
0	0	28,73	28,73	1,00	145,00	140,00	125,00	125,00	40	40	13620,9	13620,95

Tulokset

$M_{y,1/9,k}$	$F_{act,1/9,k}$	$F_{head,1/9,k}$	$F_{tens,1/9,k}$	$F_{u,1/9,k}$	$F_{v,1/9,k}$	$F_{v,1/9,d}$	$F_{v,Ed}$	$F_{act,1/9,d}$	$F_{act,Ed}$	***Cour max	***Cour max	a_{ref}
[Nmm]	[N]	[N]	[kN]	[kN]	[N]	[N]	[kN/m]	[N]	[kN/m]	[Stk/m]	[Stk/m]	[mm]
27244,13	13620,95	0,00	25,400	16,178	7721,71	6533,75	20,00	11525,42	0,00	3,06	31,43	500

Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten

Arvonimi englanniksi	Kuvaus
EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
SFS EN 1995-1-1_NA	SFS EN 1995-1-1 - Suomi - Kansallinen liite - Kansalliset määritelmät liittyen - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
ETA-11/0030	ETA-11/0030 Eurooppalainen tekninen hyväksyntä; Rothoblaas; itsestään porautuvat ruuvit puurakenteissa
ETA-12/0063	SFS intec AG; itsestään porautuvat ruuvit puurakenteissa
ETA-12/0062	SFA intec AG; ETA-12/0062; itsestään porautuvat ruuvit puurakenteissa
ETA-11/0086	Rotho Blaas WHT hold downs and angle brackets
ETA-09/0322	GH Various Angle Brackets
ETA-11/0496	Rotho Blaas TITAN Angle Brackets
ETA-11/0190	Würth - Selbstbohrende Schrauben als Holzverbindungsmittel
ETA-12/0373	Schmid - Screws for use in timber constructions
ETA-12/0114	SPAX - Screws for use in timber constructions
ETA-20/0773	Würth - DENEK Angle Brackets and plate connectors
ETA-08/0183	Würth - Typ A + Typ V Angle Bracket
ETA-14/0274	Würth - Hold down and storey connector



harjoitus

Poikittain kuormitetut vinoruuvit rothblaas

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001

Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

4/4

3.5.2024

Vastuuvapauslauseke

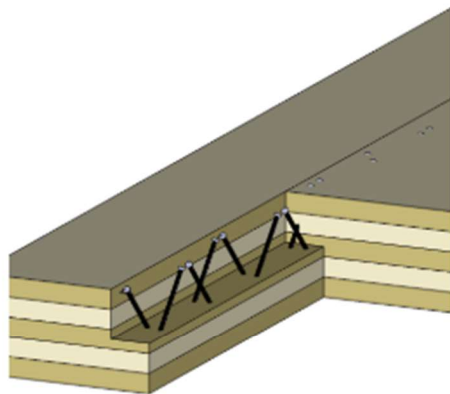
Ohjelmisto on suunniteltu auttamaan insinöörejä heidän jokapäiväisessä työssään. Ohjelmiston käyttäjien tulee olla taitavia ja kokeneita insinöörejä, joilla on laajaymmärrys rakennussuunnittelusta ja puurakenteisiin liittyvästä rakennusfysiikasta, sillä ohjelmiston tarkoituksena on avustaa vaikeissa rakennussuunnitteluun ja rakennusfysiikkaan liittyvissä tehtävissä. Ohjelmiston käyttäjä on velvollinen tarkastamaan kaikki ohjelmistoon syötetyt arvot ja tulosten viiteehtömyys riippumatta siitä, onko käyttäjä syöttänyt arvot ohjelmistoon itse tai onko arvot ohjelmistoon valmiiksi syötettyjä tietusarvoja. Ohjelmiston tulosten perusteella ei tule tehdä päätöksiä tai toimenpiteitä. Ohjelmiston tulosten käyttö on sallittua vasta kun projektin rakennussuunnittelusta/rakennusfysiikasta vastaava insinööri on tarkastanut tulokset ja hyväksynyt ne oikeiksi ja täydellisiksi. Käyttäjällä on mahdollisuus tulostaa ohjelmaa, mutta näitä ohjelmia ei saa muokata. Stora Enso Wood Products GmbH ei anna mitään takuuta tai vakuutusta ohjelmistoon liittyen. Huolimatta siitä, että ohjelmisto on kehitetty mahdollisimman huolellisesti, Stora Enso Wood Products GmbH ei anna suoraan tai epäsuoraan minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy minkäänlaista vastuuta ohjelmistolla tuotetun informaation tai datan tarkkuudesta, voimassaolosta, oikea-aikaisuudesta tai täydellisyydestä. Stora Enso Wood Products GmbH ei myöskään anna minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy vastuuta ohjelmiston yleisestä käytettävyydestä, sen sopivuudesta johonkin erityiseen tarkoitukseen tai yhteensopivuudesta kolmansien osapuolten tuottamien tai toimittamien ohjelmistojen kanssa. Stora Enso Wood Products GmbH on vastuussa ainoastaan vahingoista, jotka se on aiheuttanut törkeällä tuottamuskallallaan tai tahallisesti. Näin ollen Stora Enso Wood Products GmbH ei vastaa tuottamuskallisesti aiheutetuista vahingoista, paitsi milloin kyseessä on henkilön kohtanut vahinko. Aikaisemmin luotettujen ehtojen mukaisesti Stora Enso Wood Products GmbH ei ole vastuussa ohjelmiston toiminnasta tai käyttäjän datan tai ohjelmistojen menettämisestä. Soveltettava laki: Näihin ehtoihin sovelletaan Italian lakia, lukuun ottamatta sen kansainvälistä lainvalintaa koskevia säännöksiä ja YK:n kansainvälistä kauppalakia (CISG).

5. Pitkittäin kuormitetut vinoruuvit



harjoitus
Pitkittäin kuormitetut vinoruuvit Spax
rakennusinsinööri Artturi Laukkanen
Metropolia
1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen
1/4
3.5.2024

Liittyminen



F_x	20	kN/m
K_{red}	1,1	-
Materiaali 1	C24 kuusi ETA (2022)	
ρ_v	3,85	kN/m ³
Paneeli 1	CLT 280 L7s - 2	
Pintakerroksen suuntautuminen	X-suunta	
Paneeli 2	CLT 280 L7s - 2	
Pintakerroksen suuntautuminen	✓	
Liitintyyppi	WIROX puurakentaminen sylinterikanta täyskierre	
Liittimet	8 x 300 mm	
Järjestely	Ristissä	
Halkaisija	8 mm	
Päähalkaisija	10 mm	
Pituus	300 mm	
Kierteen pituus	288 mm	
Liitoksen pituus	5000 mm	
Rivien numerot	1	
Esiporattu	x	

Erittely

Analyysi	Nykyinen	Raja	Yksikkö	Hyödyntäminen
CLT:n leveys	5000	108	mm	2 %
Paksuus 1	156	36	mm	23 %
Paksuus 2	144	36	mm	25 %
Fax	7071,068	11505,94	N	61 %
Lukumäärä	2,458	44,194	Määrä / m	6 %



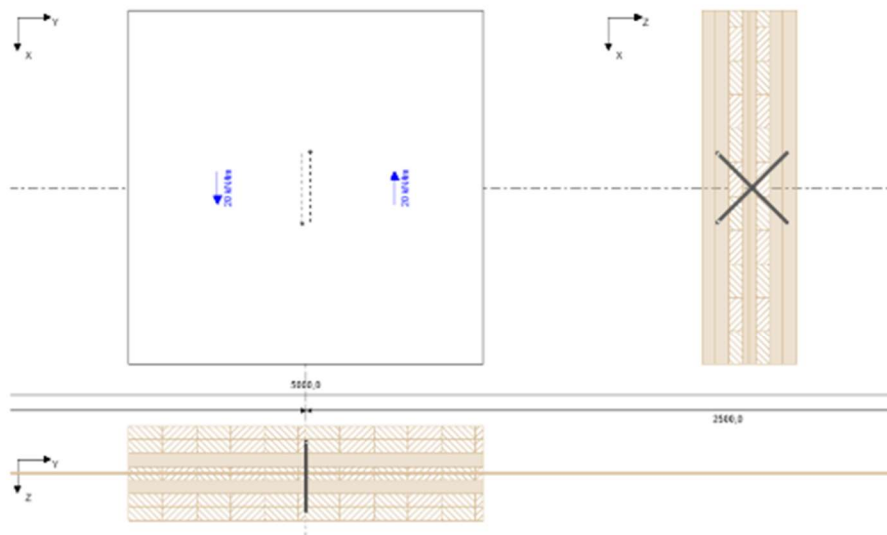
harjoitus
Pitkittäin kuormitetut vinoruuvit Spax
rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001
Suomi
Tarkastaja Artturi Laukkanen

2/4
3.5.2024

Rakenteellinen järjestelmä



Minimietäisyys

Nimi	$a_{1,min}$	$a_{2,min}$	$a_{3c,min}$	$a_{3l,min}$	$a_{4c,min}$	$a_{4l,min}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
CLT yläpuoli	32	20	48	48	20	48
CLT alapuoli	32	20	48	48	20	48

Tulos kerroksittain

Elementti 1

X	Paks	Typ	α	l_{eff}	$l_{eff,v}$	$F_{ax,ltk}$
[mm]	[mm]		[°]	[mm]	[mm]	[N]
0	38	L	45	0	0	0
38	2	L	45	2,6	1,8	267
40	40	L	45	56,6	40	5861
80	40	C	90	56,6	40	5861
120	20	L	45	28,3	20	2930

Elementti 2

X	Paks	Typ	α	l_{eff}	$l_{eff,v}$	$F_{ax,ltk}$
[mm]	[mm]		[°]	[mm]	[mm]	[N]
140	20	L	45	28,3	20	2930
160	40	C	90	56,6	40	5861
200	40	L	45	56,6	40	5861
240	2	L	45	2,6	1,8	267
242	38	L	45	0	0	0



harjoitus

Pitkittäin kuormitetut vinoruuvit Spax

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001

Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

3/4
3.5.2024

Tulokset

$b_{1,min}$	$b_{2,min}$	$f_{b,k,1}$	$f_{b,k,2}$	β	$t_{pen,1}$	$t_{pen,2}$	$l_{eff,1}$	$l_{eff,2}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	$F_{ax,1/9,1}$	$F_{ax,1/9,2}$
[mm]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[N]
108	108	29,04	29,04	1,00	156,00	144,00	144,00	144,00	36	36	14919,2	14919,28

Tulokset

$M_{y,1/9,k}$	$F_{ax,1/9,k}$	$F_{head,1/9,k}$	$F_{ax,1/9,k}$	$F_{ax,1/9,k}$	$F_{y,1/9,k}$	$F_{y,1/9,k}$	$F_{x,Ed}$	$F_{ax,Ed}$	$F_{ax,Ed}$	***Cour mat	***Cour mat	a_{eff}
[Nm]	[N]	[N]	[kN]	[kN]	[N]	[N]	[kN/m]	[N]	[kN/m]	[Stk/m]	[Stk/m]	[mm]
20057,00	14919,28	0,00	17,000	11,506	7240,75	6126,79	0,00	11505,94	28,28	2,46	44,19	500

Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten

Arvonimi englanniksi	Kuvaus
EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
SFS EN 1995-1-1_NA	SFS EN 1995-1-1 - Suomi - Kansallinen liite - Kansalliset määritelmät liittyen - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
ETA-11/0030	ETA-11/0030 Eurooppalainen tekninen hyväksyntä; Rothoblaas; Itsestään porautuvat ruuvit puurakenteissa
ETA-12/0063	SFS intec AG; itsestään porautuvat ruuvit puurakenteissa
ETA-12/0062	SFA intec AG; ETA-12/0062; itsestään porautuvat ruuvit puurakenteissa
ETA-11/0086	Rotho Blaas WHT hold downs and angle brackets
ETA-09/0322	GH Various Angle Brackets
ETA-11/0496	Rotho Blaas TITAN Angle Brackets
ETA-11/0190	Würth - Selbstbohrende Schrauben als Holzverbindungsmittel
ETA-12/0373	Schmid - Screws for use in timber constructions
ETA-12/0114	SPAX - Screws for use in timber constructions
ETA-20/0773	Würth - DENEb Angle Brackets and plate connectors
ETA-08/0183	Würth - Typ A + Typ V Angle Bracket
ETA-14/0274	Würth - Hold down and storey connector



harjoitus

Pitkittäin kuormitetut vinoruuvit Spax

rakennusinsinööri Artturi
Laukkanen

Metropolia

1001

Suomi

Tarkastaja Artturi Laukkanen

4/4

3.5.2024

Vastuuvapauslauseke

Ohjelmisto on suunniteltu auttamaan insinöörejä heidän jokapäiväisessä työssään. Ohjelmiston käyttäjien tulee olla taitavia ja kokeneita insinöörejä, joilla on laajajännitys rakennesuunnittelusta ja puurakenteisiin liittyvistä rakennusfysiikasta, sillä ohjelmiston tarkoituksena on avustaa vaikeissa rakennesuunnitteluun ja rakennusfysiikkaan liittyvissä tehtävissä. Ohjelmiston käyttöä on velvollinen tarkastamaan kaikki ohjelmistoon syötetyt arvot ja tulosten virheettömyys riippumatta siitä, onko käyttäjä syöttänyt arvot ohjelmistoon itse tai onko arvot ohjelmistoon välikäsi syötettyä oletusarvoja. Ohjelmiston tulosten perusteella ei tule tehdä päätöksiä tai toimenpiteitä. Ohjelmiston tulosten käyttö on sallittua vasta kun projektin rakennussuunnittelusta/rakennusfysiikasta vastaava insinööri on tarkastanut tulokset ja hyväksynyt ne oikeiksi ja täydelliseksi. Käyttäjällä on mahdollisuus tulostaa ohjelmistosta, mutta näitä otteita ei saa muokata. Stora Enso Wood Products GmbH ei anna mitään takuuta tai vakuutusta ohjelmistoon liittyen. Huolimatta siitä, että ohjelmisto on kehitetty mahdollisimman huolellisesti, Stora Enso Wood Products GmbH ei anna suoraan tai epäsuoraan minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy minkäänlaista vastuuta ohjelmistolla tuotetun informaation tai datan tarkkuudesta, voimassaolosta, oikea-aikaisuudesta tai täydellisyydestä. Stora Enso Wood Products GmbH ei myöskään anna minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy vastuuta ohjelmiston yleisestä käytettävyydestä, sen sopivuudesta johonkin erityiseen tarkoitukseen tai yhteensopivuudesta kolmansien osapuolten tuottamien tai toimittamien ohjelmistojen kanssa. Stora Enso Wood Products GmbH on vastuussa ainoastaan vahingoista, jotka se on aiheuttanut törkeällä tuottamuksellaan tai tahallisesti. Näin ollen Stora Enso Wood Products GmbH ei vastaa tuottamuksesta aiheutetuista vahingoista, paitsi milloin kyseessä on henkilöön kohdistunut vahinko. Alkaisemmin lueteltujen ehtojen mukaisesti Stora Enso Wood Products GmbH ei ole vastuussa ohjelmiston toiminnasta tai käyttäjän datan tai ohjelmistojen menettämisestä. Soveltettava laki: Näihin ehtoihin sovelletaan Italian lakia, lukuun ottamatta sen kansainvälistä lainvalintaa koskevia säännöksiä ja YK:n kansainvälistä kauppalakia (CISG).