

# Aukon rakennejärjestelmä liimaristikkorakenteissa

Juho Savolainen

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2023

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talonstrakennustekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talonrakennustekniikka

SAVOLAINEN, JUHO:  
Aukon rakennejärjestelmä liimaristikkorakenteissa

Opinnäytetyö 98 sivua, joista liitteitä 60 sivua  
Huhtikuu 2023

---

Tässä työssä tarkastellaan kahta erilaista aukkoratkaisua liimaristikkorakenteilla toteutetuille väli- ja yläpohjille. Ratkaisut ovat Tampereen yliopiston dosentti Tuomo Poutasen esittämiä. Työn tavoitteena oli löytää ratkaisusta mahdollisesti yleispätevä menetelmä aukon toteuttamiseen liimaristikkorakenteissa. Työssä tehtiin rakennelaskelmat sekä 3D-mallit Poutasen esittämille ratkaisuille. Työssä käytettiin tutkimustyökaluina Mathcad Prime 8.0-, AutoCAD- ja SketchUp -ohjelmia.

Työssä käsitellään yleisesti liimaristikoita sekä yleisesti käytettyä aukkoratkaisua väli- ja yläpohjarakenteissa. Lisäksi työssä esitellään kuvitteellinen esimerkkirakennus, lähtötiedot rakennelaskelmille ja käytetty laskentateoria. Työssä myös käydään läpi molempien esitettyjen aukkoratkaisujen tulokset sekä niistä tehty 3D-malli.

Tulokset osoittivat, että molemmat Poutasen esittämistä ratkaisuista ovat varteenotettavia aukon tekemisen kannalta. Molempien ratkaisujen pääperiaatteena oli voimien siirto kontaktilla läpipalkin ja täytepalojen avulla. Ratkaisuja voi kutsua yleispäteviksi, mutta jokaisen aukon tapaukselle tulee tehdä tarkastelut palkin materiaalin ja profiilin määrittämiseksi. Tässä työssä ratkaisuihin perehdyttiin teoriatasolla, mutta tulevaisuudessa olisi tarpeellista tehdä koekuormituksia, jotta voidaan varmistua aukkoratkaisujen kestävydestä.

---

Asiasanat: liimaristikko, aukko, välipohja, yläpohja, tuenta

## **ABSTRACT**

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

SAVOLAINEN, JUHO:  
The Opening Structure in Glued Timber Trusses

Bachelor's thesis 98 pages, appendices 60 pages  
April 2023

---

This thesis investigates the solutions for opening structures in intermediate floors and roofs made with glued timber trusses. The solutions were provided by adjunct professor Tuomo Poutanen from Tampere university. The aim of this thesis was to find a universally valid method on making an opening with glued timber trusses from the provided solutions. Structural calculations and 3D models were made for both solutions provided by professor Poutanen. The tools used for this thesis were Mathcad Prime 8.0, AutoCAD and SketchUp.

At first, the thesis covered glued timber trusses in general and the current common opening solution used in intermediate floors and roofs. After these the imaginary example building, the cost data and the theory for the calculations were covered. Finally, the results and the 3D-models for both solutions were covered.

The results show that both of the solutions provided by professor Poutanen are feasible for making an opening. The main principle in both solutions is to transfer loads via contact using a beam and filler blocks. The solutions may be called universally valid but calculations need to be made for every opening to determine the material and the profile for the beam. This thesis undergoes the solutions in theory but in the future test loading is needed.

---

Key words: glued timber truss, opening, intermediate floor, roof, support

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	YLEISTÄ LIIMARISTIKOISTA .....	6
	2.1 Liimaristikoiden ominaisuuksia.....	6
	2.2 Liimaristikkotuotteita.....	7
	2.2.1 TRIFORCE-ristikkopalkit .....	8
	2.2.2 TK-PALKKI .....	10
3	AUKKOJEN NYKYINEN RAKENNEJÄRJESTELMÄ.....	12
	3.1 Esittely .....	12
4	AUKON RAKENNEJÄRJESTELMÄ LIIMARISTIKOILLA, VINO LÄPIPALKKI .....	15
	4.1 Tutkimustyökalut.....	15
	4.2 Yleisesittely .....	15
	4.3 Laskenta .....	17
	4.3.1 Lähtötilanne .....	18
	4.3.2 Mitoitus taivutukselle .....	21
	4.3.3 Mitoitus kiepahdukselle .....	22
	4.3.4 Mitoitus leikkaukselle.....	23
	4.3.5 Mitoitus tukipaineelle .....	23
	4.3.6 Mitoitus taipumalle.....	24
	4.4 Tulosten esittely .....	25
5	AUKON RAKENNEJÄRJESTELMÄ LIIMARISTIKOILLA, SUORA TUPLAPALKKI.....	28
	5.1 Yleisesittely .....	28
	5.2 Laskenta ja lähtötilanne .....	28
	5.3 Tulosten esittely .....	29
6	3D-MALLIN ESITTELY .....	31
7	POHDINTA .....	34
	LÄHTEET .....	36
	LIITTEET .....	38
	Liite 1. Vinopalkki, lyhyt jänneväli .....	38
	Liite 2. Vinopalkki, pitkä jänneväli .....	52
	Liite 3. Suora tuplapalkki, lyhyt jänneväli .....	66
	Liite 4. Suora tuplapalkki, pitkä jänneväli .....	77
	Liite 5. Yksittäinen suora palkki, lyhyt jänneväli .....	88

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää kaksi uutta yleispätevää ratkaisua liimaristikkorakenteisen väli- ja yläpohjan aukkojen rakennejärjestelmään. Ratkaisut on esittänyt dosentti Tuomo Poutanen Tampereen yliopistosta, joka on liimaristikoiden keksijä sekä kehittäjä. Poutanen (2023) uskoo, että kyseisillä ratkaisuilla voidaan monipuolistaa pystysuuntaisten aukkojen muotoja liimaristikkorakenteisissa väli- sekä yläpohjissa. Poutanen uskoo myös, että liimaristikoissa on paljon potentiaalia puurakenteisten asuin- ja liikerakennusten lattia- ja kattopalkkien markkinoilla, vaikkakin niiden myynti on tällä hetkellä globaalisti vähäistä (Poutanen 2023). Näitä ratkaisuja voidaan hyödyntää jatkossa liimaristikoilla rakentamisen ja niiden kehittämisen yhteydessä.

Työn tarkoituksena on laatia Poutasen esittämistä ratkaisuista rakennelaskelmat sekä tehdä 3D-malli rakennejärjestelmien havainnollistamiseen. Laaditut rakennelaskelmat ovat nähtävissä työn liitteissä. Opinnäytetyössä myös esitellään liimaristikoita yleisesti ja esitellään nykyinen yleispätevä pystysuuntaisten aukkojen rakennejärjestelmä puurakenteisissa väli- ja yläpohjissa.

Työstä on rajattu mitoitusten osalta pois akustiikka, palomitoitus, värähtely, palkin naulaliitoksen mitoitus sekä ristikon kokonaiskestävyyden mitoitus.

## 2 YLEISTÄ LIIMARISTIKOISTA

### 2.1 Liimaristikoiden ominaisuuksia

Liimaristikot valmistetaan vain puukomponenteista ja liimasta. Puukomponenteiksi kelpaa niin sahatavara kuin liimapuu, riippuen ristikon tavoitellusta jännevälisestä. Liimattu liitos on lujuudeltaan ja kestävyydeltään loistava, mutta se täytyy toteuttaa tarkkaan valvotusti ja esivalmisteisesti, eli sitä ei ole kannattavaa tehdä työmaalla. Liitoksessa liima täytyy levittää tarkasti kaikkialle liitoskohtaan ja käytetyn liiman täytyy olla kunnossa, eli se ei saa olla vanhentunutta tai muuten pilaantunutta. Laadun varmistamiseksi liitokset olisi paras tehdä robotilla automatisoidusti. Nykypäivän liimaristikoiden liitokset paarteiden ja uumasauvojen välillä ovat kaikki ns. liimattuja sormiliitoksia. Uumasauvojen päihin lovetaan kapenevat sormet ja paarteiden pintoihin urat sormille. Nämä molemmat valmistetaan sahanterällä kahdessa kulmassa (Poutanen 2023.)

Rakenteellisesti ristikkorakenne on tehokkain vaihtoehto materiaalimenekin ja muokattavuuden suhteen vaakarakenteissa, ja täten liimaristikokin on varteenotettava vaihtoehto. Vaakarakenteina on myös mahdollista käyttää naulalevyristikoita, joita valmistaa esimerkiksi Yhdysvaltalainen MiTek Inc. Naulalevyristikot ovat kuitenkin yleisempiä kattorakenteissa, koska naulalevyliitos on joustavampi ja sen suhteen helpommin käytettävissä kaltevissa ristikkorakenteissa. Liimaristikoiden muokattavuutta edesauttaa se, että niitä pystytään valmistamaan aihioina ja leikkaamaan mielivaltaisesti tarvittaviin mittoihin. Muokattavuuden kannalta olennaista on myös mahdollisuus uumasauvojen mielivaltaiseen asetteluun ristikon sisällä. Uumasauvoja voidaan tarpeen tullen lisätä mihin tahansa kohtaan ristikkoa ja uumasauvat voidaan kiinnittää irti toisistaan tai kiinni toisiinsa (Poutanen 2023.)

Materiaalimenekki korostuu varsinkin pitkillä jänneväleillä katoissa, jolloin massiivipuupalkit käyvät turhan raskaiksi ja vaikeiksi käsitellä. Näissä tapauksissa ristikkorakenne keventää rakennetta, koska ristikossa käytetyn puutavaran määrä on pienempi kuin yhtenäisessä suorakaidepalkissa. Nykypäivänä liimaristikoita ei

kuitenkaan käytetä pitkien jännevälien katoissa, mutta niillä on kovasti potentiaalia (Poutanen 2023; Liimapuukäsikirja osa 1, 2014, 49.)

Liimaristikot ovat myös avoimia uumastaan, mikä on hyvä ominaisuus ajatellen esimerkiksi LVIS-asennuksia varsinkin välipohjarakenteissa. Tarvittavat talotekniset vedot, esimerkiksi viemärointi ja ilmanvaihtoputket, mahtuvat kulkemaan ristikon uumasauvojen välistä välipohjarakenteen sisällä (Poutanen 2023; TK-PALKKI, 7) Talotekniikan läpiviennit on havainnollistettu kuvassa 1. Normaaleilla suorakaidepalkeilla tai I-palkeilla tämä ei ole mahdollista, koska niihin reikien tekeminen on hyvin rajoitettua lujuusominaisuuksien säilymisen kannalta. Tavallisesti kyseisillä palkeilla rakennettaessa tarvitseekin tehdä alaslaskuja sisäkattoon, jotta talotekniikka saadaan piilotettua. Liimaristikoilla tämä tarve poistuu, ja alakatto voidaan toteuttaa tasakorkeana jokaisessa huoneessa (TK-PALKKI, 4, 7.)



KUVA 1. Ilmanvaihtoputkien vedot paritalon välipohjassa (TK-PALKKI, 3)

## 2.2 Liimaristikkotuotteita

Liimaristikkopalkkeja valmistaa nykyään vain kolme yritystä. Suomalainen Teeri-Kolmio Oy valmistaa tuotenimellä TK-PALKKI, Kanadalainen Barrette Structural valmistaa tuotenimellä TRIFORCE ja Saksalainen PERI valmistaa ristikkopalkkeja lähinnä tuki- ja muottirakenteiksi betonivaluihin. Teeri Kolmio Oy:n sekä Barrette Structural:n valmistamat liimaristikkopalkit ovat soveltuvia asuin- ja liikeraennusten välipohjarakenteisiin (Poutanen 2023.) PERI-palkit jätetään kuitenkin esittelemättä, koska niitä ei käytetä virallisesti puurakentamisessa.

### 2.2.1 TRIFORCE-ristikkopalkit

TRIFORCE-ristikkopalkkeja voidaan käyttää asuin- ja liikerakennusten väli- sekä yläpohjissa kantavina rakenteina. Niitä markkinoidaan vain Kanadassa ja Yhdysvalloissa. Kyseisissä palkeissa on OSB-levy toisessa päässä, eli ristikon toinen pää on määrättyltä pituudelta I-palkkia (kuva 2). Vain tätä päätä voidaan lyhentää mielivaltaisesti, kuitenkin maksimissaan 24 tuumaa, eli noin 61 cm. Tämä ominaisuus poistaa pienten mittavirheiden aiheuttamia haittoja asennusvaiheessa. Ristikkopalkin muihin puukomponentteihin ei saa tehdä reikiä, loveuksia tai katkaisuita (TRIFORCE® U.S. Specifier Guide 2021, 2, 4, 11.)



KUVA 2 TRIFORCE-ristikkopalkin pääty (TRIFORCE® U.S. Specifier Guide 2021, 3)

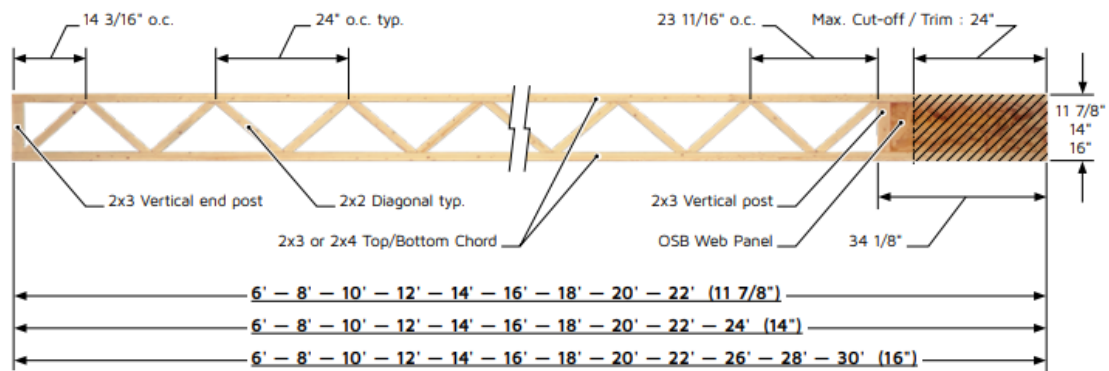
TRIFORCE-ristikkopalkkeja valmistetaan kolmea eri korkeutta ja eri pituisina kuudesta jalasta kolmeenkymmeneen jalkaan kahden jalan mittavälein, eli noin 1.8 m – 9.1 m. Niiden valmistamiseen käytetään pelkästään puuta ja liimaa. Muokattavuutensa takia TRIFORCE-ristikoita valmistetaan vakiokokoisina varastoon ja siten niitä on aina saatavilla kuluttajan tarpeisiin (TRIFORCE® U.S. Specifier Guide 2021, 2, 4). Tarkemmat koot ja ristikon osien mitat esitetty taulukossa 1 ja kuviossa 1 (TRIFORCE® U.S. Specifier Guide 2021, 4).

TAULUKKO 1. TRIFORCE-ristikoiden kokotaulukko

Depth	Series	Weight lbs/ft	Stock Lengths (feet)													
			6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
11 7/8"	OJ314	2.80	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
	OJ315	2.80							✓							
	OJ415	3.35								✓						
	OJ418	3.35								S	S	✓				
14"	OJ314	2.85	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
	OJ315	2.85							✓	✓						
	OJ415	3.45									✓					
	OJ418	3.45									S	✓	✓			
16"	OJ314	2.95	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
	OJ315	2.95							✓	✓						
	OJ418	3.55								S	✓	✓	✓			
	OJ420	3.55												✓	✓	

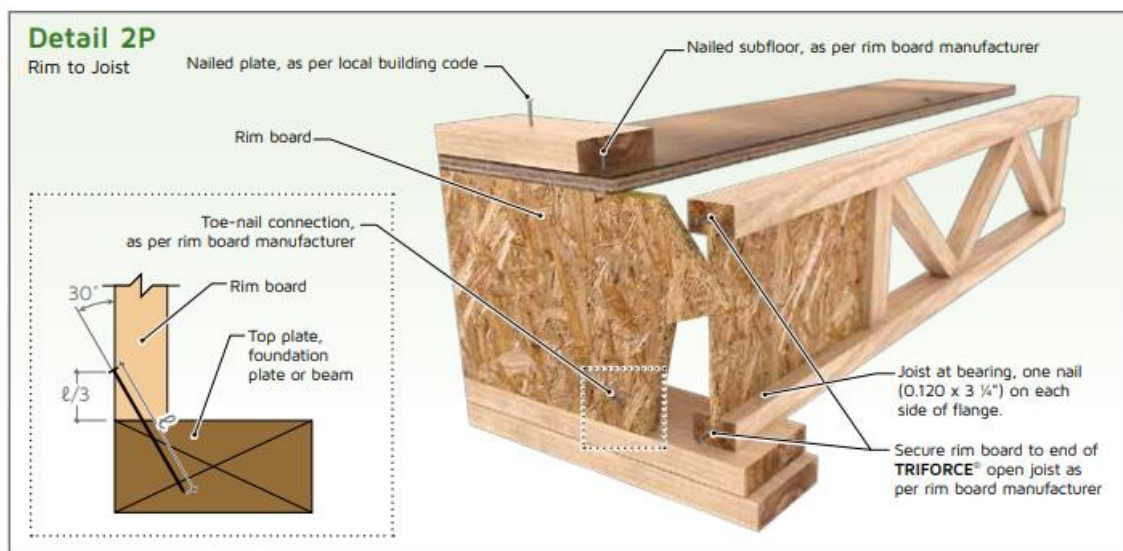
✓ = In stock

S = Limited inventory. Please contact your representative to determine quantities.



KUVIO 1. TRIFORCE-ristikon osat ja niiden koot

Näiden ristikkopalkkien tuenta tapahtuu alapaarteelta kantavan rakenteen päälle naulaamalla. Naulat lyödään uuman/uumasauvojen molemmin puolin (TRIFORCE® U.S. Specifier Guide 2021, 13). Naulauksen lisäksi ristikoiden pätyihin vaaditaan kehälevy koko välipohjan leveydelle jäykistämään rakennetta, koska tuenta tapahtuu ristikon alapaarteelta (kuvio 2). Oppaassa on käytetty tähän OSB-levyä, mutta tähän soveltuu myös lujuusominaisuuksiltaan samantasoiset levytuotteet.



KUVIO 2. Kehälevyn asennus ristikon pätyyn ja kiinnitys kantavaan rakenteeseen (TRIFORCE® U.S. Specifier Guide 2021, 13)

## 2.2.2 TK-PALKKI

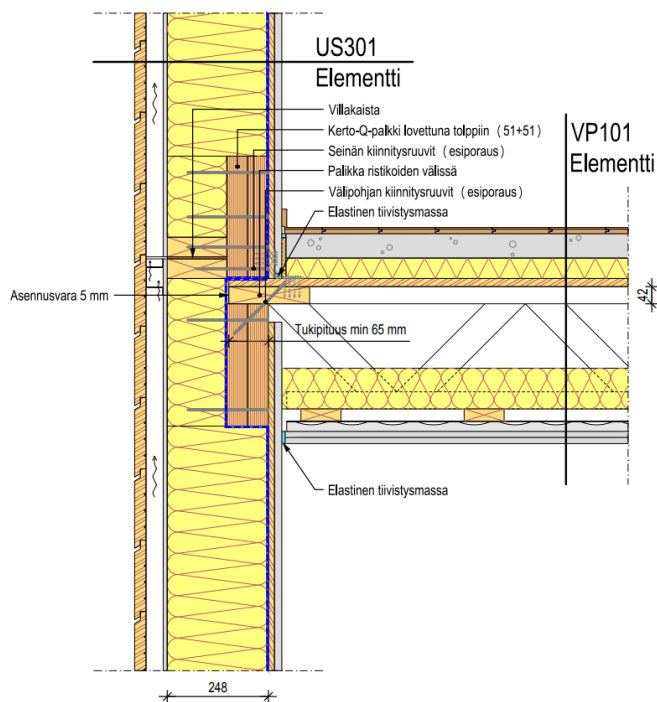
TK-PALKKI (kuva 3) on suomalainen Teeri-Kolmio Oy:n valmistama liimaristikotuote, jota valmistetaan Pirkanmaan Ylöjärvellä. Näitä palkkeja markkinoidaan vain Suomen sisäisesti ja suurin osa markkinoista sijoittuu Suomen eteläiselle puolelle. TK-PALKKI on kehitetty perustuen Poutasen patenteihin ja keksintöihin (tk-palkki.fi.)



KUVA 3. TK-PALKKEJA välipohjan kantavana rakenteena (TK-PALKKI, 1)

TK-PALKKIEN kaikki puukomponentit valmistetaan lujuusluokaltaan C24 mitallistetusta sahatavarasta ja ne kiinnitetään toisiinsa EN 301:n mukaisella rakenneleimalla (TK-PALKKI, 17). Puukomponentteihin ei saa tehdä reikiä, loveuksia eikä katkaisuja (TK-PALKKI kuljetus-, varastointi-, käsittely- ja asennusohjeet, 5). Palkit valmistetaan ja toimitetaan määrämittaisena sekä asennusvalmiina kohdekohtaisesti, mutta niistä voidaan valmistaa myös valmiita välipohjaelementtejä kohteisiin. Palkit tuetaan yläpaarteeltaan, mutta myös alapaarretuenta on mahdollinen. Tuenta yläpaarteelta mahdollistaa esimerkiksi alakaton rajaan asti yltävät ikkunat ja kulmarautojen sekä palkkikenkien tarpeen poistumisen (TK-PALKKI kuljetus-, varastointi-, käsittely- ja asennusohjeet, 5, 6; TK-PALKKI, 5, 8)

Kiinnitysten ja liitosten detaljit ovat nähtävillä tk-palkki.fi -sivustolta ladattavissa olevista pdf-tiedostoista. TK-PALKIT kiinnitetään seinäelementeissä oleviin läpipalkkeihin vinoruuvaamalla. Tukipintaa tulee olla minimissään 65 mm (TK-PALKKI kuljetus-, varastointi-, käsittely- ja asennusohjeet, 5). Kuvio 3 havainnollistaa TK-PALKIN kiinnityksen perinteiseen rankarunkoiseen seinäelementtiin.



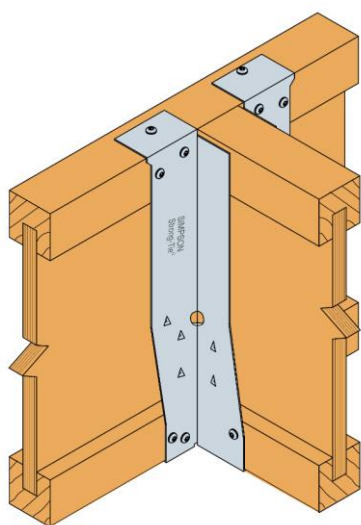
KUVIO 3. TK-PALKIN ja ulkoseinän liitosdetalji (tk-palkki.fi, liittymädetaljit P2-paluokan rakennukset)

### 3 AUKKOJEN NYKYINEN RAKENNEJÄRJESTELMÄ

#### 3.1 Esittely

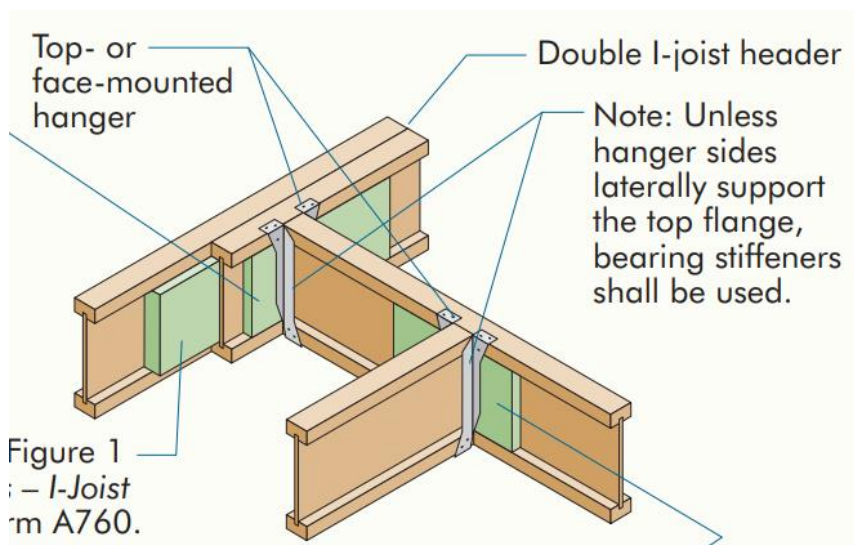
Puurakenteisten välipohjien pystysuuntaisten aukkojen rakennejärjestelmä on nykyään yleispätevä jokaiselle palkkityypille ja sitä voidaan soveltaa niin porraskoissa kuin hormiaukoissa. Aukko voidaan toteuttaa välipohjan pääpalkkien kanssa yhdensuuntaisesti tai pääpalkkeja vastaan kohtisuoraan. Pääpalkkien kanssa yhdensuuntaisen aukon etuna on se, että lyhempiä palkkeja tarvitaan yleisesti vähemmän ja välipohja voidaan toteuttaa suuremmalti osin yhdellä määrällisellä palkkityypillä (gregvancom 2017). Aukko voidaan myös sijoittaa mielivaltaisesti välipohjaan.

Yleisesti ottaen aukkorakenteessa on pääkannattimia ja toisiokannattimia. Tässä yleispätevässä aukon rakennejärjestelmässä toisiokannattimet toimivat voimien siirtäjänä pääkannattimille ja ne kiinnitetään pääkannattimien kylkeen palkkikenkillä. Palkkikenkinä voidaan käyttää palkin profiilin mukaan sekä päältä kiinnitettäviä palkkikenkiä että sivusta kiinnitettäviä palkkikenkiä. Esimerkiksi I-profiilisilla tai ristikkopalkeilla on yleisempää käyttää päältä kiinnitettäviä palkkikenkiä (kuvio 4).



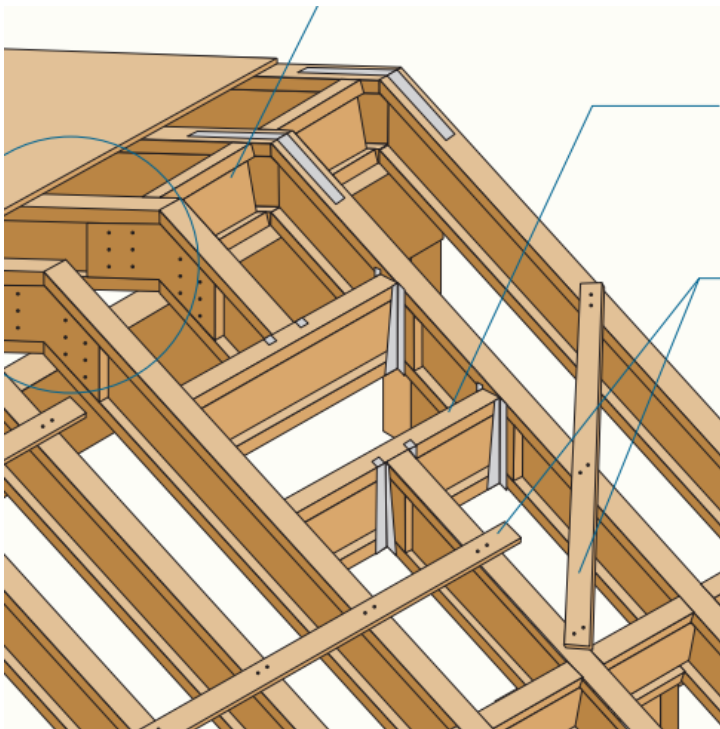
KUVIO 4. Päältä kiinnitettävä palkkikenkä I-palkkien kiinnitykseen toisiinsa (Simpson Strong-Tie, n.d.)

Aukkorakenteen reunoille tulee pääpalkkien jännevälissä ja aukon sijainnista riippuen laittaa tuplapalkit, mikäli reunan alle ei tule kantavaa väliseinää. Pääpalkkien tyypistä riippumatta toisiopalkit voivat olla eri profiilia. Esimerkiksi jos välipohjan pääkannattimet ovat I-palkkeja, niin toisiopalkit voidaan tehdä neliöprofiilisesta sahatavarasta tai liimapuusta (gregvancom 2017.) I-palkeilla rakennettaessa täytyy kuitenkin huomioida tarvittavat täyttöpalat ja jäykisteet esimerkiksi niihin uuman kohtiin, mihin kiinnitetään toisiopalkki (kuvio 5).



KUVIO 5. Tarvittavat täyttö/jäykistepalat I-profiileilla (Stairwell Openings in APA I-Joist Floors, 9)

Yläpohjarakenteissa voidaan käyttää samaa periaatetta aukkojen rakentamiseen kuin välipohjissa, mikäli ne ovat toteutettu palkkirakenteisena. Vesikatolle vievät aukot eivät ole useimmiten kovinkaan suuria, joten esimerkiksi reunojen tuplapalkit eivät välttämättä ole tarpeellisia. Kuvio 6 havainnollistaa aukkoratkaisun I-palkeilla toteutetussa kattorakenteessa. Suomessa, varsinkin pientalorakentamisessa, on kuitenkin yleisempää tehdä yläpohjat naulalevyristikoilla kuin palkkirakenteisena.



KUVIO 6. Aukkorakenne esimerkiksi hormille I-palkeilla toteutetussa katossa  
(Performance Rated I-Joist Roof Framing Details, 3)

## 4 AUKON RAKENNEJÄRJESTELMÄ LIIMARISTIKOILLA, VINO LÄPIPALKKI

### 4.1 Tutkimustyökalut

Tutkimustyökaluina käytettiin PTC:n Mathcad Prime 8.0, AutoDeskin AutoCAD 2022:a ja Trimblen SketchUp Pro 2023: a. Rakennelaskelmat tehtiin MathCad:lla, piirrokset havainnollistamista ja laskentaa varten AutoCAD:lla ja 3D-malli kuvitteellisesta esimerkkirakennuksesta tehtiin SketchUp:lla.

Mathcad on laskentaohjelma, joka toimii syöttämällä dokumenttiin tarvitut kaavat ja lähtöarvot oikeaan järjestykseen. Mathcad:ssa on siis mahdollista käyttää sekä numeroita että symboleita. Kun laskentapohja on tehty oikeaan järjestykseen, on helppo tutkia esimerkiksi lähtötietojen muutosten vaikutusta laskennan lopputulokseen. Mathcad ei siis ole virallisesti mitoitusohjelma vaan se toimii käytännössä kynän, paperin ja laskimen korvikkeena.

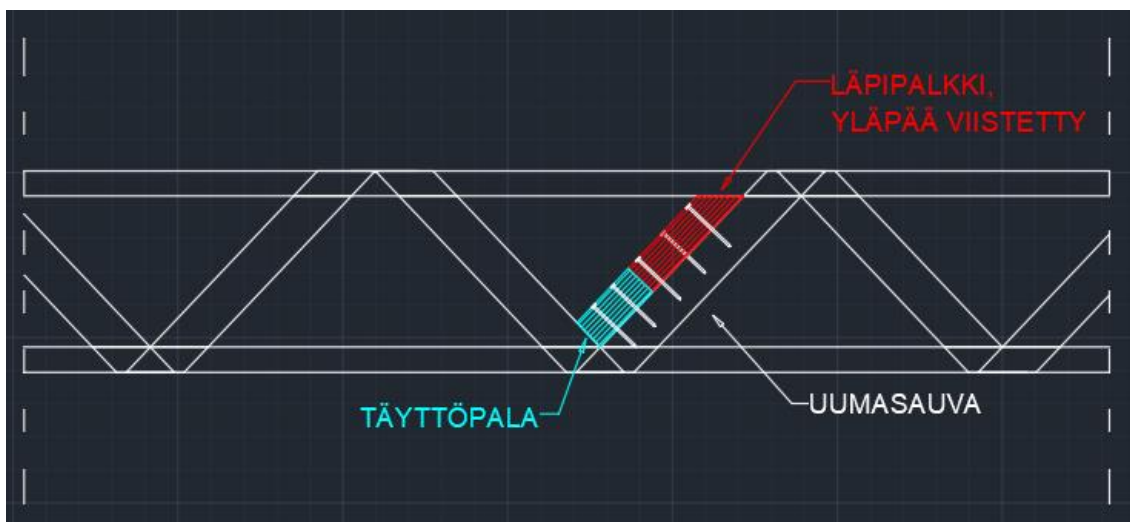
AutoCAD on suunnitteluohjelma, jolla tehdään enimmäkseen 2D-piirroksia, mutta sillä on mahdollista piirtää myös 3D-piirroksia. Se soveltuu hyvin esimerkiksi detailjipiirrosten tekemiseen, koska piirtäminen onnistuu todella tarkkoilla yksiköillä. Tämä ohjelma oli paras vaihtoehto laskennan kannalta lähtötilanteiden havainnollistamiseen.

SketchUp on 3D-mallinnusohjelma. Tähän työhön se oli helpoin mahdollinen työkalu mallintaa ristikot 3D-maailmassa. SketchUp:lla voi suunnitella mielivaltaisesti mitä tahansa ja sitä käytetäänkin esimerkiksi arkkitehtuurissa ja tuotesuunnittelussa (NORDIC BIM GROUP FINLAND 2023).

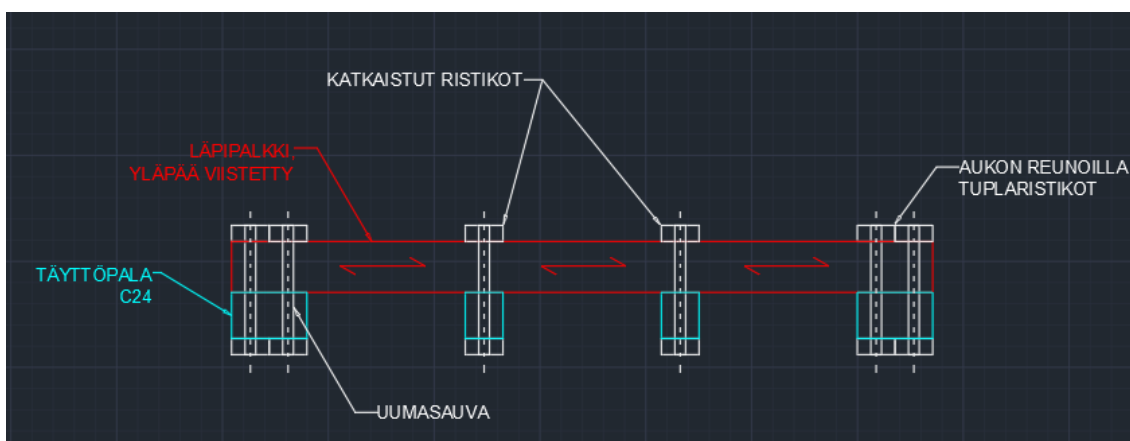
### 4.2 Yleisesittely

Poutasen ensimmäisessä aukkoratkaisussa on tavoitteena voimien siirto kontaktilla. Tässä peruseriaatteena on läpipalkkiratkaisu, mitä havainnollistavat kuvat 7 ja 8. Palkin yläpää viistetään uumasauvan kulman mukaan ja palkki kiinnitetään

uumasauvoihin naulaamalla. Palkin alapään ja alapaarteen väliin laitetaan sopivankokoinen täytepala palkin poikkileikkauksen mukaan, ja täytepala naulataan myös uumasauvaan kiinni. Näin saadaan voimansiirto yläpaarteelta alapaarteen ja uumasauvan solmupisteelle ja sitä kautta alapaarteelle. Kyseinen ratkaisu poistaa palkkikenkien tarpeen aukkorakenteessa. Liimaristikon mitat, jolle ratkaisua kokeiltiin, saatiin Poutaselta luottamuksellisesti.



KUVIO 7. Havainnollistus läpipalkkiratkaisusta sivulta päin



KUVIO 8. Havainnollistus läpipalkkiratkaisusta edestäpäin

Tässä työssä laskennan kannalta haluttiin tarkastella mahdollisimman leveää aukkoa, eli pitkän jännevälin läpipalkkia. Mitä pidempi palkki, sitä enemmän se kerää kuormitusta. Jos pitkälle jännevälille löydetään soveltuva palkki, samalla periaatteella on mahdollista toteuttaa myös kapeita aukkoja, joihin tulee lyhyemmän jännevälin palkki. Ratkaisu on siis yleispätevä, mikäli se soveltuu sekä leveisiin että kapeisiin aukkoihin.

Vaikka ratkaisua kutsuttaisiin yleispäteväksi ja käytettäisiin jatkossa rakentamisessa, on silti oleellista ottaa jokainen tilanne tarkasteluun. Valittavan palkin koon ja sitä kautta ratkaisun käytettävyyteen vaikuttaa kuitenkin ristikkojaot, kuormitusalueet, kuormituksen määrä, ristikoiden pituus ja palkin pituus. Kaikkien näiden vaikutus tulee tarkastella tapauskohtaisesti ja määrittää niiden mukaan kannattavin toteutustapa.

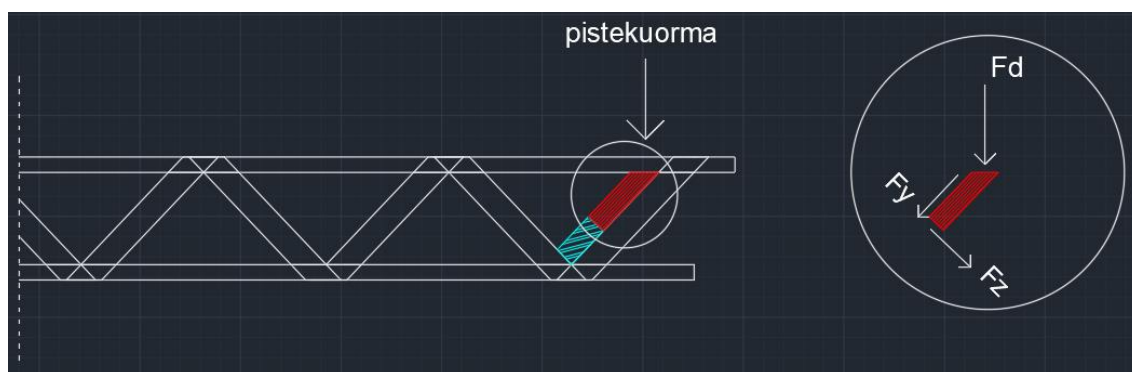
### 4.3 Laskenta

Työssä tehtiin rakennelaskelmat kahdelle eri tapaukselle EC 1995-1-1:n mukaisesti. Molemmissa tapauksissa tarkasteltavana oli välipohjan aukko. Ensimmäisessä tapauksessa rakennukseen ajateltiin suorita portaita ja toisessa tapauksessa kiertäviä L-portaita. Suorien portaiden tapauksessa aukko oli kapeampi kuin kiertävien L-portaiden tapauksessa, eli näiltä osin myös läpipalkkien jänneväli oli eroava. Laskelmissa ei otettu huomioon palkin yläpäässä olevaa viistettä, vaan sitä tarkasteltiin täytenä suorakaidepoikkileikkauksena. Laskelmat suorien portaiden, eli kapeamman aukon tapaukselle vinopalkilla toteutettuna, on esitetty liitteessä 1 ja laskelmat leveämmän aukon tapaukselle liitteessä 2.

Kyseistä läpipalkkia tarkasteltiin laskennan kannalta kuten muitakin välipohjapalkkeja. Työssä tarkasteltuja asioita ovat:

- taivutuskestävyys
- leikkauskestävyys
- tukipainekestävyys
- kiepahduskestävyys
- taipuma.

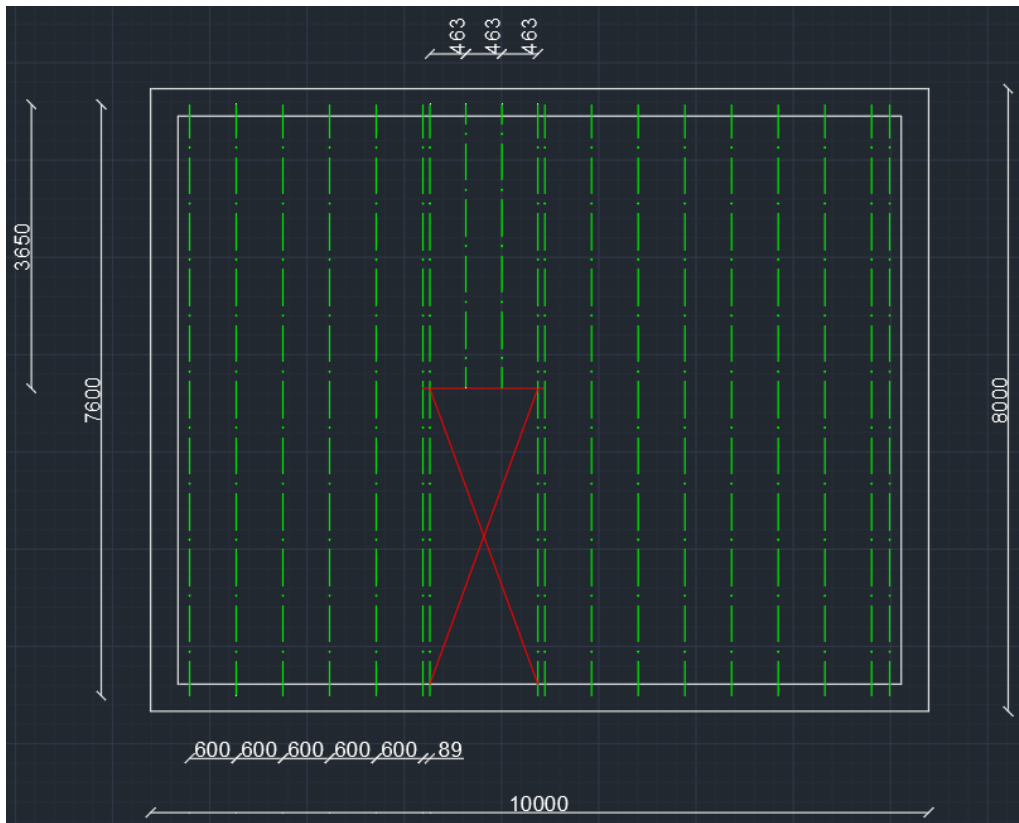
Molemmissa tapauksissa palkki on vinossa, joten sille tulee voimia kahden eri akselin suhteen. Näin ollen palkille tulevat pistekuormat täytyy jakaa komponentteihin sekä profiilin y- että z-akselin suuntaan palkin kulman mukaan. Kuvio 9 havainnollistaa voiman jakautumisen komponentteihin, kun profiili on vinossa. Tilanteen voi myös ajatella siten, että profiili on suorassa, mutta siihen kohdistuva pistekuorma on vinossa.



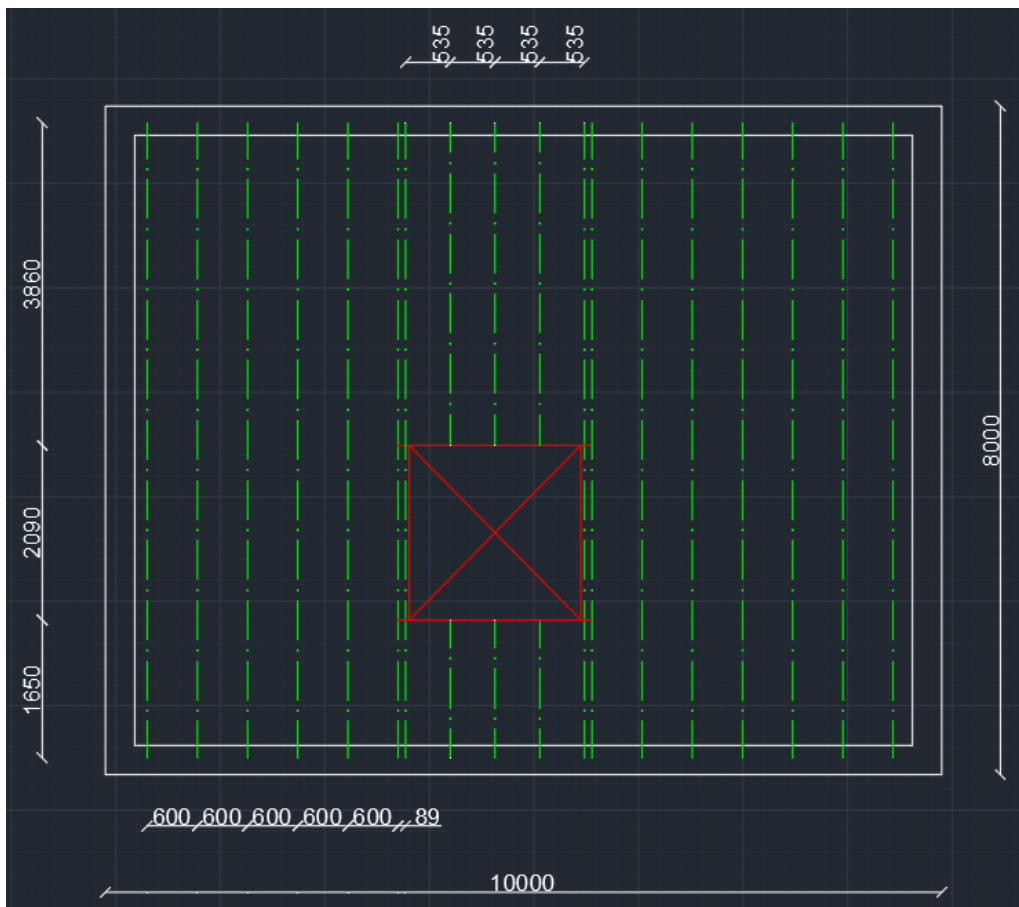
KUVIO 9. Pistekuorma katkaistulta liimaristikolta ja kuorman komponentit

### 4.3.1 Lähtötilanne

Lähtötilanteena laskentaan oli normaalin kaksikerroksisen asuinrakennuksen välipohjarakenne käyttäen liimaristikoita kantavana rakenteena. Liimaristikoita voidaan käyttää kantavuutensa vuoksi isommalla k-jaolla ja jännevälillä kuin perinteisiä sahatavara- tai Kertopuuvälipohjapalkkeja (tk-palkki.fi). Molemmissa tilanteissa liimaristikot asetettiin 600 mm jaolle välipohjaan, mutta aukon kohdalla olevat lyhyemmät, katkaistut liimaristikot asetettiin 463 mm jaolle suorien portaiden tapauksessa ja 535 mm jaolle kiertävien portaiden tapauksessa. Aukon reunoille laitettiin tuplapalkit. Kuviot 10 ja 11 havainnollistavat välipohjien tilanteet tässä kuvitteellisessa esimerkkirakennuksessa.



KUVIO 10. Välipohjakaavio suorien portaiden tapauksessa



KUVIO 11. Välipohjakaavio kiertävien L-portaiden tapauksesta

Rakennuksen lähtötietojen perusteella sen seuraamusluokaksi määritettiin CC2 ja työssä tarkasteltavan lälipalkin käyttöluokaksi 1 (RIL 205-1-2017, 28, 33). Laskennassa käytettiin välipohjarakenteen omapainona arvioidusti 0,5 kN/m<sup>2</sup>. Välipohjan hyötykuormana käytettiin lyhennetyin suunnitteluohjeen taulukon 2.1 mukaisesti 2,0 kN/m<sup>2</sup> (Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, 11). Mitoituksessa jätettiin huomioimatta portaiden omapaino ja portaista aiheutuva hyötykuorma tekemällä oletus, että portaita ei tueta välipohjaan. Näistä kuormista tehtyä kuormitusyhdistelyä tarkasteltiin vain keskipitkässä aikaluokassa, koska pysyvän aikaluokan kuormitusyhdistely tulee hyvin harvoissa tapauksissa määrääväksi.

Palkki on kiinnitetty aukon reunoilla sijaitsevien tuplaristikoiden uumasauvoihin sekä keskellä sijaitsevien katkaistujen ristikoiden uumasauvoihin naulaamalla molemmissa tilanteissa. Palkki on siis tukeutunut reunojen tuplapalkkeihin sekä niiden kohdalla oleviin täytepaloihin. Kyseessä on yksiaukkoinen palkkirakenne, mihin vaikuttaa katkaistuilta ristikoilta tulevat pistekuormat. Suorien portaiden tapauksessa palkille tulee kaksi pistekuormaa ja kiertävien portaiden tapauksessa kolme pistekuormaa.

Ennen kuin palkkia voidaan lähteä mitoittamaan, tulee määrittää valitun palkin lujuuksien laskenta-arvot sekä kuormien laskenta-arvot. Eurokoodi antaa materiaalin lujuuksien laskentaan seuraavan kaavan:

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (1)$$

missä

$X_d$  = lujuusominaisuuden laskenta-arvo

$X_k$  = lujuusominaisuuden ominaisarvo

$k_{mod}$  = muunnoskerroin, jonka avulla huomioidaan kosteuden ja kuorman keston vaikutus, taulukkoarvo

$\gamma_M$  = materiaalin osavarmuusluku, taulukkoarvo

(EC1995-1-1, 25).

Kuormien laskenta-arvot, eli kuormitusyhdistely määritellään kuormien aikaluokan mukaan. Riippuen rakenneosalle tehtävästä tarkastelusta, kuormien laskenta-arvon tulee olla esitettynä murtoraja- tai käyttörajatilassa. Rakenteen kestävyyttä tarkastellessa murtorajatilan kuormitusyhdistely määritettiin RIL 205-1-2017 kaavan 2.1.1.S mukaan huomioiden vain muuttuvien kuormien aikaluokat (kaava 2):

$$1.15K_{FI}G_{kj} + 1.5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2)$$

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, taulukkoarvo

$K_{FI}$  = seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin, taulukkoarvo

(RIL 205-1-2017, 27).

Tässä tapauksessa on kyseessä rakenne, jota kuormittaa vain omapaino ja välipohjan hyötykuorma, joten käyttörajatilän kuormitusyhdistelyssä ei käytetä mitään kaavan 2 kuormien arvojen edessä olevista kertoimista. Käyttörajatilän kuormitusyhdistely on tässä tapauksessa kuormien ominaisarvojen summa.

### 4.3.2 Mitoitus taivutukselle

Palkin taivutuskestävyyden kannalta EC5:n mukaan palkin tulee täyttää seuraavat mitoitus ehdot (kaavat 3 ja 4):

$$\frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} + k_m \frac{\sigma_{m.z.d}}{f_{m.z.d}} \leq 1 \quad (3)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} + \frac{\sigma_{m.z.d}}{f_{m.z.d}} \leq 1 \quad (4)$$

missä

$\sigma_{m.y.d}$  = taivutusjännityksen mitoitusarvo poikkileikkauksen y-akselin suhteen

$\sigma_{m.z.d}$  = taivutusjännityksen mitoitusarvo poikkileikkauksen z-akselin suhteen

$f_{m.y.d}$  = taivutuslujuuden mitoitusarvo poikkileikkauksen y-akselin suhteen

$f_{m.z.d}$  = taivutuslujuuden mitoitusarvo poikkileikkauksen z-akselin suhteen

$k_m$  = kerroin, millä otetaan huomioon jännitys jakauman sekä materiaalin epähomogeenisuuden vaikutus kahteen suuntaan taivutetun poikkileikkauksen taivutuskestävyyteen (EC1995-1-1, 38).

### 4.3.3 Mitoitus kiepahdukselle

EC5:n mukaan taivutettujen palkkien kiepahduskestävyys tulee tarkastaa, mikäli taivutusmomentti vaikuttaa poikkileikkauksen vahvemman akselin suhteen. Kun palkkia rasittaa kiepahduksen kannalta vain taivutusmomentti, tulee seuraavan ehdon toteutua (kaava 5):

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

missä

$\sigma_{m.d}$  = taivutusjännityksen mitoitusarvo

$k_{crit}$  = kerroin, jonka avulla otetaan huomioon kiepahdusriskistä johtuva pienentynyt taivutuskestävyys

$f_{m.d}$  = taivutuslujuuden mitoitusarvo

(EC1995-1-1, 42).

Kiepahduskestävyyden kaavassa esiintyvä  $k_{crit}$ -kerroin määritetään seuraavasti (kaava 6):

$$k_{crit} = \begin{cases} 1,0, & \text{kun } \lambda_{rel.m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel.m}, & \text{kun } 0,7 < \lambda_{rel.m} \leq 1,5 \\ \frac{1}{\lambda_{rel.m}^2}, & \text{kun } 1,4 < \lambda_{rel.m} \end{cases} \quad (6)$$

missä

$k_{crit}$  = kerroin, jonka avulla otetaan huomioon kiepahdusriskistä johtuva pienentynyt taivutuskestävyys

$\lambda_{rel.m}$  = suhteellinen hoikkuus

(EC1995-1-1, 43).

Laskennassa kiepahduskestävyys laskettiin vain kuorman z-akselin suuntaiselle komponentille, eli oletettiin palkin olevan suorassa. Todellisuudessa kiepahduskertoimen määrittämiseen tarvittava kriittinen taivutusjännitys tulisi laskea tarkasti ottaen huomioon palkin vino asento. Eurokoodi ei anna tähän ohjeistusta, joten se jätettiin laskennallisesti tarkastelematta.

#### 4.3.4 Mitoitus leikkaukselle

Palkille muodostuu leikkausvoimaa kahden akselin suhteen, eli leikkausvoima tulee tarkastella näille molemmille. EC5 antaa leikkaukselle mitoitus ehdon (kaava 7):

$$\tau_d \leq f_{v.d} \quad (7)$$

missä

$\tau_d$  = leikkausjännityksen mitoitusarvo

$f_{v.d}$  = tilannetta vastaava leikkauslujuuden mitoitusarvo

(EC1995-1-1, 38).

#### 4.3.5 Mitoitus tukipaineelle

Palkki tukeutuu alareunaltaan täytepalalle ja "lapeeltaan" uumasauvoihin. Ennen kuin palkille lähdetään määrittämään tukipainekestävyyttä, tulee määrittää palkin syitä vastaan kohtisuoralla tehollisella kosketuspinnalla vaikuttavan puristusjännityksen arvo. EC5 antaa tälle kaavan (kaava 8):

$$\sigma_{c.90.d} = \frac{F_{c.90.d}}{A_{ef}} \quad (8)$$

missä

$\sigma_{c.90.d}$  = syitä vastaan kohtisuoralla tehollisella kosketuspinnalla vaikuttava puristusjännityksen arvo

$F_{c.90.d}$  = syitä vastaan kohtisuoran puristavan kuorman mitoitusarvo

$A_{ef}$  = syitä vastaan kohtisuoran puristavan kuorman tehollisen kosketuspinnan pinta-ala

Puristusjännityksen selvittämisen myötä EC5 antaa tukipaineelle mitoitusehdon (kaava 9):

$$\sigma_{c.90.d} \leq k_{c.90} f_{c.90.d} \quad (9)$$

missä

$\sigma_{c.90.d}$  = syitä vastaan kohtisuoralla tehollisella kosketuspinnalla vaikuttava puristusjännityksen arvo

$k_{c.90}$  = kerroin, jonka avulla huomioidaan kuorman sijainti, puristuman suuruus ja halkeamismahdollisuus

$f_{c.90.d}$  = syysuuntaa vastaan kohtisuoran puristuslujuuden mitoitusarvo (EC1995-1-1, 36–37).

#### 4.3.6 Mitoitus taipumalle

Palkin taipuma tarkastellaan käyttörajatilan kuormien mukaisesti ilman varmuuskertoimia. Palkki taipuu pysyvän kuorman ja hyötykuorman aiheuttaman hetkellisen taipuman sekä viruman seurauksena. Näiden summan täytyy olla pienempi kuin palkin sallittu taipuma. Palkin kokonaistaipuman laskennassa otetaan myös huomioon mahdollinen esikorotus, mutta sitä ei ole tämän työn kummassakaan tapauksessa. Tämän työn molemmissa tapauksissa palkki lasketaan toisiokannattimeksi, joten palkin sallitun taipuman arvo on Puurakenteiden lyhennetyin suunnitteluohjeen taulukon 4.1 mukaan (kaava 10):

$$w_{sallittu} = \frac{l}{200} \quad (10)$$

missä

$w_{sallittu}$  = palkin sallitun taipuman arvo

$l$  = palkin jänneväli

(Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, 21).

Lyhennetty suunnitteluohje antaa palkin kokonaistaipumalle ilman esikorotusta kaavan (kaava 11):

$$w_{net.fin} = (1 + k_{def})w_{inst.G} + (1 + 0.3k_{def})w_{inst.hyöty} \quad (11)$$

missä

$w_{net.fin}$  = palkin kokonaistaipuma ilman esikorotusta

$k_{def}$  = virumaluku, taulukkoarvo

$w_{inst.G}$  = pysyvän kuorman aiheuttama hetkellinen taipuma

$w_{inst.hyöty}$  = hyötykuorman aiheuttama hetkellinen taipuma

(Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, 10).

Näiden perusteella voidaan johtaa palkin taipuman mitoitusehto (kaava 12):

$$w_{net.fin} \leq w_{sallittu} \quad (12)$$

missä

$w_{net.fin}$  = palkin kokonaistaipuma ilman esikorotusta

$w_{sallittu}$  = palkin sallitun taipuman arvo

#### 4.4 Tulosten esittely

Laskennassa kokeiltiin vaihtoehtoina lujuusluokan C24 sahatavarapalkkeja sekä LVL-palkkeja eri kokoisina suorakaideprofiileina. Lopputulemana päädyttiin valitsemaan molempiin tilanteisiin Kerto-S-palkki LVL:n hyvien lujuusominaisuuksien

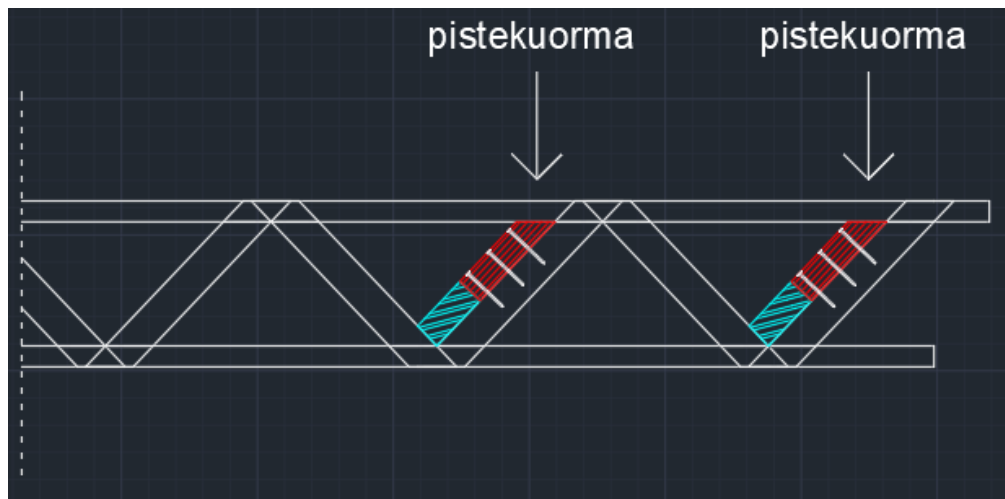
vuoksi. Suorien portaiden tapauksessa palkiksi valitui 51 x 200 Kerto-S ja kiertävien portaiden tapauksessa 75 x 240 Kerto-S. Molempien tapauksien käyttöasteet on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Käyttöasteet, vino läpipalkki

VINOPALKKI KÄYTTÖASTEET (%)	SUORAT PORTAAT 51 x 200 Kerto-S	KIERTÄVÄT PORTAAT 75 x 240 Kerto-S
TAIVUTUS Y-AKSELIN SUHTEEN	40	41
TAIVUTUS Z-AKSELIN SUHTEEN	49	48
LEIKKAUS Y-AKSELIN SUHTEEN	13	12
LEIKKAUS Z-AKSELIN SUHTEEN	22	21
KIEPAHDUS	12	14
PALKIN TUKIPAINI	6	7
TÄYTTÖPALAN TUKIPAINI C24	18	21
TÄYTTÖPALAN TUKIPAINI Kerto-S	11	12
TAIPUMA Y-AKSELIN SUHTEEN	6	10
TAIPUMA Z-AKSELIN SUHTEEN	94	96

Palkin kulmasta johtuen sille muodostuu lähes yhtä paljon kuormaa y- ja z-akselin suuntaisille komponenteille ja suorakaideprofiilin takia sen taipuma z-akselin suhteen muodostuu mitoittavaksi tekijäksi (taulukko 2). Tällaisessa tapauksessa olisi teoriassa kannattavampaa valita palkin poikkileikkaukseksi neliö. Käytännön kannalta se ei kuitenkaan ole mahdollista, koska palkin yläpää vaatii viisteen asettukseen paikalleen. Neliöpoikkileikkauksella se tarkoittaisi sitä, että viistäjän jälkeen profiilista on enää lähes puolet jäljellä ja sen myötä palkin lujuudestakin on kadonnut lähes puolet.

Poutasen (2023) mukaan tätä ratkaisua on mahdollista käyttää myös kahdella palkilla kahdessa vierekkäisessä uuman aukossa, mikäli palkille ei olisi löydetty sopivaa profiilia lujuuden ja uuman tilankäytön kannalta. Kahden palkin ratkaisu on esitetty kuviossa 12. Kahden palkin tapauksessa tulisi varmistua kuormien suurin piirtein tasaisesta jakautumisesta palkeille, eli se vaatisi erillisen tarkastelun. Tämä kahden palkin ratkaisu olisi vartenotettava vaihtoehto tässä laskelmassa tehdyn pidemmän jännevälillä palkille, koska 75 mm paksua palkkia on asennusta ajatellen hieman hankala saada uumaan kiinni.

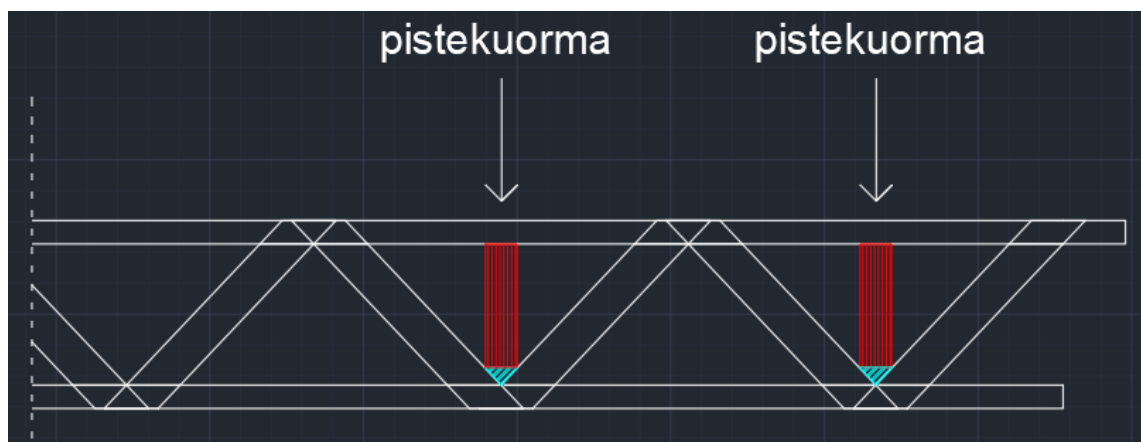


KUVIO 12. Kaksi vinopalkkia kuvattuna sivultapäin

## 5 AUKON RAKENNEJÄRJESTELMÄ LIIMARISTIKOILLA, SUORA TUPLA-PALKKI

### 5.1 Yleisesittely

Poutasen toisessakin aukkoratkaisussa on tavoitteena voimien siirto kontaktilla. Tässä peruseriaatteena on läpipalkkiratkaisu kahdella palkilla, mitä havainnollistaa kuvio 13. Palkit asetetaan suoraan kahteen vierekkäiseen uuman aukkoon ja tuetaan täytepaloilla alareunaltaan. Täytepalojen sivut viistetään alapäistään uumasauvojen kulmien mukaisiksi ja asennetaan niiden liitoksen solmupisteeseen tarkalla sovituksella. Sekä täytepalojen että palkkien kiinnitys tapahtuu nau-laamalla. Näin kuorma kohdistuu yläpaarteelta läpipalkin ja täytepalojen kautta uumasauvojen ja alapaarten väliseen liitokseen, minkä oletetaan kestävän siihen kohdistuvat kuormat. Tämäkin ratkaisu tekee palkkikengistä tarpeettomat aukkorakenteessa.



KUVIO 13. Havainnollistus suorista tuuplalkkeista

### 5.2 Laskenta ja lähtötilanne

Tässä aukkoratkaisussa tehtiin rakennelaskelmat saman kuvitteellisen esimerkirakennuksen pohjalta ja käytettiin samoja tutkimustyökaluja kuin luvussa 4. Laskelmat tehtiin Eurokoodin 1995-1-1 mukaisesti sekä suorille portaille että kiertäville L-portaille, eli kahden eri jännevälin palkeille. Suoran tuuplalkin tapauk-

sen lyhyemmän jännevälin rakennelaskelmat ovat esitettynä liitteessä 3 ja pidemmän jännevälin liitteessä 4. Lyhyemmän jännevälin palkille, eli suorien portaiden tapaukselle, Poutanen (2023) antoi kehotuksen tarkastella tilanteen myös yhdellä suoralla palkilla, joten tästäkin laadittiin rakennelaskelmat, mitkä ovat esitettynä liitteessä 5.

Tilanteessa pätee sama laskentateoria kuin luvussa 4, eli se jätetään tässä esittelemättä. Laskennallisesti kahden palkin ratkaisu eroaa vinopalkista sillä, että palkin suoran asennon vuoksi se ottaa kuormaa vain y-akselin, eli vahvemman suunnan suhteen. Tämä tarkoittaa sitä, että voimien jako komponentteihin jätetään tekemättä. Laskennassa on myös saatu lupa olettaa, että liimaristikoilta tulevat pistekuormat saadaan jaettua tasaisesti rakennejärjestelmän molemmille palkeille.

### 5.3 Tulosten esittely

Laskennassa kokeiltiin vaihtoehtoina suorakaideprofiilisia lujuusluokan C24 sahatavarapalkkeja. Laskelmien perusteella päädyttiin valitsemaan molemmissa tapauksissa sahatavarapalkit. Suorien portaiden tapauksessa kahdella palkilla toteutettuna valittiin 48 x 98 C24 ja yhdellä palkilla toteutettuna 48 x 123 C24. Kiertävien L-portaiden tapauksessa palkiksi valittiin 48 x 148 C24. Taulukossa 3 on esiteltynä käyttöasteet tuplapalkkia käyttämällä ja taulukossa 4 käyttöasteet yhdellä palkilla.

TAULUKKO 3. Käyttöasteet tuplapalkilla

<b>SUORA TUPLAPALKKI KÄYTTÖASTEET (%)</b>	<b>SUORAT PORTAAT 48 x 98 C24</b>	<b>KIERTÄVÄT PORTAAT 48 x 148 C24</b>
TAIVUTUS Y-AKSELIN SUHTEEN	74	79
LEIKKAUS Y-AKSELIN SUHTEEN	32	35
KIEPAHDUS	74	79
PALKIN TUKIPAIN	9	14
TÄYTTÖPALAN TUKIPAIN C24	20	34
TAIPUMA	50	42

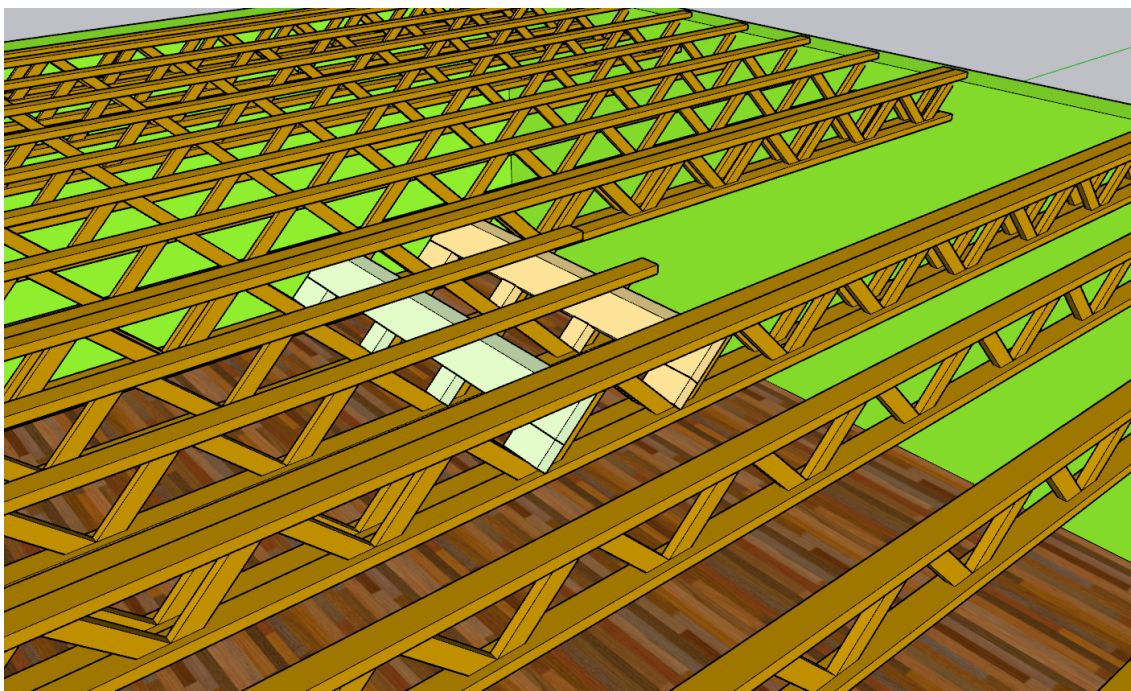
TAULUKKO 4. Käyttöasteet yhdellä palkilla

<b>SUORA PALKKI KÄYTTÖASTEET (%)</b>	<b>SUORAT PORTAAT 48 x 123 C24</b>
TAIVUTUS Y-AKSELIN SUHTEEN	94
LEIKKAUS Y-AKSELIN SUHTEEN	51
KIEPAHDUS	94
PALKIN TUKIPAINI	17
TÄYTTÖPALAN TUKIPAINI C24	40
TAIPUMA	25

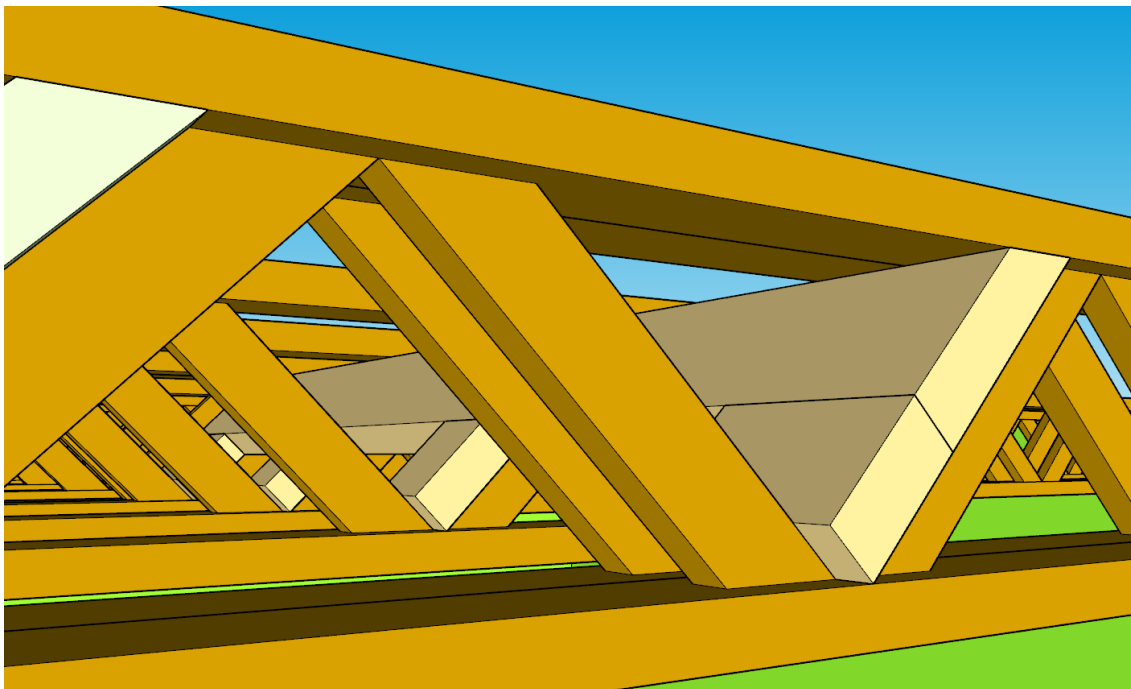
Poutasen (2023) tarkalla sovituksella tehtävä viistetty täytepalaratkaisu vaatii vielä lisäselvityksiä toimintaansa, mutta niitä ei tarkastella tässä työssä. Kahden tai yhden pystysuoran läpipalkin rakennejärjestelmä on varteenotettava vaihtoehto matalammilla ristikkopalkeilla, sillä kiilapala jää todennäköisesti pienemmäksi kuin vinolla läpipalkilla ja täten vie vähemmän tilaa uumasta.

## 6 3D-MALLIN ESITTELY

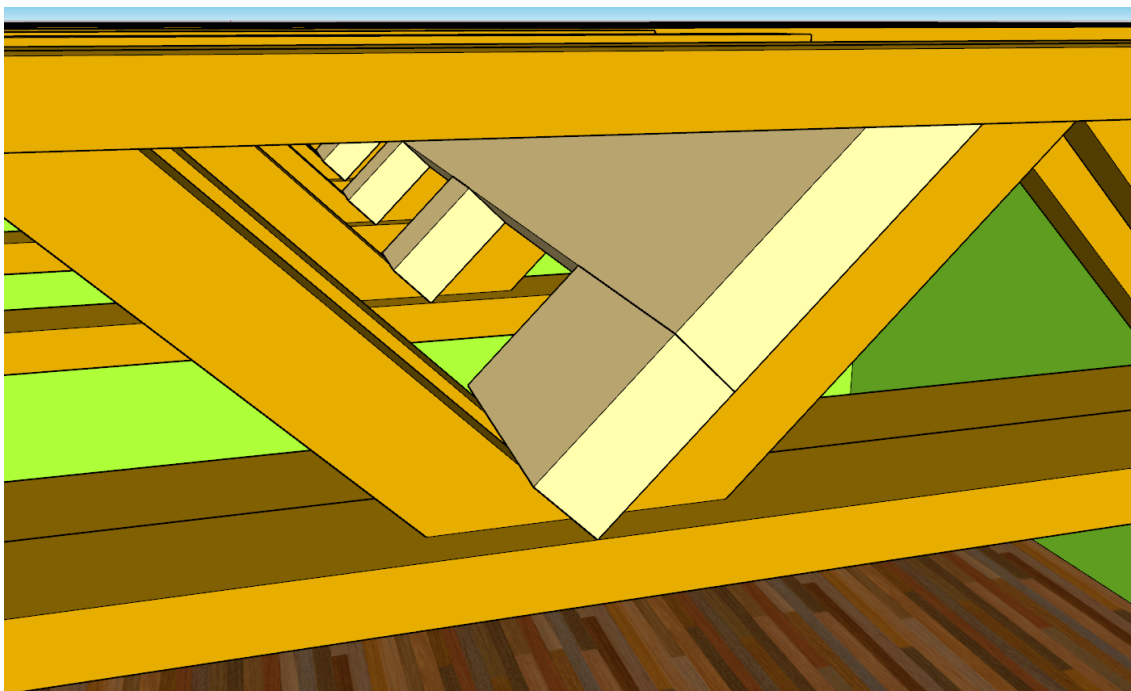
Tässä kappaleessa esitellään rakennejärjestelmistä tehtyjä havainnollistavia 3D-malleja kuvakaappauksien avulla. Malleissa on havainnollistettuna liimaristikot, läpipalkit, täytepalat ja ulkoseinät. Kiinnikkeet on jätetty pois. Kuvioissa 14, 15 ja 16 on esitettyinä vinopalkin tapaus 1300 mm aukolle, eli suorille portaille. Havainnollistuksessa on 51 x 200 Kerto-S-palkki. Kuvioissa 17 ja 18 on esitettyinä suoran tuplapalkin tapaus 1300 mm aukolle ja palkkina näissä on 48 x 148 C24. Kuviossa 14 on havainnollistettuna samalla kahden vinopalkin mahdollisuus.



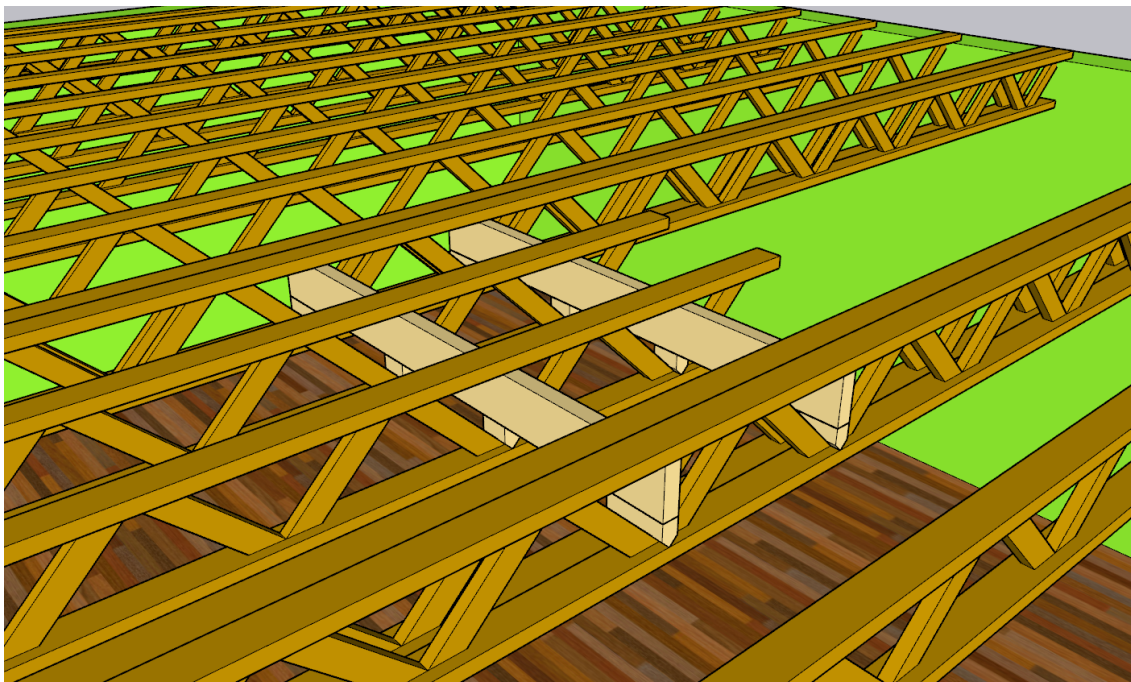
KUVIO 14. Vinopalkit ja liimaristikkovälipohja



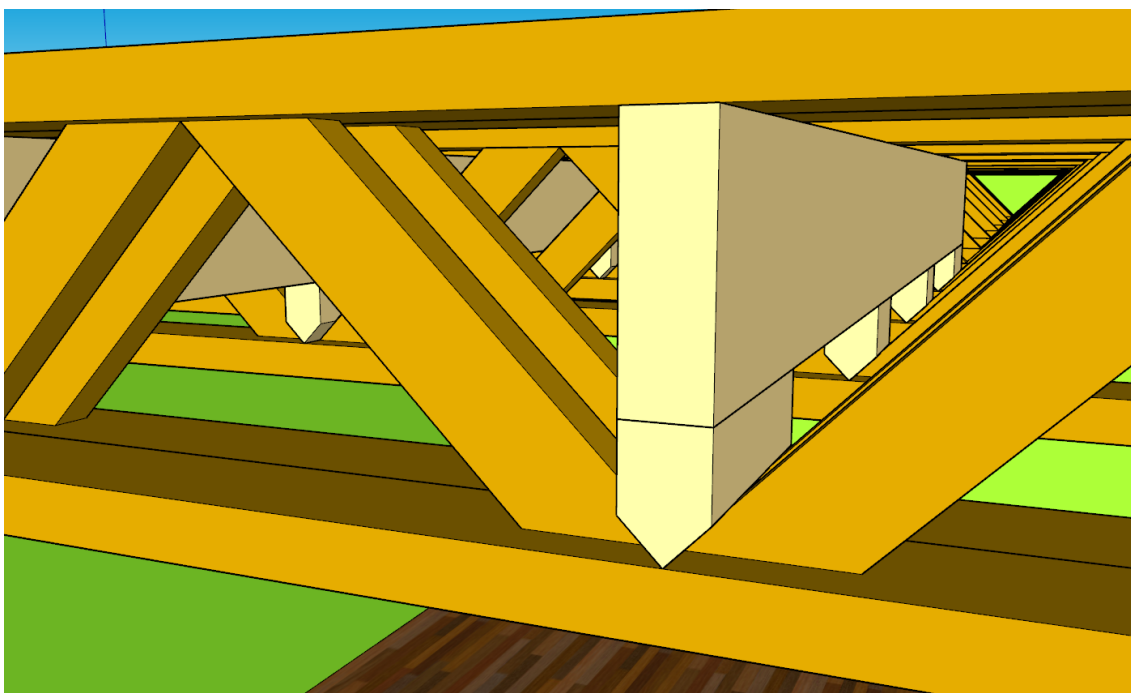
KUVIO 15. Vinopalkki ja täytepalat



KUVIO 16. Täytepalojen asettelu



KUVIO 17. Suorat tuplapalkit ja liimaristikkovälipohja



KUVIO 18. Havainnollistus viistetyistä täytepaloista

## 7 POHDINTA

Yleisesti ottaen liimaristikoilla on monia hyviä ominaisuuksia. Lujjuutensa vuoksi palkkien k-jakoa voidaan pidentää ja sen myötä palkkeja menee väli- tai yläpohjaan vähemmän. Avoimien uumien puolesta talotekniikkaa voidaan vetää palkkien läpi ja sen myötä sekä kotelointien että alaslaskujen tarve poistuu jopa kokonaan. Liimaristikoiden kiinnitys ei vaadi palkkikenkien tai kulmarautojen käyttöä, mikä yksinkertaistaa asennusta. Ristikoiden tuenta tosin vaihtelee valmistajien välillä. Nämä tekijät yhdessä vähentävät rakentajien työmäärää ja nopeuttavat kohteen valmistumista.

Työssä tehdyistä mitoituksista jätettiin pois värähtelyn tarkastelu. Tehdyt tarkastelut liittyivät kuvitteelliseen esimerkkivälipohjaan, jossa oli pelkästään liimaristikot, läpipalkit ja sen vaatimat täytepalat. Oikeassa kohteessa välipohjaan liittyisi vielä värähtelyn tarkastelun kannalta olennaiset poikittaisjäykistelinjat, koolaukset, levytys ja pintavalu. Näiden puuttuminen kuvitteellisesta esimerkkivälipohjasta vaikuttaisi värähtelymitoituksesta saatuihin tuloksiin ja ne eivät olisi oikeellisia. Tämän perusteella värähtely poissuljettiin mitoituksista, mutta se tulisi tarkastella oikeissa kohteissa koko välipohjakentälle.

Aukon toteuttamisen ja läpipalkin asennuksen kannalta tulisi ottaa huomioon yksittäisten liimaristikoiden taipuma niiden omasta painosta. Poutasen (2023) mukaan tuplaristikoiden väliin tulevat liimaristikot voidaan asentaa täysimittaisina ja katkaista oikeaan mittaan läpipalkin asennuksen jälkeen. Aukon reunalla olevat tuplaristikot ovat yhdessä jäykempiä kuin niiden väliin tulevat yksittäiset liimaristikot, joten on mahdollista, että keskelle jääviä liimaristikoita joudutaan korottamaan, jotta läpipalkki saadaan asennettua suoraan. Tuplaristikoiden toiminta ikään kuin yhtenä palkkina tulisi kuitenkin varmistaa sekä laskennallisesti että toteutuksen kannalta. Läpipalkin asennuksen kannalta myös liimaristikoiden uumasauvojen tulee olla täydellisesti linjassa, jotta palkki saadaan suoraan. Liimaristikoiden tehdasvalmisteisuus edesauttaa sauvotuksen yhdenmukaisuutta ristikoissa. Tehdasvalmistuksen lisäksi asennusvaiheessakin tulee kiinnittää erityistä huomiota ristikoiden päiden linjassa pysymiseen yläpaarteella.

Läpipalkin asennusvaiheessa tulee ottaa huomioon myös asennusvarat täytepalojen sekä läpipalkin välillä. Asennusvaraa tulisi olla noin 1–2 mm, jotta palkki saadaan järkevästi paikalleen, ellei täytepala itsessään ole kiilamainen. Palkin ja täytteiden väliin ei kuitenkaan saa jäädä väljyyttä, jotta voimat siirtyvät yhä kontaktilla eikä liittimillä. Väljyys voitaisiin täyttää esimerkiksi pienellä kiilapalalla, mikä hakataan tarpeellisiin väleihin.

Työssä tarkasteltujen vaihtoehtojen kannalta aukko on mahdollista toteuttaa väli- tai yläpohjaan joko vinoilla palkeilla tai suorilla palkeilla. Vinopalkin tapauksessa leveän jännevälän aukoilla olisi järkevää käyttää kahta läpipalkkia, jotta palkin profiilista ei tulisi turhan leveä hankaloittamaan sen asennusta ja viemään tilaa uumasta. Kuitenkin Poutasen (2023) mukaan normaalisti välipohjarakenteissa liimaristikot ovat korkeampia mitä hänen antamansa esimerkkiristikko, joten todellisessa tapauksessa uuma olisi hieman tilavampi. Kahdella vinopalkilla toteutettuna voitaisiin myös mahdollisesti pärjätä sahatavarapalkeilla, jolloin ratkaisusta tulisi hieman halvempi kuin LVL:llä toteutettuna, koska C24 sahatavara on halvempaa kuin Kerto-S juoksumetrihinnaltaan. Kustannussäästöjä tulee myös palkkikienkien tarpeen poistamisesta, sillä ne ovat kiinnikkeiksi kalliita. Kahden palkin tapauksessa, sekä vinoilla että suorilla, tulisi tehdä erillinen tarkastelu ja varmistua kuorman jakautumisesta palkeille suurin piirtein tasaisesti ja miettiä, kuinka tämä toteutetaan käytännössä. On hyvin todennäköistä, että aukosta kauempana oleva palkki keräisi itseensä suuremman osan kuormasta kuin aukon reunalla oleva palkki.

Poutasen (2023) esittämiä menetelmiä voi kutsua yleispäteviksi, mutta tarkastelut tulee tehdä tapauskohtaisesti, jotta voidaan määrittää palkilta vaadittava materiaali ja sen profiili. Laskelmat on kuitenkin tehty kuvitteelliselle esimerkkirakennukselle itse määritettyjen jänneväliden perusteella ja todettu kestävän niillä. Teoriassa valitut menetelmät toimivat, mutta näille olisi tarpeen tehdä koekuormitukset kestävyuden varmentamiseksi.

## LÄHTEET

APA. 2012. Performance Rated I-Joist Roof Framing Details. PDF-tiedosto. <https://www.apawood.org/publication-search?q=Performance+Rated+I-Joist+Roof+Framing+Details&tid=1>

APA. 2012. Stairwell Openings in APA PRI I-Joist Floors. Technical note. PDF-tiedosto. <https://www.apawood.org/publication-search?q=Stairwell+Openings+in+APA+PRI+I-Joist+Floors&tid=1>

gregvancom. 2017. Something You Should Know About 2x4 Engineered Floor Joists And Stairwells. YouTube-video. Julkaistu 7.9.2017. Viitattu 14.4.2023. [https://www.youtube.com/watch?v=zvPQd95UHH8&t=409s&ab\\_channel=gregvancom](https://www.youtube.com/watch?v=zvPQd95UHH8&t=409s&ab_channel=gregvancom)

Kevarinmäki, A. 2020. Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje. Viides painos. <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Eurokoodi-5-Lyhennetty-suunnitteluohje-5.-PAINOS-2020-P%C3%84IVITYS-22.7.-web.pdf>

Liimapuukäsikirja osa 1 (2014). Suomen liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy.

NORDIC BIM GROUP FINLAND. 2023. SKETCHUP. Verkkosivu. Viitattu 14.4.2023. [https://www.nordicbim.com/fi/tuotteet/sketchup?utm\\_term=sketchup%20pro&utm\\_campaign=Sketchup-2023-FI&utm\\_source=ad-words&utm\\_medium=ppc&hsa\\_acc=9762314251&hsa\\_cam=19697819735&hsa\\_grp=151850237411&hsa\\_ad=648394922833&hsa\\_src=g&hsa\\_tgt=kwd-425772179267&hsa\\_kw=sketchup%20pro&hsa\\_mt=b&hsa\\_net=ad-words&hsa\\_ver=3&qclid=Cj0KCQjwuLShBhC\\_ARIsA-Fod4fKJV01ty\\_DSnwL7zSF05vnJ3LZwpcQjV0T7G1aYAU73wOeeOPRJ7DAaAmdGEALw\\_wcB](https://www.nordicbim.com/fi/tuotteet/sketchup?utm_term=sketchup%20pro&utm_campaign=Sketchup-2023-FI&utm_source=ad-words&utm_medium=ppc&hsa_acc=9762314251&hsa_cam=19697819735&hsa_grp=151850237411&hsa_ad=648394922833&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-425772179267&hsa_kw=sketchup%20pro&hsa_mt=b&hsa_net=ad-words&hsa_ver=3&qclid=Cj0KCQjwuLShBhC_ARIsA-Fod4fKJV01ty_DSnwL7zSF05vnJ3LZwpcQjV0T7G1aYAU73wOeeOPRJ7DAaAmdGEALw_wcB)

Poutanen, T., Karjalainen, M., Paananen, V. & Tanskanen, J. 2023. GLUED TIMBER TRUSSES. Julkaisematon. World Conference on Timber Engineering, Oslo.

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

SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC. 2014. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Simpson Strong-Tie. n.d. I-palkkien palkkikenkä. Verkkosivu. Viitattu 14.4.2023. <https://www.strongtie.fi/fi-FI/tuotteet/i-palkkien-palkkikenka-itb>

TK-PALKKI. n.d. Pdf-dokumentti. Viitattu 14.4.2023. <https://tk-palkki.fi/wp-content/uploads/2022/09/TK-PALKKI.pdf>

TK-PALKKI. 2018. Pdf-dokumentti. Viitattu 14.4.2023. [https://tk-palkki.fi/wp-content/uploads/2020/06/tk-palkki\\_liittymadetaljit\\_p2.pdf](https://tk-palkki.fi/wp-content/uploads/2020/06/tk-palkki_liittymadetaljit_p2.pdf)

TK-PALKKI kuljetus-, varastointi-, käsittely- ja asennusohjeet. 2022. Pdf-dokumentti. Viitattu 14.4.2023. [https://tk-palkki.fi/wp-content/uploads/2022/09/TK-PALKKI\\_Kuljetus-varastointi-asennusohjeet.pdf](https://tk-palkki.fi/wp-content/uploads/2022/09/TK-PALKKI_Kuljetus-varastointi-asennusohjeet.pdf)

## LIITTEET

### Liite 1. Vinopalkki, lyhyt jänneväli

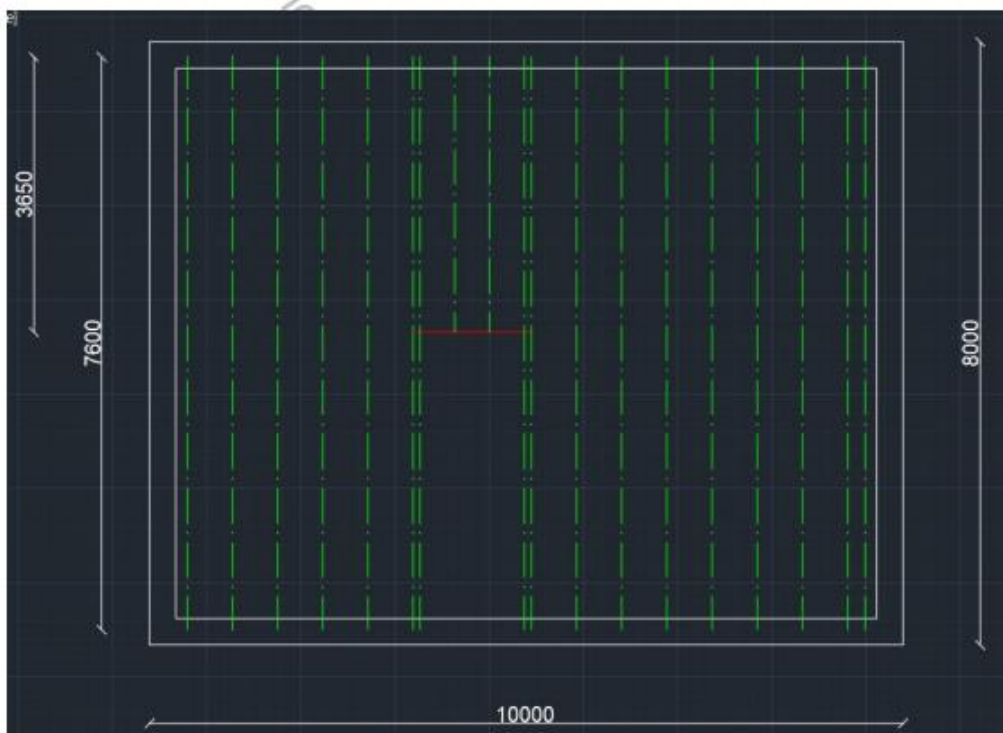
1 of 14

Juho Savolainen  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
191311  
1802920

#### LIITE 1: VÄLIPOHJAN PORRASAUKON RAKENNEJÄRJESTELMÄ, VINOPALKKI

Valitaan esimerkkitilanteeksi 2-kerroksinen pientalo/asuinrakennus. Talon seuraamusluokka on CC2 (RIL205/EC5).

Mielivaltaisesti valittu porraskokoon sijaan asuinrakennuksen välipohjaan. Portaiden leveydeksi tulee 1200mm. Välipohjan liimaristikkopalkit ovat 600 mm ja aukon reunoilla on tuulapalkit/ristikot. Aukkopalkin käyttöluokaksi tulee 1, koska se on rakenteen sisällä ja talon ulkoseinien sisällä (RIL205).



Kuvassa havainnollistus rakennuksen välipohjakaaviosta sekä porraskokoon sijainnista.

Käytetään välipohjan hyötykuorman arvona RIL 205-1-2017 taulukon 2.5-FI mukaista suositusarvoa ja arvioidaan välipohjarakenteen omapainoksi:

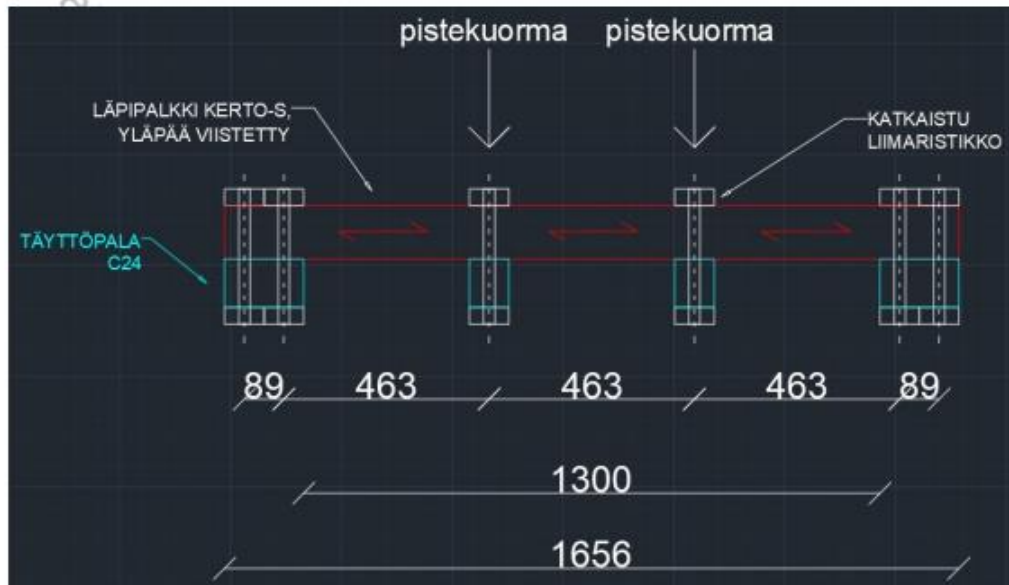
$$Q_k := 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Asuinrakennuksen välipohjan  
hyötykuorma, suositusarvo

$$G_k := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Välipohjarakenteen arvioitu omapaino

Porrasaukon palkille muodostuu pistekuormia katkaistuista liimaristikoista. Kuormien aikaluokka on keskipitkä. Katkaistun liimaristikon pituus on 3650mm ja aukkopalkin todellinen pituus on 1656mm. Aukon kohdalla katkaistut ristikot ovat 463 mm jaolla.



Kuvissa havainnollistus tilanteesta edestäpäin katsottuna.

$$K_{FI} = 1.0$$

$$L_{palkki} = 1478 \text{ mm}$$

$$L_{ristikko} = 3650 \text{ mm}$$

$$k_{katk} = 507.5$$

Seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin (RIL205)

Aukkopalkin pituus, laskenta-arvo tukien keskipisteistä

Katkaistun liimaristikkopalkin pituus

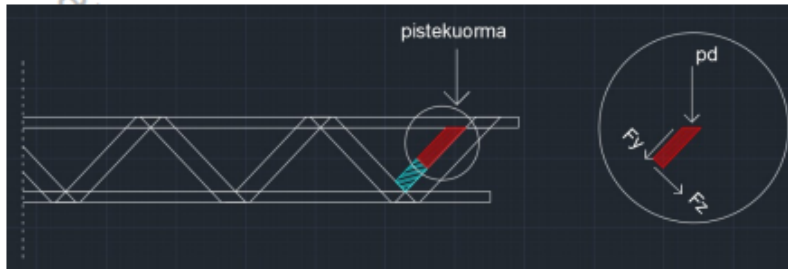
Katkaistujen liimaristikkopalkkien k-jako

Yhdeltä katkaistulta ristikolta tulevan pistekuorman arvo murtorajatilassa:

$$p_d = (1.15 \cdot K_{FI} \cdot G_k + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot Q_k) \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{katk} = 3.311 \text{ kN}$$

for more information.

Palkki on kiinnitetty naulaamalla liimaristikoiden reunimmaiseen uumasauvaan vinosti, joten palkille tulevat pistekuormat täytyy jakaa komponentteihin. Palkkia tarkastellaan kuitenkin kokonaisena suorakaideprofiilisenä, eli yläreunan viilistettä ei oteta huomioon laskennassa.



Kuvassa havainnollistuu tilanteesta sivulta katsottuna katkaistun liimaristikopalkin päästä.



Tapauksen vapaakappalekuva

$$\alpha := 46 \text{ deg}$$

$$F_y := p_d \cdot \sin(\alpha) = 2.382 \text{ kN}$$

$$F_z := p_d \cdot \cos(\alpha) = 2.3 \text{ kN}$$

Uumasauvan ja alapaarteen välinen kulma

Pistekuorman arvo palkin vahvempaan suuntaan

Pistekuorman arvo palkin heikompaan suuntaan

Palkille tulevat rasitukset (raksu statiikka):

$$M_{max} := p_d \cdot k_{katk} = 1.68 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_y := F_y \cdot k_{katk} = 1.209 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_z := F_z \cdot k_{katk} = 1.167 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{max} := p_d = 3.311 \text{ kN}$$

$$A_{tuki} := p_d = 3.311 \text{ kN}$$

$$B_{tuki} := p_d = 3.311 \text{ kN}$$

$$V_y := F_y = 2.382 \text{ kN}$$

$$V_z := F_z = 2.3 \text{ kN}$$

Maksimimomentti

Momentin arvo vahvempaan suuntaan

Momentin arvo heikompaan suuntaan

Maksimi leikkausvoima

Tuen A tukivoima

Tuen B tukivoima

Leikkausvoima vahvempaan suuntaan

Leikkausvoima heikompaan suuntaan

Kokeillaan vaihtoehtona Kerto-S -palkkia dimensioiltaan 51x200 mm.



$$b := 51 \text{ mm}$$

Palkin profiilin leveys

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

Palkin profiilin korkeus

$$A := b \cdot h = 10200 \text{ mm}^2$$

Poikkileikkauksen pinta-ala

$$W_y := \frac{b \cdot h^2}{6} = 340000 \text{ mm}^3$$

Palkin profiilin taivutusvastus vahvempaan suuntaan

$$W_z := \frac{h \cdot b^2}{6} = 86700 \text{ mm}^3$$

Palkin profiilin taivutusvastus heikompaan suuntaan

Materiaaliarvot Kerto-S (ECS lyhennetty suunnitteluohje & MetsäWood Kerto LVL mekaaniset ominaisuudet)

$$E_{0,mean} := 13800 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Kimmomoduuli

$$E_{0,05} := 11600 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Syysuuntaista kuormitusta vastaava kimmomoduuli

$$f_{m,k} := 44 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Taivutuslujuuden ominaisarvo syrjällä

$$f_{m,0,k} := 50 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Taivutuslujuuden ominaisarvo lappeella

$$f_{v,k} := 4.1 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Leikkauslujuuden ominaisarvo syrjän suuntaan

$$f_{v,0,k} := 2.3 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Leikkauslujuuden ominaisarvo lappeen suuntaan

$$f_{c,90,k} := 6 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoraan puristuslujuuden ominaisarvo

$$\gamma_M := 1.2$$

Materiaalin osavarmuusluku, sahatavara

$$k_{mod} := 0.8$$

Kerroin joka huomioi kuorman aikaluokan ja materiaalin käyttöluokan

$$k_{def} := 0.6$$

Virumaluku sahatavaralle, KL1

TAIVUTUSMITOITUS (EC5 s.38 ja RIL205):

EC5 sekä RIL205 asettavat ehdot palkin taivutuksen mitoitukselle, kun palkkia taivuttavaa voimaa tulee poikkileikkauksen molempien akselien suuntaisesti.

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_y}{W_y} = 3.555 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutusjännityksen laskenta-arvo  
syrjällään

$$\sigma_{m,z,d} := \frac{M_z}{W_z} = 13.464 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutusjännityksen laskenta-arvo  
lapeellaan

$$f_{m,d,y} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = 29.333 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden laskenta-arvo  
syrjällään

$$f_{m,d,z} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = 33.333 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden laskenta-arvo  
lapeellaan

$$k_m := 0.7$$

Kerroin, mikä ottaa huomioon jännitysten  
uudelleen jakautumisen ja materiaalin  
epähomogeenisuuden (EC5)

Mitoitusehdot (EC5 ja RIL205):

$$KA := \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d,y}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d,z}} = 40.394\%$$

kestävyyskäyttöaste

$$KA := k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d,y}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d,z}} = 48.875\%$$

kestävyyskäyttöaste

Created with PTC Mathcad Express. See www.mathcad.com for more information.

LEIKKAUSMITOITUS (EC5 s.38 ja RIL205):

Palkkiin syntyy sekä vahvemman että heikomman akselin suuntaista leikkausvoimaa.

$$k_{cr} := 1$$

halkeamat huomioonottava kerroin  
kertopuulle, suositusarvo, KL1, 2 ja 3  
(EC5 s.38)

"Taivutettujen sauvojen leikkauskestävyyden osoittamista varten halkeamien vaikutus otetaan huomioon käyttämällä sauvan tehollista leveyttä" EC5

$$b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 51 \text{ mm}$$

Palkin tehollinen leveys (kaava 6.13a,  
EC5)

$$A_{ef} := b_{ef} \cdot h = 10200 \text{ mm}^2$$

Palkin poikkileikkauksen tehollinen pinta-  
ala

Taivutuksen yhteydessä syntyvä leikkausjännitys, suorakaidepoikkileikkaus (raksu)

$$\tau_{d,y} := 1.5 \cdot \frac{V_y}{A_{ef}} = 0.35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

leikkausjännityksen laskenta-arvo  
vahvemmassa suunnassa

$$\tau_{d,z} := 1.5 \cdot \frac{V_z}{A_{ef}} = 0.338 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

leikkausjännityksen laskenta-arvo  
heikommassa suunnassa

$$f_{v,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.733 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

leikkauslujuuden laskenta-arvo syrjän  
suunta

$$f_{v,0,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{v,0,k}}{\gamma_M} = 1.533 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

leikkauslujuuden laskenta-arvo lappeen  
suunta

$$KA_{leikkaus,y} := \frac{\tau_{d,y}}{f_{v,d}} = 12.815\%$$

mit.ehto ja kestävyyskäyttöaste

$$KA_{leikkaus,z} := \frac{\tau_{d,z}}{f_{v,0,d}} = 22.06\%$$

mit.ehto ja kestävyyskäyttöaste

TUKIPAINEKESTÄVYYS (ECS lyhennetty):

Tukipaineen laskennassa tehdään oletus, että aukon reunoilla olevat tuplaristikot ovat kiinnitetty toisiinsa siten, että ne toimivat niinsanotusti yhtenä palkkina. Eli tukireaktio kulkee tasaisena molemmilla ristikoilla.

$$b_{tuki} := 178 \text{ mm}$$

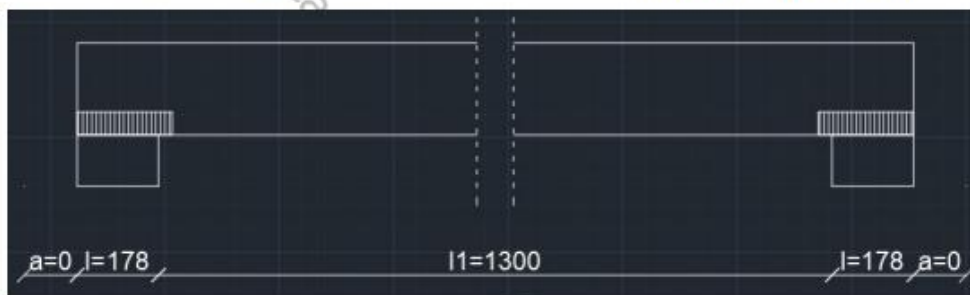
Tukileveys, reunoilla 2x  
yläpaarteen levyinen

Tukivoiman pystysuora komponentti on samansuuruinen kuin palkin leikkausvoiman pystysuora komponentti:

$$A_y := V_y = 2.382 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{A_y}{b \cdot b_{tuki}} = 0.262 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

syitä vastaan kohtisuoran  
puristusjännityksen laskenta-arvo



Oletetaan, että palkin alle tulevat täyttöpalat kestävät niihin kohdistuvan puristuksen.

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

$$l_1 := 1300 \text{ mm}$$

tukipainetilanteen lähtötiedot (kuva  
yläpuolella havainnollistukseksi)

$$l := b_{tuki} = 178 \text{ mm}$$

$$l_{c.90.ef} := \min(15 \text{ mm}, a, l) + l + \min\left(15 \text{ mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 0.193 \text{ m}$$

tehollisen tukipinnan  
leveys (pituus)

$$k_{c.90} := 1.0$$

lisäkerroin, LVL syrjäpinta

$$k_{c.T} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 1.084$$

tukipainekerroin

$$f_{c.90.d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

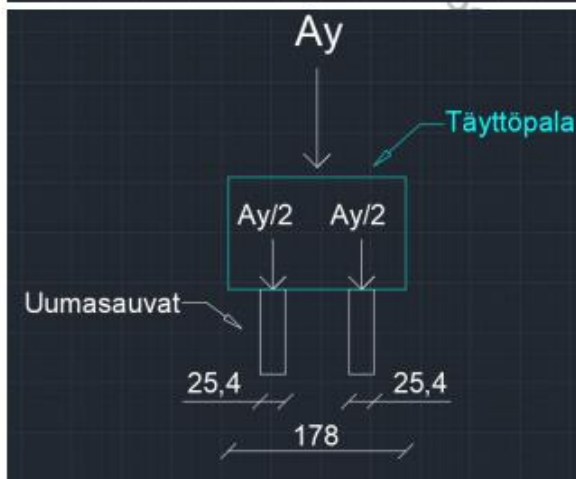
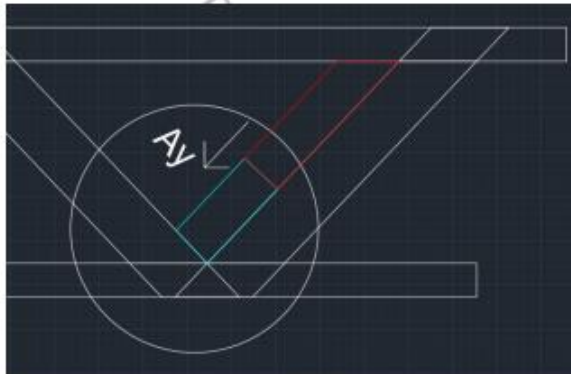
syitä vastaan kohtisuoran  
puristuskestävyyden laskenta-arvo

$$KA_{\text{tukipaine}} := \frac{\sigma_{e,90,d}}{k_{e,T} \cdot f_{e,90,d}} = 6.05\%$$

mitoitusehto ja  
kestävyysskäyttöaste

Tässä työssä toimeksiantaja on antanut luvan olettaa, että ristikon alapaarteen ja uumasauvojen välinen liimaliitos kestää siihen kohdistuvat voimat.

Aukon reunoilla tukipaine täyttöpäältä kohdistuu tuplaristikon uumasauvoille ja niitä kautta ristikon alapaarteelle. Alla kuvat havainnollistamaan tätä tilannetta.



Tässä tapauksessa pitäisi tarkastaa täyttöpäalan tukipainekestävyys. Tilanne saattaa vaatia tukipinnan levittämistä.

Täyttöpäalan tukipainetarkastelu:

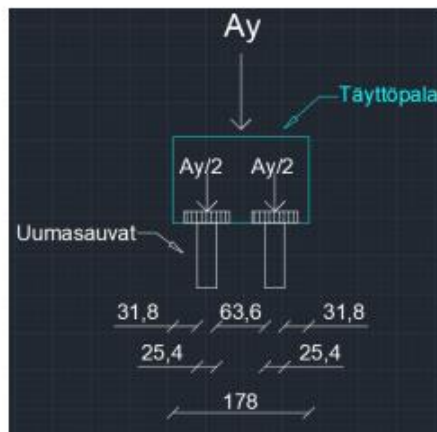
Tukipalan materiaalin vaihtoehtoina sahatavara C24 tai Kerto-S.

$$f_{e,90,k} := 6 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$f_{e,90,k,C24} := 2.5 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoraan puristuslujuuden ominaisarvo, Kerto-S

Syitä vastaan kohtisuoraan puristuslujuuden ominaisarvo, C24



Tarkastellaan ensimmäisenä tilanne, jossa täyttöpalan materiaali olisi sahatavara C24:

Kuvassa tukipainetilanne mittoineen

Uumasauvojen kohdalle kohdistuva puristusvoima olettaen, että tukivoima jakautuu tasaisesti molemmille ristikoille:

$$A_y = 2.382 \text{ kN}$$

$$F_t := \frac{A_y}{2} = 1.191 \text{ kN}$$

$$b_{tuki} := 25.4 \text{ mm}$$

Tilanteen tukileveys

$$\sigma_{c.90.d1} := \frac{F_t}{b \cdot b_{tuki}} = 0.919 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

syitä vastaan kohtisuoran puristusjännityksen laskenta-arvo

$$a := 31.8 \text{ mm}$$

$$l_1 := 63.6 \text{ mm}$$

tukipainetilanteen lähtötiedot (kuva yläpuolella havainnollistukseksi)

$$l := b_{tuki} = 25.4 \text{ mm}$$

$$l_{c.90.ef} := \min(30 \text{ mm}, a, l) + l + \min\left(30 \text{ mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 76.2 \text{ mm}$$

tehollisen tukipinnan leveys (pituus)

Kertoimelle kc.90 ei käytetä tässä tilanteessa korotettua arvoa, koska puristuspuitejoiden välinen leveys on pienempi kuin 2\* täyttöpalan korkeus (RIL 205-1-2017 s.72)

$$k_{c.90} := 1.0$$

lisäkerroin, sahatavara C24

$$k_{c.T1} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 3$$

tukipainekerroin

$$f_{c.90.d.C24} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c.90.k.C24}}{\gamma_M} = 1.667 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

syitä vastaan kohtisuoran puristuskestävyyden laskenta-arvo

$$KA_{tukipaine.c24} := \frac{\sigma_{c.90.d1}}{k_{c.T1} \cdot f_{c.90.d.C24}} = 18.387\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

Tarkastellaan vielä tilanne, jossa täyttöpalan materiaali olisi Kerto-S:

Tilanne on täysin sama mitoiltaan kuin yllä olevassa laskelmassa. Vain materiaaliarvot muuttuvat:

$$l_{c,90,ef} := \min(15 \text{ mm}, a, l) + l + \min\left(15 \text{ mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 55.4 \text{ mm} \quad \text{tehollisen tukipinnan leveys (pituus)}$$

Kertoimelle  $k_{c,90}$  ei käytetä tässä tilanteessa korotettua arvoa, koska puristuspintojen välinen leveys on pienempi kuin  $2 \cdot$  täyttöpalan korkeus (RIL 205-1-2017 s.72)

$$k_{c,90} := 1.0 \quad \text{lisäkerroin, Kerto-S}$$

$$k_{c,T2} := \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 2.181 \quad \text{tukipainekerroin}$$

$$f_{c,90,d,kerto} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{syitä vastaan kohtisuoran puristuskestävyyden laskenta-arvo}$$

$$KA_{tukipaine,kertas} := \frac{\sigma_{c,90,d1}}{k_{c,T2} \cdot f_{c,90,d,kerto}} = 10.538\% \quad \text{mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste}$$

Laskelmien perusteella täyttöpalan materiaali voidaan tämän aukon tapauksessa valita mielivaltaisesti.

## KIEPAHDUSKESTÄVYYS:

Palkin kiepahdustukena toimivat liimaristikot, joihin se kiinnitetään.

$$a := k_{katk} \quad M_y = 1.209 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad W_y = 340000 \text{ mm}^3$$

Palkki on kuormitettu puristetulla reunalla vain kiepahdustukien kohdalla olevilla pistekuormilla -->

$$L_{ef,y} := a = 507.5 \text{ mm}$$

kiepahduskerroin laskennallisesti:

$$c := 0.58$$

Kerroin Kerto-S puutavaramalle, RIL 205 s.85

$$\sigma_{m,crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot L_{ef,y}} \cdot E_{0.05} = 172.409 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

kaava 6.30 EC5

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.505$$

palkin suhteellinen hoikkuus

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{kun } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m} \leq 0.75 = 1$$

$$k_{crit} := 1$$

Kriittinen kiepahduskerroin palkille on 1, eli palkilla ei ole kiepahdusvaaraa.

Tämän aukkopalkin tapauksessa taivutusjännitysten tulisi täyttää seuraava ehto:

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

kaava 6.33 RIL 205-1-2017

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d,y}} = 12.12\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste syrjällään

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d,z}} = 40.391\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste lappeellaan

## TAIPUMAN TARKASTELU (KRT)

Taipumien laskentaan tarvitaan palkin jäyhyysmomentit sekä vahvempaan että heikompaan suuntaan. Kaavat raksusta, vakiopoikkileikkauksarvoja

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = 34000000 \text{ mm}^4$$

palkin poikkileikkauksen jäyhyysmomentti vahvempaan suuntaan

$$I_z := \frac{h \cdot b^3}{12} = 2210850 \text{ mm}^4$$

palkin poikkileikkauksen jäyhyysmomentti heikompaan suuntaan

Yhdeltä katkaistulta ristikolta tulevien pistekuormien arvot käyttörajatilassa:

$$g_k := G_k \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{katk} = 0.463 \text{ kN}$$

Väliohjarakenteen omapainosta aiheutuva pistekuorma

$$q_k := Q_k \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{katk} = 1.852 \text{ kN}$$

Väliohjan hyötykuormasta aiheutuva pistekuorma

$$g_{k,y} := g_k \cdot \sin(\alpha) = 0.333 \text{ kN}$$

$$g_{k,z} := g_k \cdot \cos(\alpha) = 0.322 \text{ kN}$$

$$q_{k,y} := q_k \cdot \sin(\alpha) = 1.332 \text{ kN}$$

$$q_{k,z} := q_k \cdot \cos(\alpha) = 1.287 \text{ kN}$$

Omapainon ja hyötykuorman komponentteihin jako aukkopalkin vinouden takia

## MOMENTISTA AIHEUTUVAT TAIPUMAT (kaavat statiikkamonisteesta, RAKSU)

$$w_{inst.M.g,y} := \frac{g_{k,y} \cdot L_{palkki}^2 \cdot k_{katk}}{24 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} \cdot \left( 3 - 4 \cdot \frac{k_{katk}^2}{L_{palkki}^2} \right) = 0.083 \text{ mm}$$

pysyvän kuorman aiheuttama taipuma palkilla, vahvempi suunta (raksu statiikka)

$$w_{inst.M.q,y} := \frac{q_{k,y} \cdot L_{palkki}^2 \cdot k_{katk}}{24 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} \cdot \left( 3 - 4 \cdot \frac{k_{katk}^2}{L_{palkki}^2} \right) = 0.332 \text{ mm}$$

hyötykuorman aiheuttama taipuma palkilla, vahvempi suunta (raksu statiikka)

$$w_{inst.M.g,z} := \frac{g_{k,z} \cdot L_{palkki}^2 \cdot k_{katk}}{24 \cdot E_{0.mean} \cdot I_z} \cdot \left( 3 - 4 \cdot \frac{k_{katk}^2}{L_{palkki}^2} \right) = 1.231 \text{ mm}$$

pysyvän kuorman aiheuttama taipuma palkilla, heikompi suunta (raksu statiikka)

$$w_{inst.M.q,z} := \frac{q_{k,z} \cdot L_{palkki}^2 \cdot k_{katk}}{24 \cdot E_{0.mean} \cdot I_z} \cdot \left( 3 - 4 \cdot \frac{k_{katk}^2}{L_{palkki}^2} \right) = 4.926 \text{ mm}$$

hyötykuorman aiheuttama taipuma palkilla, heikompi suunta (raksu statiikka)

Liimaristikoiden läpipalkki luokitellaan toisiokannattimeksi, joten käytetään sille sallittua taipuman arvoa  $L/200$  (puurak lyh suunnitteluohje, taulukko 4.1). Käytetään sallitun taipuman laskennassa läpipalkin todellista pituutta.

$$w_{sall} := \frac{1656 \text{ mm}}{200} = 8.28 \text{ mm}$$

TAIPUMA (puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, kaava 2.8)

$$w_{net,fin,y} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.M.g.y} + (1 + 0.3 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.M.g.y} = 0.524 \text{ mm}$$

$$w_{net,fin,z} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.M.g.z} + (1 + 0.3 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.M.g.z} = 7.783 \text{ mm}$$

$$KA_{taipuma,y} := \frac{w_{net,fin,y}}{w_{sall}} = 6.329\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste  
syrjällään

$$KA_{taipuma,z} := \frac{w_{net,fin,z}}{w_{sall}} = 93.995\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste  
lapeellaan

Express. See [www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) for more information.

## YHTEENVETO:

$$KA_{\text{taivutus.y}} := \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d.y}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.z.d}}{f_{m.d.z}} = 40.394\%$$

Taivutus Y-akselin suhteen, käyttöaste

$$KA_{\text{taivutus.z}} := k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d.y}} + \frac{\sigma_{m.z.d}}{f_{m.d.z}} = 48.875\%$$

Taivutus Z-akselin suhteen, käyttöaste

$$KA_{\text{leikkaus.y}} := \frac{\tau_{d.y}}{f_{v.d}} = 12.815\%$$

Leikkaus vahvemmassa suunnassa, käyttöaste

$$KA_{\text{leikkaus.z}} := \frac{\tau_{d.z}}{f_{v.o.d}} = 22.06\%$$

Leikkaus heikommissa suunnassa, käyttöaste

$$KA_{\text{tukipaine}} := \frac{\sigma_{c.90.d}}{k_{c.T} \cdot f_{c.90.d}} = 6.05\%$$

Palkin tukipaine, käyttöaste

$$KA_{\text{tukipaine.c24}} := \frac{\sigma_{c.90.d1}}{k_{c.T1} \cdot f_{c.90.d.C24}} = 18.387\%$$

Täyttöpala C24 tukipaine, käyttöaste

$$KA_{\text{tukipaine.kertos}} := \frac{\sigma_{c.90.d1}}{k_{c.T2} \cdot f_{c.90.d.kerto}} = 10.538\%$$

Täyttöpala Kerto-S tukipaine, käyttöaste

$$KA_{\text{taipuma.y}} := \frac{w_{net.fin.y}}{w_{sall}} = 6.329\%$$

Taipuma Y-akselin suhteen, käyttöaste

$$KA_{\text{taipuma.z}} := \frac{w_{net.fin.z}}{w_{sall}} = 93.995\%$$

Taipuma Z-akselin suhteen, käyttöaste

See www.mathcad.com for more information.

## Liite 2. Vinopalkki, pitkä jänneväli

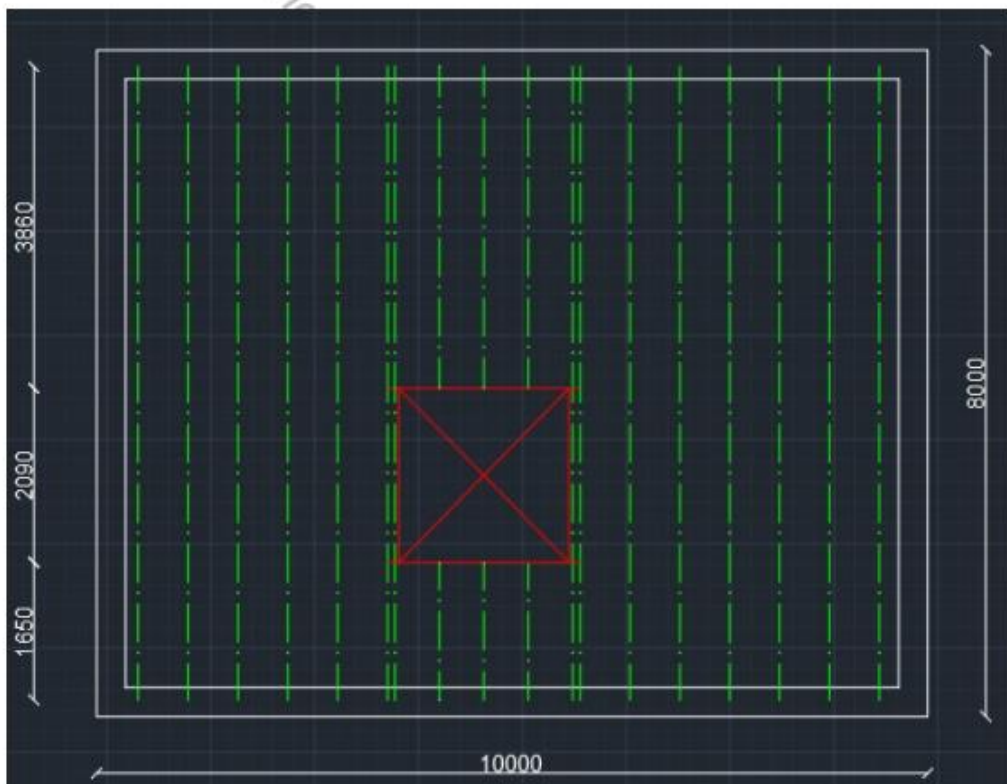
1 of 14

Juho Savolainen  
Rakennus- ja yhdyskuntateknikka  
191311  
1802920

## LIITE 2: VÄLIPOHJAN PORRASAUKON RAKENNEJÄRJESTELMÄ, VINOPALKKI

Valitaan esimerkkitilanteeksi 2-kerroksinen pientalo/asuinrakennus. Talon seuraamusluokka on CC2 (RIL205/EC5).

Mielivaltaisesti valittu porrassaukon sijainti asuinrakennuksen välipohjaan. Portaaksi on valittu RT 103345 mukainen kiertävä L-porras. Välipohjan liimaristikkopalkit ovat 600 mm jaolla ja aukon reunoilla on tuplapalkit/ristikot. Aukkopalkin käyttöluokaksi tulee 1, koska se on rakenteen sisällä ja talon ulkoseinien sisällä (RIL205/EC5).



Kuvassa tilanteen välipohjakaavio. Täysipitkät liimaristikot ovat yläpaarretuettuna ulkoseinälinjoille.

Käytetään välipohjan hyötykuorman arvona RIL 205-1-2017 taulukon 2.5-FI mukaista suositusarvoa ja arvioidaan välipohjarakenteen omapainoksi:

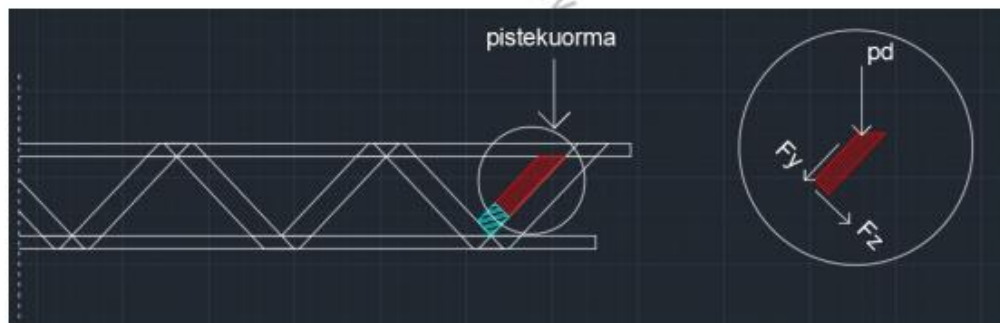
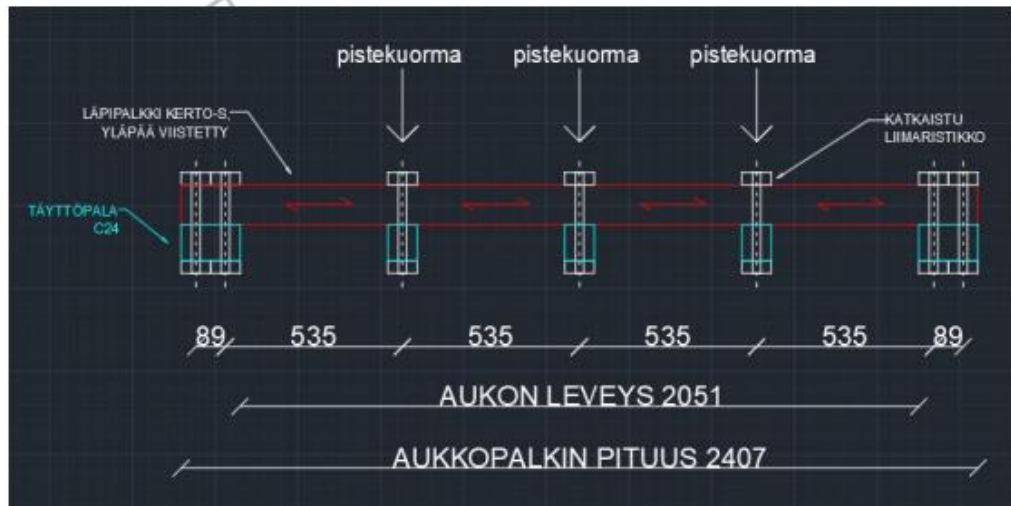
$$Q_k := 2 \frac{kN}{m^2}$$

Välipohjan hyötykuorma

$$G_k := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Väliohjarakenteen omapaino

Porrasaukon palkille muodostuu pistekuormia katkaistuista liimaristikoista. Kuormien aikaluokka on keskipitkä. Katkaistujen liimaristikoiden pituudet ovat 3860 mm ja 1650 mm. Aukkopalkin todellinen pituus on 2407 mm. Aukon kohdalla katkaistut ristikot ovat 535 mm jaolla. Tässä tapauksessa tarkastellaan vain pidempien katkaistujen liimaristikoiden puoleista aukkopalkkia.



Ylemmässä kuvassa havainnollistus laskennan lähtötilanteesta, eli aukkopalkki edestäpäin katsottuna. Alemmassa kuvassa kyseinen tilanne sivultapäin katsottuna katkaistun liimaristikon viereltä.

$$K_{FI} := 1.0$$

$$L_{palkki} := 2229 \text{ mm}$$

Seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin (RIL205)

Aukkopalkin pituus, laskenta-arvo

$$L_{ristikko} := 3860 \text{ mm}$$

Katkaistun liimaristikkopalkin pituus

$$k_{katk} := 535 \text{ mm}$$

Katkaistujen liimaristikkopalkkien k-jako

Yhdeltä katkaistulta ristikolta tulevan pistekuorman arvo murtorajatilassa:

$$p_d := (1.15 \cdot K_{FT} \cdot G_k + 1.5 \cdot K_{FT} \cdot Q_k) \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{katk} = 3.691 \text{ kN}$$

Palkki on kiinnitetty paulaamalla liimaristikoiden reunimmaiseen uumasauvaan vinosti, joten palkille tulevat pistekuormat täytyy jakaa komponentteihin.

$$\alpha := 46 \text{ deg}$$

Uumasauvan ja alapaarteen välinen kulma

$$F_y := p_d \cdot \sin(\alpha) = 2.655 \text{ kN}$$

Pistekuorman arvo palkin vahvempaan suuntaan

$$F_z := p_d \cdot \cos(\alpha) = 2.564 \text{ kN}$$

Pistekuorman arvo palkin heikompaan suuntaan

Palkille tulevat rasitukset (statiikkapdf raksusta lähteeksi):

$$M_{max} := \frac{p_d \cdot L_{palkki}}{2} = 4.114 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksimimomentti

$$M_y := \frac{F_y \cdot L_{palkki}}{2} = 2.959 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momentin arvo vahvempaan suuntaan

$$M_z := \frac{F_z \cdot L_{palkki}}{2} = 2.858 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momentin arvo heikompaan suuntaan

$$V_{max} := 1.5 \cdot p_d = 5.537 \text{ kN}$$

Maksimi leikkausvoima

$$V_y := 1.5 \cdot F_y = 3.983 \text{ kN}$$

Leikkausvoima vahvempaan suuntaan

$$V_z := 1.5 \cdot F_z = 3.846 \text{ kN}$$

Leikkausvoima heikompaan suuntaan

Kokeillaan vaihtoehtona Kerto-S -palkkia dimensioiltaan 75x240 mm.

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

Palkin profiilin leveys

$$h := 240 \text{ mm}$$

Palkin profiilin korkeus

$$A := b \cdot h = 18000 \text{ mm}^2$$

Poikkileikkauksen pinta-ala

$$W_y := \frac{b \cdot h^2}{6} = 720000 \text{ mm}^3$$

Palkin profiilin taivutusvastus vahvempaan suuntaan

$$W_z := \frac{h \cdot b^2}{6} = 225000 \text{ mm}^3$$

Palkin profiilin taivutusvastus heikompaan suuntaan

Materiaaliarvot Kerto-S (EC5 lyhennetty suunnitteluohje & MetsäWood Kerto LVL mekaaniset ominaisuudet)

$$E_{0,mean} := 13800 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Kimmomoduuli

$$E_{0,05} := 11600 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Syysuuntaista kuormitusta  
vastaava kimmomoduuli

$$f_{m,k} := 44 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden ominaisarvo  
syrjällään

$$f_{m,0,k} := 50 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden ominaisarvo  
lapeellaan

$$f_{v,k} := 4.1 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuuden ominaisarvo syrjän  
suunta

$$f_{v,0,k} := 2.3 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuuden ominaisarvo lappeen  
suuntaan

$$f_{c,90,k} := 6 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoraan  
puristuslujuuden ominaisarvo

$$\gamma_M := 1.2$$

Materiaalin osavarmuusluku, LVL

$$k_{mod} := 0.8$$

Kerroin joka huomioi kuorman aikaluokan  
ja materiaalin käyttöluokan

$$k_{def} := 0.6$$

Virumaluku LVL:lle, KL1

PTC Mathcad Express. See [www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) for more information.

## TAIVUTUSMITOITUS (RIL 205-1-2017):

EC5 sekä RIL 205 asettavat ehdot palkin taivutuksen mitoitukselle, kun palkkia taivuttavaa voimaa tulee vahvemman ja heikomman akselin suuntaisesti.

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_y}{W_y} = 4.11 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutusjännityksen laskenta-arvo syrjällään

$$\sigma_{m,z,d} := \frac{M_z}{W_z} = 12.702 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutusjännityksen laskenta-arvo lappeellaan

$$f_{m,d,y} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = 29.333 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden laskenta-arvo syrjällään

$$f_{m,d,z} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m,0,k}}{\gamma_M} = 33.333 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden laskenta-arvo lappeellaan

$$k_m := 0.7$$

Kerroin, mikä ottaa huomioon jännitysten uudelleen jakautumisen ja materiaalin epähomogeenisuuden (RIL 205-1-2017)

## Mitoitusehdot (RIL 205-1-2017):

$$KA_{taivutus,y} := \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d,y}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d,z}} = 40.685\%$$

kestävyyskäyttöaste

$$KA_{taivutus,z} := k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d,y}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d,z}} = 47.913\%$$

kestävyyskäyttöaste

Created with PTC Mathcad Express. See www.mathcad.com for more information.

LEIKKAUSMITOITUS (EC5 s.38 ja RIL 205-1-2017 s.74):

Palkkiin syntyy sekä vahvemman että heikomman akselin suuntaista leikkausvoimaa.

$$k_{cr} := 1$$

halkeamat huomioonottava kerroin  
kertopuulle, suositusarvo, KL1, 2 ja 3  
(RIL 205-1-2017 s.75)

"Taivutettujen sauvojen leikkauskestävyyden osoittamista varten halkeamien vaikutus otetaan huomioon käyttämällä sauvan tehollista leveyttä" RIL 205

$$b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 75 \text{ mm}$$

Palkin tehollinen leveys (kaava 6.13a, RIL 205)

$$A_{ef} := b_{ef} \cdot h = 18000 \text{ mm}^2$$

Palkin poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala

Taivutuksen yhteydessä syntyvä leikkausjännitys, suorakaidepoikkileikkaus (raksu)

$$\tau_{d,y} := 1.5 \cdot \frac{V_y}{A_{ef}} = 0.332 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

leikkausjännityksen laskenta-arvo  
vahvemmassa suunnassa

$$\tau_{d,z} := 1.5 \cdot \frac{V_z}{A_{ef}} = 0.321 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

leikkausjännityksen laskenta-arvo  
heikommassa suunnassa

$$f_{v,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.733 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

leikkauslujuuden laskenta-arvo syrjän  
suunta

$$f_{v,0,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{v,0,k}}{\gamma_M} = 1.533 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

leikkauslujuuden laskenta-arvo lappeen  
suunta

$$KA_{leikkaus,y} := \frac{\tau_{d,y}}{f_{v,d}} = 12.143\%$$

mit.ehto ja kestävyyskäyttöaste

$$KA_{leikkaus,z} := \frac{\tau_{d,z}}{f_{v,0,d}} = 20.904\%$$

mit.ehto ja kestävyyskäyttöaste

TUKIPAINEKESTÄVYYS (ECS lyhennetty):

$$b_{tuki} := 178 \text{ mm}$$

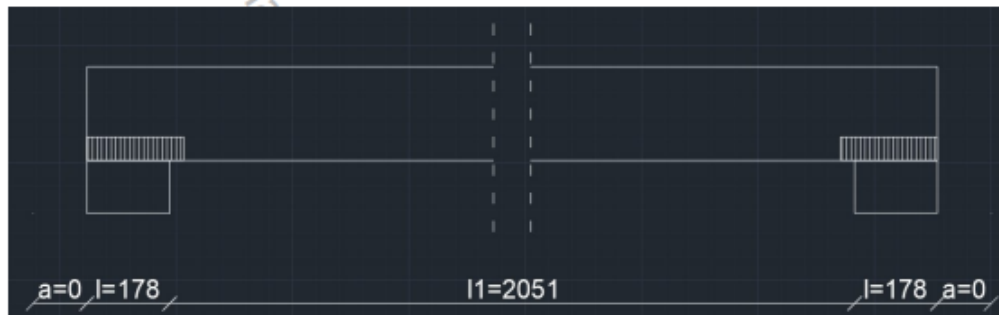
Tukileveys, reunoilla 2x  
yläparre

Tukivoiman pystysuora komponentti on samansuuruinen kuin palkin leikkausvoiman pystysuora komponentti:

$$A_y := V_y = 3.983 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,90,d} := \frac{A_y}{b \cdot b_{tuki}} = 0.298 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

syitä vastaan kohtisuoran  
puristusjännityksen laskenta-arvo



Oletetaan, että palkin ja alapaarteen väliin tulevat täyttöpalat kestävätkin.

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

$$l_1 := 2051 \text{ mm}$$

tukipainetilanteen lähtötiedot yllä olevan  
kuvan mukaan

$$l := b_{tuki} = 178 \text{ mm}$$

$$l_{c,90,ef} := \min(15 \text{ mm}, a, l) + l + \min\left(15 \text{ mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 0.193 \text{ m}$$

tehollisen tukipinnan  
leveys (pituus)

$$k_{c,90} := 1.0$$

lisäkerroin, LVL syrjäpinta

$$k_{c,T} := \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 1.084$$

tukipainekerroin

$$f_{c,90,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

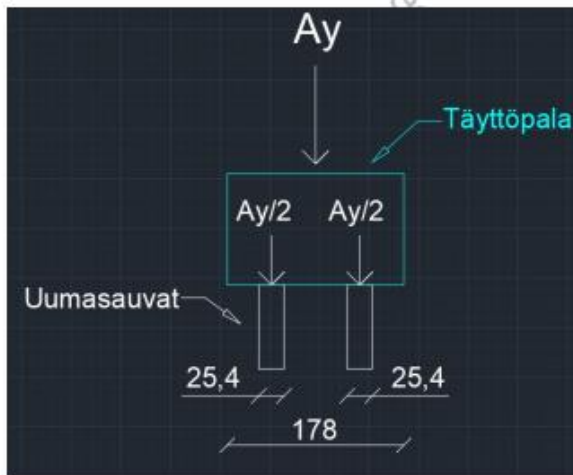
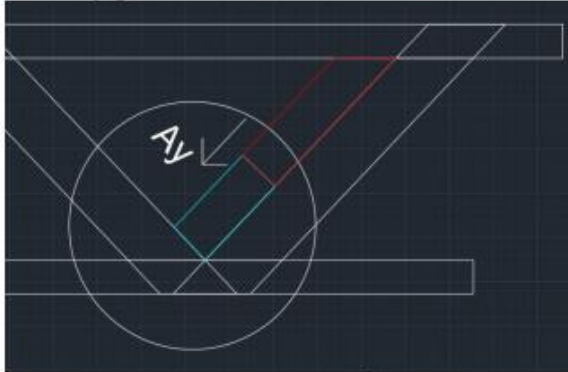
syitä vastaan kohtisuoran  
puristuskestävyyden laskenta-arvo

$$KA_{tukipaine} := \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,T} \cdot f_{c,90,d}} = 6.879\%$$

mitoitusehto ja  
kestävyykäyttöaste

Tässä työssä toimeksiantaja on antanut luvan olettaa, että ristikon alapaarteen ja uumasauvojen välinen liimaliitos kestää siihen kohdistuvat voimat.

Aukon reunoilla tukipaine täyttöpäältä kohdistuu tuplaristikon uumasauvoille ja niitä kautta ristikon alapaarteelle. Alla kuvat havainnollistamaan tätä tilannetta.



Tässä tapauksessa pitäisi tarkastaa täyttöpälan tukipainekestävyys. Tilanne saattaa vaatia tukipinnan levittämistä.

Täyttöpälan tukipainetarkastelu:

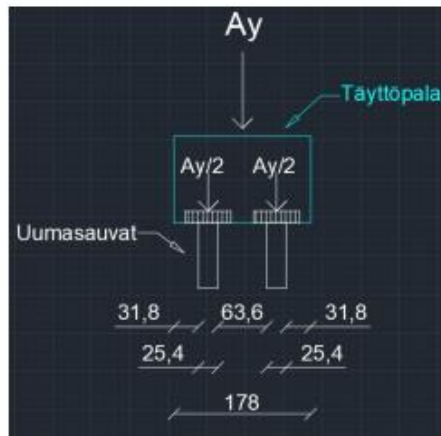
Tukipälan materiaalin vaihtoehtoina sahatavara C24 tai Kerto-S.

$$f_{c,90,k} := 6 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,90,k,C24} := 2,5 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoraan puristuslujuuden ominaisarvo, Kerto-S

Syitä vastaan kohtisuoraan puristuslujuuden ominaisarvo, C24



Tarkastellaan ensimmäisenä tilanne, jossa täyttöpalan materiaali olisi sahatavara C24:

Kuvassa tukipainetilan mittoineen

Uumasauvojen kohdalle kohdistuva puristusvoima olettaen, että tukivoima jakautuu tasaisesti molemmille ristikoille:

$$A_y = 3.983 \text{ kN}$$

$$F_t := \frac{A_y}{2} = 1.992 \text{ kN}$$

$$b_{\text{tuki}} := 25.4 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c.90.d1} := \frac{F_t}{b \cdot b_{\text{tuki}}} = 1.045 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$a := 31.8 \text{ mm}$$

$$l_1 := 63.6 \text{ mm}$$

$$l := b_{\text{tuki}} = 25.4 \text{ mm}$$

$$l_{c.90.ef} := \min(30 \text{ mm}, a, l) + l + \min\left(30 \text{ mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 76.2 \text{ mm}$$

tehollisen tukipinnan leveys (pituus)

Kertoimelle kc.90 ei käytetä tässä tilanteessa korotettua arvoa, koska puristuspintojen välinen leveys on pienempi kuin 2\* täyttöpalan korkeus (RIL 205-1-2017 s.72)

$$k_{c.90} := 1.0$$

$$k_{c.T1} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 3$$

$$f_{c.90.d.C24} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c.90.k.C24}}{\gamma_M} = 1.667 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$KA_{\text{tukipaine.c24}} := \frac{\sigma_{c.90.d1}}{k_{c.T1} \cdot f_{c.90.d.C24}} = 20.908\%$$

Tilanteen tukileveys

syitä vastaan kohtisuoran puristusjännityksen laskenta-arvo

tukipainetilanteen lähtötiedot (kuva yläpuolella havainnollistukseksi)

tehollisen tukipinnan leveys (pituus)

lisäkerroin, sahatavara C24

tukipainekerroin

syitä vastaan kohtisuoran puristuskestävyyden laskenta-arvo

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

Tarkastellaan vielä tilanne, jossa täyttöpalan materiaali olisi Kerto-S:

Tilanne on täysin sama mitoiltaan kuin yllä olevassa laskelmassa. Vain materiaaliarvot muuttuvat:

$$l_{c,90,ef} := \min(15 \text{ mm}, a, l) + l + \min\left(15 \text{ mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 55.4 \text{ mm} \quad \text{tehollisen tukipinnan leveys (pituus)}$$

Kertoimelle  $k_{c,90}$  ei käytetä tässä tilanteessa korotettua arvoa, koska puristuspintojen välinen leveys on pienempi kuin  $2 \cdot$  täyttöpalan korkeus (RIL 205-1-2017 s.72)

$$k_{c,90} := 1.0 \quad \text{lisäkerroin, Kerto-S}$$

$$k_{c,T2} := \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 2.181 \quad \text{tukipainekerroin}$$

$$f_{c,90,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{syitä vastaan kohtisuoran puristuskestävyyden laskenta-arvo}$$

$$KA_{\text{tukipaine_kertos}} := \frac{\sigma_{c,90,d1}}{k_{c,T2} \cdot f_{c,90,d}} = 11.983\% \quad \text{mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste}$$

Laskelmien perusteella täyttöpalan materiaali voidaan tämän aukon tapauksessa valita mielivaltaisesti, mutta kustannusten kannalta tehokkain olisi C24.

Created with PTC Mathcad Express. See [www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) for more information.

## KIEPAHDUSKESTÄVYYS:

Palkin kiepahdustukena toimivat liimaristikot.

$$a := k_{\text{kate}} \quad M_y = 2.959 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad W_y = 720000 \text{ mm}^3$$

Palkki on kuormitettu puristetulta reunalta pelkästään kiepahdustukien kohdilla sijaitsevilla pistekuormilla-->

$$L_{ef,y} := a = 535 \text{ mm}$$

kiepahduskerroin laskennallisesti:

$$c := 0.58$$

Kerroin Kerto-S puutavaralle, RIL 205 s.85

$$\sigma_{m,crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot L_{ef,y}} \cdot E_{0,05} = 294.743 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

kaava 6.31.1S RIL 205, suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

kaava 6.30 RIL 205

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.386$$

palkin suhteellinen hoikkuus

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{kun } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\rightarrow \lambda_{rel,m} \leq 0.75 = 1$$

$$\rightarrow k_{crit} := 1$$

Kriittinen kiepahduskerroin palkille on 1, eli palkilla ei ole kiepahdusvaaraa.

Tämän aukkopalkin tapauksessa taivutusjännitysten tulisi täyttää seuraava ehto:

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

kaava 6.33 RIL 205-1-2017

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d,y}} = 14.012\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste syrjällä

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d,z}} = 38.105\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste lappeella

## TAIPUMAN TARKASTELU (KRT)

Taipumien laskentaan tarvitaan palkin jäyhyysmomentit sekä vahvempaan että heikompaan suuntaan. Kaavat raksusta, vakiopoikkileikkausarvoja

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = 86400000 \text{ mm}^4$$

palkin poikkileikkauksen jäyhyysmomentti vahvempaan suuntaan

$$I_z := \frac{h \cdot b^3}{12} = 8437500 \text{ mm}^4$$

palkin poikkileikkauksen jäyhyysmomentti heikompaan suuntaan

Yhdeltä katkaistulta ristikoilta tulevien pistekuormien arvot käyttörajatilassa:

$$g_k := G_k \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{katk} = 0.516 \text{ kN}$$

Väliopohjarakenteen omapainosta aiheutuva pistekuorma

$$q_k := Q_k \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{katk} = 2.065 \text{ kN}$$

Väliopohjan hyötykuormasta aiheutuva pistekuorma

$$g_{k,y} := g_k \cdot \sin(\alpha) = 0.371 \text{ kN}$$

$$g_{k,z} := g_k \cdot \cos(\alpha) = 0.359 \text{ kN}$$

Omapainon ja hyötykuorman komponentteihin jako aukkopalkin vinouden takia

$$q_{k,y} := q_k \cdot \sin(\alpha) = 1.486 \text{ kN}$$

$$q_{k,z} := q_k \cdot \cos(\alpha) = 1.435 \text{ kN}$$

## MOMENTISTA AIHEUTUVAT TAIPUMAT

$$w_{inst.M.g,y} := \frac{g_{k,y} \cdot L_{palkki}^3}{E_{0,mean} \cdot I_y} \cdot \frac{19}{384} = 0.171 \text{ mm}$$

pysyvän kuorman aiheuttama taipuma palkilla, vahvempi suunta (raksu statiikka)

$$w_{inst.M.q,y} := \frac{q_{k,y} \cdot L_{palkki}^3}{E_{0,mean} \cdot I_y} \cdot \frac{19}{384} = 0.683 \text{ mm}$$

hyötykuorman aiheuttama taipuma palkilla, vahvempi suunta (raksu statiikka)

$$w_{inst.M.g,z} := \frac{g_{k,z} \cdot L_{palkki}^3}{E_{0,mean} \cdot I_z} \cdot \frac{19}{384} = 1.688 \text{ mm}$$

pysyvän kuorman aiheuttama taipuma palkilla, heikompi suunta (raksu statiikka)

$$w_{inst.M.q,z} := \frac{q_{k,z} \cdot L_{palkki}^3}{E_{0,mean} \cdot I_z} \cdot \frac{19}{384} = 6.751 \text{ mm}$$

hyötykuorman aiheuttama taipuma palkilla, heikompi suunta (raksu statiikka)

Limaristikoiden läpipalkki luokitellaan toisiokannattimeksi, joten käytetään sille sallittua taipuman arvoa  $L/200$  (RIL 205-1-2017, taulukko 7.2-FI). Palkilla ei myöskään ole esikorotusta.

$$w_{sall} := \frac{L_{palkki}}{200} = 11.145 \text{ mm}$$

TAIPUMA (puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, kaava 2.8)

$$w_{net,fin,y} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.M.g,y} + (1 + 0.3 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.M.q,y} = 1.079 \text{ mm}$$

$$w_{net,fin,z} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.M.g,z} + (1 + 0.3 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.M.q,z} = 10.667 \text{ mm}$$

$$KA_{taipuma,y} := \frac{w_{net,fin,y}}{w_{sall}} = 9.679\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste syrjällä

$$KA_{taipuma,z} := \frac{w_{net,fin,z}}{w_{sall}} = 95.708\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste lappeella

Created with PTC Mathcad Express. See [www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) for more information.

## YHTEENVETO:

$$KA_{\text{taivutus.y}} := \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d.y}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.z.d}}{f_{m.d.z}} = 40.685\%$$

Taivutus Y-akselin suhteen, käyttöaste

$$KA_{\text{taivutus.z}} := k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d.y}} + \frac{\sigma_{m.z.d}}{f_{m.d.z}} = 47.913\%$$

Taivutus Z-akselin suhteen, käyttöaste

$$KA_{\text{leikkaus.y}} := \frac{\tau_{d.y}}{f_{v.d}} = 12.143\%$$

Leikkaus vahvempaan suuntaan, käyttöaste

$$KA_{\text{leikkaus.z}} := \frac{\tau_{d.z}}{f_{v.o.d}} = 20.904\%$$

Leikkaus heikompaan suuntaan, käyttöaste

$$KA_{\text{tukipaine}} := \frac{\sigma_{c.90.d}}{k_{c.T} \cdot f_{c.90.d}} = 6.879\%$$

Palkin tukipaine, käyttöaste

$$KA_{\text{tukipaine.c24}} := \frac{\sigma_{c.90.d1}}{k_{c.T1} \cdot f_{c.90.d.C24}} = 20.908\%$$

Täyttöpalkan C24 tukipaine, käyttöaste

$$KA_{\text{tukipaine.kertos}} := \frac{\sigma_{c.90.d1}}{k_{c.T2} \cdot f_{c.90.d}} = 11.983\%$$

Täyttöpalkan Kerto-S tukipaine, käyttöaste

$$KA_{\text{taipuma.y}} := \frac{w_{\text{net.fin.y}}}{w_{\text{sall}}} = 9.679\%$$

Taipuma Y-akselin suhteen, käyttöaste

$$KA_{\text{taipuma.z}} := \frac{w_{\text{net.fin.z}}}{w_{\text{sall}}} = 95.708\%$$

Taipuma Z-akselin suhteen, käyttöaste

See [www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) for more information.

## Liite 3. Suora tuplapalkki, lyhyt jänneväli

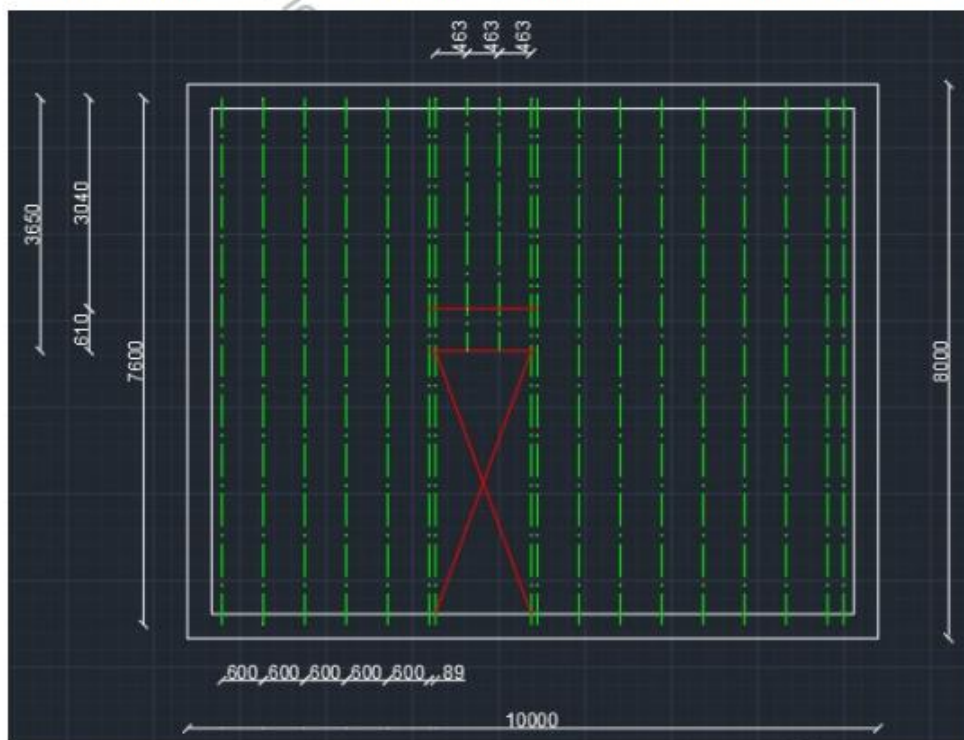
1 of 11

Juho Savolainen  
Rakennus- ja yhdyskuntateknikka  
191311  
1802920

### LIITE 3: VÄLIPOHJAN PORRASAUKON RAKENNEJÄRJESTELMÄ, SUORA TUPLAPALKKI

Valitaan esimerkkitalanteeksi 2-kerroksinen pientalo/asuinrakennus. Talon seuraamusluokka on CC2 (RIL205/EC5).

Mielivaltaisesti valittu porrasaukon sijainti asuinrakennuksen välipohjaan. Portaiden leveydeksi tulee 1200mm. Välipohjan liimaristikkopalkit ovat 600 mm jaolla ja aukon reunoilla on tuplapalkit/ristikot. Aukkopalkin käyttöluokaksi tulee 1, koska se on rakenteen sisällä ja talon ulkoseinien sisällä (RIL205).



Kuvassa havainnollistus rakennuksen välipohjakaaviosta sekä porrasaukon sijainnista.

Käytetään välipohjan hyötykuorman arvona RIL 205-1-2017 taulukon 2.5-FI mukaista suositusarvoa ja arvioidaan välipohjarakenteen omapainoksi:

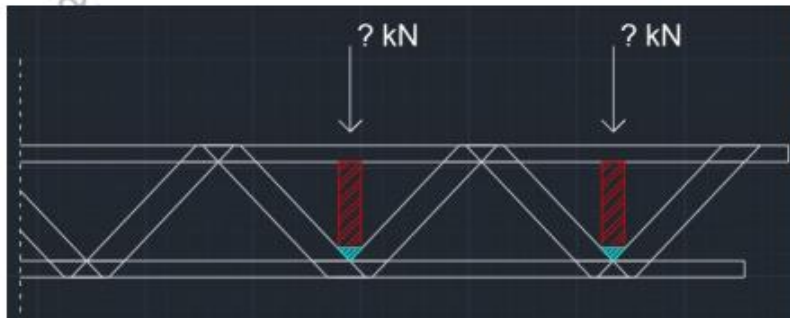
$$Q_k := 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Asuinrakennuksen välipohjan  
hyötykuorma, suositusarvo

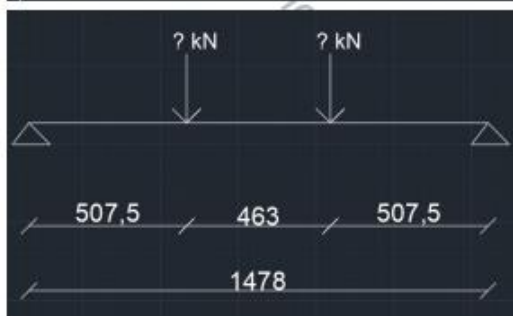
$$G_k := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Välipohjarakenteen arvioitu omapaino

Tässä rakennejärjestelmässä ideana on asettaa kaksi pystyssä olevaa palkkia liimaristikon kahteen viereiseen aukkoon. Palkin alle tulee tarkalla sovituksella tehty täytepala. Täytepalan sivut on muotoiltu liimaristikon uumasauvojen mukaisiin kulmiin. Täytepalojen kiinnitys tapahtuu naulaamalla.

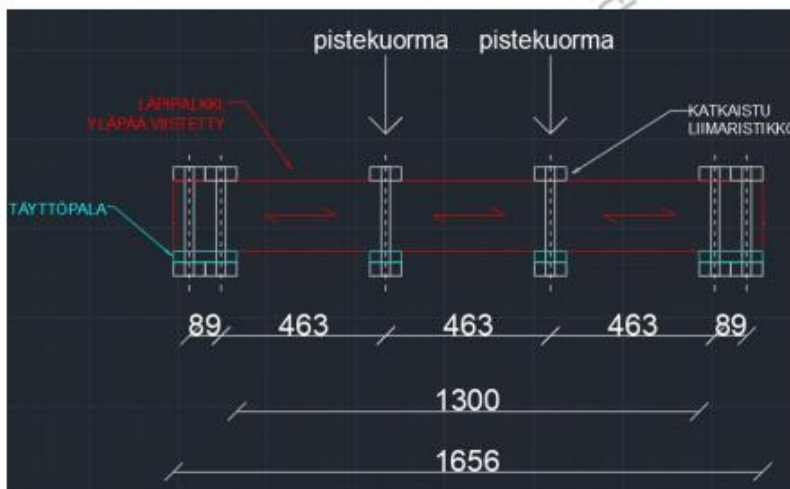


Kuvassa havainnollistus tilanteesta sivulta katsottuna katkaistun liimaristikkopalkin päästä.



Tapauksen vapaakappalekuva yhdelle palkille

Porrasaukon palkkeille muodostuu pistekuormia katkaistuista liimaristikoista. Tässä laskennassa oletetaan, että yhdelle liimaristikolle muodostuvat kuormat saadaan jaettu tasaa molempien läpipalkkien kanssa. Kuormien aikaluokka on keskipitkä. Katkaistun liimaristikon pituus on 3650mm ja kummankin aukkopalkin todellinen pituus on 1656mm. Aukon kohdalla katkaistut ristikot ovat 463 mm jaolla.



Kuvassa havainnollistus tilanteesta edestäpäin katsottuna.

Kuormien lähtötilanne ja kuormitusyhdistely:

$$K_{FI} := 1.0$$

Seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin (RIL205)

$$L_{palkki} := 1478 \text{ mm}$$

Aukkopalkin pituus, laskenta-arvo

$$L_{ristikko} := 3650 \text{ mm}$$

Katkaistun liimaristikkopalkin pituus

$$k_{katk} := 507.5 \text{ mm}$$

Katkaistujen liimaristikkopalkkien k-jako

Yhdelle liimaristikolle muodostuva pistekuorman arvo murtorajatilassa:

$$F_d := (1.15 \cdot K_{FI} \cdot G_k + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot Q_k) \cdot k_{katk} \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} = 3.311 \text{ kN}$$

Koska kuormat jaetaan tasan kahden palkin kanssa, niin molemmille palkeille tulee yhdeltä liimaristikolta tästä pistekuorman arvosta puolet, eli:

$$p_d := \frac{F_d}{2} = 1.656 \text{ kN}$$

Yhdelle palkille tulevat rasitukset (raksu statiikka):

$$M_{max} := p_d \cdot k_{katk} = 0.84 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksimimomentti

$$V_{max} := p_d = 1.656 \text{ kN}$$

Maksimi leikkausvoima

$$A_{tuki} := p_d = 1.656 \text{ kN}$$

Tuen A tukivoima

$$B_{tuki} := p_d = 1.656 \text{ kN}$$

Tuen B tukivoima

Kokeillaan vaihtoehtona C24 mitallistettua sahatavaraa palkkia dimensioltaan 48x98 mm.



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

Palkin profiilin leveys

$$h := 98 \text{ mm}$$

Palkin profiilin korkeus

$$A := b \cdot h = 4704 \text{ mm}^2$$

Poikkileikkauksen pinta-ala

$$W_y := \frac{b \cdot h^2}{6} = 76832 \text{ mm}^3$$

Palkin profiilin taivutusvastus vahvempaan suuntaan

$$W_z := \frac{h \cdot b^2}{6} = 37632 \text{ mm}^3$$

Palkin profiilin taivutusvastus heikompaan suuntaan

Materiaalivert C24 (EC5 lyhennetty suunnitteluohje)

$$E_{0,mean} := 11000 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{0,05} := 7400 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

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

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

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

$$\gamma_M := 1.3$$

$$k_{mod} := 0.8$$

$$k_{def} := 0.6$$

Kimmomoduuli

Syysuuntaista kuormitusta  
vastaava kimmomoduuli

Taivutuslujuuden ominaisarvo

Leikkauslujuuden ominaisarvo syrjän  
suuntaan

Syitä vastaan kohtisuoraan  
puristuslujuuden ominaisarvo

Materiaalin osavarmuusluku, sahatavara

Kerroin joka huomioi kuorman aikaluokan  
ja materiaalin käyttöluokan

Virumaluku sahatavaralle, KL1

PTC Mathcad Express. See [www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) for more information.

TAIVUTUSMITOITUS (EC5 s.38 ja RIL205):

Palkille syntyy taivutusmomenttia vain sen vahvemmassa suunnassa, joten kerroin  $k_m$  ja heikomman suunnan taivutusjännitys jätetään huomioimatta mitoitusohjeissa (näiden arvoksi tulisi 0).

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_{max}}{W_y} = 10.936 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutusjännityksen laskenta-arvo

$$f_{m,d,y} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = 14.769 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden laskenta-arvo

Mitoitusehto (EC5 ja RIL205):

$$KA_{taivutus} := \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d,y}} = 74.042\%$$

kestävyyskäyttöaste

LEIKKAUSMITOITUS (EC5 s.38 ja RIL205):

Palkkiin syntyy syysuuntainen leikkausjännityskomponentti

$$k_{cr} := 0.67$$

halkeamat huomioonottava kerroin sahatavaraalle, suositusarvo, KL1 (RIL 205-1-2017 s.75)

"Taivutettujen sauvojen leikkauskestävyyden osoittamista varten halkeamien vaikutus otetaan huomioon käyttämällä sauvan tehollista leveyttä" EC5

$$b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 32.16 \text{ mm}$$

Palkin tehollinen leveys (kaava 6.13a, RIL 205-1-2017)

$$A_{ef} := b_{ef} \cdot h = 3151.68 \text{ mm}^2$$

Palkin poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala

Taivutuksen yhteydessä syntyvä leikkausjännitys, suorakaidepoikkileikkaus (raksu)

$$\tau_{d,y} := 1.5 \cdot \frac{V_{max}}{A_{ef}} = 0.788 \frac{N}{mm^2}$$

leikkausjännityksen laskenta-arvo vahvemmassa suunnassa

$$f_{v,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.462 \frac{N}{mm^2}$$

leikkauslujuuden laskenta-arvo

$$KA_{leikkaus} := \frac{\tau_{d,y}}{f_{v,d}} = 32.01\%$$

mit.ehto ja kestävyyskäyttöaste

TUKIPAINEKESTÄVYYS (ECS lyhennetty):

Tukipaineen laskennassa tehdään oletus, että aukon reunoilla olevat tuplaristikot ovat kiinnitetty toisiinsa siten, että ne toimivat niinsanotusti yhtenä palkkina. Eli tukireaktio kulkee tasaisena molemmilla ristikoilla.

$$b_{tuki} := 178 \text{ mm}$$

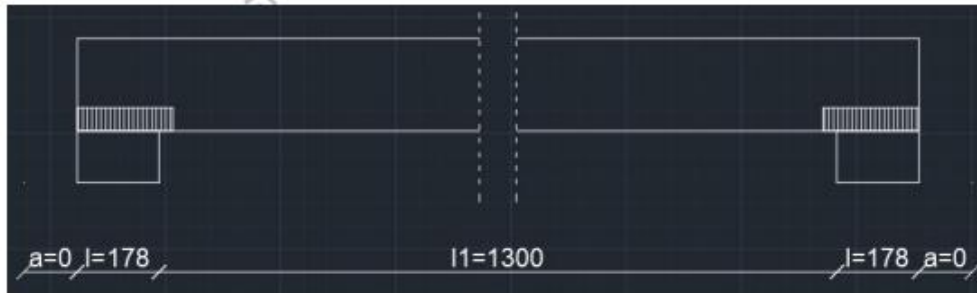
Tukileveys, reunoilla 2x  
yläpaarteen levyinen

$$A_{tuki} = 1.656 \text{ kN}$$

Tukivoima

$$\sigma_{c,90,d} := \frac{A_{tuki}}{b \cdot b_{tuki}} = 0.194 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

syitä vastaan kohtisuoran  
puristusjännityksen laskenta-arvo



Oletetaan, että palkin alle tulevat täyttöpalat kestävät niihin kohdistuvan puristuksen.

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

$$l_1 := 1300 \text{ mm}$$

tukipainetilanteen lähtötiedot (kuva  
yläpuolella havainnollistukseksi)

$$l := b_{tuki} = 178 \text{ mm}$$

$$l_{c,90,ef} := \min(30 \text{ mm}, a, l) + l + \min\left(30 \text{ mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 0.208 \text{ m}$$

tehollisen tukipinnan  
leveys (pituus)

$$k_{c,90} := 1.25$$

lisäkerroin sahatavarelle, kun  $l_1 > 2h$

$$k_{c,T} := \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 1.461$$

tukipainekerroin

$$f_{c,90,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1.538 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

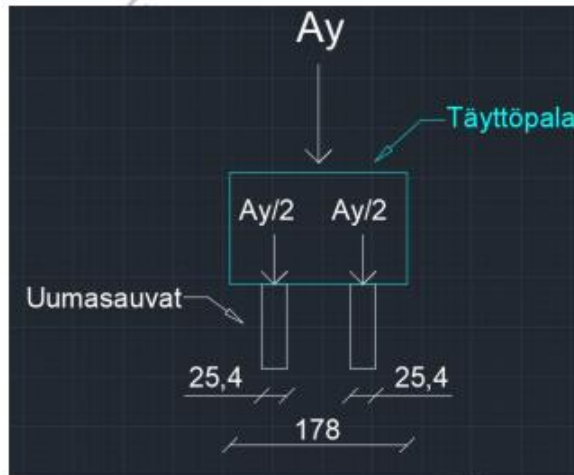
syitä vastaan kohtisuoran  
puristuskestävyyden laskenta-arvo

$$KA_{tukipaine} := \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,T} \cdot f_{c,90,d}} = 8.623\%$$

mitoitusehto ja  
kestävyykäyttöaste

Tässä työssä toimeksiantaja on antanut luvan olettaa, että ristikon alapaarteen ja uumasauvojen välinen liimaliitos kestää siihen kohdistuvat voimat.

Aukon reunoilla tukipaine täyttöpäältä kohdistuu tuplaristikon uumasauvoille ja niitä kautta ristikon alapaarteelle. Alla kuvat havainnollistamaan tätä tilannetta. Toimeksiantajan luvalla saatiin olettaa, että täyttöpäloihin vaikuttaa palkin tukivoima, eikä voimaa jaeta komponentteihin.



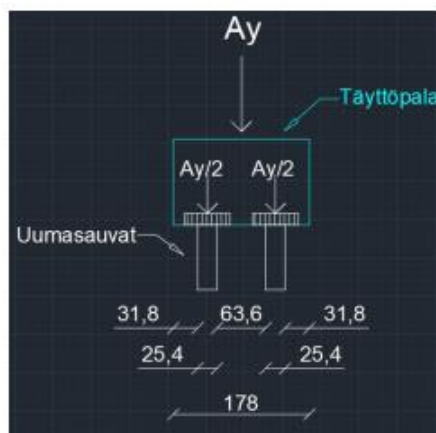
Tässä tapauksessa pitäisi tarkastaa täyttöpäalan tukipainekestävyys. Tilanne saattaa vaatia tukipinnan levittämistä.

Täyttöpäalan tukipainetarkastelu:

Kokeillaan tukipäalan materiaaliaksi sahatavara C24.

$$f_{c,90,k,C24} := 2,5 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoraan puristuslujuuden ominaisarvo, C24



Tarkastellaan ensimmäisenä tilanne, jossa täyttöpäalan materiaali olisi sahatavara C24:

Kuvassa tukipainetilanne mittoineen

Uumasauvojen kohdalle kohdistuva puristusvoima olettaen, että tukivoima jakautuu tasaisesti molemmille ristikoille:

$$A_{\text{tuki}} = 1.656 \text{ kN}$$

$$F_t := \frac{A_{\text{tuki}}}{2} = 0.828 \text{ kN}$$

$b_{tuki} := 25.4 \text{ mm}$	Tilanteen tukileveys
$b_{viiste} := 35 \text{ mm}$	Täyttöpalan viistetyn pinnan leveys
$\sigma_{c,90,d1} := \frac{F_t}{b_{viiste} \cdot b_{tuki}} = 0.931 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	syitä vastaan kohtisuoran puristusjäännityksen laskenta-arvo
$a := 31.8 \text{ mm}$	
$l_1 := 63.6 \text{ mm}$	tukipainetilanteen lähtötiedot (kuva yläpuolella havainnollistukseksi)
$l := b_{tuki} = 25.4 \text{ mm}$	
$l_{c,90,ef} := \min(30 \text{ mm}, a, l) + l + \min\left(30 \text{ mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 76.2 \text{ mm}$	tehollisen tukipinnan leveys (pituus)
Kertoimelle kc.90 ei käytetä tässä tilanteessa korotettua arvoa, koska puristuspintojen välinen leveys on pienempi kuin 2* täyttöpalan korkeus (RIL 205-1-2017 s.72)	
$k_{c,90} := 1.0$	lisäkerroin, sahatavara C24
$k_{c,T1} := \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 3$	tukipainekerroin
$f_{c,90,d,C24} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k,C24}}{\gamma_M} = 1.538 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	syitä vastaan kohtisuoran puristuskestävyyden laskenta-arvo
$KA_{tukipaine.täyttö} := \frac{\sigma_{c,90,d1}}{k_{c,T1} \cdot f_{c,90,d,C24}} = 20.175\%$	mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

Täyttöpalan materiaalina voidaan siis käyttää C24 sahatavaraa.

KIEPAHDUSKESTÄVYYS:

Palkin kiepahdustukena toimivat liimaristikot, joihin se kiinnitetään.

$$a := k_{\text{katt}} \quad M_{\text{max}} = 0.84 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad W_y = 76832 \text{ mm}^3$$

Palkki on kuormitettu puristetulla reunalla vain kiepahdustukien kohdalla olevilla pisteuormilla -->

$$L_{ef,y} := a = 507.5 \text{ mm}$$

kiepahduskerroin laskennallisesti:

$$c := 0.78$$

Kerroin havupuusahatavaraalle, RIL 205 s.85

$$\sigma_{m,crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot L_{ef,y}} \cdot E_{0.05} = 267.391 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

kaava 6.30 ECS

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.3$$

palkin suhteellinen hoikkuus

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{kun } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m} \leq 0.75 = 1$$

$$k_{crit} := 1$$

Kriittinen kiepahduskerroin palkille on 1, eli palkilla ei ole kiepahdusvaaraa.

Tämän aukkopalkin tapauksessa taivutusjännitysten tulisi täyttää seuraava ehto:

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

kaava 6.33 RIL 205-1-2017

$$KA_{\text{kiepahdus}} := \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d,y}} = 74.042\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

## TAIPUMAN TARKASTELU (KRT)

Tässä tapauksessa taipumien laskentaan tarvitaan palkin jäyhyysmomentti sen vahvempaan suuntaan

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = 3764768 \text{ mm}^4$$

palkin poikkileikkauksen jäyhyysmomentti vahvempaan suuntaan

Yhdeltä katkaistulta ristikolta tulevien pistekuormien arvot käyttörajatilassa yhdelle palkille:

$$g_k := \frac{\left( G_k \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{katk} \right)}{2} = 0.232 \text{ kN}$$

Väliopohjarakenteen omapainosta aiheutuva pistekuorma

$$q_k := \frac{\left( Q_k \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{katk} \right)}{2} = 0.926 \text{ kN}$$

Väliopohjan hyötykuormasta aiheutuva pistekuorma

## MOMENTISTA AIHEUTUVAT TAIPUMAT (kaavat statiikkamonisteesta, RAKSU)

$$w_{inst.M.g} := \frac{g_k \cdot L_{palkki}^2 \cdot k_{katk}}{24 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} \cdot \left( 3 - 4 \cdot \frac{k_{katk}^2}{L_{palkki}^2} \right) = 0.653 \text{ mm}$$

pysyvän kuorman aiheuttama taipuma palkilla, vahvempi suunta (raksu statiikka)

$$w_{inst.M.q} := \frac{q_k \cdot L_{palkki}^2 \cdot k_{katk}}{24 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} \cdot \left( 3 - 4 \cdot \frac{k_{katk}^2}{L_{palkki}^2} \right) = 2.612 \text{ mm}$$

hyötykuorman aiheuttama taipuma palkilla, vahvempi suunta (raksu statiikka)

Liimaristikoiden läpipalkki luokitellaan toisiokannattimeksi, joten käytetään sille sallittua taipuman arvoa  $L/200$  (puurak lyh suunnitteluohje, taulukko 4.1). Käytetään sallitun taipuman laskennassa läpipalkin todellista pituutta.

$$w_{sall} := \frac{1656 \text{ mm}}{200} = 8.28 \text{ mm}$$

TAIPUMA (puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, kaava 2.8)

$$w_{net.fin.y} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.M.g} + (1 + 0.3 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.M.q} = 4.127 \text{ mm}$$

$$KA_{taipuma} := \frac{w_{net.fin.y}}{w_{sall}} = 49.844\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

## YHTEENVETO:

$$KA_{\text{taivutus}} := \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d,y}} = 74.042\%$$

Taivutus, käyttöaste

$$KA_{\text{leikkaus}} := \frac{\tau_{d,y}}{f_{v,d}} = 32.01\%$$

Leikkaus, käyttöaste

$$KA_{\text{tukipaine}} := \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,T} \cdot f_{c,90,d}} = 8.623\%$$

Palkin tukipaine, käyttöaste

$$KA_{\text{tukipaine.täyttö}} := \frac{\sigma_{c,90,d1}}{k_{c,T1} \cdot f_{c,90,d,C24}} = 20.175\%$$

Täyttöpalkan tukipaine, käyttöaste

$$KA_{\text{kiepahdus}} := \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d,y}} = 74.042\%$$

Kiepahdus, käyttöaste

$$KA_{\text{taipuma}} := \frac{w_{net,fin,y}}{w_{sall}} = 49.844\%$$

Taipuma, käyttöaste

See [www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) for more information.

## Liite 4. Suora tuplapalkki, pitkä jänneväli

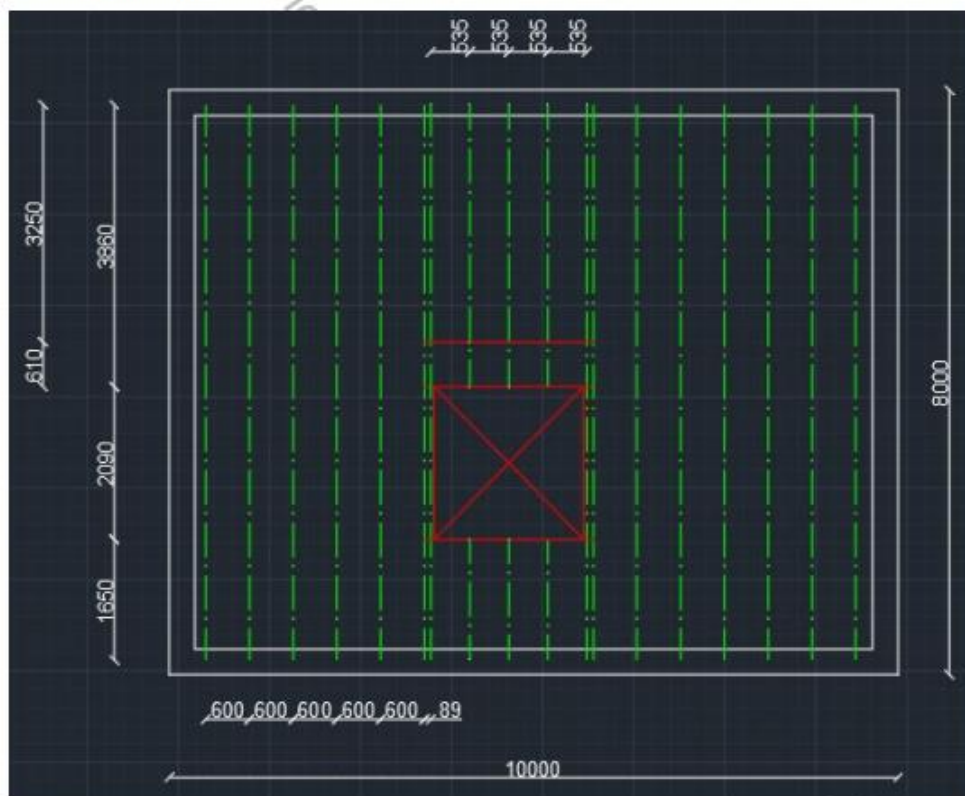
1 of 11

Juho Savolainen  
Rakennus- ja yhdyskuntateknikka  
191311  
1802920

#### LIITE 4: VÄLIPOHJAN PORRASAUKON RAKENNEJÄRJESTELMÄ, SUORA TUPLAPALKKI

Valitaan esimerkkitilanteeksi 2-kerroksinen pientalo/asuinrakennus. Talon seuraamusluokka on CC2 (RIL205/EC5).

Mielivaltaisesti valittu porraskäytävän sijainti asuinrakennuksen välipohjaan. Portaaksi on valittu RT 103345 mukainen kiertävä L-porras. Välipohjan liimaristikokopit ovat 600 mm ja aukon reunoilla on tuplapalkit/ristikot. Aukkopalkin käyttöluokaksi tulee 1, koska se on rakenteen sisällä ja talon ulkoseinien sisällä (RIL205/EC5).



Kuvassa tilanteen välipohjakaavio. Täysipitkät liimaristikot ovat yläpaarretuettuna ulkoseinälinjoille.

Käytetään välipohjan hyötykuorman arvona RIL 205-1-2017 taulukon 2.5-FI mukaista suositusarvoa ja arvioidaan välipohjarakenteen omapainoksi:

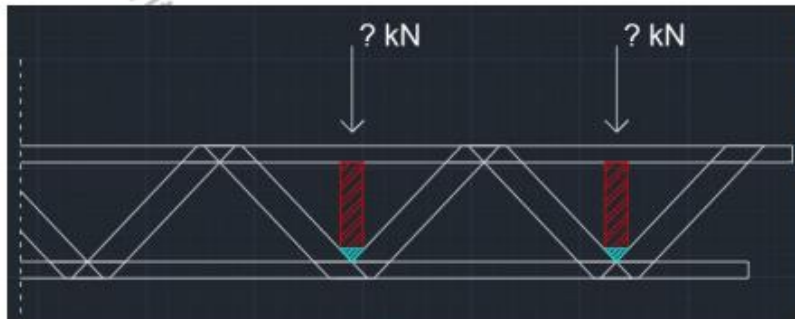
$$Q_k := 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Välipohjan hyötykuorma

$$G_k := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

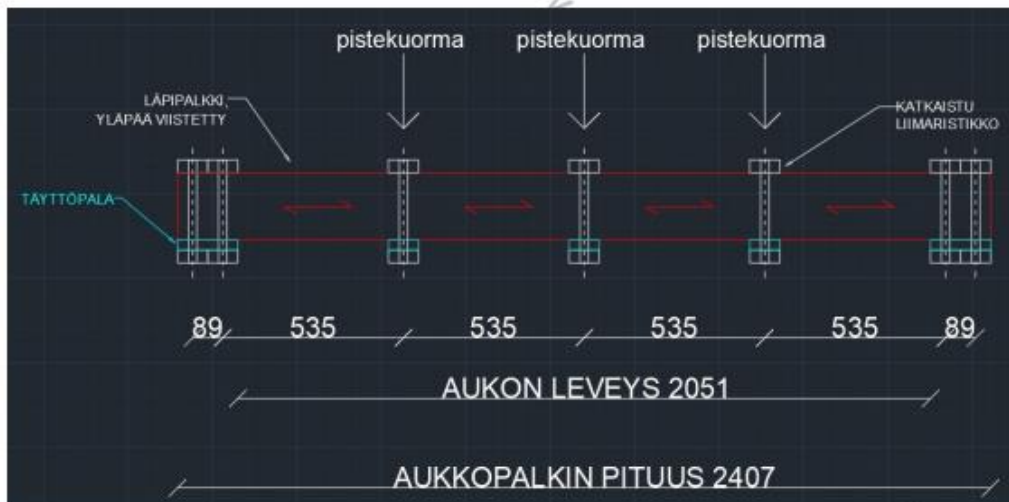
Väliohjarakenteen omapaino

Tässä rakennejärjestelmässä ideana on asettaa kaksi pystyssä olevaa palkkia liimaristikon kahteen viereiseen aukkoon. Palkin alle tulee tarkalla sovituksella tehty täytepala. Täytepalan sivut on muotoiltu liimaristikon ruomasauvojen mukaisiin kulmiin. Täytepalojen kiinnitys tapahtuu naulaamalla.



Kuvassa havainnollistus tilanteesta sivulta katsottuna katkaistun liimaristikkopalkin päästä.

Porrasaukon palkeille muodostuu pistekuormia katkaistuista liimaristikoista. Kuormien aikaluokka on keskipitkä. Katkaistujen liimaristikoiden pituudet ovat 3860 mm ja 1650 mm. Kummankin aukkopalkin todellinen pituus on 2407 mm. Aukon kohdalla katkaistut ristikot ovat 535 mm jaolla. Tässä tapauksessa tarkastellaan vain pidempien katkaistujen liimaristikoiden puoleisia aukkopalkkeja ja oletetaan laskennassa, että kuormat saadaan jaettua tasan molemmille palkeille.



Kuvassa havainnollistus laskennan lähtötilanteesta, eli aukkopalkki edestäpäin katsottuna.

$$K_{FI} := 1.0$$

Seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin (RIL205)

$$L_{palkki} := 2229 \text{ mm}$$

Aukkopalkin pituus, laskenta-arvo

$$L_{ristikko} := 3860 \text{ mm}$$

Katkaistun liimaristikkopalkin pituus

$$k_{katk} := 535 \text{ mm}$$

Katkaistujen liimaristikkopalkkien k-jako

Yhdeltä katkaistulta ristikolta tulevan pistekuorman arvo murtorajatilassa:

$$F_d := (1.15 \cdot K_{FI} \cdot G_k + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot Q_k) \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{katk} = 3.691 \text{ kN}$$

Koska kuormat jaetaan tasan kahden palkin kanssa, niin molemmille palkeille tulee yhdeltä liimaristikolta tästä pistekuorman arvosta puolet, eli:

$$p_d := \frac{F_d}{2} = 1.846 \text{ kN}$$

Palkille tulevat rasitukset (statiikkapdf raksusta lähteeksi):

$$M_{max} := \frac{p_d \cdot L_{palkki}}{2} = 2.057 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksimimomentti

$$V_{max} := 1.5 \cdot p_d = 2.769 \text{ kN}$$

Maksimi leikkausvoima

$$A_{tuki} := 1.5 \cdot p_d = 2.769 \text{ kN}$$

Tuen A tukivoima

$$B_{tuki} := 1.5 \cdot p_d = 2.769 \text{ kN}$$

Tuen B tukivoima

Kokeillaan vaihtoehtona C24-palkkia dimensioltaan 48x148 mm.



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

Palkin profiilin leveys

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

Palkin profiilin korkeus

$$A := b \cdot h = 7104 \text{ mm}^2$$

Poikkileikkauksen pinta-ala

$$W_y := \frac{b \cdot h^2}{6} = 175232 \text{ mm}^3$$

Palkin profiilin taivutusvastus vahvempaan suuntaan

$$W_z := \frac{h \cdot b^2}{6} = 56832 \text{ mm}^3$$

Palkin profiilin taivutusvastus heikompaan suuntaan

Materiaaliarvot C24 (EC5 lyhennetty suunnitteluohje)

$$E_{0,mean} := 11000 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{0,05} := 7400 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

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

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

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

$$\gamma_M := 1.3$$

$$k_{mod} := 0.8$$

$$k_{def} := 0.6$$

Kimmomoduuli

Syysuuntaista kuormitusta  
vastaava kimmomoduuli

Taivutuslujuuden ominaisarvo

Leikkauslujuuden ominaisarvo syrjän  
suuntaan

Syitä vastaan kohtisuoraan  
puristuslujuuden ominaisarvo

Materiaalin osavarmuusluku, sahatavara

Kerroin joka huomioi kuorman aikaluokan  
ja materiaalin käyttöluokan

Virumaluku sahatavaralle, KL1

PTC Mathcad Express. See [www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) for more information.

TAIVUTUSMITOITUS (EC5 s.38 ja RIL205):

Palkille syntyy taivutusmomenttia vain sen vahvemmassa suunnassa, joten kerroin  $k_m$  ja heikomman suunnan taivutusjännitys jätetään huomioimatta mitoitus ehdossa (näiden arvoksi tulisi 0).

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_{max}}{W_g} = 11.739 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutusjännityksen laskenta-arvo

$$f_{m,d,y} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = 14.769 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden laskenta-arvo

Mitoitusehto (EC5 ja RIL205):

$$KA_{taivutus} := \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d,y}} = 79.481\%$$

kestävyyskäyttöaste

LEIKKAUSMITOITUS (EC5 s.38 ja RIL205):

Palkkiin syntyy syysuuntainen leikkausjännityskomponentti

$$k_{cr} := 0.67$$

halkeamat huomioonottava kerroin sahatavaralle, suositusarvo, KL1 (RIL 205-1-2017 s.75)

"Taivutettujen sauvojen leikkauskestävyyden osoittamista varten halkeamien vaikutus otetaan huomioon käyttämällä sauvan tehollista leveyttä" EC5

$$b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 32.16 \text{ mm}$$

Palkin tehollinen leveys (kaava 6.13a, RIL 205-1-2017)

$$A_{ef} := b_{ef} \cdot h = 4759.68 \text{ mm}^2$$

Palkin poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala

Taivutuksen yhteydessä syntyvä leikkausjännitys, suorakaidepoikkileikkaus (raksu)

$$\tau_{d,y} := 1.5 \cdot \frac{V_{max}}{A_{ef}} = 0.872 \frac{N}{mm^2}$$

leikkausjännityksen laskenta-arvo vahvemmassa suunnassa

$$f_{v,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.462 \frac{N}{mm^2}$$

leikkauslujuuden laskenta-arvo

$$KA_{leikkaus} := \frac{\tau_{d,y}}{f_{v,d}} = 35.445\%$$

mit.ehto ja kestävyyskäyttöaste

TUKIPAINEKESTÄVYYS (ECS lyhennetty):

Tukipaineen laskennassa tehdään oletus, että aukon reunoilla olevat tuplaristikot ovat kiinnitetty toisiinsa siten, että ne toimivat niinsanotusti yhtenä palkkina. Eli tukireaktio kulkee tasaisena molemmilla ristikoilla.

$$b_{tuki} := 178 \text{ mm}$$

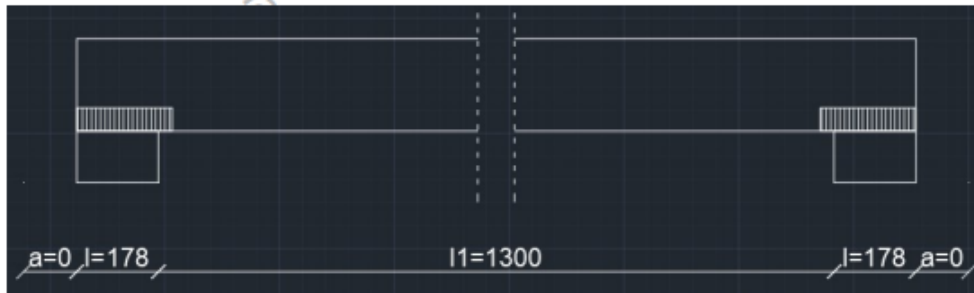
Tukileveys, reunoilla 2x  
yläpaarteen levyinen

$$A_{tuki} := 2.769 \text{ kN}$$

Tukivoima

$$\sigma_{c,90,d} := \frac{A_{tuki}}{b \cdot b_{tuki}} = 0.324 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

syitä vastaan kohtisuoran  
puristusjännityksen laskenta-arvo



Oletetaan, että palkin alle tulevat täyttöpalat kestävät niihin kohdistuvan puristuksen.

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

$$l_1 := 1300 \text{ mm}$$

tukipainetilanteen lähtötiedot (kuva  
yläpuolella havainnollistukseksi)

$$l := b_{tuki} = 178 \text{ mm}$$

$$l_{c,90,ef} := \min(30 \text{ mm}, a, l) + l + \min\left(30 \text{ mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 0.208 \text{ m}$$

tehollisen tukipinnan  
leveys (pituus)

$$k_{c,90} := 1.25$$

lisäkerroin sahatavarelle, kun  $l_1 > 2h$

$$k_{c,T} := \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 1.461$$

tukipainekerroin

$$f_{c,90,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1.538 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

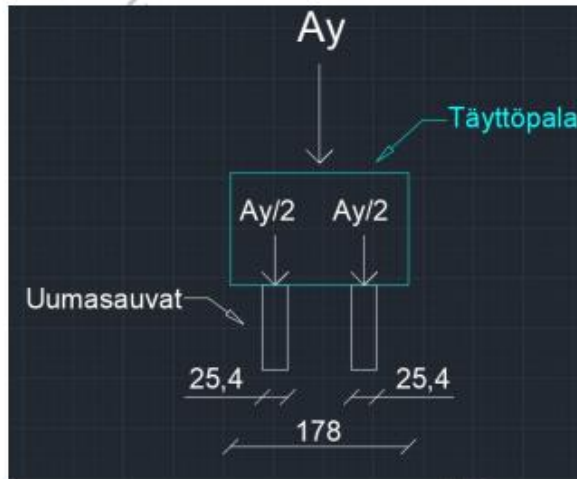
syitä vastaan kohtisuoran  
puristuskestävyyden laskenta-arvo

$$KA_{tukipaine} := \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,T} \cdot f_{c,90,d}} = 14.419\%$$

mitoitusehto ja  
kestävyykäyttöaste

Tässä työssä toimeksiantaja on antanut luvan olettaa, että ristikon alapaarteen ja uumasauvojen välinen liimaliitos kestää siihen kohdistuvat voimat.

Aukon reunoilla tukipaine täyttöpälalta kohdistuu tuplaristikon uumasauvoille ja niitä kautta ristikon alapaarteelle. Alla kuvat havainnollistamaan tätä tilannetta. Toimeksiantajan luvalla saatiin olettaa, että täyttöpäloihin vaikuttaa palkin tukivoima, eikä voimaa jaeta komponentteihin.



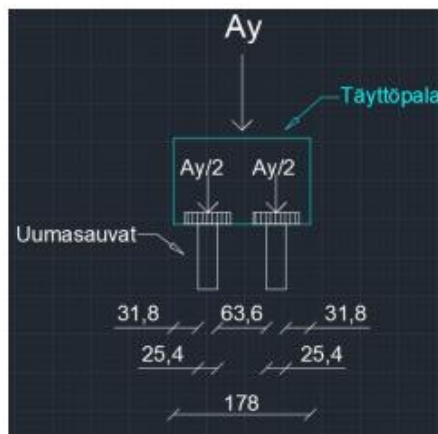
Tässä tapauksessa pitäisi tarkastaa täyttöpälan tukipainekestävyys. Tilanne saattaa vaatia tukipinnan levittämistä.

Täyttöpälan tukipainetarkastelu:

Kokeillaan tukipälan materiaaliksi sahatavara C24.

$$f_{c,90,k,C24} = 2,5 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoraan puristuslujuuden ominaisarvo, C24



Tarkastellaan ensimmäisenä tilanne, jossa täyttöpälan materiaali olisi sahatavara C24:

Kuvassa tukipainetilanne mittoineen

Uumasauvojen kohdalle kohdistuva puristusvoima olettaen, että tukivoima jakautuu tasaisesti molemmille ristikoille:

$$A_{tuki} = 2.769 \text{ kN}$$

$$F_t := \frac{A_{tuki}}{2} = 1.384 \text{ kN}$$

$$b_{\text{tukki}} := 25.4 \text{ mm}$$

Tilanteen tukileveys

$$b_{\text{viiste}} := 35 \text{ mm}$$

Täyttöpalan viistetyn pinnan leveys

$$\sigma_{c.90.d1} := \frac{F_t}{b_{\text{viiste}} \cdot b_{\text{tukki}}} = 1.557 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

syitä vastaan kohtisuoran puristusjännityksen laskenta-arvo

$$a := 31.8 \text{ mm}$$

$$l_1 := 63.6 \text{ mm}$$

tukipainetilanteen lähtötiedot (kuva yläpuolella havainnollistukseksi)

$$l := b_{\text{tukki}} = 25.4 \text{ mm}$$

$$l_{c.90.ef} := \min(30 \text{ mm}, a, l) + l + \min\left(30 \text{ mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 76.2 \text{ mm}$$

tehollisen tukipinnan leveys (pituus)

Kertoimelle kc.90 ei käytetä tässä tilanteessa korotettua arvoa, koska puristuspintojen välinen leveys on pienempi kuin 2\* täyttöpalan korkeus (RIL 205-1-2017 s.72)

$$k_{c.90} := 1.0$$

lisäkerroin, sahatavara C24

$$k_{c.T1} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 3$$

tukipainekerroin

$$f_{c.90.d.C24} := \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c.90.k.C24}}{\gamma_M} = 1.538 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

syitä vastaan kohtisuoran puristuskestävyyden laskenta-arvo

$$KA_{\text{tukipaine.täyttö}} := \frac{\sigma_{c.90.d1}}{k_{c.T1} \cdot f_{c.90.d.C24}} = 33.737\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

Täyttöpalan materiaalina voidaan siis käyttää C24 sahatavaraa.

## KIEPAHDUSKESTÄVYYS:

Palkin kiepahdustukena toimivat liimaristikot, joihin se kiinnitetään.

$$a := k_{katk} \quad M_{max} = 2.057 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad W_y = 175232 \text{ mm}^3$$

Palkki on kuormitettu puristetulla reunalla vain kiepahdustukien kohdalla olevilla pistekuormilla -->

$$L_{ef,y} := a = 535 \text{ mm}$$

kiepahduskerroin laskennallisesti:

$$c := 0.78$$

Kerroin sahatavaraalle, RIL 205 s.85

$$\sigma_{m,crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot L_{ef,y}} \cdot E_{0.05} = 167.955 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

kaava 6.30 EC5

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.378$$

palkin suhteellinen hoikkuus

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{kun } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\rightarrow \lambda_{rel,m} \leq 0.75 = 1$$

$$\rightarrow k_{crit} := 1$$

Kriittinen kiepahduskerroin palkille on 1, eli palkilla ei ole kiepahdusvaaraa.

Tämän aukkopalkin tapauksessa taivutusjännitysten tulisi täyttää seuraava ehto:

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

kaava 6.33 RIL 205-1-2017

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = 79.481\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

## TAIPUMAN TARKASTELU (KRT)

Tässä tapauksessa taipumien laskentaan tarvitaan palkin jäyhyysmomentti sen vahvempaan suuntaan

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = 12967168 \text{ mm}^4$$

palkin poikkileikkauksen jäyhyysmomentti vahvempaan suuntaan

Yhdeltä katkaistulta ristikolta tulevien pistekuormien arvot käyttörajatilassa yhdelle palkille:

$$g_k := \frac{\left( G_k \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{katk} \right)}{2} = 0.258 \text{ kN}$$

Väliopohjarakenteen omapainosta aiheutuva pistekuorma

$$q_k := \frac{\left( Q_k \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{katk} \right)}{2} = 1.033 \text{ kN}$$

Väliopohjan hyötykuormasta aiheutuva pistekuorma

## MOMENTISTA AIHEUTUVAT TAIPUMAT (kaavat statiikkamonisteesta, RAKSU)

$$w_{inst.M.g} := \frac{g_k \cdot L_{palkki}^2 \cdot k_{katk}}{24 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} \cdot \left( 3 - 4 \cdot \frac{k_{katk}^2}{L_{palkki}^2} \right) = 0.555 \text{ mm}$$

pysyvän kuorman aiheuttama taipuma palkilla, vahvempi suunta (raksu statiikka)

$$w_{inst.M.q} := \frac{q_k \cdot L_{palkki}^2 \cdot k_{katk}}{24 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} \cdot \left( 3 - 4 \cdot \frac{k_{katk}^2}{L_{palkki}^2} \right) = 2.22 \text{ mm}$$

hyötykuorman aiheuttama taipuma palkilla, vahvempi suunta (raksu statiikka)

Liimaristikoiden läpipalkki luokitellaan toisiokannattimeksi, joten käytetään sille sallittua taipuman arvoa L/200 (puurak lyh suunnitteluohje, taulukko 4.1). Käytetään sallitun taipuman laskennassa läpipalkin todellista pituutta.

$$w_{sall} := \frac{1656 \text{ mm}}{200} = 8.28 \text{ mm}$$

## TAIPUMA (puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, kaava 2.8)

$$w_{net.fin.y} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.M.g} + (1 + 0.3 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.M.q} = 3.508 \text{ mm}$$

$$KA_{taipuma} := \frac{w_{net.fin.y}}{w_{sall}} = 42.372\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

## YHTEENVETO:

$$KA_{\text{taivutus}} := \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d,y}} = 79.481\%$$

Taivutus, käyttöaste

$$KA_{\text{leikkaus}} := \frac{\tau_{d,y}}{f_{v,d}} = 35.445\%$$

Leikkaus, käyttöaste

$$KA_{\text{tukipaine}} := \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,T} \cdot f_{c,90,d}} = 14.419\%$$

Palkin tukipaine, käyttöaste

$$KA_{\text{tukipaine.täyttö}} := \frac{\sigma_{c,90,d1}}{k_{c,T1} \cdot f_{c,90,d,C24}} = 33.737\%$$

Täyttöpalkan tukipaine, käyttöaste

$$KA_{\text{kiepautus}} := \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d,y}} = 79.481\%$$

Kiepahdus, käyttöaste

$$KA_{\text{taipuma}} := \frac{w_{ncl,fin,y}}{w_{sall}} = 42.372\%$$

Taipuma, käyttöaste

See [www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) for more information.

## Liite 5. Yksittäinen suora palkki, lyhyt jänneväli

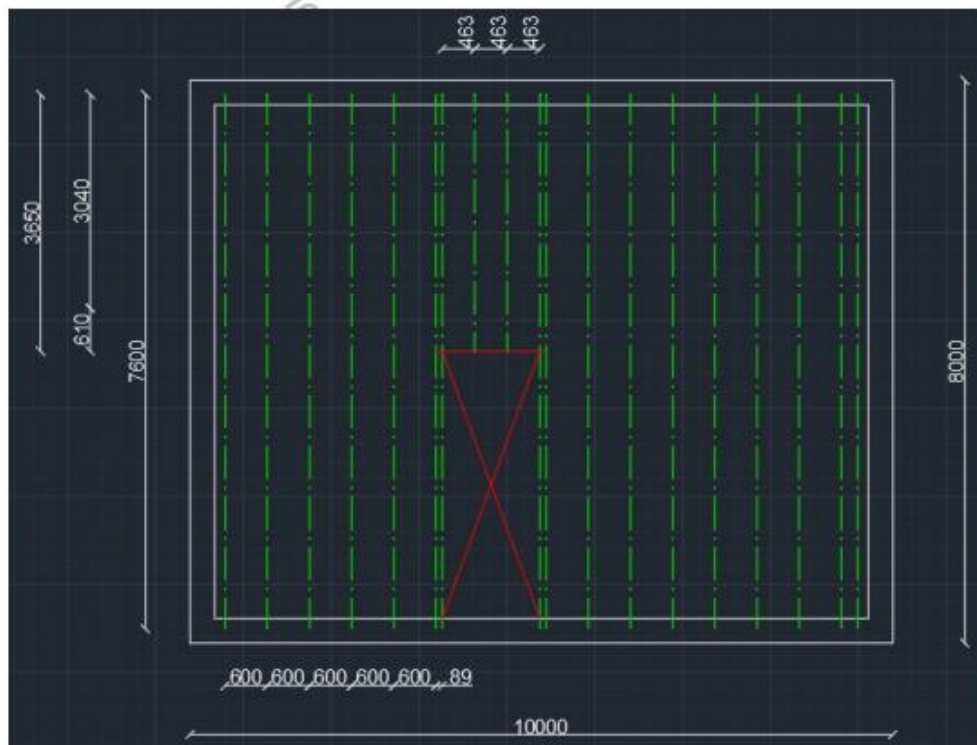
1 of 11

Juho Savolainen  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
191311  
1802920

### LIITE 5: VÄLIPOHJAN PORRASAUKON RAKENNEJÄRJESTELMÄ, YKSITTÄINEN SUORA PALKKI

Valitaan esimerkkitilanteeksi 2-kerroksinen pientalo/asuinrakennus. Talon seuraamusluokka on CC2 (RIL205/EC5).

Mielivaltaisesti valittu porrasaukon sijainti asuinrakennuksen välipohjaan. Portaiden leveydeksi tulee 1200mm. Välipohjan liimaristikkopalkit ovat 600 mm jaolla ja aukon reunoilla on tuplapalkit/ristikot. Aukkopalkin käyttöluokaksi tulee 1, koska se on rakenteen sisällä ja talon ulkoseinien sisällä (RIL205).



Kuvassa havainnollistus rakennuksen välipohjakaaviosta sekä porrasaukon sijainnista.

Käytetään välipohjan hyötykuorman arvona RIL 205-1-2017 taulukon 2.5-FI mukaista suositusarvoa ja arvioidaan välipohjarakenteen omapainoksi:

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

Asuinrakennuksen välipohjan  
hyötykuorma, suositusarvo

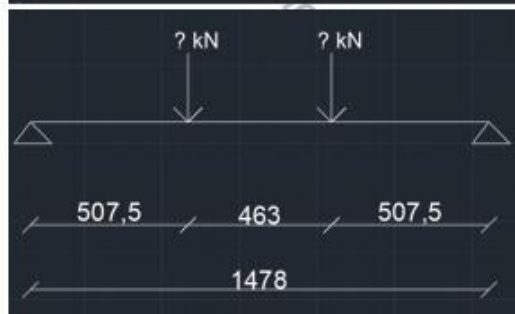
$$G_k := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Välipohjarakenteen arvioitu omapaino

Tässä rakennejärjestelmässä ideana on asettaa pystyasennossa oleva palkki liimaristikon uuman aukkoon. Palkin alle tulee tarkalla sovituksella tehty täytepala. Täytepalan sivut on muotoiltu liimaristikon uumasauvojen mukaisiin kulmiin. Täytepalojen kiinnitys tapahtuu naulaamalla.

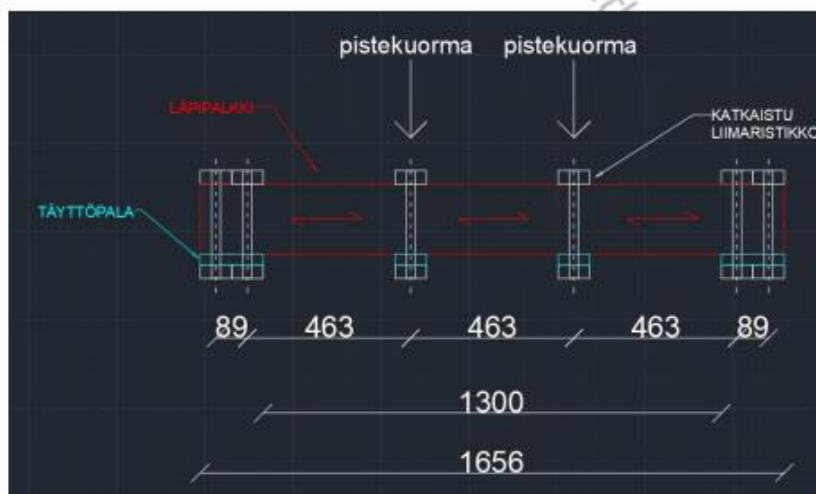


Kuvassa havainnollistus tilanteesta sivulta katsottuna katkaistun liimaristikkopalkin päästä.



Tapauksen vapaakappalekuva yhdelle palkille

Porrasaukon palkeille muodostuu pistekuormia katkaistuista liimaristikoista. Tässä laskennassa oletetaan, että yhdelle liimaristikolle muodostuvat kuormat saadaan jaettua tasan molempien läpipalkkien kanssa. Kuormien aikaluokka on keskipitkä. Katkaistun liimaristikon pituus on 3650mm ja kummankin aukkopalkin todellinen pituus on 1656mm. Aukon kohdalla katkaistut ristiköt ovat 463 mm jaolla.



Kuvassa havainnollistus tilanteesta edestäpäin katsottuna.

Kuormien lähtötilanne ja kuormitusyhdistely:

$$K_{FI} := 1.0$$

Seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin (RIL205)

$$L_{palkki} := 1478 \text{ mm}$$

Aukkopalkin pituus, laskenta-arvo

$$L_{ristikko} := 3650 \text{ mm}$$

Katkaistun liimaristikkopalkin pituus

$$k_{katk} := 507.5 \text{ mm}$$

Katkaistujen liimaristikkopalkkien k-jako

Yhdelle liimaristikolle muodostuva pistekuorman arvo murtorajatilassa:

$$p_d := (1.15 \cdot K_{FI} \cdot G_k + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot Q_k) \cdot k_{katk} \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} = 3.311 \text{ kN}$$

Yhdelle palkille tulevat rasitukset (raksu statiikka):

$$M_{max} := p_d \cdot k_{katk} = 1.68 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksimimomentti

$$V_{max} := p_d = 3.311 \text{ kN}$$

Maksimi leikkausvoima

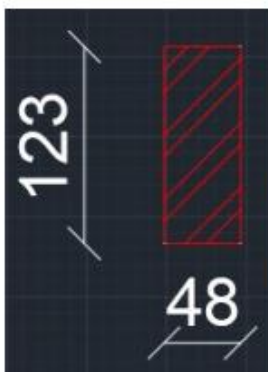
$$A_{tukki} := p_d = 3.311 \text{ kN}$$

Tuen A tukivoima

$$B_{tukki} := p_d = 3.311 \text{ kN}$$

Tuen B tukivoima

Kokeillaan vaihtoehtona C24 mitallistettua sahatavarpalkkia dimensioiltaan 48x123 mm.



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

Palkin profiilin leveys

$$h := 123 \text{ mm}$$

Palkin profiilin korkeus

$$A := b \cdot h = 5904 \text{ mm}^2$$

Poikkileikkauksen pinta-ala

$$W_y := \frac{b \cdot h^2}{6} = 121032 \text{ mm}^3$$

Palkin profiilin taivutusvastus vahvempaan suuntaan

$$W_z := \frac{h \cdot b^2}{6} = 47232 \text{ mm}^3$$

Palkin profiilin taivutusvastus heikompaan suuntaan

more information.

Materiaaliarvot C24 (EC5 lyhennetty suunnitteluohje)

$$E_{0,mean} := 11000 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{0,05} := 7400 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

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

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

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

$$\gamma_M := 1.3$$

$$k_{mod} := 0.8$$

$$k_{def} := 0.6$$

Kimmomoduuli

Syysuuntaista kuormitusta  
vastaava kimmomoduuli

Taivutuslujuuden ominaisarvo

Leikkauslujuuden ominaisarvo syrjän  
suuntaan

Syitä vastaan kohtisuoraan  
puristuslujuuden ominaisarvo

Materiaalin osavarmuusluku, sahatavara

Kerroin joka huomioi kuorman aikaluokan  
ja materiaalin käyttöluokan

Virumaluku sahatavaralle, KL1

PTC Mathcad Express. See [www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) for more information.

TAIVUTUSMITOITUS (EC5 s.38 ja RIL205):

Palkille syntyy taivutusmomenttia vain sen vahvemmassa suunnassa, joten kerroin  $k_m$  ja heikomman suunnan taivutusjännitys jätetään huomioimatta mitoitusohjeissa (näiden arvoksi tulisi 0).

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{M_{max}}{W_y} = 13.884 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutusjännityksen laskenta-arvo

$$f_{m,d,y} := \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = 14.769 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden laskenta-arvo

Mitoitusehto (EC5 ja RIL205):

$$KA_{taivutus} := \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d,y}} = 94.005\%$$

kestävyyskäyttöaste

LEIKKAUSMITOITUS (EC5 s.38 ja RIL205):

Palkkiin syntyy syysuuntainen leikkausjännityskomponentti

$$k_{cr} := 0.67$$

halkeamat huomioonottava kerroin  
sahatavarakkeelle, suositusarvo, KL1  
(RIL 205-1-2017 s.75)

"Taivutettujen sauvojen leikkauskestävyyden osoittamista varten halkeamien vaikutus otetaan huomioon käyttämällä sauvan tehollista leveyttä" EC5

$$b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 32.16 \text{ mm}$$

Palkin tehollinen leveys (kaava 6.13a, RIL 205-1-2017)

$$A_{ef} := b_{ef} \cdot h = 3955.68 \text{ mm}^2$$

Palkin poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala

Taivutuksen yhteydessä syntyvä leikkausjännitys, suorakaidepoikkileikkaus (raksu)

$$\tau_{d,y} := 1.5 \cdot \frac{V_{max}}{A_{ef}} = 1.256 \frac{N}{mm^2}$$

leikkausjännityksen laskenta-arvo  
vahvemmassa suunnassa

$$f_{v,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.462 \frac{N}{mm^2}$$

leikkauslujuuden laskenta-arvo

$$KA_{leikkaus} := \frac{\tau_{d,y}}{f_{v,d}} = 51.008\%$$

mit.ehto ja kestävyyskäyttöaste

TUKIPAINEKESTÄVYYS (ECS lyhennetty):

Tukipaineen laskennassa tehdään oletus, että aukon reunoilla olevat tuplaristikot ovat kiinnitetty toisiinsa siten, että ne toimivat niinsanotusti yhtenä palkkina. Eli tukireaktio kulkee tasaisena molemmilla ristikoilla.

$$b_{tuki} := 178 \text{ mm}$$

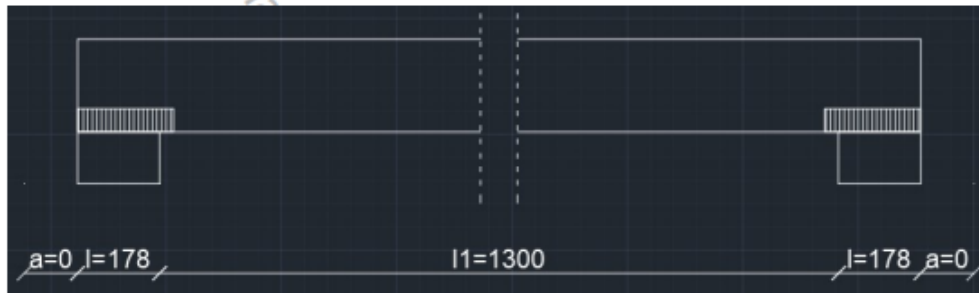
Tukileveys, reunoilla 2x  
yläpaarteen levyinen

$$A_{tuki} = 3.311 \text{ kN}$$

Tukivoima

$$\sigma_{c,90,d} := \frac{A_{tuki}}{b \cdot b_{tuki}} = 0.388 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

syitä vastaan kohtisuoran  
puristusjännityksen laskenta-arvo



Oletetaan, että palkin alle tulevat täyttöpalat kestävät niihin kohdistuvan puristuksen.

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

$$l_1 := 1300 \text{ mm}$$

tukipainetilanteen lähtötiedot (kuva  
yläpuolella havainnollistukseksi)

$$l := b_{tuki} = 178 \text{ mm}$$

$$l_{c,90,ef} := \min(30 \text{ mm}, a, l) + l + \min\left(30 \text{ mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 0.208 \text{ m}$$

tehoillisen tukipinnan  
leveys (pituus)

$$k_{c,90} := 1.25$$

lisäkerroin sahatavarelle, kun  $l_1 > 2h$

$$k_{c,T} := \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 1.461$$

tukipainekerroin

$$f_{c,90,d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1.538 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

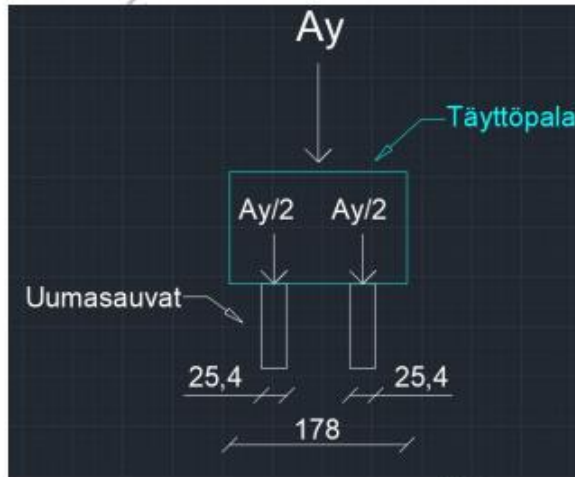
syitä vastaan kohtisuoran  
puristuskestävyyden laskenta-arvo

$$KA_{tukipaine} := \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,T} \cdot f_{c,90,d}} = 17.245\%$$

mitoitusehto ja  
kestävyykäyttöaste

Tässä työssä toimeksiantaja on antanut luvan olettaa, että ristikon alapaarteen ja uumasauvojen välinen liimaliitos kestää siihen kohdistuvat voimat.

Aukon reunoilla tukipaine täyttöpälalta kohdistuu tuplaristikon uumasauvoille ja niitä kautta ristikon alapaarteelle. Alla kuvat havainnollistamaan tätä tilannetta. Toimeksiantajan luvalla saatiin olettaa, että täyttöpäloihin vaikuttaa palkin tukivoima, eikä voimaa jaeta komponentteihin.



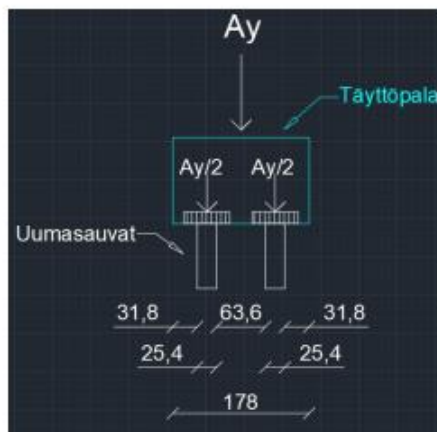
Tässä tapauksessa pitäisi tarkastaa täyttöpalan tukipainekestävyys. Tilanne saattaa vaatia tukipinnan levittämistä.

Täyttöpalan tukipainetarkastelu:

Kokeillaan tukipalan materiaaliksi sahatavara C24.

$$f_{c,90,k,C24} := 2,5 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Syitä vastaan kohtisuoraan puristuslujuuden ominaisarvo, C24



Tarkastellaan ensimmäisenä tilanne, jossa täyttöpalan materiaali olisi sahatavara C24:

Kuvassa tukipainetilanne mittoineen

Uumasauvojen kohdalle kohdistuva puristusvoima olettaen, että tukivoima jakautuu tasaisesti molemmille ristikoille:

$$A_{runki} = 3.311 \text{ kN}$$

$$F_t := \frac{A_{runki}}{2} = 1.656 \text{ kN}$$

$$b_{tukki} := 25.4 \text{ mm}$$

Tilanteen tukileveys

$$b_{viiste} := 35 \text{ mm}$$

Täyttöpalan viistetyn pinnan leveys

$$\sigma_{c.90.d1} := \frac{F_t}{b_{viiste} \cdot b_{tukki}} = 1.862 \frac{N}{mm^2}$$

syitä vastaan kohtisuoran puristusjäännityksen laskenta-arvo

$$a := 31.8 \text{ mm}$$

$$l_1 := 63.6 \text{ mm}$$

tukipainetilanteen lähtötiedot (kuva yläpuolella havainnollistukseksi)

$$l := b_{tukki} = 25.4 \text{ mm}$$

$$l_{c.90.ef} := \min(30 \text{ mm}, a, l) + l + \min\left(30 \text{ mm}, l, \frac{l_1}{2}\right) = 76.2 \text{ mm}$$

tehollisen tukipinnan leveys (pituus)

Kertoimelle kc.90 ei käytetä tässä tilanteessa korotettua arvoa, koska puristuspuitejärjestelmän välinen leveys on pienempi kuin 2\* täyttöpalkan korkeus (RIL 205-1-2017 s.72)

$$k_{c.90} := 1.0$$

lisäkerroin, sahatavara C24

$$k_{c.T1} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 3$$

tukipainekerroin

$$f_{c.90.d.C24} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c.90.k.C24}}{\gamma_M} = 1.538 \frac{N}{mm^2}$$

syitä vastaan kohtisuoran puristuskestävyyden laskenta-arvo

$$KA_{tukipaine.täyttö} := \frac{\sigma_{c.90.d1}}{k_{c.T1} \cdot f_{c.90.d.C24}} = 40.349\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

Täyttöpalkan materiaalina voidaan siis käyttää C24 sahatavaraa.

Created with PTC Mathcad Express. See [www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) for more information.

## KIEPAHDUSKESTÄVYYS:

Palkin kiepahdustukena toimivat liimaristikot, joihin se kiinnitetään.

$$a := k_{katk} \quad M_{max} = 1.68 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad W_y = 121032 \text{ mm}^3$$

Palkki on kuormitettu puristetulla reunalla vain kiepahdustukien kohdalla olevilla pistekuormilla -->

$$L_{ef,y} := a = 507.5 \text{ mm}$$

kiepahduskerroin laskennallisesti:

$$c := 0.78$$

Kerroin havupuusahatavaralle, RIL 205 s.85

$$\sigma_{m,crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot L_{ef,y}} \cdot E_{0.05} = 213.043 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

kaava 6.30 EC5

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.336$$

palkin suhteellinen hoikkuus

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{kun } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\rightarrow \lambda_{rel,m} \leq 0.75 = 1$$

$$\rightarrow k_{crit} := 1$$

Kriittinen kiepahduskerroin palkille on 1, eli palkilla ei ole kiepahdusvaaraa.

Tämän aukkopalkin tapauksessa taivutusjännitysten tulisi täyttää seuraava ehto:

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

kaava 6.33 RIL 205-1-2017

$$KA_{kiepahdus} := \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d,y}} = 94.005\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

## TAIPUMAN TARKASTELU (KRT)

Tässä tapauksessa taipumien laskentaan tarvitaan palkin jäyhyysmomentti sen vahvempaan suuntaan

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = 7443468 \text{ mm}^4$$

palkin poikkileikkauksen jäyhyysmomentti vahvempaan suuntaan

Yhdeltä katkaistulta ristikolta tulevien pistekuormien arvot käyttörajatilassa yhdelle palkille:

$$g_k := \frac{\left( G_k \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{katk} \right)}{2} = 0.232 \text{ kN}$$

Väliohjarakenteen omapainosta aiheutuva pistekuorma

$$q_k := \frac{\left( Q_k \cdot \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot k_{katk} \right)}{2} = 0.926 \text{ kN}$$

Väliohjan hyötykuormasta aiheutuva pistekuorma

## MOMENTISTA AIHEUTUVAT TAIPUMAT (kaavat statiikkamonisteesta, RAKSU)

$$w_{inst.M.g} := \frac{g_k \cdot L_{palkki}^2 \cdot k_{katk}}{24 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} \cdot \left( 3 - 4 \cdot \frac{k_{katk}^2}{L_{palkki}^2} \right) = 0.33 \text{ mm}$$

pysyvän kuorman aiheuttama taipuma palkilla, vahvempi suunta (raksu statiikka)

$$w_{inst.M.q} := \frac{q_k \cdot L_{palkki}^2 \cdot k_{katk}}{24 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} \cdot \left( 3 - 4 \cdot \frac{k_{katk}^2}{L_{palkki}^2} \right) = 1.321 \text{ mm}$$

hyötykuorman aiheuttama taipuma palkilla, vahvempi suunta (raksu statiikka)

Liimaristikoiden läpipalkki luokitellaan toisiokannattimeksi, joten käytetään sille sallittua taipuman arvoa  $L/200$  (puurak lyh suunnitteluohje, taulukko 4.1). Käytetään sallitun taipuman laskennassa läpipalkin todellista pituutta.

$$w_{sall} := \frac{1656 \text{ mm}}{200} = 8.28 \text{ mm}$$

TAIPUMA (puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, kaava 2.8)

$$w_{net.fin.y} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.M.g} + (1 + 0.3 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.M.q} = 2.087 \text{ mm}$$

$$KA_{taipuma} := \frac{w_{net.fin.y}}{w_{sall}} = 25.21\%$$

mitoitusehto ja kestävyyskäyttöaste

## YHTEENVETO:

$$KA_{\text{taivutus}} := \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d,y}} = 94.005\%$$

Taivutus, käyttöaste

$$KA_{\text{leikkaus}} := \frac{\tau_{d,y}}{f_{v,d}} = 51.008\%$$

Leikkaus, käyttöaste

$$KA_{\text{tukipaine}} := \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,T} \cdot f_{c,90,d}} = 17.245\%$$

Palkin tukipaine, käyttöaste

$$KA_{\text{tukipaine.täyttö}} := \frac{\sigma_{c,90,d1}}{k_{c,T1} \cdot f_{c,90,d,C24}} = 40.349\%$$

Täyttöpalkan tukipaine, käyttöaste

$$KA_{\text{kiepahdus}} := \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,d,y}} = 94.005\%$$

Kiepahdus, käyttöaste

$$KA_{\text{taipuma}} := \frac{w_{\text{net,fin,y}}}{w_{\text{all}}} = 25.21\%$$

Taipuma, käyttöaste

See [www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) for more information.